

# 外気条件を考慮した冷房利用と通風利用の相互補完関係について Relationship between outdoor temperature and thermal control use during summer-autumn in apartments

大阪市立大学工学研究科 梅宮 典子  
Graduate school of engineering, Osaka city university, Noriko Umemiya

## 1. はじめに

冷房利用と通風利用がどのように補完しあっているか、外気条件によってその関係がどう変化するかについて、集合住宅における夏季から秋季にかけての実測をもとに分析した。

現行の温熱環境基準は、実験室におけるヒトの生理・心理反応にもとづいており、居住者による温熱環境調節を考慮に入れたものではない。実験室の被験者は、与えられた温熱環境に対する生理・心理的な反応を期待される。しかし実際の生活場面では居住者は温熱環境に反応するだけでなく、感覚にもとづいて温熱環境を変えることもある。温熱環境と快適性は一方向性の因果関係ではなく、相互依存的な関係にあると見るのが妥当である。近年、環境負荷低減が求められるなかで、de Dearら(1998)は Adaptive model において、着衣量調節、代謝量調節や窓開閉など居住者による温熱環境適応行為を考慮すれば、室温の快適域は外気温に応じて変化させると主張している。Rajaら(2001)は、自然換気をおこなうオフィスビル居住者の不快発生率は窓開閉や扇風機使用などの局所気候調節行為の生起率と高い相関があり、局所気候調節が居住者の環境適応にとって重要であると述べている。居住者による温熱環境調節行為は快適性に寄与すると同時に、過冷房、過暖房を防止して環境負荷低減に寄与し、自然エネルギーの有効利用にもつながると考えられる。

既往研究が明らかにしているように、オフィスと異なり住宅の居住者は、全面的に冷房に依存せずに、冷房の発停や窓の開閉などの調節をおこなっている。居住者の環境調節を考慮した室内環境設計のためには、環境調節行為の実態を把握し、行為の生起特性を明らかにする必要がある。環境調節行為の研究には Rajaら(2001)、前ら(2002)、梅宮ら(2004)、Nicolら(2004)、羽原ら(2005)、浅輪ら(2005)などがあり、最近増加しているものの、詳細に長期間にわたって測定した例は少ない。本稿は、同じ間取りの10戸を対象として筆者らがおこなった20秒間隔・4ヶ月間にわたる測定調査について概説する。

## 2. 方法

### 2.1 調査対象住戸

冷房と窓開閉の相補関係を明らかにするために、小規模で部屋数が少なく単純な間取りの住戸を研究対象とした。こうした住戸は、1)小規模で部屋数が少ないことから外気の影響を受けやすく、冷房使用行為や開閉行為が内外温熱環境条件に対して直接的に生起する、2)エアコンが1台で開口部の数も少ないため、冷房使用行為と開閉行為の相補関係が把握しやすい、3)居住人数が1~2人であるため、調節行為の生起基準が比較的単純である、といった特性が、研究の目的に適っていると考えたからである。

測定対象建物を選定するにあたっては、調査の便宜の他に、主要窓開口部方位が南向き、東西向きの両方の住戸を有すること、総住戸数が多く同じ間取りの多数の住戸から協力が得られやすいこと、を条件とした。

選定した建物は、大阪市内南部に建つ賃貸集合住宅である。SRC造11階建て、1975年築、住戸数204戸であり、地下鉄駅から徒歩5分に立地し、隣地は中・低層住宅であるが、周辺には民間や市営、公団の高層集合住宅が建ち並ぶ。敷地西側には直接面してはいないが幅約30mの幹線道路がある。敷地の約500m南には大和川が流れている。建物周辺図を図1に示す。

対象建物は、1階にエントランスホール、管理人室と会社事務所があり、一部ピロティ（駐輪場）である。2~11階が賃貸住宅スペースで、南北方向の中廊下を挟んで東、西および南に住戸が配置されている。住戸の主要開口部の方位は東、西、および南であり、間取りは東向きと西向きが同じで、東・西向きと南向きの2種類がある。西向き住戸の間取りを図2に示す。西向きと南向き住戸を対象に協力住戸を募集し、西向きの8住戸(2、5、6、10階の各1戸、8、9階の各2戸)と南向きの2住戸(7階、8階各1戸)の計10住戸から測定許可を得た。

各住戸でエアコンはほぼ同じ位置に設置されている。間仕切りは取りはずすか、開放したままが多い。

窓は掃き出し窓で、網戸があり（1戸はレースカーテン）、障子やカーテンがつけられている。ベランダに出るドアは主に洗濯やゴミ出しに使われる（洗濯は2～3日に1回が5戸）、玄関扉には開放のための固定具はない。床は畳の上にカーペット敷きが多い。

居住人数は1人が5戸（男4、女1）、2人（男1と女1）が5戸である。年齢は70代1戸、40代1戸、他は20～30代である。居住年数は1戸で15年である以外は2～3年である。生育地は大阪や四国が多く、2戸は外国出身者（中国、米国）が居住する。1戸を除いて有職で、勤務時間は不規則5戸、交代制夜勤あり1戸、主に夜勤1戸である。専業主婦が昼間在宅する住戸は2戸である。休日は不定期が半数である。生活型は夜型3戸、朝型3戸、不規則2戸で、概して在宅状況は不規則である。

## 2.2 測定期間

測定は2004年8月21～25日に順次開始し、12月11～15日まで行った。但し南向きの1戸では居住者の希望により10月19日に測定を終了した（この住戸は中間期以降のデータがない）。調査期間は後述の方法で冷房期、冷房終了期、中間期、暖房開始期、暖房期に区分する。本稿は主に冷房期～中間期について述べる。

