

## 半屋外環境の熱的快適性に関する考察

－ 温熱環境適応研究の日本における温熱環境計画への応用とその課題 －

## PROSPECTS OF THERMAL COMFORT IN SEMI-OUTDOOR ENVIRONMENT

Application of thermal adaptation studies to thermal environmental planning in Japanese context

中野 淳太\*, 田辺 新一\*\*

Junta NAKANO and Shin-ichi TANABE

Semi-outdoor environment is defined as a grade of environmental control in thermal environmental planning, falling in between indoor and outdoor environment. Thermal adaptation of occupants, together with building and equipment, needs to be taken into account for planning such environment. Behavioral and psychological adaptation was found to be influential on thermal comfort, and context of thermal environment was found to be important to understand the adaptive process from literature review. Environmental context was categorized into social, architectural, and personal elements. A concept model of adaptive thermal comfort in semi-outdoor environment was proposed. Problems concerning application of existing thermal comfort standards were discussed. Adaptive comfort zone, not comfort temperature, needs to be investigated through field surveys considering the Japanese context such as geographical location, climate, degree of environmental control and general-purpose of the architectural space. Adaptive comfort zone needs to be presented together with the definition of environmental context.

**Keywords :** Semi-Outdoor Environment, Thermal Environment Planning, Adaptation, Literature Review, Thermal Comfort Zone

半屋外環境, 温熱環境計画, 温熱環境適応, 文献調査, 熱的快適域

## 1. はじめに

空気調和・衛生工学便覧<sup>1)</sup>に解説されている温熱環境計画手法によると、建築空間は図1に示す入れ子構造として捉えられる。器である各空間に対し、用途や使用状況に応じてその中身である温熱環境の制御レベル、すなわち環境グレードが設定される。人に近い空間（入れ子の中心）ほど高い環境制御性が求められ、外側にいくほど外乱による環境変動が許容される。

環境グレードに対応する形で、温熱環境の制御目標値が設定される。長時間の滞在を前提とした室内の目安としては、ASHRAE 55<sup>2)</sup>やISO 7730<sup>3)</sup>などの温熱環境基準が参照されてきた。しかし、室内以外のグレードに関する熱的快適性の明確な指針はなく、設計者の経験や運用上の調整に委ねられているのが実情であった。

京都議定書による温室効果ガス排出量削減目標の設定、省エネ法の改正、東日本大震災に端を発する電力逼迫と続く日本社会の動きを踏まえると、建築環境計画における省エネルギーの配慮はいまや必須条件である。建築空間が多様化していく中、既存の室内温熱環境基準を一律に適用することは多大なエネルギーの浪費につながりかねない。室内か屋外かで区分できない領域についても、滞在者に

求められる環境の質に見合った快適性、そしてそれを必要最小限のエネルギーで実現することが求められている。室内以外の環境グレードについても制御目標値が明確になることで、設計諸条件の詳細な検討が可能になり、最適な建築環境の創造につながっていくことが期待される。

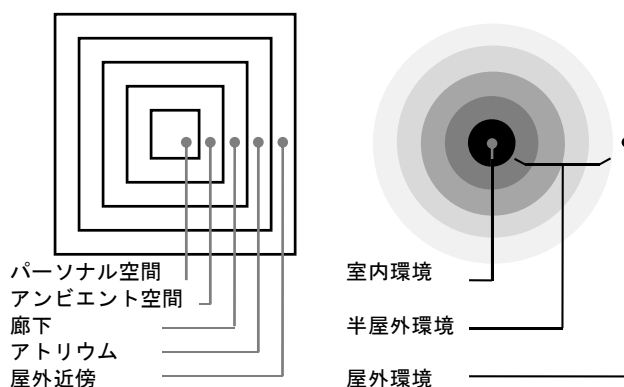
図1 建築空間の入れ子構造<sup>1)</sup>

図2 環境グレードとしての半屋外環境の概念

\* 東海大学工学部建築学科 准教授・博士(工学)

Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, School of Engineering, Tokai University, Dr. Eng.

\*\* 早稲田大学理工学術院創造理工学部建築学科 教授・工博

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Engineering, Waseda University, Dr. Eng.

そこで、本論文は室内と屋外の間にある環境グレードを半屋外環境として建築温熱環境計画の中に位置づけ、設計要件となる熱的快適性のあり方について考察する。まず半屋外環境の定義を行い、その温熱環境計画に応用しうる温熱環境適応研究の知見を整理する。そして、半屋外環境における快適温熱環境計画の概念と日本に適用する上での課題を明らかにすることを目的とする。

## 2. 半屋外環境の位置づけ

### 2.1 半屋外環境の定義

「半屋外」は一般的に空間特性を表すのに用いられる用語であるが、その建築的定義は明確でない。そこで、本論文では建築空間としてではなく、建築温熱環境計画上の環境グレード区分として「半屋外環境」を定義する。概念を図2に示す。図1は器としての建築空間の入れ子構造を示しているのに対し、図2は空間に設定される環境グレードの層となっている。空調による均一で安定した環境制御が求められるグレード、「室内環境」を中心とすると、最外殻に位置づけられるのが「屋外環境」となる。その間にグラデーション状に存在しているグレードを「半屋外環境」と定義する。

半屋外環境の中にも、室内寄りから屋外寄りまで異なる環境制御レベルが存在しているが、対象となる空間はあくまでも建築や設備の影響の及ぶ範囲に限定される。図1及び図2で示した空間の入れ子構造と環境グレードの層は必ずしも1対1の対応になく、入れ子の中心にあるパーソナル空間も含めて半屋外環境と設定することもありうる。

「室内環境」において、熱的快適性は空調設備等により滞在者に提供されるものとして計画される。一方、「屋外環境」では熱的不快を軽減するために着衣、行動、姿勢、滞在場所を選択するなどして、滞在者が自ら温熱環境に適応することが前提となる。「半屋外環境」における温熱環境計画の特徴は、外乱による環境変動をあえて許容し、滞在者自身による温熱環境への適応も考慮して、建築・設備による一体的な熱的快適性の実現を目指す点にある。

### 2.2 半屋外環境グレードの対象となる空間

いわゆる「半屋外空間」と環境グレードとしての「半屋外環境」は、必ずしも完全な対応関係にない。空間の形態にかかわらず、半屋外環境としてのグレード設定が考えられる。日本国内において、半屋外環境として温熱環境計画の対象となりうる空間の事例を以下に示す。

公開空地は建築基準法の総合設計制度により定められており、市街地環境整備のために、一般の歩行者が自由に通行または利用できる空間として設けられる。容積率や高さ制限の緩和等のメリットがあるため、大規模ビルの敷地内に多く見られる。アトリウム、プロムナード、ガレリア、オープンスペース、ガーデンなど様々な形態があるが、一般利用の観点から主に開放的につくられ、屋外に近い空間及び環境グレード設定として計画されることが多い。一方、全面を囲われたアトリウムなどの場合、空調による安定的な制御を目指す室内環境に近いグレード設定が行なわれることもある。半屋外環境の中でも適切な制御レベルを選択し、居心地の良い環境とすることで、都市部の憩いの場や賑わいの演出に活かすことが可能である。規模の小さい同様の空間として、オープンカフェやテラスなどがある。

自然換気ビルは、空調エネルギー削減や執務者快適性向上の観点から事例が増えてきている。窓を閉め切って全面的に空調による環境制御が行なわれている時期はその限りではないが、自然換気時は半屋外環境グレードと見なすことができる。近年、冷房化が進む傾向にあるものの、多くの学校教室や体育館の実態も半屋外環境グレードとなっている<sup>4)</sup>。

また、利用者数が多いにもかかわらず、これまで熱的快適性が重視されてこなかった空間として、鉄道駅舎がある。旅客流動性確保のため、寒冷地を除いて扉が設けられることが少なく、開放的なつくりとなっている。建築基準法では改札内のコンコースやホームを建築物として扱っておらず、土木施設の扱いとなっている。しかし、近年は鉄道各社により、建築的視点からの駅舎の利便性や快適性を高める取り組みが進められている。

