

集合住宅を対象とした実測に基づく冷房使用と窓開閉の生起特性に関する研究

建築環境工学 井上銀次郎

1. 背景と目的

1.1 背景

エネルギーの使用の合理化に関する法律が改正(1999)され、ますます省エネルギーの必要性が高まってきた。これらの法律では、「熱損失係数」や「相当隙間面積」の基準値が設けられていることから、開口部は少ない方が良いという考えが存在する。しかし、それとは逆に窓開閉行為を含む自然換気の有効利用が省エネルギーの目的をはたす一つの方法であるともいえる。住宅では、オフィスビルなどの管理式空調とは異なり、居住者の意思、習慣により冷暖房使用や窓開閉といった温熱環境調節行為の方法が選択され、冷暖房使用や窓開閉をより細かく調節している場合が多いと考えられる。居住者による冷暖房使用と窓開閉行為の関係の実態を明らかにすることにより、最適な温熱環境調節の実現が可能であると思われる。

1.2 既往の研究

冷房使用または窓開閉行為に関してこれまでも多くの研究が報告されてきた。谷本ら(2005)は、外気温による冷房発停状態の確率をモデル化し、建物や都市全域の負荷の推定値を正確に導く新しい方法を検討している。浅輪ら(2005)は、冷房使用と窓開放を記録し、冷房使用は時期、時間帯、外気温の影響を受けることを示している。Herkelら(2005)はオフィスにおける窓開閉状態の記録から、窓開放の割合と時期、外気温、占有状況に強い相関があることを示し、

窓開閉状況のシミュレーションから自然換気計画の向上を示している。Nicolら(2004)はアンケートにより気候状況に関係なく窓開放行為は室温の影響を受け、暖冷房使用は外気温の影響を受けることを示している。梅宮ら(2004)は、窓開放面積率は日平均外気温の影響を受けることを示している。

1.3 目的

本研究では、冷房使用時と窓開閉時の温熱環境に着目し、居住者が窓を開放しておく、または冷房使用を行うのかという二つの環境調節行為の特性を、温熱条件から説明するために、20秒間隔の測定を行い、1) 冷房使用率、窓開放率をモデル化し、2) 外気温、室温と温熱環境調節行為、3) PMVと温熱環境調節行為、4) 時間帯と温熱環境調節行為、5) 冷房使用、窓開閉行為生起の温熱環境を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

2.1 測定対象住戸

大阪市内南部に立地する11階建ての賃貸集合住宅(中廊下型)を測定対象とした(図1)。周辺には同様の民間や公営の高層集合住宅が建ち並んでいる。対象住戸は主要窓開口部が西向き住戸A~Hと南向き住戸I、Jの2種類がある(図2)。冷房使用と窓開閉行為の関係を考察するにあたって、単純な間取りでエアコンが1台の住戸を10戸選定した。各住戸の窓には網戸が設置され、日よけに障子戸またはカーテンのいずれかが設置されている。対象住戸の概要を表1に示す。

表1 対象住戸の概要

	住戸A	住戸B	住戸C	住戸D	住戸E	住戸F	住戸G	住戸H	住戸I	住戸J
階数	2階	5階	6階	8階	8階	9階	9階	10階	7階	8階
窓開口方位	西	西	西	西	西	西	西	西	南	南
居住人数	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
年代、性別	30男	2男、20女	20男、20女	30男	70男	30男、30女	30男、20女	20女	40男、40女	20男

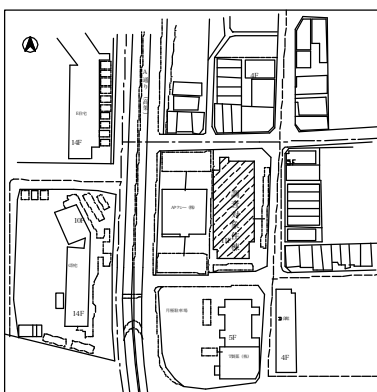
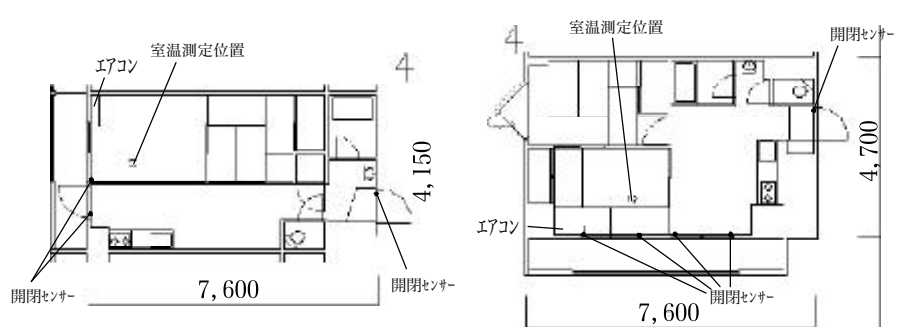