## 2.3 測定項目

測定項目は室内の気温、湿度、グローブ温度、エアコン吹き出し口温度、開口部の開・閉、照度である。気温は床にポールを立て、床上0.1、0.6、1.1mにおいてT型熱電対（0.7mm）により20秒間隔で測定した。湿度は同じポールの床上0.6mにおいて簡易湿度計により1分間隔で測定した。グローブ

温度は、西向き住戸4戸、南向き住戸1戸の床上0.6mにおいて熱電対により20秒間隔で測定した。これらの測定位置には生活に支障のない範囲で室温を代表すると思われる位置を選んでおり、住戸により異なる。エアコン吹き出し口温度は冷房使用・不使用の判定のため、熱電対により20秒間隔で記録した。開口部の開・閉は、市販の防犯ブザーを加工したセンサーを窓、ベランダのドア、玄関扉などすべての開閉可能な開口部に貼り、20秒間隔で記録した（玄関扉には9月中旬に設置）。照度計は、在宅・不在を把握できる位置に設置した。測定状況を写真1に示す。

室内気流と通風率分布は、調査とは別に1住戸で各開口部開・閉の7パターンについて測定した。外気温には、調査対象建物から西に約800m離れた建物屋上において通風式温湿度EKO-MH-011PSにより1分間隔で測定した気温を用いる。約20km離れた大阪管区气象台における観測気温との相関は、調査期間において $r^2 = .97$ であった。

## 2.4 調査項目

測定に先立ち、居住者の年齢、職業、出身地などの基本的属性、ライフスタイル、冷房使用に対する意識、体質、住環境評価ほかについて調査票への記入を依頼した。測定期間中は約10日ごとに各住戸を訪問し、データ保存の他に測定機器の点検と位置の確認、居住者へのヒアリング（不具合の発生や在宅状況、冷房使用状況など）、および間仕切りの使い方や家具配置の変更状況の観察をおこなった。また、居住者に日誌を渡して毎日の在宅時間帯、冷暖房使用の有無、窓開放の有無を記録するように依頼した。毎月の電気、ガスの料金と使用量も調べた。

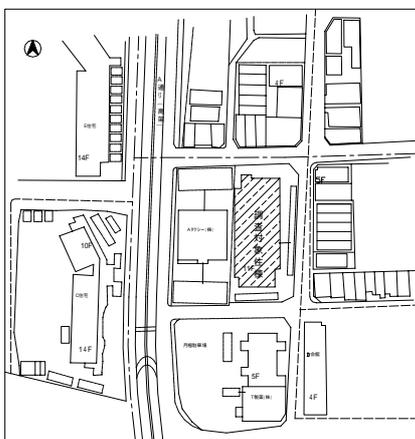


図1 対象建物周辺図

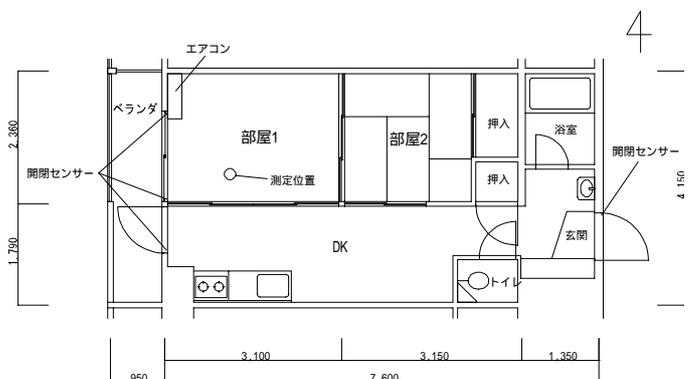


図2 測定住戸の平面図（西向き住戸）

### 3. 用語の定義

#### 3.1 冷房使用率、開放率

開放・閉鎖は開閉センサーの記録から、冷房の使用・不使用はエアコン吹き出し口温度と室温から判定する。本研究では、複数ある開口部のうち1つ以上が開放されている状態を「開放」、すべて閉鎖の状態を「閉鎖」と定義する。冷房使用率と開放率は、以下のように居住者在宅時のみを対象に定義する。

ある住戸に対する冷房や開放の使用率  $R$  は、 $T$  を合計在宅時間とすると、居住者が在宅する時刻  $t$  ( $t=1, 2, \dots, T$ ) における不使用を 0、使用を 1 として、式(1)で定義する。

$$R = \frac{\sum_{t=1}^T \delta_t}{T} \quad \dots (1)$$

$$\delta_t = \begin{cases} 0 & \text{: 時刻 } t \text{ において不使用} \\ 1 & \text{: 時刻 } t \text{ において使用} \end{cases}$$

$$t = 1, 2, \dots, T$$

複数の住戸に対する平均使用率  $R_{mean}$  は、 $n$  を住戸数、 $T_i$  を住戸  $i$  の合計在宅時間とすると、住戸  $i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) において居住者が在宅する時刻  $t_i$  ( $t_i=1, 2, \dots, T_i$ ) における不使用を 0、使用を 1 として、式(2)で定義する。

$$R_{mean} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{t_i=1}^{T_i} \delta_{t_i}}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad \dots (2)$$

$$\delta_{t_i} = \begin{cases} 0 & \text{: 時刻 } t_i \text{ において不使用} \\ 1 & \text{: 時刻 } t_i \text{ において使用} \end{cases}$$

$$t_i = 1, 2, \dots, T_i$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

居住者の在宅・不在は、冷房使用、玄関扉の開閉記録、照度変化、居住者の普段の在宅時間についての訪問時のヒアリング結果、および居住者の日誌をもとに、各住戸の各時刻について総合的に判定する。在・不在が確実に判定できない場合は、「不明」として別に扱う。

