

住宅の温熱環境調節行為モデルの推定精度の検証

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻 建築環境工学研究室
学籍番号：1190083 氏名：白川凌雅
指導教員：田島昌樹

住宅 SET* 実測調査 温熱環境調節行為

1. はじめに

近年、わが国では東日本大震災を契機としたエネルギー問題に直面しており、平成 28 年に建築物省エネ法が施行されるなど、建築分野でも制度上の対策が進んでいる。住宅では断熱性能や日射遮蔽性能による外皮基準とともに一般的な使い方を想定した暖房、冷房、換気、給湯、照明等を対象とした一次エネルギー消費量基準が設定されている。これらの設備の中で、暖房と冷房は個人の温冷感に左右されることから、暖房設備や冷房設備の発停のみならず、通風や扇風機の利用など温熱環境調節行為（以下、調節行為）は複雑で多岐にわたる。そのため暖冷房のエネルギー消費の正確な推定には調節行為の起因となる条件の把握とそのモデル化が重要な課題となっている。

澤地ら^[1]は居住者の生活習慣や温熱感覚が調節行為を決定しているとの研究結果を示しているほか、羽原ら^[2]は自然通風も考慮に入れ快適性や暖冷房にかかるエネルギー消費量の定量的な把握を試みている。本研究では、これらのうち羽原らが提案したシミュレーションモデルのための SET*による調節行為モデルに着目し、モデルの推定精度の検証を目的として、実測データに基づいた調節行為との比較を行った。

2. 研究概要

羽原らが提案した室内温熱環境調節行為モデルである室内温熱環境レベルの判断フロー（以降、判断フロー）を図 1 に示す。判断フローは、自然通風を行う住宅の温熱環境と空調エネルギー消費を予測する際に用いられているシミュレーションモデルで、居住者が自身の温熱感覚により現時刻の室内温熱環境を判断し、次の調節行為を決定するという条件下で構築されている。このフローの

判断基準には SET*（環境側 4 要素（空気温度、相対湿度、放射温度、気流）と人体側 2 要素（着衣量、代謝量）を考慮した温熱環境の快適性を表す指標）が用いられている。このフローでは、居住者が室内温熱環境を不快と感じず許容できる範囲を SET*で示し、非暖冷房空間の熱的許容域（以降、熱的許容域）と呼ぶ。判断フローは対象時刻の SET*を計算し、無風でも寒いと感じる環境、自然通風程度の風速が必要な環境、扇風機使用程度の風速が必要な環境に分類する。次に自然通風や扇風機使用により熱的許容域に入るか否かを判断することで温熱環境を 5 段階にレベル分けし、居住者が次に選択する調節行為を決定する。

本研究では夏期および冬期にエアコンを利用している住宅を対象に、室内温熱環境とエアコンの作動時間の実測調査を行った。測定結果からエアコン作動開始前の SET*の計算を行い、判断フローにより得られた温熱環境レベルと実測データにより判断された温熱環境レベルが合致しているかの分析を行った。

3. 室内温熱環境実測

3.1. 測定概要

表 1 に対象住宅の概要、表 2 に測定項目を示す。夏期および冬期の調節行為としてエアコンを利用している住宅の主居室（リビング、ダイニング）を対象として測定を行い、空気温度と相対湿度の測定結果についてまとめた。外気の測定を行っていない住宅は気象庁の Web サイト^[3]より当該地域に最も近い観測点の外気温度の気象データを取得し、当該住宅の外気温度として扱った。測定は直射日光が当たらない場所であつ高さを床上 75cm~150cm の範囲に生活上不便にならないことを優先した位置で行った。