いずれも建築や設備による環境要素の厳密なコントロールを目指すのではなく、環境範囲にゆとりのある熱的快適性を目指す対象となっている。滞在者の環境への適応を考慮して適切な制御レベルを選択し、求められる快適性と省エネルギー性を同時に満たす必要がある。特に、屋外に近いオープンスペース等では室内とは異なる環境が求められていると考えられ、変動のある環境の独特な快適性を活かした温熱環境計画の可能性がある。

## 3. 温熱環境適応と環境の文脈

### 3.1 温熱環境適応 (Thermal Adaptation) と Adaptive Model

熱的快適性の研究は、人工気候室にて厳密に管理された条件下で行われた被験者実験から多くの知見が得られてきた。研究成果は、現在も広く使われている PMV や SET\* といった温熱環境指標のベースとなっており、ASHRAE 55 や ISO 7730 等の温熱環境基準はこれらの指標から導かれている。

人体と環境の熱収支モデルに基づく PMV や SET\* は、人間を環境に対して受動的な発熱体として扱っている。適切な温熱環境 6 要素を入力することで得られた結果は、性別、年齢、人種、気候、空間の用途等にかかわらず適用できるとしている<sup>5)</sup>。しかし、これらの指標から導かれる熱的中立温度の普遍性については 1970 年代より疑問が呈されており、より現実 に即した熱的快適性を考える上で、温熱環境適応という概念が示された<sup>6)</sup>。

温熱環境適応 (以下、環境適応) は Humphreys and Nicol<sup>7)</sup> が提唱し、「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。Humphreys<sup>8)</sup> は世界各地の実測調査結果に基づく快適温度 (comfort temperature)<sup>注1)</sup> の分析を行った。得られた結果は PMV から予測される熱的中立温度と値が大きく異なり、調査時に経験していた室温と高い相関があることを示している。さらに、冷暖房をせず室温が成り行きとなっている建物 (free-running buildings) の快適温度は、外気温と相関があることを示した<sup>9)</sup>。人工気候室の被験者実験では、被験者自身による着衣や環境の調節が制限されている<sup>5)</sup>。しかし、現実の環境では人が与えられた環境に適応しようとするため、PMV の予測結果と実際の快適温度には差が生じたと結論づけている<sup>7)</sup>。このような環境適応の理解には、人々が実際に建物を使用している状況での実測調査が不可欠であると Humphreys<sup>10)</sup> は指摘している。

Brager and de Dear<sup>11)</sup>は文献調査の結果、環境適応を行動、生理、心理の3種に分類した。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。3つの中では行動的適応の頻度が最も高く、また生理的適応は通常の建物内で経験される中庸な環境や代謝量の範囲では起こりにくいことを指摘している。そして研究事例は少ないものの、心理的適応の効果が大きいであろうことを示唆している。

de Dear and Brager<sup>12)</sup>は世界各地の熱的快適性実測調査結果のデータベースを構築し、自然換気ビル (naturally ventilated buildings) と全館空調ビル (centrally controlled buildings) に分類して快適温度のメタ分析を行っている。建物ごとに室内作用温度に対する平均温冷感の直線回帰を行ない、0に相当する温度を熱的中立温度として導いている。また、この値を適温感で補正したものを快適温度としている。どちらの分類のビルでも外気 ET\* と快適温度には線形の相関があることを示した。そして、実測結果に基づく行動的適応 (気流速度の変化及び着衣量の調節) の補正を行うことで、PMV による熱的中立温度予測値と全館空調ビルの快適温度は一致することを示した。一方、自然換気ビルでは外気 ET\* に対する快適温度の変化が大きく、より幅広い温度域で快適であることを指摘している。季節的要因は考えられるものの、自然換気ビルと全館空調ビルには生理的適応に差が生じるほどの環境の差はない。そのため、行動的適応の効果を補正してなお両ビルの快適温度に差異が生じたのは、心理的適応の違いであると結論づけている。その後、実務上の有用性の観点から、月平均外気温の関数として快適温度は整理し直されている<sup>13)</sup>。

Humphreys らと deDear らは環境適応を考慮した熱的快適性モデル、adaptive model をそれぞれ提案している。外気温の一次関数として快適温度を予測するという手法は概ね一致しているものの、適応という現象の解釈は両研究グループで背景が異なっている。

### 3.2 環境適応の解釈の違い

Humphreys と Nicol の研究グループの環境適応研究は、主に行動的適応の側面から解明が試みられてきた<sup>14)</sup>。滞在者が空間の常態的な温熱環境 (usual environment) を予測できるようになると、学習効果の結果、その環境を快適と感じられるよう行動的に適応するという仮説が背景にはある。

この仮説が正しければ、人はあらゆる温熱環境に適応できることになる。現実には適応が不完全な理由として、適応機会 (adaptive opportunity) という概念が示されている<sup>15)</sup>。例えば、部屋に開閉可能な窓がない、または窓があっても騒音のため開放できない状況では、いずれの場合でも通風という行動的適応は制限される。適応手段の数と置かれている状況の結果、実質的に行使できる適応機会の豊富さが適応の度合いに影響するとしている。

適応機会は、建物や社会背景 (social context) により滞在者に付与されると Humphreys and Nicol<sup>17)</sup>は解説している。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。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、実効性のある適応機会を増やしていくことにあるとしている。

行動的適応は観察による調査が可能で、その効果を定量的に温熱環境6要素に換算できるため、研究事例は多い (着衣調節<sup>16)</sup>、姿勢の変化<sup>17)</sup>、窓の開閉やファンの使用頻度<sup>18)</sup>など)。しかし、行動的適応と適応機会のみでは説明しきれない事象がある。例えば、江口ら<sup>19)</sup>は1966年に東京と札幌における公営住宅の冬季室温を調査し、札幌では東京よりも顕著に室温が高いことを示している。また、坊垣ら<sup>20)</sup>は国内の北から南までを8つの都市域に分けて戸建及び集合住宅の室温を調査している。その結果、冬季の室温は外気温との相関が低く、東北から九州までが約18℃であったのに対し、札幌と那覇が21～23℃と他地域よりも高いことを示している。室内での着衣量も札幌と那覇が他地域よりも0.1～0.2clo 低く、寒冷地である札幌の特異性を指摘している。中村ら<sup>21)</sup>は札幌から沖縄までを6地域に分け、被験者が携行した測定器によって日常生活で経験する温湿度を計測した。1日の全時間帯の平均値として導かれた居住環境温度は、住宅以外も含む、その気候の日常生活における常態的な居住域温熱環境と見なすことができる。居住環境温度と日平均外気温には相関が見られ、外気温20℃以上ではいずれの地域でも類似した傾向になっていた。しかし、秋季・冬季 (外気温20℃未満) になると、札幌では本州より高めの温度となることを示している。これらの結果は、外気温に比例して快適温度が変化するという adaptive model の基本原理と矛盾する。設備的な調節手段が全くない場合には、温暖地域よりも低めの温度に適応する可能性はある。しかし、設備的な調節手段がある場合には、むしろ厳しい気候条件とは反対側に振れた室内環境が求められるという現象を行動的適応のみでは十分に説明できない。

一方、Auliciems と deDear らの研究グループは、行動的適応だけでなく、心理的適応に着目した考察を進めてきた。心理的適応には滞在者の環境に対する期待 (expectation) が大きく関わっており、任意の状況において期待する環境と実際の環境が合致することで満足が得られるという仮説に基づいている<sup>22)</sup>。そして、環境に対する期待や心理反応を調整していく過程を心理的適応と解説している<sup>11)</sup>。期待は緩和されるだけでなく、逆に高まる方向に適応する場合もあり、このときには環境に対する不満を感じやすくなる。先の札幌の例では、暖房設備が使えることで屋外環境の不快を極力遠ざけた室内温熱環境を求める、期待の上方修正が働いたと考えられる。