#### 3.2 期間の区分

冷房使用や開放の状況は夏季においても盛夏期から残暑期にかけて変化するため、本研究では期間を区分して分析する。図3に、10住戸平均の日平均冷房使用率と日平均開放率の日ごとの推移を示す。開放率は9月から10月中旬にかけて0.5をこえる日があるが、8月は0.2前後で推移し、10月下旬以降、ほぼ0.2以下になる。一方、冷房使用率は8月から10月にかけて顕著な変化を示す。そこで本研究では以下のように、冷房使用率の推移をもとに季節を区分する。

まず住戸平均の日平均冷房使用率が0.5以上の期間を「冷房期」とする。冷房使用率は9月11日に0.5より低いが9月12日~21日には0.5をこえ、22日に再度0.5より低くなり、22日以降ほぼ0.5以下で推移することから、「冷房期」は9月21日までとする。また、9月22日から10月13日まで変動しながらも急激に0に近づき、10月14日以降、冷房使用率がほぼ0になることから、この9月22日から10月13日までを「冷房終了期」とする。



調査風景



開閉センサー

写真1 実測風景



温湿度測定ポール

中間期は冷房を使用しなくなってから暖房を開始するまでの期間とする。ヒアリングによると10月のうちに3住戸が暖房を開始し、11月4日に4番目に暖房を開始した住戸を含む3住戸が暖房を使用しており、3分の1以上の住戸が暖房を開始したことから、11月4日以降を「暖房開始期」とする。それ以前の10月14日から11月3日までを「中間期」とする。11月14日には5番目に暖房を開始した住戸を含む4住戸が暖房を使用し、以降の日は少なくとも2住戸が暖房を使用していることから、11月4日から13日を「暖房開始期」、11月14日以降を「暖房期」とする。なお暖房には電気コタツ、ホットカーペット、電気ファンヒーター、灯油ストーブ、エアコンなど種々の暖房機器が使用されたため、暖房の使用・不使用は居住者ヒアリングから判定した。

### 3.3 冷房と開放の選択率

夏季の室内温熱環境調節手段としての冷房および開口部開放の使用・不使用の組み合わせには、wo：冷房不使用+開放、fr：冷房不使用+閉鎖、ac：冷房使用+閉鎖、aw：冷房使用+開放の4通りが考えられる。以降、これら4状態の選択率をそれぞれ、WO、FR、AC、AWと称す。選択率は在宅時についてのみ定義する。選択率は1刻みの室温、外気温に対して求める。すなわち、気温の少数点以下を切り捨てて1K刻みで表し、その気温範囲に出現した各気温に対応する選択率を平均した値を、その気温範囲に

おける選択率と定義する。各気温において、WO、FR、AC、AWの合計は100%である。

### 4. 冷房使用と開放の相補関係

#### 4.1 在宅時における室温および外気温の日平均値の推移

外気温と室温の日平均値の推移を図4に示す。室温、外気温とも在宅時のみの値とする。図4の室温は、各住戸の床上0.6mにおいて測定した気温(在宅時のみ)の日平均値を、全住戸で平均した値である。以降、「日平均室温」と称す。

図4によると日平均室温は、8月から9月中旬にかけて(冷房期)、外気温を下回る日があるが、9月下旬以降(冷房終了期)、外気温より高くなり、外気温との差は9月下旬から10月中旬にかけて(中間期)、徐々に拡大する。10月中旬以降、室温は24前後に保たれる。室温は外気温より変動は小さいものの、外気温が低い日は低く、外気温の影響があらわれている。

#### 4.2 在宅時における室温と外気温の出現頻度

図5~7はそれぞれ、外気温、室温、および内外気温差(外気温-室温)の相対出現頻度である。外気温は1分間隔、室温は20秒間隔の測定値である。ここで室温とは在宅時の各時刻において各住戸の床上0.6mで測定された室温である。外気温は、それらの室温に対応する時刻における外気温である。

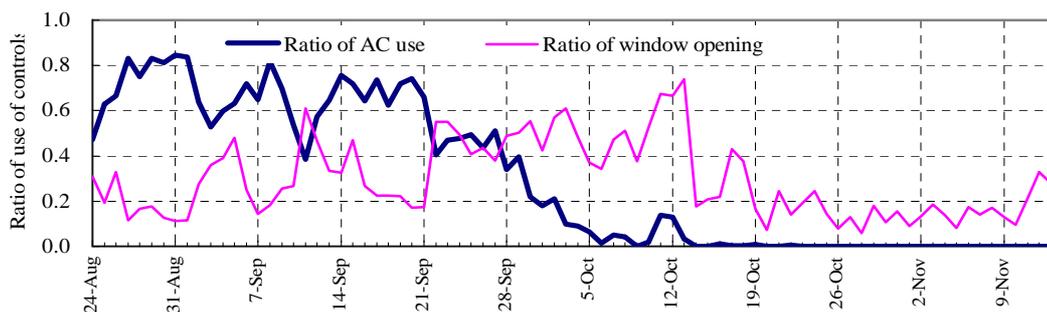


図3 住戸平均冷房使用率と開放率の推移

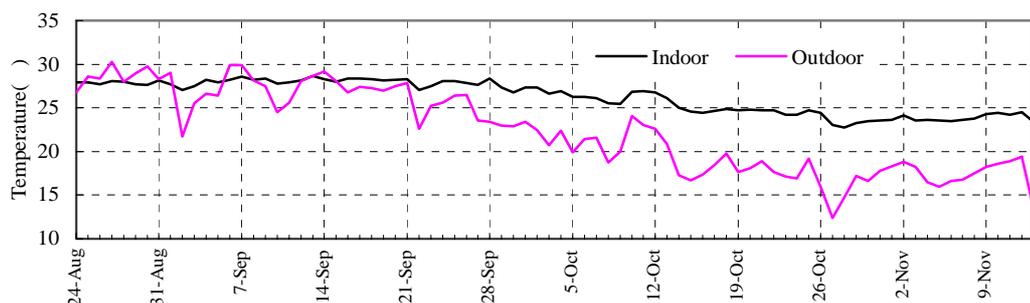


図4 日平均外気温と日平均室温の推移(在宅時)

