

利用者の環境適応を考慮した暑熱環境対策 Mitigation of Hot Environment Considering Thermal Adaptation of Occupants

東海大学工学部建築学科
Department of Architecture, Tokai University
中野淳太
Junta Nakano

キーワード： 温熱環境適応 (Thermal Adaptation)、行動性体温調節 (Behavioral Thermoregulation)、環境の文脈 (Environmental Context)

1 はじめに

室内環境における温熱環境計画の目標は、居住者が熱的に快適と感じる環境を空調設備等により提供することである。居住者はそれを当然と捉えている部分もあり、要望が満たされない場合は管理者への苦情につながる。しかし、環境制御が限定される屋外環境では状況が全く異なる。利用者は、自分が何らかの形で働きかけない限り、屋外環境での快適性は得られないことを認識している。このような状況では、温熱環境計画の方針も変わらざるを得ない。本稿では、温熱環境適応をキーワードに、屋外における暑熱環境対策のあり方を整理する。

2 温熱環境適応 (Thermal Adaptation)

2.1 環境適応と適応機会

温熱環境適応 (以下、環境適応) は、「不快な環境変化に対して、人は自ら快適性を回復しようとする」という原則のもとに熱的快適性を捉える概念である¹⁾。環境適応は、行動、生理、心理の3種に大きく分けられる。行動的適応にはあらゆる行動を伴う熱授受の調節が該当し、着衣や代謝量の調節、滞在場所の選択、窓の開閉、空調設定温度の変更などが含まれる。生理的適応は、季節的要因から複数世代にわたる遺伝的要因までを含む人体生理機能の順化を指す。そして、心理的適応は温熱環境の認識のしかたを調整する心理的過程を指している²⁾。

環境適応が無制限に発揮されるのであれば、あらゆる温熱環境が受け入れられることになる。現実にはそうならない理由として、「適応機会 (adaptive opportunity)」という概念が提示されている¹⁾。適応するための手段の豊富さとその実効性を意味し、建物や社会背景 (social context) により滞在者に付与される。個人による着衣量や代謝量の調節に加えて、建物は空調や開閉可能な窓等の設備、そしてそれらの個人調節の自由度という形で環境調節手段を技術的に提供する。一方、社会背景は気候、文化、経済状況、業務規則、個人の主義や好み、健康状態、他要因とのトレードオフなどを含むとしている。これらの要因は適応の自由度を高める方向にも制限する方向にも働く。そのため、良い建物の設計とは、社会背景が行動的適応にもたらす制限を考慮した上で、適応機会を増やしていくことにある。

2.2 環境の文脈と環境適応

行動的及び心理的適応は、滞在者の置かれている温熱環境の文脈に大きく影響される。熱的快適性における「環境の文脈」と「環境適応」の位置づけを図1に示す。「環境の文脈」とは温熱環境6要素に付帯する情報で、温熱環境を知覚した後の快適性の判断に影響するものである。環境の文脈は、①社会、②建物 (設備を含む)、③個人に関連する要素に大別できる。建築的文脈要素には空間の用途、周辺環境、環境制御レベル、個人による環境調節の自由度等があり、社会的文脈要素には気候、文化、技術水準、経済状況等が含まれる。個人的文脈要素は、個人の好みやポリシー、健康状態などが該当する。

モデル中央の縦軸は、従来の温熱環境指標における評価の流れを示している。温熱環境6要素が

自律性体温調節を惹起し、人体と環境の熱授受の結果として熱的快適性が判断される。従来の温熱環境指標は主に定常を前提としているため、評価の流れは上から下への一方向で完結している。しかし、ここに環境適応を考慮することで、フィードバックループが生じる。環境の文脈は、適応機会として行動的適応に作用する一方、環境に対する期待や行動的適応に対する心づもりなどの心理的適応にも作用する。そして、心理的適応はアウトプットである熱的快適性の捉え方に影響を与える。このとき、熱的不快を感じれば、行動的適応により温熱環境 6 要素の再調節が行われる。このループが収束した時点で、温熱環境が期待に見合わなければ不快と感じ、見合っていれば快適と感じるというモデルになっている。

建築や設備の計画は、建築的文脈要素として行動的適応と心理的適応に寄与する。つまり熱的快適性は温熱環境 6 要素のみでは決まらない。環境の文脈に応じた熱的快適域を満たすように建築・設備の計画を行なうことが、温熱環境計画の目標となる。