図1 建物配置図



(a) 開口部西向き住戸(住戸G)

(b) 開口部南向き住戸(住戸J)

図2 住戸平面図

2.2 測定項目

エアコン給気温度、床上0.1、0.6、1.1mの室温（熱電対）、すべての開口部（窓、台所のドア、玄関扉）の開・閉を、20秒間隔でデータロガーに記録した。他にグローブ温度と床上0.6mの湿度も記録した。エアコンはほぼ同じ位置に設置されているが、室温測定位置は生活に支障がなく、かつ室温を代表すると思われる位置を選んだため、住戸により異なる。冷房の使用・不使用はエアコン給気温度と室温から、在宅・不在は玄関扉の開閉記録と照度の記録、アンケートから判断した。本研究では複数ある開口部のうち1つでも開放されている場合を「開放」、全閉の場合を「閉鎖」と定義する。測定は8月24日から12月15日までおこなった。ただし、住戸Iに関しては10月19日で測定を中断した。本研究では8月24日から11月13日までを扱う。なお外気温は西に約1km離れた建物の屋上において通風式温湿度計で1分間隔で記録した値をもちい、11月3日から13日においては大阪気象台の観測データを用いた。

2.3 期間の定義

図3の10住戸平均の冷房使用率が0.5以上である、ほぼ0～0.5である、ほぼ0に近いと、3分の1以上の住戸が暖房使用を開始したの条件で、4つの期間にわけた。

- 8月24日～9月21日・・・冷房期
- 9月22日～10月13日・・・冷房終了期
- 10月14日～11月3日・・・中間期
- 11月4日～11月13日・・・暖房開始期

3. 外気温と室温

日平均外気温と在宅時における10住戸平均の室温の推移を図4に示す。外気温は9月後半から徐々に低下している。室温は23.2℃～28.2℃である。外気温の出現頻度を図5に示す。冷房期は外気温27℃、冷房終了期は20℃と23℃、中間期は17℃、暖房開始期は18℃にピークがある。在宅時の10住戸平均の室温の出現頻度を図6に示す。室温は冷房期と冷房終了期、中間期と暖房開始期の2つのグループに分かれる形となっている。

4. 在宅時の冷房使用率と窓開放率

この項では、20秒毎の測定瞬時の在宅時における小数点以下を切り捨てた1℃きざみの室内外気温に対する10住戸平均の冷房使用率、窓開放率について解析する。

4.1 冷房使用率

図7は冷房期、図8は冷房終了期の外気温に対する冷

房使用率を示す。冷房期では外気温が高くなると、冷房使用率も高くなる傾向にあるが、26～33℃では0.7～0.75のほぼ一定である。外気温が最も高いときでも、冷房使用率1.0にはならない。冷房終了期では冷房期と比べ、同じ外気温でも冷房使用率が低くなる。冷房期、冷房終了期ともに3次回帰によるモデル化が可能である。

図9は冷房期の室温に対する冷房使用率を示す。冷房期では、室温26℃以下での冷房使用率が0.9以上で、29℃以上になると0.13以下になり、冷房使用時は室温が26℃以下に保たれていることが多いといえる。冷房期における室温に対する冷房使用率はロジスティックによって以下の式に回帰することができる。