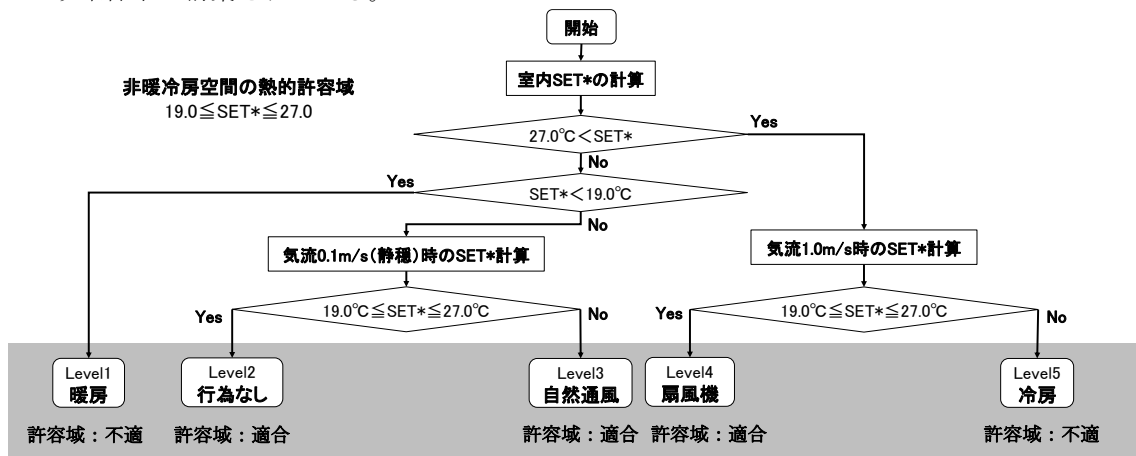


図 1 室内温熱環境レベルの判断フロー

表 1 対象住宅の概要

※H:平成、S:昭和

| 名称 | 測定年度 | 外気測定 | 地域区分 | 建設年 | 構造 | 階数 | 延べ床面積 | 世帯人数 | 主居室床面積 | 主居室主開口の向き |
|-----------------|------|------|------|--------|-----|-----|-------------------|------|------------------|-----------|
| A | H29 | 夏 冬 | 6 | S45 以前 | 木造 | 1 階 | | 2 人 | | |
| B | H30 | 冬 | 7 | S54 | 混構造 | 3 階 | 79m ² | 2 人 | 22m ² | 東 |
| C | H27 | | 6 | S55 以前 | 木造 | 1 階 | 83m ² | 2 人 | | |
| D | H27 | | 6 | S55 以前 | 木造 | 1 階 | 138m ² | 5 人 | | |
| E | H20 | 冬 | 6 | H6 | 木造 | 2 階 | 106m ² | 2 人 | 20m ² | 北東 |
| F | H30 | 夏 | 7 | H12 | 混構造 | 2 階 | 150m ² | 4 人 | 30m ² | 南 |
| G | H27 | | 6 | H17 | 木造 | 2 階 | 120m ² | 3 人 | | |
| H | H28 | | 7 | H24 | 木造 | 2 階 | 110m ² | 4 人 | | 南 |
| I ₂₉ | H29 | | | | | | | | | |
| I ₃₀ | H30 | 夏 | 7 | H25 | 木造 | 1 階 | 55m ² | 2 人 | 26m ² | 南東 |
| J | H29 | 冬 | 7 | H25 | 木造 | 2 階 | 117m ² | 6 人 | 39m ² | 西 |
| K | H29 | 冬 | 7 | H25 | 木造 | 2 階 | 92m ² | 4 人 | | |
| L | H29 | 冬 | 7 | H25 | 木造 | 2 階 | 88m ² | 3 人 | 19m ² | 西 |
| M | H30 | 夏 | 7 | H30 | 木造 | 1 階 | 40m ² | 2 人 | 10m ² | 南 |
| N | H30 | | 6 | H25 以降 | 木造 | 2 階 | 120m ² | | 32m ² | 南 |

3.2. 夏期実測結果

図 2 と図 3 に夏期のリビングにおける空気温度と相対湿度の測定結果を示す。建築物衛生法の衛生管理基準値^[4]を図中のグレーの範囲で示し、住宅名の下の数値はその適合割合を示す。また図 2 の箱ひげ図上部に測定期間中の外気温度の平均値を示す。N 邸はエアコンの消費電力の測定より、冷房を習慣的に長時間利用する傾向がみられたため、空気温度と相対湿度ともに適合割合がその他の住宅より比較的大きくなったと考えられる。

3.3. 冬期実測結果

図 4 と図 5 に冬期の測定結果を示す。冬期は省エネ基準が改正され、現行の外気性能である H11 以降建設の住宅が H10 以前建設の住宅より空気温度の適合割合が大きくなった。また H10 以前建設の住宅は相対湿度のデータ範囲が広くなり、断熱性能の違いによる影響があると考えられる。