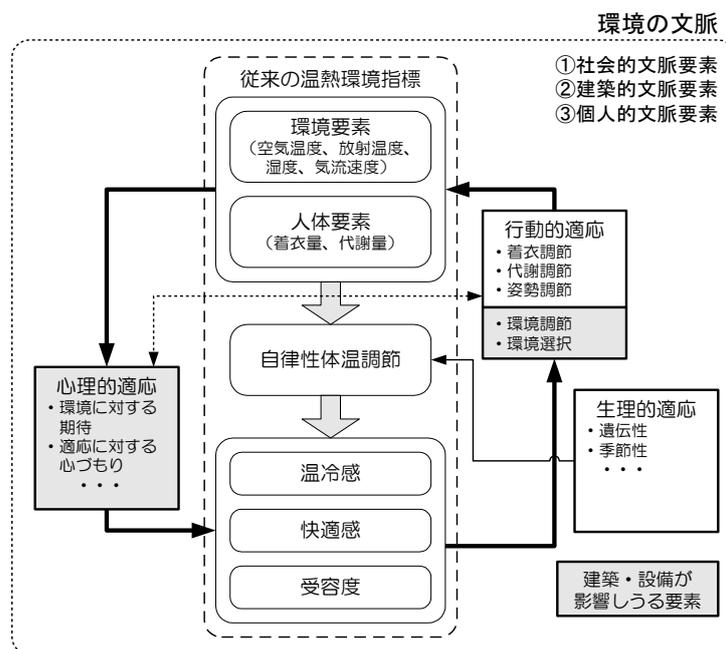


図1 環境の文脈と環境適応を考慮した熱的快適性モデル

3. 半屋外パブリックスペースの調査事例

3.1 調査手法

環境の文脈と環境適応を考慮することで、熱的快適性は具体的にどのような影響を受けるのか。滞在者による環境適応の調査には、実際に利用者が建築空間を使用している状況（同じ環境の文脈）における実測調査が不可欠である。これらの調査では、以下の手法が基本として用いられている。

- ①実際の建築空間における利用者（滞在者）への熱的快適性アンケート調査
- ②アンケート回答時の回答者近傍の温熱環境測定

筆者らは、オフィスとは用途の異なる半屋外パブリックスペースを対象とし、2001年度の四季節、そして2003年度の夏に都内で調査を行っている^{3), 4)}。建築や樹木による日除け及び風除けのみを環境調節手段とした開放的な空間2件、そして一年を通して空調により環境制御されたアトリウム2件を選定した。これらは大規模なオフィスビルや商業施設に隣接して公開空地として設けられ、利用者による滞在場所や滞在時間の選択、及び着衣調節が自由な空間であった。対象空間の概要を表1に示す。実際に対象空間で座った人を滞在者と見なし、アンケートを依頼した。同時に移動計測カートを用いて回答者近傍の詳細な温熱環境を測定した。得られた回答と環境データのセット数は2,284であった。調査で使用した温熱環境評価に関わる申告スケールを表2に示す。熱的快適域

の分析には非適温（「今より涼しい方がよい」「今より暖かい方がよい」、不快（中立よりも不快側の3スケール）、非受容（「受け入れられない」）に分類した申告率を用いた。

利用状況を調査するため、調査エリアを見渡せる位置からの1日平均115人の滞在者を無作為に選び、着席・離席時刻を記録することで滞在時間を求めた。また、10分ごとにエリア内の滞在者数を記録した。

3.2 滞在状況の変化

調査時間帯の滞在環境空気温度の日平均値に対する1日の延べ滞在人数及び平均滞在時間を図2に示す。

非空調空間の滞在者数は調査地O、T共に日平均空気温度との相関が見られ、温度が下がると滞在者数も減少していた。また平均滞在時間にも同様の傾向が見られた。一方、空調空間である調査地P、B共に空気温度との相関は見られなかった。非空調空間の滞在者が環境に応じて滞在状況を調節しており、不快な環境では滞在しないことを選択していることがわかった。

3.3 熱的快適域

アンケート回答者近傍で測定した物理環境、アンケート回答から得られた着衣量、代謝量1.1 metより各回答者のSET*を求めた。1℃区切りのSET*に対して、非適温かつ不快を同時に申告した割合にプロビット回帰を行った結果を図3（左）に示す。温度カテゴリのn数が10未満の場合は解析から除外した。また、 $t_a = t_r$ 、 $v = 0.1 \text{ m/s}$ 、 $rh = 50\%$ 、 1.0 met 、 0.6 clo のSET*標準条件におけるPPDの算出結果も併せて示す。申告率の上限を20%とすると、PPDによる予測値23~28℃に対し、空調空間では18.5~30℃、非空調空間でSET*14.5~32℃が熱的快適域となることがわかった。