図5によると外気温の最頻値は、冷房期は27、冷房終了期は二峰性で23と20、中間期は17、暖房開始期は14であり、冷房期から暖房開始期にかけて季節が推移するにつれて最頻値は徐々に下がる。一方図6によると、室温の最頻値は、冷房期と冷房終了期が同じ27、中間期と暖房開始期が同じ24である。これは、室温がその季節の外気温に応じて連続的に調節されるのではなく、その季節が冷房使用を前提としているかどうかによって決まることを意味している。冷房使用を前提とする冷房期や冷房終了期の室温の最頻値は、中間期より3K高い。

図7によると内外気温差（外気温 - 室温）は、冷房期には-7K~9Kの範囲にあり最頻値は0K、冷房終了期には-11K~5Kの範囲にあり最頻値は-5K、中間期には-15K~-1Kの範囲にあり最頻値は-8.5Kである。内外差の幅は、いずれの季節においても15K~16Kである。尖度は冷房終了期、中間期、冷房期の順であり、冷房終了期には-5Kの前後に60.5%が集中している。

#### 4.3 外気温と選択率

図8に、外気温と選択率WO、FR、AC、AWとの関係を冷房期、冷房終了期、中間期、および冷房期~暖房開始期の合計について示す。横軸の外気温は前述のように少数点以下を切り捨て1K刻みで表す。在宅時のみを対象とする。

##### 1) 冷房期

外気温26までは、外気温上昇につれてACは急激に上昇する。WOは外気温27までは急激に低下する。FRは27まで約15%前後で一定である。AWは33まで5%前後でほぼ一定である。したがって外気温27までは、外気温の上昇に対応するために、調節手段を窓開放から冷房使用に代えて室温を調節しているといえる。

外気温27~31の範囲では、ACは60~70%で一定になり、外気温が上昇してもACは上昇しなくなる。一方でWOは27から上昇に転じる。FRは28から低下し31のとき7.3%で最低になる。ACが上昇せずWOが上昇してFRが低下することから、この範囲の外気温では冷房使用ではなく開放によって、高い外気温に対応しようとしているといえる。

外気温が33になるとACは急上昇する。34になるとAWも急上昇を始める。33をこえると、開放による室温調節は行われず、室温調節は冷房に依るしかなくなるといえる。

以上のように冷房期の選択率は、外気温の上昇につれて単調に変化するのではなく、27、31、および33に選択の分岐点が存在する。

冷房期における冷房使用率  $p_{c.AC+AW}$  (%) は、外気温  $t_o$  により次式で回帰できる ( $r^2 = 0.98$ )

$$p_{c.AC+AW} = 0.1 t_o^3 - 2.8 t_o^2 + 26.06 t_o - 5.75 \quad \dots (3)$$

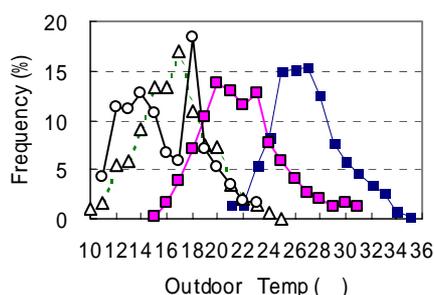


図5 外気温の季節別相対度数分布

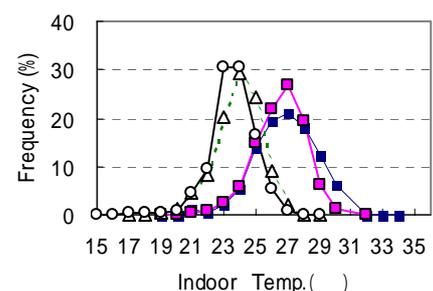


図6 室温の季節別相対度数分布

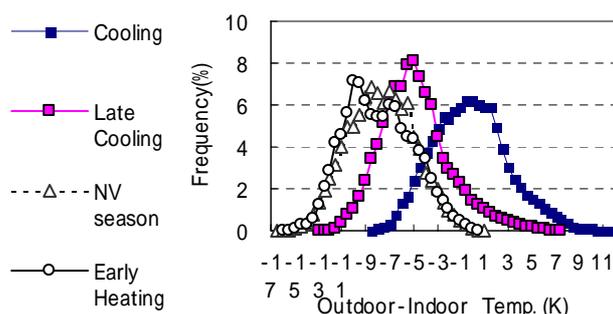


図7 内外温度差（外 - 内）の季節別相対度数分布

## 2) 冷房終了期

ACは外気温上昇につれて単調に上昇するが、22から23になると17.4%から34.7%に急上昇する。このときFRは24.7%から15.6%に低下する。WOは22で最高値57.6%をとるが、23から低下に転じる。外気温22までは窓閉鎖かつ冷房不使用が多いが23になると冷房が開始されることから、冷房終了期には23に選択の分岐点があるといえる。WOは23から30にかけて低下するが、その割合は緩やかでACの増加と並行しており、また、FRは外気温によらず15%程度であるので、冷房終了期には、外気温が23をこえて上昇すると、上昇につれてWOが緩やかにACに変化するといえる。