$$y = \frac{1}{1 + \exp(-25.6 + 0.913x)} \quad \dots \textcircled{1}$$

冷房終了期では、冷房期と異なり。室温に対する冷房使用率は時期により異なる傾向を示す。

4.2 窓開放率

図10は中間期の外気温に対する窓開放率を示す。中間期では、外気温が高くなれば窓開放率が高くなり、以

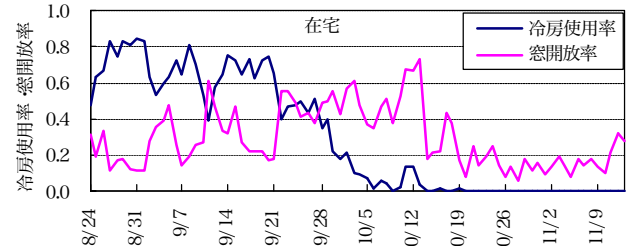


図3 10住戸平均の冷房使用率と窓開放率

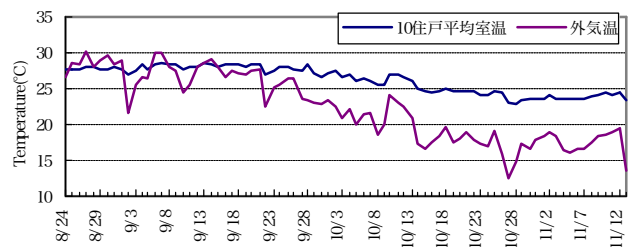


図4 日平均外気温と在宅時室温の推移

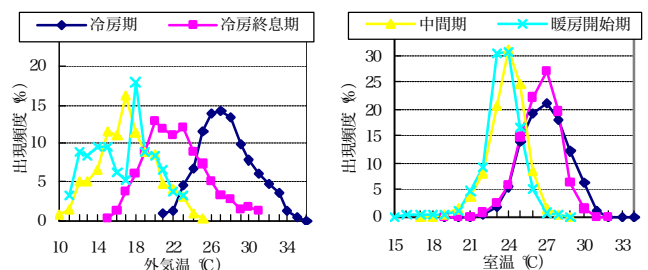


図5 外気温の出現頻度

図6 室温の出現頻度

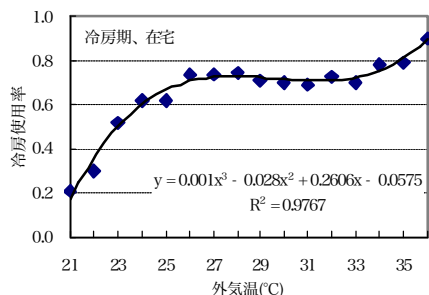


図7 外気温別冷房使用率(冷房期)

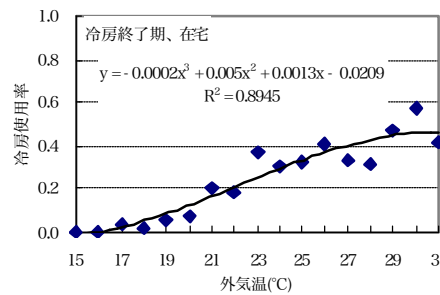


図8 外気温別冷房使用率(冷房終了期)

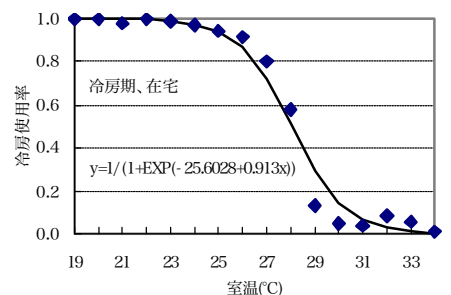


図9 室温別冷房使用率(冷房期)

下の式で回帰することができる。

$$y = 0.0005x^3 - 0.0062x^2 + 0.0426x + 0.0011 \dots \textcircled{2}$$

中間期は冷房使用がほとんどなくなる時期であり、窓開放のみで温熱調節を行っていると考えられる。なお、階数による違いは見られなかった。

4.3 既往研究との比較

谷本らは、単身住戸の外気温に対する冷房運転確率をシグモイド関数で近似している。冷房期では、外気温23～26℃の本研究の結果は谷本らのモデルに近い値を示しているが、それ以上の外気温では、谷本らよりも冷房使用率が低い。冷房終了期は、谷本らのモデルよりも常に低く、ほぼ半分程度の冷房使用率であり、本研究のような期間別のモデルが必要であることがわかった。

Nicolらは、オフィスでの外気温に対する窓開放率のモデルを示している。ただし、自然換気のみで建物で行った調査で、冷房の影響はない。本研究の中間期では、外気温17℃以下ではパキスタンのモデルと似ているが、イギリスやヨーロッパの半分以下の窓開放率である。外気温が高くなれば、Nicolらのモデルよりもさらに窓開放率が高くなる。住宅とオフィスでは、在宅時間帯に違いがあることの影響が大きいのではないかと考えられる。