次に、非適温かつ非受容の申告者率を図3（右）に示す。空調空間については申告率が20%を超えることはなく、調査の行われた範囲では温熱環境が受け入れられていた。非空調空間でも上限は見られず、下限はSET*13℃であった。滞在を強いられない空間では、受け入れられないほど不快な環境では「滞在しない」行動が選択されていたと考えられる。

表1 調査対象空間

調査地	主用途	調査対象空間	規模(床面積×高さ)	空調運転
O	オフィス	ガレリア	830㎡×16m(アーケード)	無
		サンクンガーデン	650㎡(天井なし)	
T	商業施設	ウッドデッキ	1,500㎡(天井なし)	有
P	オフィス	アトリウム	1,600㎡×18m	
B	オフィス	アトリウム	4,200㎡×40m	

表2 申告スケール

温冷感	寒い	涼しい	やや涼しい	暑くも寒くもない	やや暖かい	暖かい	暑い
適温感	今より暖かい方がよい			このままでよい	今より涼しい方がよい		
快適感	非常に不快	不快	やや不快	どちらでもない	やや快適	快適	非常に快適
受容度	受け入れられない			受け入れられる			

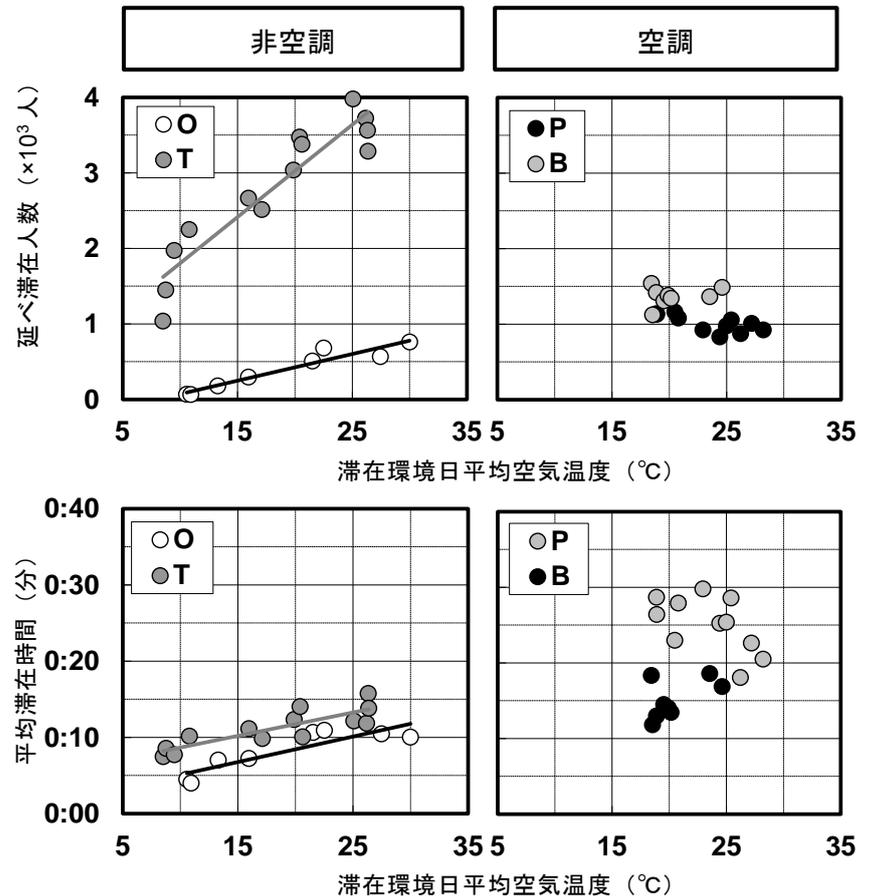


図2 日平均空気温度と滞在状況（上：人数、下：時間）

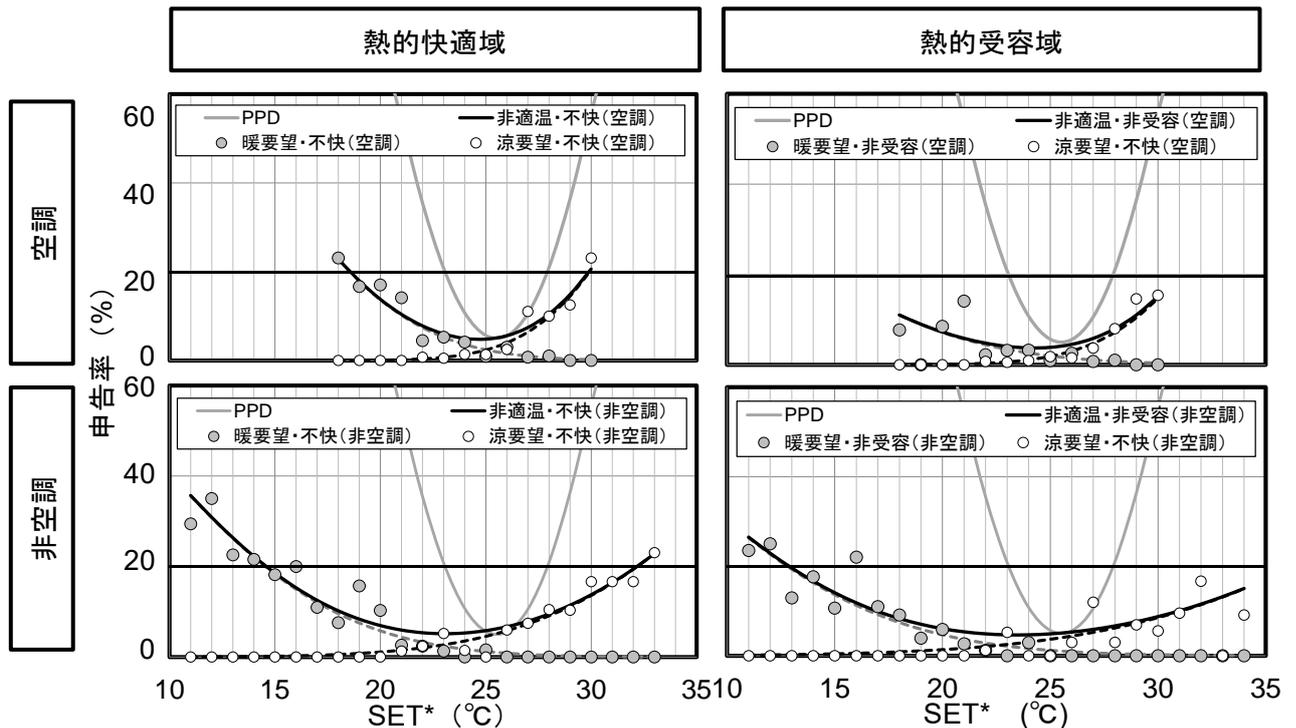


図3 熱的快適域と熱的受容域

以上により、環境適応を考慮することで、実際の半屋外パブリックスペースでは、PPDにより予測されるよりも広い範囲で滞在者が熱的に快適であることがわかった。その範囲は、空調空間では約2倍、非空調空間では約3.5倍の広さに達することが確認された。また、受け入れられる温熱環境の限界という観点からは、非空調空間においてSET*の下限値が13°Cとなった。

4 まとめ