## 3) 中間期

外気温12~17の範囲では、WOはほぼ15%で一定である。18をこえるとWOは急激に上昇して24で77.9%になる。外気温の上昇1KあたりのWOの上昇率は10%で、ヨーロッパのオフィスの約2倍である。中間期における開放率 $p_{n.wc}$ (%)は、外気温 $t_o$ により次式で回帰できる( $r^2 = 0.99$ )。

$$p_{n.wc} = 0.05 t_o^3 - 0.62 t_o^2 + 4.26 t_o + 0.11 \quad \dots (4)$$

冷房期~中間期を合わせると、外気温22のWO、外気温27~31のAC、外気温31のWOなど、各季節の外気温と選択率の関係の特徴が明確になる。

## 4.4 室温と選択率

図9に、室温と選択率の関係を季節別に示す。

### 1) 冷房期

室温27から29の範囲では、選択率は急激に変化する。27でAC+AWが83.4%、28でAC+AWが58.0%でWOが27.6%、29でAC+AWが12.8%、WOが47.0%、FRが40.3%である。

室温29から31の範囲では、WOは50%前後で一定、FRは40.3%から48.6%にやや上昇する。この室温範囲では選択率はほとんど変化せず、同じ選択率に対して室温のみが異なることから、室温は外気温に影響されて決まっているといえる。

室温が32になると、WOは31からほぼ倍になって90%をこえ、FRはほとんどゼロになる。

以上のように冷房期においては、室温27と29のあいだ、および32において、選択率が大きく変化する。環境省は2005年からいわゆるクールビズとしてオフィスの冷房設定温度28を推奨している。本研究の結果によると冷房期に室温28のときの冷房使用率(AC+AW)は58.0%であるが、28前後は選択率が急激に変化する不安定な室温であり、少しの室温の違いが大きな選択率の違いにつながる。クールビズを住宅に適用する場合、このことを考慮する必要があると思われる。

冷房期における冷房使用率 $p_{c.AC+AW}$ (%)は、室温 $t_i$ により次式でロジスティック回帰できる。

$$p_{c.AC+AW} = 100 / (1 + \exp(25.6028 + 0.913 t_i)) \quad \dots (5)$$

一方、WOやFRは、室温28~31において一定になるため、ロジスティック回帰には適さない。

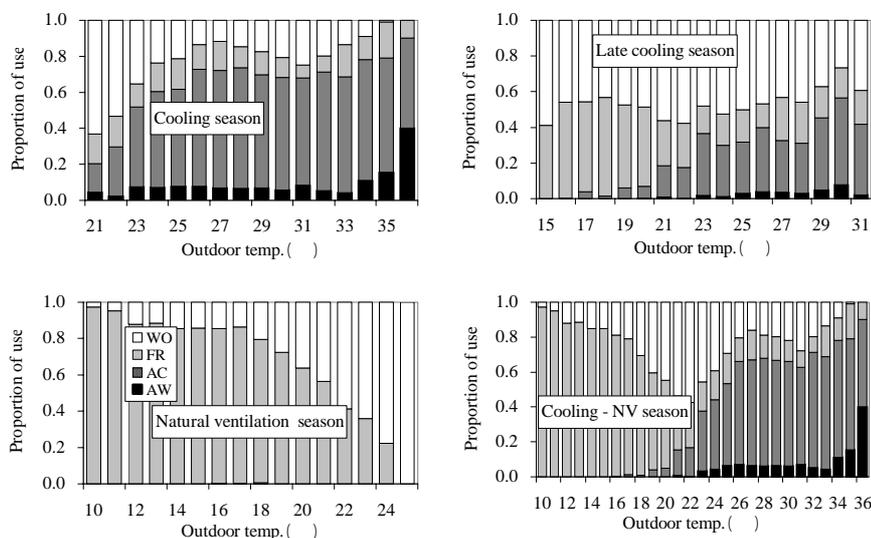


図8 外気温と選択率(季節別)

## 2) 冷房終了期

室温 21 から 28 の範囲では、WO は低下する。WO は 21 では 100% であるが 28 では 33.5% で極小値をとる。AC は 28 で最も高く、29.2% である。FR は 24 のとき 9.5% であり 24 から 29 まで室温の上昇につれて上昇し、29 で 40.9% になる。

室温 27 と 28 では、AC+AW、FR、WO の三者が 30% 前後で同率である。

28 をこえると WO は上昇し、29 で 53.4%、31 で 73.9% になる。29 をこえると FR は低下する。

同じ室温に対する選択率は冷房期とは異なる。室温 24 から 26 にかけて、冷房期には AC+AW が 90% 以上を占めるが、終了期には WO が高く、60~70% を占める。室温 28 において、WO は冷房期、終了期ともに 30% 前後であるが、AC+AW は冷房期 58.0%、終了期 29.6% である。また、冷房期には室

温の上昇につれて WO は上昇するが、終了期には WO は 28 に極小値があり、室温変化による選択率の変化傾向も、冷房期と終了期で異なっている。

## 2) 中間期

室温 17 では WO は 22.1% であるが室温の上昇につれて上昇し、20 では 67.2% の極大値をとる。20 から室温の上昇につれて WO は低下し、25 では 11.9% になる。このように、選択率は異なるものの、室温 20~28 にかけて室温の上昇につれて WO が低下する変化の傾向は終了期と同じであり、低下率も 1K あたり 7~8% で同程度である。ただし終了期には室温が 28 をこえると WO は上昇に転じるが、中間期には 28 をこえても WO は低下を続ける。