5. 外気温、室温と温熱環境調節行為

この項では、在宅時の10住戸平均の外気温と室温に対する「冷房使用と窓開放を両方行っている」、「冷房使用のみ」、「窓開放のみ」、「温熱調節行為を何もしていない」の温熱環境調節行為の選択率について解析する。

5.1 外気温と温熱環境調節行為

図11は冷房期の1℃きざみの外気温に対する選択率を示す。外気温26℃～33℃では「冷房使用」の選択率がほぼ一定の60～70%である。「窓開放」の選択率は外気温31℃にピークがあり、32℃以上では「窓開放」が

低くなっていくことから、外気温31℃は冷房期における通風による温熱環境調節行為の限界点であると考えられる。「何もしていない」の選択率は、冷房期には外気温による大きな差はない。

図12は冷房期から中間期にかけての1℃きざみの外気温に対する選択率を示す。「冷房使用」は外気温16℃から始まり26℃までで急上昇する。「窓開放」は、外気温22℃のときに約55%でピークとなり、21℃以下では、外気温が低くなればなるほど低くなる。外気温20℃以下では、「何もしていない」の選択率が最も多くなり、外気温23℃を超えると、約10～20%のほぼ一定になる。冷房期から中間期をとおしてみると、外気温23℃以下のときは窓開放のみ、または温熱環境調節行為なしでも、快適に過ごすことができていると考えられる。

5.2 室温と温熱環境調節行為

図13は冷房期から中間期にかけての1℃きざみの室温に対する選択率を示す。冷房期から中間期にかけては、「窓開放」は室温20℃でピークとなり、窓開放がよく利用されていたことがわかる。室温25℃以下では、「窓開放」または「何もしていない」が最も多いことから、冷房を使用しなくとも過ごすことが出来ていたことが考えられる。「冷房使用」は27℃でピークになる。冷房期と冷房終了期でもそうであったが、室温28℃と29℃の間に温熱環境調節の境がみられる。

5.3 外気温と室温の差と温熱環境調節行為

図14は冷房期から中間期にかけての0.5 Kきざみの外気温と室温の差に対する選択率を示す。「冷房使用」は、外気温と室温の差が-10 Kのときから、差の値が高くなるにつれて、差が大きくなればなるほど高くなる。「窓開放」は、冷房期、冷房終了期でも同様であったが、-5 K前後で最も高くなる。これらのことから

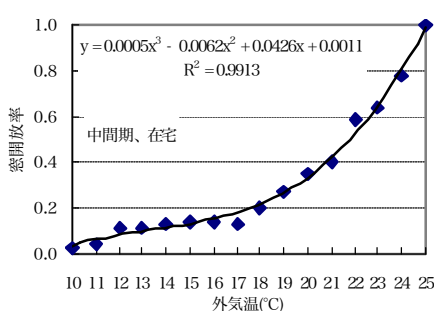


図10 外気温別窓開放率(中間期)

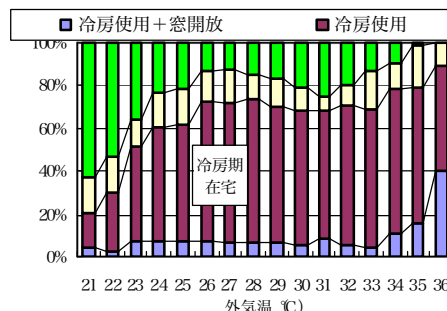


図11 外気温別温熱調節行為(冷房期)

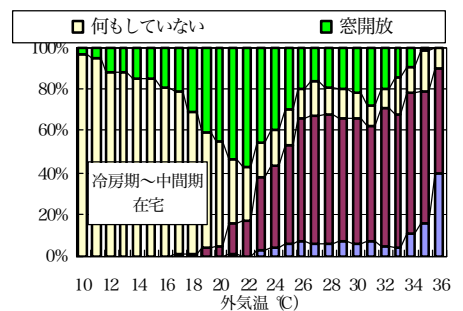


図12 外気温別温熱調節行為(冷房期～中間期)