屋外における暑熱環境対策は、空調設備を導入すれば解決するようなものではない。制御できる環境には限界があるからこそ、利用者の環境適応ポテンシャルを活かした温熱環境計画が不可欠である。これまでの研究から、温熱環境6要素だけでなく、環境の文脈（状況）が熱的快適性に影響を与えることが示されている。特に、利用者が自らを環境に適応させていかねばならないという状況では活発な行動的適応や心理的適応が見られる。反面、快適性が提供されるべきと思っている状況では行動的適応があまり見られず、環境に対する評価もシビアになる。設備的な暑熱環境対策のみでは、むしろ期待するような環境にならないことに対する不満が高まる可能性もある。

屋外における暑熱環境対策として重要なのは、いかに快適性を提供するかという姿勢ではない。各自が快適性を獲得しやすい状況をつくることがポイントとなる。多様な温熱環境を用意し、その中から利用者が自分に適した環境を選択できるような温熱環境計画が望まれる。

- 1) Humphreys, M.A. and Nicol, J.F., Understanding the adaptive approach to thermal comfort, ASHRAE Transactions, 104(1b), pp.991-1004, 1998
- 2) Brager, G.S. and de Dear, R.J., Thermal adaptation in the built environment: A literature review, Energy and Buildings, 27(1), pp.83-96, 1998
- 3) Nakano, J. and Tanabe, S. 2004. Thermal Comfort and Adaptation in Semi-Outdoor Environments. ASHRAE Transactions, Vol. 110(2), pp.543-553. ASHRAE
- 4) 高橋ら. 2004. 半屋外空間における熱的快適性実測調査 その13~14. 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.37-40. 日本建築学会