4. エアコン作動 10 分前の温熱環境レベルの判断

4.1. 温熱環境レベル判断の概要

実際の住宅におけるエアコン作動開始数分前の温熱環境レベルと判断フローにより判断された温熱環境レベルが合致しているか分析する。調節行為はこの判断フローにより、Level1 は暖房使用、Level2 は調節行為なし、Level3 は自然通風利用、Level4 は扇風機使用、Level5 は冷房使用の 5 段階となっている。本研究では冷房を使用する Level5 と暖房を使用する Level1 の温熱環境に着目し、実際の調節行為と合致しているかを分析した。

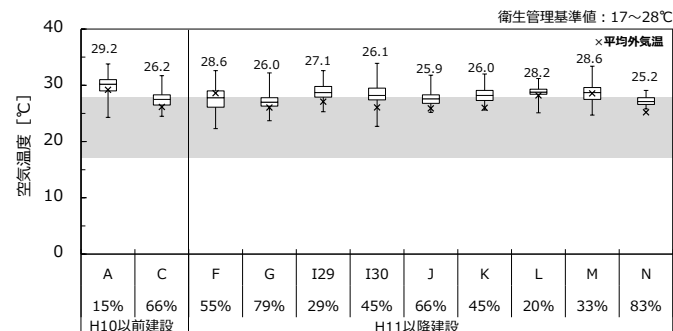


図 2 空気温度 夏期

表 2 測定項目

| 測定項目 | 使用機器 | 測定間隔 |
|--------------|--|------|
| 空気温度 相対湿度 | RTR-503, TR-72wf RTR-53A, HI-2000SD | 10 分 |
| 二酸化炭素濃度 | KNS-CO2S | 10 分 |
| エアコン消費電力 | KNS-WP-WN | 10 分 |

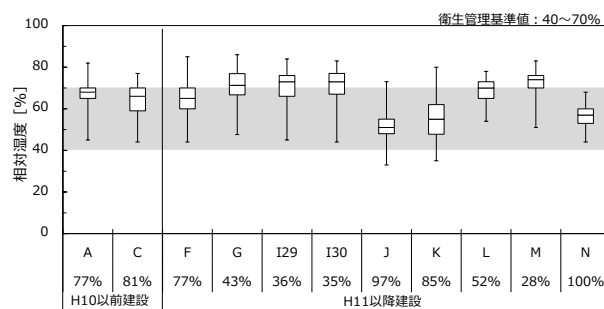


図 3 相対湿度 夏期

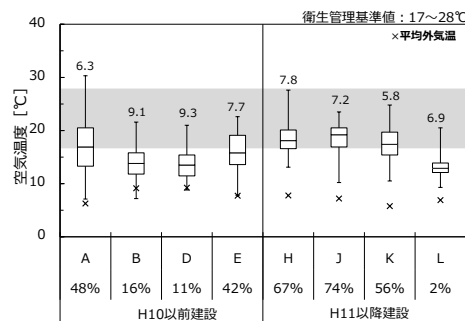


図 4 空気温度 冬期

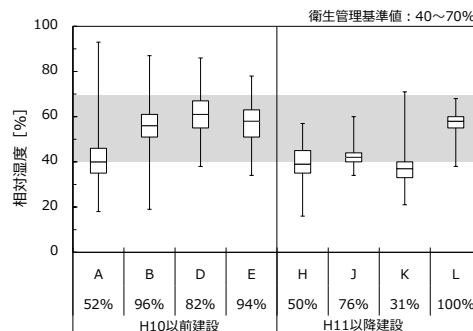


図 5 相対湿度 冬期

4.2. 温熱環境レベル判断の手順

室内温熱環境レベルを判断するにあたって、エアコンの作動時間の把握を行った。作動時間はエアコンの消費電力から判断し、消費電力を測定していない住宅においては室内の空気温度、相対湿度、CO₂濃度と外気温度、エアコンの吹き出し口の空気温度の関係性から判断した。

測定結果を用いて SET*を算出した。判断フローにおける SET*の計算条件を表 3 に示す。空気温度と相対湿度は実測値、夏期の気流として 0.2m/s^[5]を用いて SET*を計算した。