以上のように、室温と選択率の関係は季節により異なり、冷房期~中間期を合わせても各季節の特徴を表すことはできない。

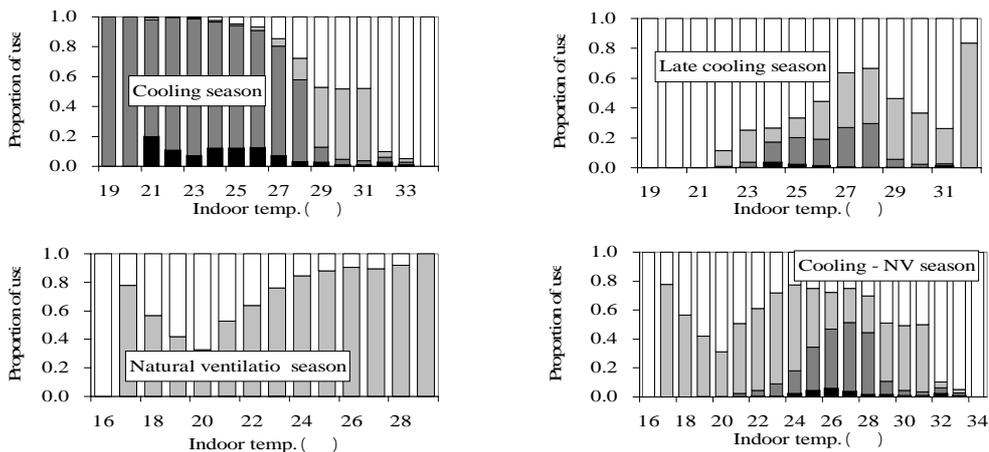


図9 室温と選択率(季節別)

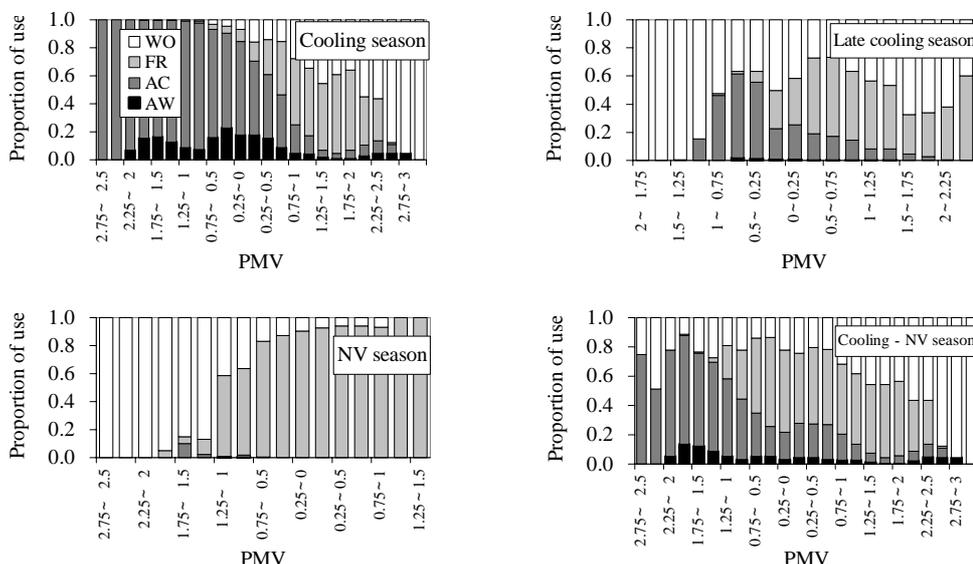


図10 室内 PMV と選択率(季節別)

### 3.5 PMVと選択率

室温に風速、放射、湿度、着衣量、代謝量を考慮して、室内PMVとの関係も調べる。PMVの算出は、グローブ温度を測定した4住戸を対象におこなった。風速は1住戸で別途測定した開閉7パターンの平均値0.2m/sとした。代謝率は1.0met、着衣量は同住棟居住者1名の記録をもとに、冷房期と冷房終了期は0.3clo、暖房開始期は0.8cloとし、中間期には0.3~0.8cloのあいだを日付により線形補間した。0.25刻みのPMVと選択率の関係を図10に示す。

冷房期には、PMVに対する選択率の分布は室温に対する選択率の分布と類似した形状を示す。冷房期には相対湿度50%のとき室温27.9がPMV0に相当する。風速、着衣量、代謝量は一定なので、放射や湿度の選択率への影響が比較的小さいことを意味する。冷房期にはPMV1.75~2のときFRが最高の57.5%になる。一方、ACには極値がない。

冷房終了期には、PMVに対する選択率の分布は室温に対する選択率の分布とは異なる形状を示す。-1.25~-0.25の範囲のPMVに対してFRは0~2.0%で、ACが高い。ACはPMVが-0.75~-0.5のとき最高の59.6%であり、それよりPMVが上昇すると、PMVの上昇につれて低下する。放射の影響が考えられるが今後の課題である。

中間期には、室温との関係(図9)とは異なってWOに極大値がなく、PMVの上昇につれてWOは単調に上昇する。これは、中間期では着衣量の季節変化を組み込んだためと思われる。着衣量の変化を

考慮したPMVによれば、中間期におけるWOはロジスティック回帰することができる。

### 3.6 内外気温差(外気温-室温)と選択率

図11に、内外気温差(外-内)と選択率の関係を季節別に示す。温度差は0.5K刻みで表す。

冷房期と冷房終了期ともに、WOは室温が外気温より4~5K高いときに、最高になる。言い換えると、WOが最高のとき、室温は外気温より約4~5K高いことが最も多い。ただしWOの最大値は冷房期には51.2%(-4K)であるが、終了期には67.5%(-4.5と-5.5K)である。