温熱環境に対する期待の影響は McIntyre<sup>23)</sup>も指摘しており、「最適値から外れた温度に対する人の反応は、その人の期待や性格、その時に携わっている作業によって大きく変わる。そのため、厳密な快適域を議論するのは困難である」としている。de Dear and Brager<sup>11)</sup>は環境に対する期待を左右するのは環境の文脈 (environmental context) であるとしており、文脈を形成する要素として、人工気候室—住宅—オフィスのような用途、全館空調—自然換気のような環境制御レベル、そしてその空間における温熱環境の体感履歴 (経験) を例としてあげている。

近年、Humphreys<sup>24)</sup>も環境適応を行動、生理、心理の3種に分類



して解説しており、両研究グループの解釈は概ね一致してきている。しかし、これまでに発表されてきた両研究グループの論調の差異を理解するには、着想の違いを認識しておくことが重要と思われる。

### 3.3 環境の文脈と心理的適応

本論文では、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を「環境の文脈」として定義する。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、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。Humphreys and Nicol<sup>24)</sup>は個人の好みや健康状態と言った個人的文脈要素も「社会背景」に含めているが、本論文では集団に広く影響する要因を社会的文脈要素とする。3 種の中で、個人的文脈要素のみ影響範囲が集団ではなく個人に限定される。そのため、他の 2 種とは分けて 5.2 節で扱う。

人工気候室での被験者実験では、温熱環境以外に快適性に影響を及ぼしうる要因は注意深く排除され、純粋な温熱環境と人体の生理的・心理的反応のメカニズム解明に注意が向けられてきた。人工気候室という空間、厳密に制御された環境、一定時間の拘束を受け指示された通りに被験者が実験に参加するという状況は、この手法の共通した文脈とみなせる。事実、同手法を用いた複数の研究者から性別、年齢、人種、気候にかかわらず、熱的中立温度に差は見られないという共通した結果が得られている<sup>5), 25), 26)</sup>など。de Dear and Brager<sup>12)</sup>の提案した adaptive model において、全館空調ビルと人工気候室では空調による安定した環境制御という建築的文脈要素が類似しているため、前者の執務者と後者の被験者の期待する環境はほぼ一致し、PMV の予測値と実際の快適温度は一致したとしている。一方、自然換気ビルでは心理的適応により環境に対する期待が緩和されていたため、差が生じたとの結論が導かれている。

Paciuk<sup>27)</sup>はオフィスビルの執務者に対し、個人による環境調節のレベルが熱的快適性に与える影響を調査している。存在する調節レベル (available control)、実行された調節レベル (exercised control)、認知される調節レベル (perceived control) を比較した結果、認知される調節レベルが快適性と満足度に最も影響が大きかったと報告している。また、Bauman ら<sup>28)</sup>はパーソナル空調を使用できないグループと使用できるグループに分けてオフィス執務者の快適性を実測した結果、前者は熱的受容度が最大 80%であったのに対し、後者は広い温度範囲で 100%となっていたことを示している。自由に環境の調節が可能で、自分で選択した環境にいるとの認識が快適感及び満足度の向上につながっていることを意味している。

Deuble and de Dear<sup>29)</sup>は、室温に応じて自然換気と空調が自動的に切り替わる mixed-mode ビルにおいて、制御モードごとに熱的快適性の評価を行なっている。室内作用温度に対する温冷感は、空調モードでは PMV に近い反応となるのに対し、自然換気モードでは温冷感の変化が小さくなり、自然換気ビルに近くなることを示した。同じ建物の同じ部屋であっても、制御モードによって執務者の温熱環境の捉え方が異なることを意味している。

日常生活において、建物や社会背景等の情報を温熱環境から完全に分離することはできない。これらの研究は、環境制御のレベルや個人による調節の自由度といった環境の文脈要素が心理的適応、そ

して熱的快適性に影響を与えるという事実を示している。すなわち、建築や設備は温熱環境 6 要素に還元されない文脈要素としても熱的快適性に影響を与えることを示唆している。

環境適応研究は、空調か非空調（自然換気）か、という環境制御レベルの違いに重点が置かれ、取り組まれてきた歴史がある。その成果は adaptive model という形で整理された。しかし、個別の文脈要素の影響を特定するまでには至っておらず、今後さらなる研究を要する。

## 4. 半屋外環境における温熱環境計画

### 4.1 環境適応を考慮した熱的快適性の概念図

半屋外環境では、個人による環境調節（選択）の自由度、温熱環境の変動、比較的短時間の滞在用途といった文脈要素が定常状態を仮定した人工気候室実験と異なる。そのため、従来の室内温熱環境基準は適用できず、実際の空間の用途や環境特性を考慮し、滞在者の環境適応を組み込んだ熱的快適性モデルが必要となる。

Humphreys ら<sup>24)</sup>及び松原ら<sup>30)</sup>は、環境適応を考慮した熱的快適性の概念図を提案している。前者を図 3 に、後者を図 4 に示す。Humphreys らの概念図では、熱的快適性における行動的適応と人を取り巻く社会・文化・気候の影響を表している。しかし、心理的適応については示されておらず、環境適応における建築の役割も明確ではない。一方、松原らの概念図では建築が行動的適応に与える

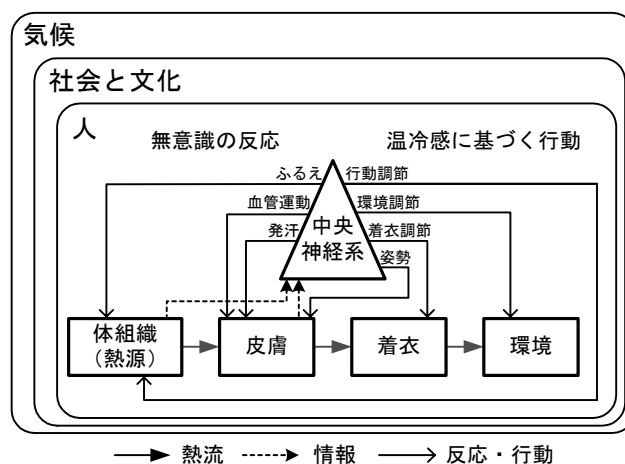


図 3 Humphreys ら<sup>24)</sup>の概念図（著者訳）

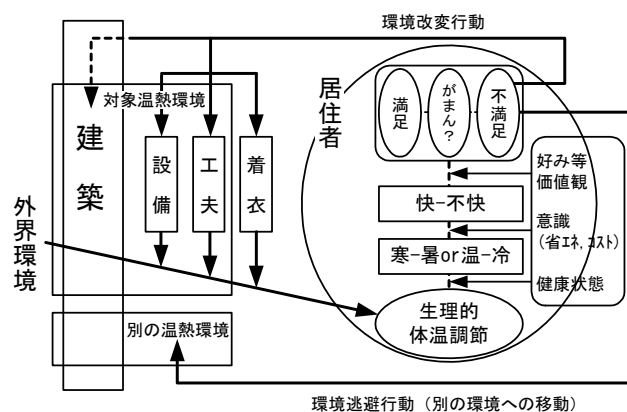


図 4 松原ら<sup>30)</sup>の概念図

影響、個人的文脈要素による心理的適応が環境のとらえ方に与える影響を示している。しかし、社会的文脈要素や建築的文脈要素が心理的適応に与える影響は示されていない。

半屋外環境における環境適応を考慮した熱的快適性の概念図を図5に示す。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。

#### 4.2 計画目標としての熱的快適域

厳密な環境制御を求めない半屋外環境において、重要なのは制御点としての快適温度（熱的中立温度）ではなく、制御範囲としての熱的快適域である。滞在時間が短いなどの文脈要素によって適応機会が限定される場合、完全に環境に適応する前に評価が完結してしまうこともある。各々の環境の文脈における現実的な適応の収束点があり、その時点での温熱環境と期待される温熱環境の合致する範囲が実際の熱的快適域となる。