次に居住者がエアコン作動 10 分前に判断した温熱環境レベルと判断フローによる温熱環境レベルを比較し合致しているかを分析した。居住者が調節行為を選択する際にはエアコンを作動させる数分前の温熱環境から影響を受けると考えられ、測定期間が 10 分間隔であるため、エアコン作動開始 10 分前の温熱環境を対象とした。

4.3. 夏期の分類結果

図 6~8 に夏期の冷房開始 10 分前の温熱環境レベルを建設年、主居室の床面積、冷房開始 2 時間前から冷房開始までの平均外気温度について場合分けして分類した結果を示す。冷房開始する 10 分前の温熱環境レベルが Level5 となるときは割合を Level5 の適合割合とする。Level5 の適合割合が 100%の場合の範囲をグレーのハッチング、その割合を住宅名の下に示し、適合割合が大きいほど居住者は判断フローと同様の温熱環境で冷房を開始したといえる。I 邸においては H29 と H30 のデータを合わせて分析した。夏期は Level5 の適合割合が全体で 10%と低く、Level 3, 4 で冷房開始している住宅が多いという結果となった。

図 9~11 に Level4,5 の適合割合を建設年、床面積、平均外気温度の 3 項目でそれぞれ 2 組に分類し、統計的に比較したものを示す。z 検定により 3 項目全てに有意差がみられた(p<0.01)。建設年による分類では H11 以降建設の住宅の適合割合が H10 以前建設の住宅より小さいという結果を得た。主居室の床面積の分類では床面積が大きいと適合割合が小さくなった。外気温度については冷房開始 12 時間前から冷房開始までの間における平均外気温度の分類の中で統計分析に最も有意差がみられた 2 時間前から開始までの平均外気温度の結果を示した。2 時間前から開始までの外気温度が高いほど適合割合は大きくなった。

表 3 室内温熱環境レベルの判断フローの SET*計算条件

| 測定時期 | 夏期 | 冬期 |
|------|-------------|--------|
| 放射温度 | 空気温度と等しいと仮定 | |
| 気流 | | 0.1m/s |
| 着衣量 | 0.3clo | 0.7clo |
| 代謝量 | 1.0met | |