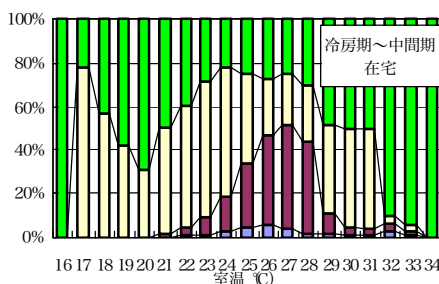


図13 室温別温熱調節行為(冷房期～中間期)

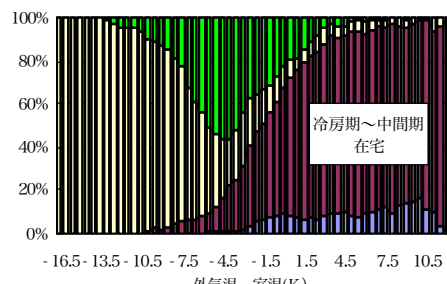


図14 内外気温差別温熱調節行為(冷房期～中間期)

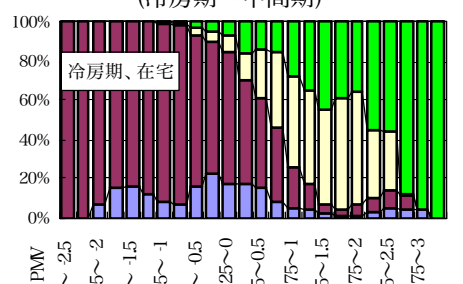


図15 PMV別温熱調節行為(冷房期)

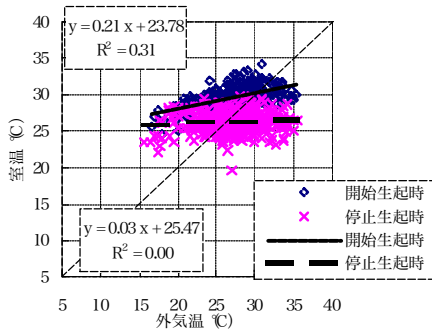


図16 冷房生起時の外気温と室温
(冷房期～中間期)

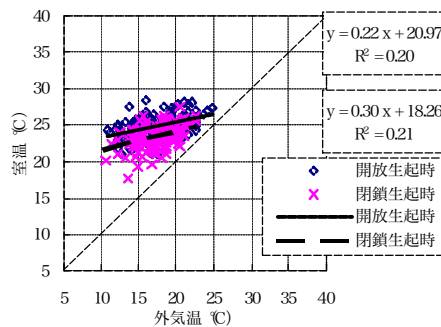


図17 窓開閉生起時の外気温と室温
(中間期)

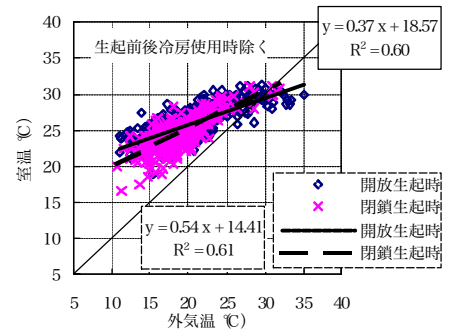


図18 窓開閉生起時の外気温と室温
(冷房期～暖房開始期)

室温が外気温よりも5 K前後高いときは、窓開放の通風により過ごしていることが多いといえる。外気温と室温の差が-6 K以下では、「何もしていない」が最も高くなり、温熱環境調節行為なしでも過ごさせている。

6. PMVと温熱環境調節行為

図15は冷房期の在宅時における住戸B、E、G、Hを平均した室内PMVに対する選択率を示す。冷房期では、PMV1.75以下でPMVが低くなるほど「冷房使用」の選択率は高くなる。「窓開放」の選択率はPMVが高くなれば、「窓開放」が高くなる傾向がある。これらの「冷房使用」と「窓開放」の関係から、冷房期では冷房をしないと室内が涼しくならなかったことが考えられる。PMV0.5～2の「やや暖かい」～「暖かい」では「何もしていない」が最も高く、就寝時間帯である夜間に何もしていないことが多い。冷房終了期でも、PMV0.5～1.5の「やや暖かい」では「何もしていない」の選択率が最も高く、夜間と朝から昼間にかけても何もしていないことが多い。