建築は敷地と切り離すことができないため、気候や文化といった社会的文脈は立地により決まる。しかし、空間用途、環境制御手法、個人調節の自由度等の設定は、建築温熱環境計画の範疇である。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しうることを示している。環境的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、半屋外環境における温熱環境計画の目標となる。

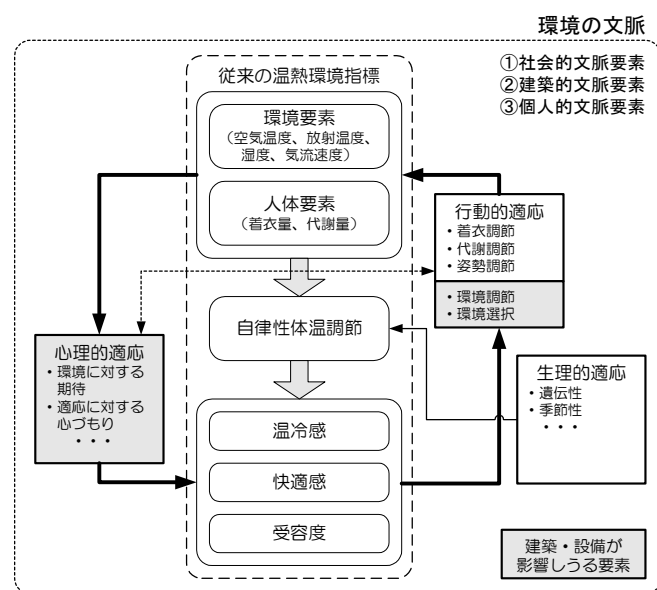


図5 半屋外環境における熱的快適性の概念図

#### 4.3 環境グレードに対応した既存の熱的快適域

室内環境の温熱環境基準としては、ASHRAE 55 と ISO 7730 が広く参照されてきた。これらの基準では Fanger の PMV-PPD 理論<sup>9)</sup>が中核に位置づけられており、PPD の範囲を根拠として熱的快適域が定義されている。ASHRAE 55-2013<sup>2)</sup>では、15 分以上の滞在を前提とした室内空間において、全身温冷感に基づく熱的快適域を  $-0.5 < PMV < +0.5$  ( $PPD < 10$ ) としている。PMV = 0 となる点を中心とし、暑い側及び寒い側に等間隔となるよう熱的快適域が設定されている。また、局所不快の基準としてドラフト・上下温度差・床表面温度・非対称放射による不満足者率がそれぞれ定義されている。これらを全て満たしても不満足者率は 20% になることを想定し、80% 受容域 (80% occupant acceptability) として上記の基準値が示されている。一方、ISO 7730: 2005<sup>3)</sup>では、A~C の 3 カテゴリーから選択できるようになっている。それぞれ PPD 及び局所不快による不満足者率の範囲が定義されており、カテゴリ B と ASHRAE 55-2013 の基準値は一致している。

屋外環境は、室内環境と比較して極端な環境条件になりうる。そのため、屋外温熱環境評価の分野では幅広い環境範囲に対応した指標の開発が行なわれてきた。歴史のある指標としては暑熱環境評価の WBGT<sup>31)</sup>や寒冷環境評価の風冷指数<sup>32)</sup>などがあるが、いずれも熱ストレスの評価に用いられるもので、快適性評価を目的とした指標ではない。室内環境ほど広く合意されている基準はないものの、研究レベルで屋外環境の熱的快適域が提案されている。Matzarakis et al.<sup>33)</sup>は Hölpe<sup>34)</sup>の提案する PET 指標を用い、PET 18~23℃が PMV -0.5~+0.5 の快適範囲に相当するとしている。また、Blazejczyk et al.<sup>35)</sup>は、生気象学の分野で開発された UTCI 指標<sup>36)</sup>で 18~26℃を熱的中立となる快適域としている。蔵澄ら<sup>37)</sup>は ETFe 指標を用い、被験者実験により 31.6~38.5℃を快適域として提案している。これらの快適域は屋外環境評価を目的としているため、主に温熱環境 6 要素の組み合わせから導かれている。社会的・建築的文脈要素の影響については言及されていない。

環境適応を考慮した温熱環境基準として、ASHRAE 55 では、主に自然換気（通風）により温熱環境が調節されている空間の熱的快適域を 2004 年版より導入している。推奨範囲を図 6 に示す。de Dear and Brager<sup>12)</sup>の adaptive model に基づき、平均外気温に応じた快適作用温度の範囲を 90%または 80%受容域のいずれかから選択できるようになっている。ただし、この基準を適用するためには、対象となる空間が以下の 4 条件を満たす必要がある<sup>注 2)</sup>： ①執務者が自由に開閉できる屋外に面した窓がある、②冷房設備がない（暖房設備はあっても良いが、使用時期は適用外）、③執務者の代謝量が 1.0～1.3met、④執務者が着衣を自由に調節できる。この規定は、根拠となっている実測調査の行なわれた自然換気オフィスビルの建築的文脈要素の定義となっている。しかし、この adaptive model が分析対象とした建物は北米、東南アジア、オーストラリア、パキスタン、ヨーロッパという広い地域に分布している<sup>38)</sup>にもかかわらず、単一の線形モデルとして導かれている。そのため、回帰結果の上限付近は、パキスタンやタイなど冷房の普及率が日本ほど高くない地域のデータを多く含んでいる。この基準において、気候や文化と言った社会的文脈要素は無視されており、日本にそのまま当てはまるとは限らない。例えば、Goto et al.<sup>39)</sup>は東北及び関東地方の 6 つの

オフィスを対象とした調査の結果、セントラル空調オフィスと開閉可能な窓のあるオフィスの快適温度は、いずれも de Dear and Brager の adaptive model と一致しなかったことを報告している。

もう一つの環境適応を考慮した温熱環境基準として EN 15251<sup>40)</sup>がある。この基準は、Nicol の研究グループが行なった SCATs Project というヨーロッパ地域に限定した自然換気オフィスの実測結果から導かれている<sup>41)</sup>。ISO 7730 におけるカテゴリは3段階に分かれているのみで、選択方法に関する教示はない。しかし EN 15251 では、環境に対する期待のレベルに応じて、表1に示すカテゴリ I~IV に分かれている。これは、心理的適応、そして平行して行なわれるであろう行動的適応を見込んだ上で、環境に対する期待のレベルとして定義されていると考えられる。自然換気ビルに関するカテゴリ I~III の推奨範囲を図7に示す。自然換気ビルの定義は ASHRAE 55-2013 と概ね一致し、暖房不使用の期間のみを対象としている。この自然換気ビルの推奨範囲の中心は、外気温の指数加重移動平均値の一次関数として求まる adaptive model の快適温度である。ただし、この快適温度は、執務者温冷感申告の回帰分析か

ら求められた熱的中立温度ではない。温度変化に対する温冷感変化の勾配を 0.5 と仮定する Griffith 法<sup>42)</sup>が用いられている。執務者の温冷感申告と中立申告の偏差を温度差に換算し、+1 スケールあたり -2℃として測定時の室内作用温度を補正することで快適温度を求めている。勾配の決定にあたっては調査データを用いた妥当性の検討が行われているが、ヨーロッパ以外など、社会的文脈が変わっても勾配が一定であるという検証はされていない<sup>43)</sup>。

## 5. 日本における半屋外温熱環境計画への応用とその課題

環境の文脈に応じて、居住者や利用者の環境適応の度合いは異なる。半屋外環境では、環境適応を考慮した実態としての熱的快適域を満たすような建築・設備の計画が必要になる。気候、文化、建築技術水準、経済状況、省エネに関する世相などの社会的文脈要素は、立地の国や地域と深く関係している。これらの環境文脈を考慮した、日本における環境適応や熱的快適域の研究が不可欠である。また、日本国内でも地域や季節によって気候は多様であり、調査に当たっては調査時期や地域の差にも留意する必要がある。