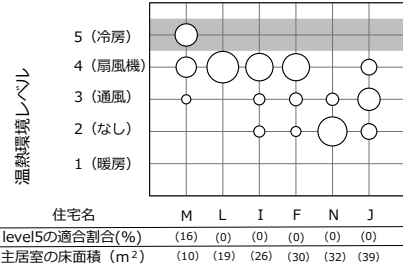


図 7 冷房 10 分前の温熱環境レベル 床面積

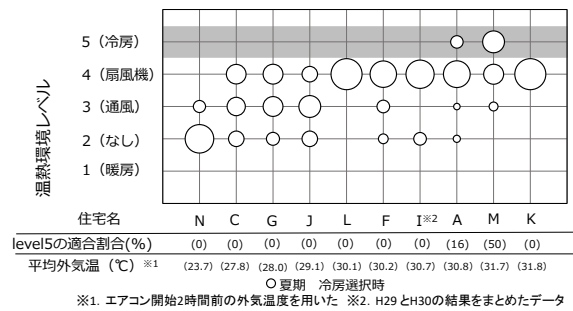


図 8 冷房 10 分前の温熱環境レベル 過去 2 時間の外気温度

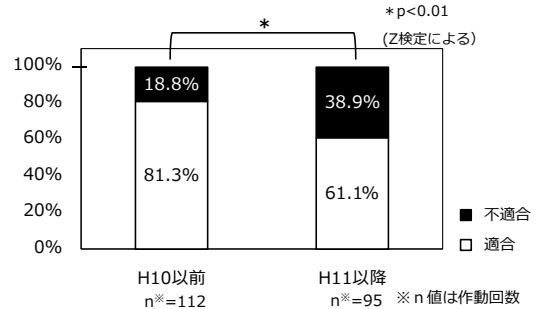


図 9 Level4,5 の適合割合 建設年 夏期

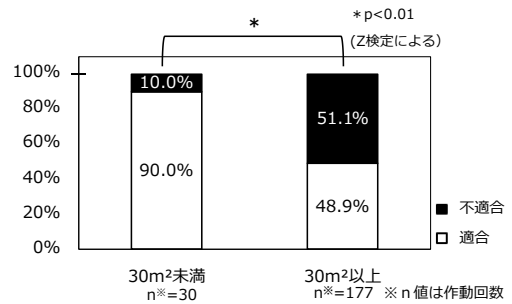


図 10 Level4,5 の適合割合 主居室の床面積 夏期

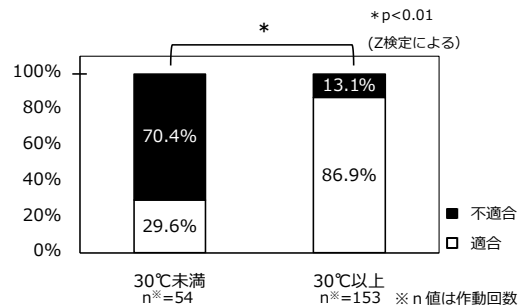


図 11 Level4,5 の適合割合 平均外気温度 夏期

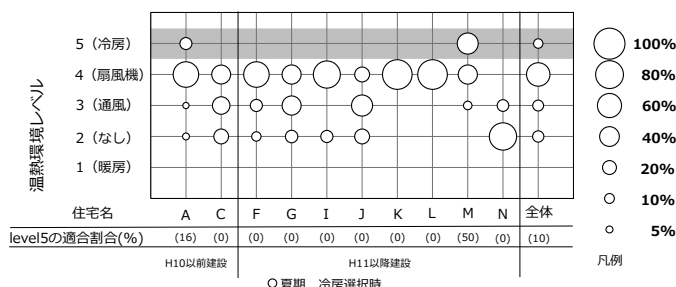


図 6 冷房 10 分前の温熱環境レベル 建設年

4.4. 冬期の分類結果

図12~14に冬期の暖房開始10分前の温熱環境レベルの分類結果を示す。暖房使用とされる Level1 で暖房開始している住宅が多く、全体で 87%を占めた。図15~17に統計分析した結果を示す。z 検定により建設年の分類には有意差はなく、主居室の床面積と暖房開始2時間前から暖房開始までの平均外気温度による分類結果に有意差がみられた(p<0.01)。主居室の床面積は面積が大きいほど適合割合が小さくなり、外気温度は寒いほど適合割合が大きくなった。

4.5. 考察

夏期の冷房開始となる Level5 の適合割合は全データの10%であるのに対し、冬期の暖房使用開始となる Level1 の適合割合は 87%と高くなっており、よりエネルギー消費量が多い暖房時に比較的正確な予測ができる結果となっている。建設年に着目すると、夏期は H10 以前建設の住宅の適合割合が統計上有意な差をもって高く、断熱性能が低く冷房用エネルギーが大きくなりやすい住宅ほど正確に予測できる結果である。また外気温度については、夏期は高いほど、冬期は低いほどモデルの適合割合は統計的に有意な差をもって高い結果となり、やはり暖冷房のエネルギー消費量が多い条件ほど正確な予測ができる結果となっている。