冷房期と冷房終了期ともに、ACは内外差の増加につれて単調に上昇する。ただし差の増加につれてACの上昇は冷房期には緩やかに、終了期には急になる。

冷房期には内外差が-5KのときFRは29.7%で、FRは-5Kから+5Kにかけて低下し、+5Kのとき4.1%になる。一方、終了期に内外差が-5K~5Kの範囲ではFRは9.6~20.4%で、それほど変化しない。

中間期には、内外差-5KのときのWOの極値は見られず、内外差の増加につれてWOは単調に上昇する。WOは内外差が-10Kのとき10.9%、-5Kのとき28.9%とあまり変わらないが、-3Kのとき59.1%、-1Kのとき94.4%、-0.5Kのとき99.5%となる。すなわち、WOの上昇は内外差の増加につれて急になる。言い換えると、開放率が高くなると、内外差は急激にゼロに近づく。

以上のように、内外差と選択率の関係は季節により異なる。

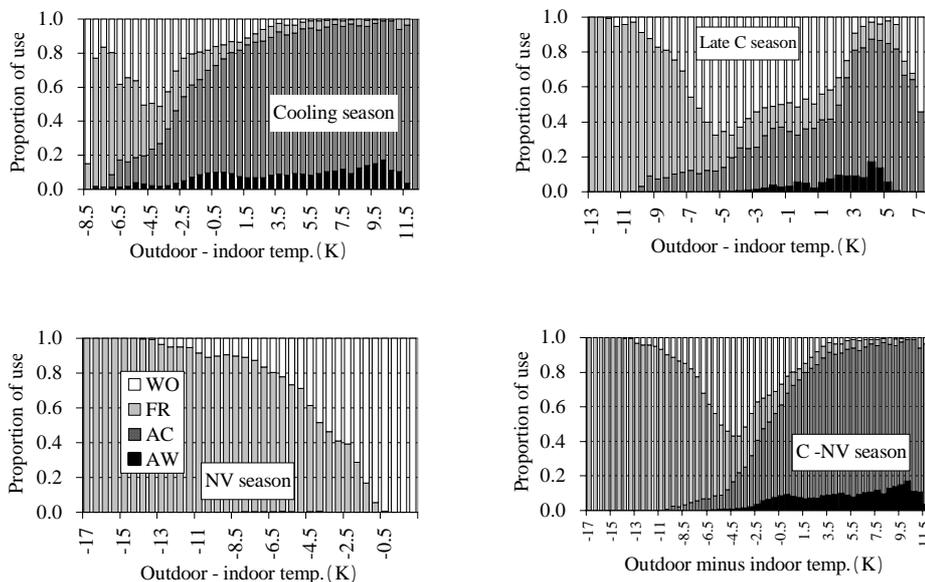


図11 室内外気温差(外-内)と選択率(季節別)

#### 4. まとめ

間取りが単純で小規模な集合住宅の10住戸を対象に、夏季から秋季にかけて20秒間隔で冷房使用、開口部開閉、室内温熱環境の実測をおこない、在宅時の温熱環境調節手段の選択と外気温および室温との関係について、冷房期、冷房終了期、中間期の季節別に分析し、以下を明らかにした。

1) 室温の最頻値は、冷房期と冷房終了期が同じで27、中間期と暖房開始期が同じで24である。室温は外気温に応じて連続的に調節されるのではなく、冷房使用を前提とする季節であるかどうかによって決まるといえる。

2) 冷房使用率や開放率は、外気温の上昇につれて単調に変化するとは限らない。a)冷房期には26まで冷房使用率が急激に上昇し、27まで開放率が急激に低下し、27~31までは冷房使用率は一定となり開放率が上昇、33をこえると冷房使用率が再び急激に上昇する。外気温27、31、33に選択の分岐点があるといえる。b)冷房終了期には23になると冷房が開始される。23に選択の分岐点があるといえる。c)中間期には外気温の変化につれて開放率は単調に変化する。外気温上昇1Kあたり10%の割合で開放率が上昇する。d)冷房期~中間期を合わせると、各季節の特徴がより明確になる。

3) 室温と調節手段選択率については、a)冷房期には冷房使用率は室温によりロジスティック回帰できる。室温27~29にかけて選択率は急激に変化する。29~31では選択率は変化しない。32で開放率が急上昇する。b)冷房終了期には、室温28で開放率が極小の33.5%、29で53.4%、31で73.9%になる。c)中間期には室温20で開放率が極大の67.2%になり、25で11.9%になる。20~28にかけて室温上昇につれて開放率が1Kあたり7~8%の割合で低下する傾向は、冷房終了期と同じである。d)室温と選択率の関係は、季節によって異なる。

4) 着衣量の変化を考慮してPMVによって室内温熱環境を評価すると、中間期の開放率はPMVによってロジスティック回帰できる。

5) 内外気温差(外-内)と選択率の関係については、a)冷房期と冷房終了期には、外気温が室温より4~5K高いとき、開放率はそれぞれ50.6%、67.5%で、各季節において極大値をとる。b)冷房期と冷房終了期には、内外気温差の増加につれて冷房使用率が単調に上昇する。c)中間期には開放率に極値はなく、開放率は内外差の増加につれて単調に上昇する。