### 5.1 日本における環境適応関連研究

実測調査に基づく環境適応関連研究として、日本では住宅における冷暖房行為や生活行為に着目した事例が多く見られる。澤地らは、関東地方の住宅において室温に対する空調行為（暖冷房・こたつ・扇風機の使用）の生起率を実測により調査し、この生起率に基づいて許容室温範囲を推定している<sup>44)</sup>。また、住宅内の滞在場所や生活行為の時間変化を記録し、夏季と冬季では傾向が異なることを示している<sup>45),46)</sup>。寒冷地における暖房機器の使用状況や部屋の使用状況に関する調査事例は多く、絵内ら<sup>47),48)</sup>、野口ら<sup>49)</sup>、佐藤<sup>50)</sup>、足立ら<sup>51)</sup>などがある。松原ら<sup>52)</sup>、澤島ら<sup>53)</sup>は関西地域で同様の研究を行っている。

環境の文脈の違いが行動的適応に与える影響を比較した研究も多く見られる。気候・地域という社会的文脈要素に着目した研究としては、冷暖房行為や居住者意識の分析をした吉野ら<sup>54)</sup>、鈴木ら<sup>55)</sup>、坊垣ら<sup>56)</sup>、澤島ら<sup>57)</sup>などがある。時代による変化を比較したものに吉野ら<sup>58)</sup>、長谷川ら<sup>59)</sup>がある。また、建築的文脈要素に着目したものとして、住宅熱性能による暖房の仕方の違いを分析した江口ら<sup>60)</sup>、澤島ら<sup>61),62)</sup>がある。個人的文脈要素の影響を分析した事例としては、地濃ら<sup>63)</sup>、飛田ら<sup>64)</sup>、宮田ら<sup>65)</sup>、澤島<sup>66)</sup>ら等があり、個人の価値観が夏季及び冬季の環境調節行為に影響することを示している。

以上のように、環境の文脈が住宅における行動的適応に影響する事実は国内研究でも多く確認されている。冬季の札幌のように連続的な全館暖房の行われているケースはその限りではないが、住宅の温熱環境も半屋外環境グレードと見なすことができる。しかし、これらの住宅における研究は、澤地ら<sup>44)</sup>や中谷ら<sup>67)</sup>の数例を除き、温熱環境計画の目標値としての熱的快適域の提案には至っていない。これは、住宅がプライベートな空間であり、温熱環境基準のように大多数を満足させる平均的な快適域がそぐわないためと考えられる。住宅では個人的文脈要素の影響が大きく、適応手段も多様かつ豊富である。そのため、居住者の価値観、ライフスタイル、健康状態等に合わせてカスタマイズされた温熱環境計画が求められる。不特定多数の利用する空間とは計画のねらいが異なるため、区別して考える必要がある。

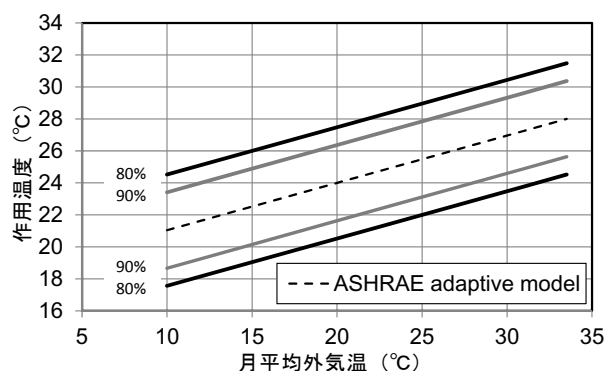


図6 ASHRAE 55-2013 の自然換気ビル熱的快適域推奨値<sup>2)</sup>

表1 EN 15251 におけるカテゴリの説明<sup>40)</sup>

Category	Explanation
I	High level of expectation and is recommended for spaces occupied by very sensitive and fragile persons with special requirements like handicapped, sick, very young children and elderly persons
II	Normal level of expectation and should be used for new buildings and renovations
III	An acceptable, moderate level of expectation and may be used for existing buildings
IV	Values outside the criteria for the above categories. This category should only be accepted for a limited part of the year

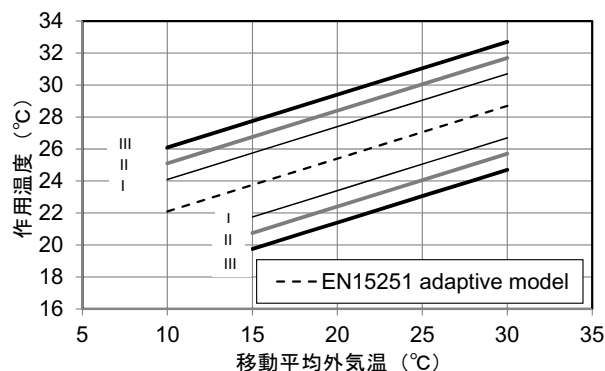


図7 EN 15251 の自然換気ビル熱的快適域推奨値<sup>40)</sup>



住宅以外では、小学校の休み時間における児童の中庭での遊び行動と温熱環境の関係を調べた植木ら<sup>68)</sup>、大学研究室における環境適応行動を対象とした斉藤<sup>69)</sup>の研究があるが、熱的快適域は明らかになっていない。

実態としての熱的快適域を調査した事例は、冷暖房空間を対象として1970～1980年代に多く見られる。小林らはオフィス<sup>70)</sup>及び印刷工場検査作業室<sup>71)</sup>の快適範囲を等級別に示している。成瀬ら<sup>72)</sup>は専門学校教室の学生を対象に、季節による着衣量の変化及びアンケート回答者の申告結果に基づく熱的快適範囲を示している。磯田ら<sup>73)</sup>は同様の調査をオフィスについて行った結果を報告している。これらはあくまでも空調を前提とした空間の調査結果であり、また調査から既に約30～40年が経過している。クールビズ等の着衣習慣や省エネルギーに対する意識等の社会情勢は当時から大きく変化しており、結果の有効性については検証が必要である。

以上より、環境適応に関連する実測調査研究は主に住宅を対象として国内でも多く事例があり、環境の文脈が室温や適応行動に与える影響が確認されている。しかし、半屋外環境において実態としての熱的快適域を導いた例は少なく、温熱環境計画の目標となる熱的快適域の国内研究を充実させていく必要がある。

## 5.2 半屋外環境の温熱環境計画における熱的快適域の課題

### 1) Adaptive Model に基づく既存の温熱環境基準の問題点

環境適応を考慮した温熱環境基準、ASHRAE 55 と EN 15251 に共通する課題は、制御目標値の要となる熱的快適域が実際の快適や満足申告結果に基づいていない点である。両基準の熱的快適域は、各々の adaptive model から導かれる快適温度を中心とし、任意の温度範囲を両側に等間隔に設定している。deDear らはその範囲を PPD から導いているが、快適温度は人工気候室実験と異なるにもかかわらず、不満足者率の範囲は一致するという仮定には疑問が残る。一方、Nicol らは温冷感申告-1～+1を快適とみなし、その申告率から快適温度範囲を求めている。いずれも温冷感申告±2及び±3を不満足と見なす仮定があり、快適や満足の申告に基づくものではない。3.3 節の既往研究より、心理的適応は温熱環境の快適性や満足度に影響することが明らかになっている。さらに、屋外に近い環境では、暑くも寒くもない状態が快適とは限らない。環境の文脈を考慮した快適や満足の申告結果に基づく adaptive な熱的快適域が必要である。

快適温度及び熱的快適域は作用温度として示されているが、ここに湿度の影響は含まれていない。日本での応用を考える場合、夏季の湿度の扱いが問題となる。また、空調による温湿度制御を行わない場合、調節できる環境要素は主に放射と気流になるため、これらの効果を適切に評価できる包括的な温熱環境指標による熱的快適域が望まれる。