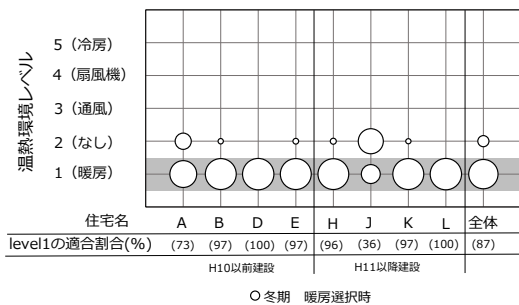


図12 暖房10分前の温熱環境レベル 建設年 冬期

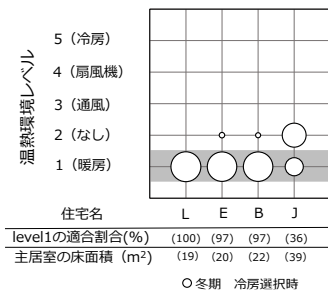


図13 暖房10分前の温熱環境レベル 床面積 冬期

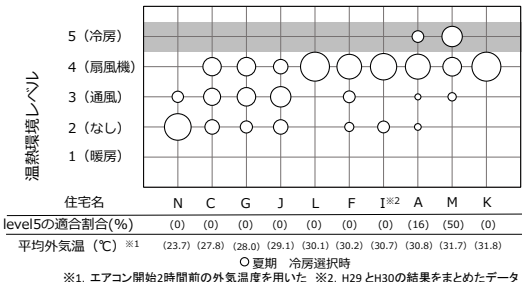


図14 暖房10分前の温熱環境レベル 過去2時間の外気温度

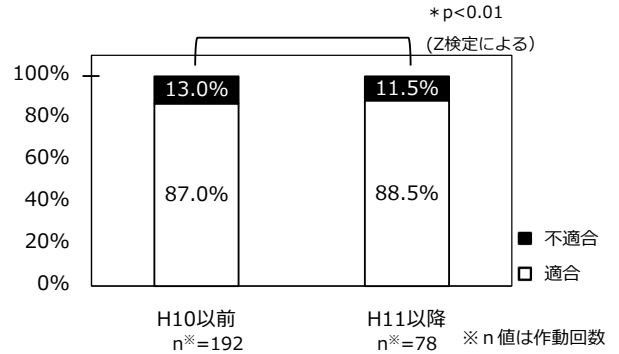


図15 Level1の適合割合 建設年 冬期

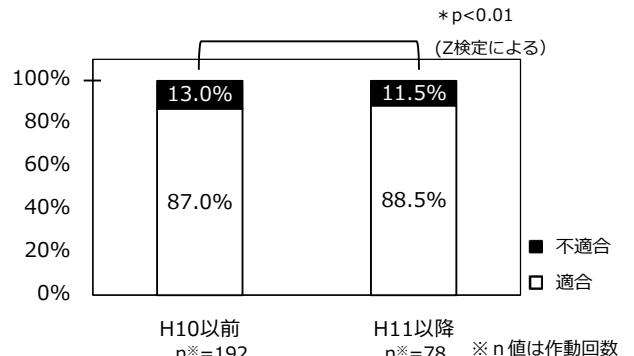


図16 Level1の適合割合 主居室の床面積 冬期

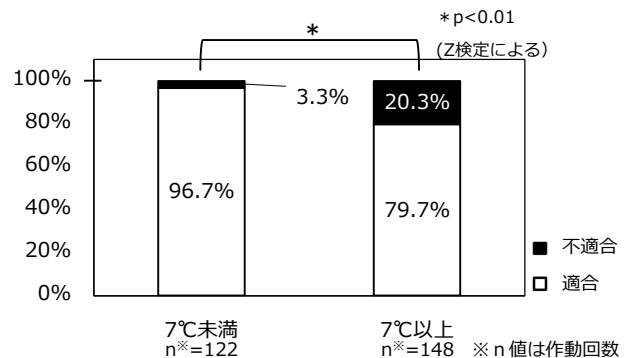


図17 Level1の適合割合 平均外気温度 冬期

5. おわりに

SET*による温熱環境調節行為モデルの推定精度検証を目的として、実測データに基づいた温熱環境調節行為との比較を行った結果、以下の知見を得た。

羽原らが提案した温熱環境調節行為モデルは暖冷房のエネルギー消費量が大きくなる条件ほど、実測データに基づいた温熱環境調節行為との適合割合が有意差をもって高くなった。よって温熱環境調節行為モデルは暖冷房のエネルギー計算上、比較的正確に温熱環境を判断することができるといえる。

参考文献

- [1]澤地孝男・松尾陽・羽田野健・福島弘幸, 暖冷房行為発生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, 一般社団法人日本建築学会, 日本建築学会計画系論文報告集, 第382号, pp.48-59, 昭和62年12月
- [2]羽原宏美・鳴海大典・小林誠治・下田吉之・水野稔, 自然通風を行う住宅の室内温熱環境および空調エネルギー消費予測手法の開発, 一般社団法人日本建築学会, 日本建築学会環境系論文集, 第582号, pp.107-114, 2004年8月
- [3]国土交通省, 気象庁 各種データ・資料, 過去の気象データ・ダウンロード, <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>
- [4]厚生労働省, 建築物環境衛生管理基準について, <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-isei10/>
- [5]中川克也, 事務用途室を対象とした室内空気環境の評価手法に関する研究, 高知工科大学 修士論文, 2018.2