#### 参考文献

- 1)吉野博、長谷川房雄、松本博、内海康雄、赤林伸一、牧田一志： 仙台市の枠組み壁工法による戸建住宅における温熱・空気環境およびエネルギー消費の実態調査、日本建築学会計画系論文報告集、第375号、17-27、1987年5月。
- 2)澤地孝男、松尾陽、羽田野健、福島弘幸： 冷暖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、日本建築学会計画系論文報告集、第382号、48-59、1987年12月。
- 3)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集、第475号、17-24、1995年9月。
- 4)垂水弘夫、久保猛志、酒井健興： 北陸の戸建住宅における温冷感を中心とした居住者意識調査 断熱仕様・暖冷房等の実態と快適性評価の高い住宅の抽出、日本建築学会計画系論文集、第488号、25-34、1996年10月。
- 5)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室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、第505号、23-30、1998年3月。
- 6)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集、第509号、41-47、1998年7月。
- 7)R.J.de Dear and G.S.Brager, Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, ASHRAE Trans., 145-167, 1998.
- 8)谷本潤、萩島理、片山忠久： 冷房発停にマルコフモデルを適用した場合の熱負荷特性に関する基礎的検討 第3報 実測に基づく冷房発停状態の遷移特性に関する考察、空気調和・衛生工学会論文集、第82号、59-66、2001年7月。
- 9)I.A.Raja, J.F.Nicol, K.J.McCarthy and M.A. Humphreys, Thermal comfort, Use of controls in naturally ventilated buildings, Energy and Buildings, 33, 235-244, 2001.

10)前真之、鍋島美奈子、二宮秀興、永村一雄、長井達夫、鎌田元康： 集合住宅における冷房の使用状況に関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、第87号、41-50、2002年10月。

11)梅宮典子、吉田治典： 中間期を中心とする窓開放面積率と室内外気候との係わりに関する研究 - 大学キャンパスにおける実態調査、空気調和・衛生工学会論文集、第92号、19-28、2004年1月。

12)澤島智明、松原斉樹、蔵澄美仁： 防暑行為の実施実態と居住者の意識・価値観 プレハブ住宅居住者の夏期の防暑行為に関する研究その1、日本建築学会環境系論文集、第578号、9-15、2004年4月。

13)西村仁、池田真樹、藤村知春、垂水弘夫： 北陸の次世代省エネルギー基準全電化住宅を対象とした温熱環境と暖冷房用エネルギー消費に関する実態調査、日本建築学会環境系論文集、第582号、37-44、2004年8月。

14)J.F.Nicol and M.A.Humphreys, A stochastic approach to thermal comfort - occupant behavior and energy use in buildings, ASHRAE Trans., NA-04-2-3, 554-568, 2004.

15)羽原広美、鳴海大典、下田吉之、水野稔： 一般住戸を対象とした実態調査に基づく冷房発停の生起要因に関する検討、日本建築学会環境系論文集、第589号、83-90、2005年3月。

16)森教子、森山正和、漆原慎： 住まい方と節約行為を考慮した住宅の冷暖房スケジュールの作成方法に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第590号、43-48、2005年4月。

17)浅輪貴史、梅干野晃、武澤秀幸、清水敬示： 戸建住宅における窓開閉・冷房使用の行動特性と影響要因解析 屋外空間の微気候と居住者の開放的な住まい方との関わりに関する研究 その2、日本建築学会環境系論文集、第593号、87-94、2005年7月。

18)S.Herkel, U.Knappa and J.Pfafferott, A preliminary model of user behaviour regarding the manual control of window in office buildings, Proceedings of the 9th International IBPSA Conference, 403-410, 2005.

19)H.B.Rijal, P.Tuohy, M.A.Humphreys, J.F.Nicol, A.Samuel and J.Clarke, Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings, Energy and Buildings, 39, 823-836, 2007.

#### 関連発表論文

1)井上銀次郎、林小勇、梅宮典子、西岡利晃、大倉良司： 集合住宅における冷房使用と窓開閉の関係に関する研究、平成16年度空衛・近畿・発表会論文集、153-156、2005年。

2)井上銀次郎、林小勇、梅宮典子、西岡利晃、大倉良司： 冷房使用と窓開閉行為の関係に関する研究 - 在・不在時の室温と外気温、平成17年度建・近畿・研究報告集 第45号・環境系、341-344、2005年。

3)井上銀次郎、林小勇、梅宮典子、西岡利晃、大倉良司： 集合住宅における冷房使用と窓開閉の関係に関する研究、平成17年度建・大会・梗概集、D2、193-194、2005年。

4)井上銀次郎、林小勇、梅宮典子、西岡利晃、大倉良司： 集合住宅における冷房使用率と窓開放率のモデル化、平成17年度空衛・近畿・発表会論文集、243-246、2006年。

5)林小勇、梅宮典子、井上銀次郎： 夏季から秋季における室内温熱環境調節と内外気温の関係、平成18年度建・近畿・研究報告集 第46号・環境系、289-292、2006。

6)林小勇、梅宮典子、井上銀次郎： 夏季から秋季における室内温熱環境調節と内外気温の関係、平成18年度建・大会・梗概集、D2、597-598、2006。

7)N.Umemiya, G.Inoue and X.Lin, Survey of control usage for apartments in Japan in summer and autumn: air conditioner and window opening, Proceedings of Windsor Conference for Comfort and Energy Use in Buildings, 6F, 1-10, 2006.

8)N.Umemiya, G.Inoue and X.Lin, Modeling the ratio of air conditioner use and window opening using indoor and outdoor temperatures during summer-autumn for apartment houses in Japan, Proceedings of the 8th International Conference on Healthy Buildings, 157-162, 2006.

9)N.Umemiya, G.Inoue and X.Lin, Temperatures when thermal controls are used during summer-autumn in apartments, Proceedings of the 8th International Symposium on Building and Urban Environ. Engineering, 309-314, 2006.

10)N.Umemiya, X.Lin and G.Inoue, Survey on cooling cost and relating factors to it for apartments in urban area of Osaka, Proceedings of the 6th International Conference for Enhanced Building Operations, -5-4, 1-8, 2006.