### 2) 日本の建築条件に対応した環境の文脈

長時間の滞在が前提となるオフィス空間を考えた場合、夏季に高温多湿となる日本の大半の地域において、ASHRAE 55 や EN 15251 の adaptive model の適用条件を満たすのは非常に困難である。現代の日本において、不特定多数が使用し、かつ半屋外環境グレードに設定されている空間は、滞在が比較的短時間の用途が多い。特に駅やアトリウム等は、室内と屋外をつなぐ遷移空間としての役割も担っている。長時間滞在以外の用途も建築的文脈要素として考慮す

ることが望まれる。

### 3) 環境の非定常性の扱い

半屋外環境は、室内環境と比較して環境変動が大きく、非定常な温熱環境となる。Adaptive model では、一定時間の環境測定平均値に対する執務者の申告を分析し、結果を「自然換気（成り行き）」と「全館空調」に分けて示している。つまり、非定常性は環境データに含まれてない。「自然換気（成り行き）」という環境制御レベルの分類が、文脈要素として温熱環境の非定常性を内包する扱いとなっている。しかし、空間の用途によっては、環境の非定常特性が熱的快適性評価に大きな影響を及ぼす可能性もある。文脈要素として扱うことの妥当性については、ケースに応じた検証が望まれる。

### 4) 個人的文脈要素の扱い

温熱環境に対する温冷感、満足感、快適感には個人差がある。住宅のように、その個人に最適な温熱環境が求められる場合には、文脈要素としての個人の好み、価値観、健康状態等の考慮が必要である。しかし、不特定多数の集まる空間では、個人差まで満たした熱的快適性の実現は困難である。個人調節の自由度等の建築的文脈要素を考慮した上で、集団としての要件を表す不満足者率のような形で熱的快適域を定義する必要がある。

### 5) 行動的適応の法則性に関する調査

温熱環境計画目標としての熱的快適域の調査を充実させていく必要がある。一方で、熱的快適域のみの調査では、環境適応の影響がブラックボックスとして残ってしまう。定量的に評価できる行動的適応については、環境条件に対する法則性を明らかにすることで、効果の予測が可能になる。行動的適応で説明できない部分に着目することで、心理的適応の相対的効果の理解にもつながる。そのため、熱的快適域と行動的適応の調査は平行して行なう必要がある。

### 6) 半屋外環境グレードにおける多様な熱的快適域

半屋外環境グレードの中には、環境の文脈に応じて異なる熱的快適域が多数存在すると考えられ、適切な環境範囲を制御目標値として選択する必要がある。

個別の文脈要素が環境適応や熱的快適域に与える影響はまだ不明であり、全てが解明される見通しは立っていない。全ての要素の組み合わせについて熱的快適域を求める、または予測するのは現実的ではない。しかし、文脈要素の中にも影響の大きいものと小さいものがあると推測される。例えば、環境制御レベルの違いは、支配的な要因として adaptive model の適用条件となっている。また、気候を含めた地域性により、冷暖房の仕方などの行動的適応に共通した傾向が見られることが国内研究事例からわかっている。影響の大きい要素の組み合わせによって、熱的快適域は大まかに数段階に分かれると考えられる。まずは環境の文脈要素、そして環境適応を考慮した実測調査から導かれる熱的快適域の実態を明らかにしていく必要がある。その蓄積が、将来的には熱的快適域のカテゴリライズにつながると予想される。これらの熱的快適域は、調査された環境の文脈の定義と共に示されることが重要である。

## 6. まとめ

本論文では、「半屋外環境」を環境グレードの区分として定義し、建築温熱環境計画における位置づけを明らかにした。外乱による環境変動をあえて許容し、滞在者自身による温熱環境への適応も考慮

して、建築・設備による一体的な熱的快適性の実現を目指す点に半屋外環境の特徴がある。

次に、半屋外環境における温熱環境計画の要となる温熱環境適応研究をレビューした。行動的・生理的・心理的適応のなかで、行動的適応と共に心理的適応が熱的快適性評価に及ぼす影響が大きいことがわかった。また、環境適応を左右する要因とされている「環境の文脈」を理解する上で、①社会、②建物、③個人の3種の文脈要素に分類することを提案した。

以上を踏まえ、半屋外環境における環境適応を考慮した熱的快適性の概念図を示した。建築及び設備が温熱環境6要素に還元されない建築的文脈要素として熱的快適性に寄与しうることを示した。また、厳密な環境制御が求められない半屋外環境において、制御点としての快適温度ではなく、制御範囲としての熱的快適域が重要である点を指摘した。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、半屋外環境における温熱環境計画の目標となる。

室内・屋外・半屋外の環境グレードについて、熱的快適域に関する既往研究をレビューした。既存の adaptive model に基づく温熱環境基準では、日本の環境の文脈が考慮されていない点を指摘した。また、日本国内でも半屋外環境の熱的快適域を導いた研究事例は少ないことを示した。日本という国及び地域の建築条件に対応した社会的・建築的文脈要素を整理し、それらを考慮した実測調査に基づく研究を進めていく必要がある。包括的な温熱環境指標を用い、快適や満足の申告から導かれる adaptive な熱的快適域、そして行動的適応に関する調査を平行して行うのが望ましい。これらの成果は、調査された環境の文脈の定義と共に示されることが重要である。

## 謝辞

本論文は、JSPS 科研費 若手研究(B) 25820285 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会: 第5章 温熱環境計画, 空気調和・衛生工学便覧, 5巻, pp.103-133, 2010
- 2) ASHRAE: ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, Thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE, 2013
- 3) ISO: ISO7730 Moderate thermal environments, Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, ISO, 2005
- 4) 小峯裕巳, 坂口淳, 新保幸一, 岩下剛, 上野佳奈子, 中野淳太: 学校施設における環境配慮方策に関する調査研究 (その1) 大規模改修時における環境配慮対策の現状に関するアンケート調査, 日本建築学会環境系論文集, 75, 650, pp.381-388, 2010.4
- 5) Fanger, P. O.: Thermal Comfort, Danish Technical Press, 1970
- 6) Nicol, J. F. and, Humphreys, M. A.: Thermal comfort as part of a self-regulating system, Building Research and Practice (J. CIB), 6(3), pp.191-197, 1973
- 7) Humphreys, M. A. and Nicol, J. F.: Understanding the adaptive approach to thermal comfort, ASHRAE Transactions, 104(1b), pp.991-1004, 1998
- 8) Humphreys, M. A.: Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied, Journal of the Institution of Heating and Ventilation Engineers, Vol.44, pp.5-23, 1976
- 9) Humphreys M. A.: Outdoor temperatures and comfort indoors, Building Research and Practice (J. CIB), 6(2), pp.92-105, 1978
- 10) Humphreys, M. A.: Thermal comfort temperatures and the habits of

- hobbits, Standards for thermal comfort: Indoor air temperatures for the 21st century, E&FN Spon, London, pp.3-13, 1995
- 11) 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
- 12) de Dear, R.J. and Brager, G.S.: Developing an adaptive model of thermal comfort and preferences, ASHRAE Transactions, 104(1a), pp.145-167, 1998
- 13) de Dear, R. J. and Brager, G. S.: The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment, International Journal of Biometeorology, 45, pp.100-108, 2001
- 14) Nicol, J. F., Humphreys, M. A., Roaf, S.: Adaptive Thermal Comfort - Principles and Practice, Routledge, London, 2012
- 15) Baker, N. and Standeven, M.: Comfort criteria for passively cooled buildings- A PASCOOL task, Renewable Energy, 5(5-8), pp.977-984, 1994
- 16) Humphreys, M. A.: The influence of season and ambient temperature on human clothing behaviour, Indoor Climate (ed. Fanger P. O. and Valbjorn), Danish Building Research Institute, 1979
- 17) Raja, I. A. and Nicol, J. F.: A technique for postural recording and analysis of thermal comfort research, Applied Ergonomics, 28(3), pp.221-225, 1997
- 18) Rijal, H. B., Tuohy, P. G., Nicol, J. F., Humphreys, M. A., Samuel, A. A. and Clarke, J. A.: Development of adaptive algorithms for the operation of windows, fans and doors to predict thermal comfort and energy use in Pakistani buildings, ASHRAE Transactions, 114(2), pp.555-573, 2008
- 19) 江口和雄, 久我新一, 浅野賢二, 岡樹生, 土屋喬雄, 原口茂毅, 早乙女喜昭, 柳下延久, 瀬戸裕直: 公営住宅の室内気候実態調査, その1. 薄肉コンクリートプレハブ, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 46, 計画系, pp.117-118, 1971
- 20) 坊垣和明, 澤地孝男, 吉野博, 鈴木憲三, 赤林伸一, 井上隆, 大野秀夫, 松原斎樹, 林徹夫, 森田大: 夏期および冬期の居住室温とその地域性に関する研究, 全国的調査に基づく住宅のエネルギー消費とライフスタイルに関する研究-第2報, 日本建築学会計画系論文集, 505, pp.23-30, 1998.3
- 21) 中村泰人, 横山真太郎, 都築和代, 宮本征一, 石井昭夫, 堤純一郎, 岡本孝美: 日常生活で生じる気候適応を把握するための居住環境温度の多地域同時計測, 人間と生活環境, 15(1), pp.5-14, 2008
- 22) Auliciems, A.: Towards a psycho-physiological model of thermal perception, International Journal of Biometeorology, 25(2), pp.109-122, 1981
- 23) McIntyre, D. A.: Indoor Climate, Applied Science Publishers, 1980
- 24) Humphreys M. A. (リジャル H.B.・梅宮典子訳): Principles of Adaptive Thermal Comfort, 空気調和・衛生工学会, 83(6), pp.413-419, 2009
- 25) de Dear, R. J., Leow, K. G., Ameen, A.: Thermal comfort in the humid tropics - Part 1, Climate chamber experiments on temperature preference in Singapore, ASHRAE Transactions, 97(1), pp.874-879, 1991
- 26) 深井一夫, 斎藤純司, 後藤滋, 伊藤宏: 標準有効温度 (SET\*) と日本人の温熱感覚に関する実験的研究 第一報 冬季被験者実験による検討, 空気調和・衛生工学会論文集, No.48, pp.21-29, 1992
- 27) Paciuk, M.: The Role of Personal Control of the Environment in Thermal Comfort and Satisfaction at the Workplace, EDRA 21, pp.303-312, 1990
- 28) Bauman, F. S., Carter, T. G., Baughman, A. V. and Arens, E.: Field study of the impact of a desktop task/ambient conditioning system in office buildings, ASHRAE Transactions, 104, pp.1153-1171, 1998
- 29) Deuble, M. P. and de Dear, R. J.: Mixed-mode buildings, A double standard in occupants' comfort expectations, Building and Environment, 54, pp.53-60, 2012
- 30) 松原斎樹, 澤島智明: 冬期の住宅居間の熱環境と居住者の意識・住まい方, その3 居住者による環境形成と評価のモデル化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D, pp.449-450, 1992
- 31) ISO7243: Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature),



- ISO, 1989
- 32) Siple, P. A., and Passel, C. F.: Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures, Proceedings of the American Philosophical Society, 89, No.1, pp.177-199, 1945
  - 33) Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M. G.: Applications of a universal thermal index, physiological equivalent temperature, International Journal of Biometeorology, 43, pp.76-84, 1999
  - 34) Hoppe, P.: The physiological Equivalent Temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, International Journal of Biometeorology, 43, pp.71-75, 1999
  - 35) Blazejczyk, K., Broede, P., Diala, D., Havenith, G., Holmer, I., Jendritzky, J., Kampmann, B., Kunert, A.: Principles of the new universal thermal climate index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale, Miscellanea Geographica, 14, pp.91-102, 2010
  - 36) Bröde, P., Jendritzky, G., Fiala, D., Havenith, G.: The Universal Thermal Climate Index UTCI in Operational Use, Proceedings of Windsor Conference, Adapting to Change - New Thinking on Comfort, 2010
  - 37) 蔵澄美仁, 土川忠浩, 近藤恵美, 石井仁, 深川建太, 大和義昭, 飛田国人, 安藤由佳, 松原斎樹, 堀越哲美: 屋外環境における至適温熱環境域に関する研究, 人間と生活環境, 19(2), pp.115-127, 2012
  - 38) de Dear, R. J.: A global database of thermal comfort field experiments, ASHRAE Transactions, 104(1b), pp.1141-1152, 1998
  - 39) Goto, T., Mitamura, T., Yoshino, H., Tamura, A., Inomata, E.: Long-term field survey on thermal adaptation in office buildings in Japan, Building and environment, 42, pp. 3944-3954, 2007
  - 40) CEN: EN 15251 Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings - Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics, Comité Europe en de Normalisation, 2007
  - 41) McCartney, K. J. and Nicol, J. F.: Developing an adaptive control algorithm for Europe: results of the SCATs project, Energy and Buildings, 34, pp.623-635, 2002
  - 42) Griffiths, I.: Thermal comfort studies in buildings with passive solar features: field studies, Report to Commission of the European Community, 1990
  - 43) Nicol, J. F. and Humphreys, M. A.: Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251, Building and Environment, 45, pp.11-17, 2010
  - 44) 澤地孝男, 松尾陽, 羽田野健, 福島弘幸: 暖冷房行為生起の決定要因と許容室温範囲に関する検討, 住宅の室内気候形成に寄与する居住者の行動に関する研究 その 1, 日本建築学会計画系論文報告集, 382, pp.48-59, 1987.12
  - 45) 澤地孝男, 松尾陽: 住宅における生活行動の時刻変化(主婦の場合), 住宅の室内気候形成に寄与する居住者の行動に関する研究 その 2, 日本建築学会計画系論文報告集, 398, pp.35-46, 1989.4
  - 46) 澤地孝男, 松尾陽: 住宅における生活行動の時刻変化(主人と子供の場合), 住宅の室内気候形成に寄与する居住者の行動に関する研究 その 3, 日本建築学会計画系論文報告集, 404, pp.23-36, 1989.10
  - 47) 絵内正道, 荒谷登: 居住室の温熱環境の実態, その 1 寒さに応じた住い方と室温変動パターンについて, 日本建築学会論文報告集, 264, pp.91-98, 1978.2
  - 48) 絵内正道, 荒谷登: 居住室の温熱環境の実態, その 2 寒さに応じた住い方と設定室温について, 日本建築学会論文報告集, 265, pp.105-113, 1978.3
  - 49) 野口孝博, 足達富士夫: 北海道の住生活様式, 積雪寒冷地の住戸計画に関する研究 (1), 日本建築学会論文報告集, 312, pp.84-91, 1982.2
  - 50) 佐藤勝泰: 住宅の温度環境と生活行動・生活範囲 北海道の戸建住宅計画に関する研究(1), 日本建築学会計画系論文報告集, 455, pp.57-65, 1994.1
  - 51) 足立直之, 赤林伸一, 吉野博, 真保聡裕, 坊垣和明, 澤地孝男: 住宅におけるエネルギー消費量と住まい方に関する実態調査, 新潟市におけるエネルギー需要構造に関する研究 その 1, 日本建築学会計画系論文報告集, 465, pp.49-59, 1994.11
  - 52) 松原斎樹, 澤島智明: 京都市近辺地域における冬期住宅居間の熱環境と居住者の住まい方に関する事例研究, 暖房機器使用の特徴と団らん時の起居様式, 日本建築学会計画系論文報告集, 488, pp.75-84, 1996.10
  - 53) 澤島智明, 松原斎樹: 京都市近辺地域における住宅居間の熱環境と居住者の住まい方の季節差に関する事例研究, 住戸内での滞在場所選択行動に与える温熱環境の影響, 日本建築学会計画系論文報告集, 507, pp.47-52, 1998.5
  - 54) 吉野博, 長谷川房雄, 沢田紘次, 石川善美, 赤林伸一, 菊田道宣: 熱環境からみた冬期の居住性能に関する地域特性の分析, 東北地方都市部を対象として, 日本建築学会論文報告集, 345, pp.92-103, 1984.11
  - 55) 鈴木憲三, 松原斎樹, 森田大, 澤地孝男, 坊垣和明: 札幌, 京都, 那覇の公営集合住宅における暖冷房環境の比較分析, 暖冷房使用に関する意識と住まい方の地域特性と省エネルギー対策の研究 その 1, 日本建築学会計画系論文報告集, 475, pp.17-24, 1995.9
  - 56) 坊垣和明, 澤地孝男, 吉野博, 鈴木憲三, 赤林伸一, 井上隆, 大野秀夫, 松原斎樹, 林徹夫, 森田大: 全国的調査に基づく住宅の暖冷房時間および暖冷房期間に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 509, pp.41-47, 1998.7
  - 57) 澤島智明, 松原斎樹, 蔵澄美仁: 暖房の仕方と暖房意識の地域差, プレハブ住宅居住者の暖房の仕方に関する研究, 日本建築学会環境系論文報告集, 637, pp.241-247, 2009.3
  - 58) 吉野博, 長谷川兼一: 熱環境からみた冬期の居住性能に関する地域特性の変化, 東北地方都市部を対象とした 10 年前の調査との比較, 日本建築学会計画系論文報告集, 499, pp.1-7, 1997.9
  - 59) 長谷川兼一, 吉野博, 石川善美, 松本真一, 源城かほり, 竹内仁哉: 熱環境から見た冬期の居住性能に関する地域特性の推移, 東北地方都市部を対象とした 20 年間の変化, 日本建築学会環境系論文報告集, 593, pp.33-40, 2005.5
  - 60) 江口和雄, 早乙女喜昭, 久我新一, 浅野賢二, 岡樹生, 土屋喬雄: 公営住宅の室内気候実態調査, その 2 札幌地区, RC 造と軽量薄肉コンクリートプレハブ, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 47, 計画系, pp.165-166, 1972
  - 61) 澤島智明, 松原斎樹, 蔵澄美仁: 住宅の断熱性能による冬期居間の温熱環境と暖房の仕方の差異, 関西地域における住宅の温熱環境と居住者の住まい方に関する事例研究 その 1, 日本建築学会計画系論文報告集, 565, pp.75-81, 2003.3
  - 62) 澤島智明, 松原斎樹, 蔵澄美仁: 冬期主寝室および LDK 周辺空間の暖房の仕方, 関西地域における住宅の温熱環境と居住者の住まい方に関する事例研究 その 2, 日本建築学会環境系論文報告集, 572, pp.23-29, 2003.10
  - 63) 地濃祐介, 松原斎樹, 飛田国人, 青地奈央, 須藤由佳子, 蔵澄美仁: 冷房の使用開始時期と居住者の意識・住まい方との関連, 日本建築学会環境系論文報告集, 73, 626, pp.527-533, 2008.4
  - 64) 飛田国人, 松原斎樹, 井上ともみ, 谷村真由美, 青地奈央, 須藤由佳子, 地濃祐介, 蔵澄美仁: 京都市の集合住宅居住者の夏期の室内熱環境調節手法における理想と実態の関係, 日本建築学会環境系論文報告集, 73, 625, pp.385-391, 2008.3
  - 65) 宮田希, 松原斎樹, 大和義昭, 澤島智明, 合唱頭, 蔵澄美仁, 飛田国人: 夏の涼のとり方に影響する要因の考察-西日本 4 地域における実態調査より-, 日本生気象学会誌, 49(1), pp.23-30, 2012
  - 66) 澤島智明, 松原斎樹: 居住者の冷房の仕方と暖房の仕方の関係-プレハブ住宅居住者の夏期・冬期の環境調節行為に関する研究-, 日本建築学会環境系論文報告集, 79, pp.27-35, 2014.1
  - 67) 中谷岳史, 松原斎樹, 蔵澄美仁: 関西地域の住宅における熱的快適性に関する実態調査, 夏期中立温度と許容範囲, 日本建築学会環境系論文報告集, 597, pp.51-56, 2005.11
  - 68) 植木丈弘, 原田昌幸, 小松尚, 久野覚, 齋藤輝幸: 小学校の休み時間における児童の遊び行動と温熱環境条件に関する研究, 日本建築学会環境系論文報告集, 654, pp.749-757, 2010.8
  - 69) 斉藤 雅也: ヒトの想像温度と環境調整行動に関する研究 夏季の札幌における大学研究室を事例として, 日本建築学会環境系論文報告集, 646, pp.1299-1306, 2009.12
  - 70) 小林陽太郎他: 事務所建築内の季節別温熱条件の空間分布・人体皮膚温の実測及び温冷感・快適感の申告に基づく, 暫定的室内環境基準に関する提案 I 季節別温熱条件の分布と温冷感及び快適感の申告, 空気調和・衛生工学, 46(12), pp.1097-1135, 1972
  - 71) 小林陽太郎, 磯田憲生: 温熱環境と温冷感・人体反応に関する現場実測調査-印刷工場の検査作業室, 空気調和・衛生工学, 53(10), pp.35-45, 1979

- 72) 成瀬哲生, 南野脩: 温熱環境と温冷感・着衣量に関する現場実態調査・学校の教室, 空気調和・衛生工学, 53(8), pp.57-66, 1979
- 73) 磯田憲生, 南野脩, 井上輝彦, 伊藤民雄, 藤井正一: 事務所ビルにおける温熱環境と温冷感および着衣量に関する実態調査研究 その 1~12, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.125-128, 1979 など

#### 注

注 1) 「快適温度」(comfort temperature) は、本論文で参照している文献を含め、環境適応研究で多くの研究者に用いられている用語である。平均的な回答者、または最も多くの回答者が快適と感じる温度と Nicol et al.<sup>14)</sup>は解説している。温冷感が中立になるときの温度、「熱的中立温度」とほぼ同義と考えられる。ただし、熱的中立温度の求め方は統一されておらず、研究者や調査方法によって、使用される尺度や手法に様々なバリエーションがある(快適と感じるまで室温を直接調節する方法、室温に対する温冷感の直線回帰から求める方法、室温に対する適温感のプロビット回帰から求める方法など。McIntyre の Indoor Climate<sup>23)</sup>に詳しい)。厳密には、手法が異なれば、導かれる温度の定義も異なる。そこで、複数の手法によるデータをまとめて扱う際に、

これらの総称として「快適温度」という用語が用いられていると考えられる。本論文では、参照している文献中の表現に従って記載している。

注 2) 2004 年に初めて ASHRAE 55 基準に adaptive model が導入されて以後、2010、2013 の 2 度にわたって改定が行われている。最新の 2013 年版では、対象空間の呼称が当初の naturally conditioned spaces から occupant-controlled naturally conditioned spaces に代わった。4 つの適用条件についても、改定の度に微修正されている。特筆すべきは、2013 年版で「執務者が自由に開閉できる屋外に面した窓がある」という項目が削除されたことである。対象空間に"occupant-controlled"の表現を加え、窓以外の調節方法にも可能性を広げたと考えられる。実務上の有用性からこのような改定が継続的に行われているが、根拠となっている de Dear and Brager<sup>12)</sup>の adaptive model の本来の建築的文脈との関係性が不明瞭になってきている。そのため、本論文では原典の文脈の定義に近い 2004 年版の適用条件を示している。

(2013年9月10日原稿受理, 2014年3月31日採用決定)