7. 時間帯と温熱環境調節行為

過去には、家族世帯における時間帯と冷暖房使用が関係すると言う報告はあるが、1～2人世帯についての報告は数少ない。本研究では、時間帯別の温熱環境調節行為は各住戸が異なり、平均すると際立った特長が見られなかった。1～2人世帯の住戸では生活パターンが異なることが一因と考えられる。逆に、時間帯よりも温熱環境が温熱環境調節行為に影響を与えているといえる。

8. 冷房使用、窓開閉行為生起時の温熱環境

本研究における生起時とは、冷房開始前30分間、開始後10分間、冷房停止前10分間、停止後30分間は冷房使用または不使用を継続、窓開閉前後10分間は開放または閉鎖を継続している場合のみをさす。

8.1 冷房使用生起時の外気温と室温

図16に冷房期から中間期にかけての開始生起時と停止生起時の外気温と室温の関係を示す。開始生起時ではやや強い相関($R^2=0.31$)があるが、停止生起時はほとんど相関がない。開始生起時は外気温 x と室温 y の関係は以下の式で回帰できる。

$$y = 0.21x + 23.78 \quad \dots \textcircled{3}$$

開始生起時の室温は外気温に影響を受けており、停止生起時は外気温に関係なく、室温28°C以下に大半が分

布している。

8.2 窓開閉生起時の外気温と室温

図17は中間期の開放生起時と閉鎖生起時の外気温と室温の関係を示す。

開放生起時($R^2=0.20$)は $y = 0.22x + 20.97 \dots \textcircled{4}$

閉鎖生起時($R^2=0.21$)は $y = 0.30x + 18.56 \dots \textcircled{5}$

で回帰でき、開放生起時、閉鎖生起時ともにやや強い相関がある。回帰直線は交わらず、開放生起時は閉鎖生起時よりも約2 K高い。開放生起時より室温が約2 K低下したときに窓閉鎖行為を行っていることがうかがえる。

図18に生起前30分間と生起後10分間は冷房不使用のときの冷房期から暖房開始期にかけての開放生起時と閉鎖生起時の外気温と室温の関係を示す。

開放生起時($R^2=0.60$)は $y = 0.37x + 18.57 \dots \textcircled{6}$

閉鎖生起時($R^2=0.61$)は $y = 0.54x + 14.42 \dots \textcircled{7}$

で回帰でき、開放生起時、閉鎖生起時ともに強い相関がある。窓開閉生起時には開閉行為の前後に冷房使用を行っている場合を除くと、室温は外気温に強い影響を受け、室温と外気温の関係は開閉生起要因に影響を与えていることが考えられる。

9. まとめ

本研究では、20秒間隔の実測から、1) 冷房期の冷房使用率は外気温26～33°Cでほぼ一定となる。2) 冷房期の室温別冷房使用率は式①で回帰できる。3) 中間期の外気温別窓開放率は式②で回帰できる。4) 外気温31°Cは通風による温熱環境調節行為の限界点である。5) 外気温が室温よりも5 K前後低いときに窓開放は最も盛んに行われている。6) 1～2人世帯では温熱環境調節行為は時間帯よりも温熱環境に起因する。7) 中間期において窓開放生起時より室温が約2 K低下したときに窓閉鎖行為を行っていることが明らかとなった。以上のことは、大阪市で全体の約65%を占める1～2人世帯の住宅のエネルギー消費量推定、及び空調と自然通風を併用した温熱環境計画の有用な基礎資料となる。

〈参考文献〉(1)J. Tanimoto et al. : IBPSA Conference (2005) 1205-1212 (2)浅川貴史ら : 建・環・論文集、第593号、87-94、2005.7 (3) S. Herkel et al. : IBPSA Conference (2005) 403-410 (4)J.F.Nicol et al. : ASHRAE Trans. NA-04-2-3 (2004) 554-568 (5)梅宮典子ら : 空・衛・論文集、No.92、19-28、2004.1

集合住宅を対象とした実測に基づく冷房使用と窓開閉の生起特性に関する研究

建築環境工学 井上銀次郎

質疑応答

Q1. 上層階の方が下層階より風速が強く、窓開放による涼感を得やすい事が考えられる。この研究では、5階以上の階が9戸あり階数による開閉の違いはなかったのか？

A1. 2階で1戸測定しましたが、階数による違いはほとんど見られませんでした。

Q2. 単純な間取りの住戸を選択しているが、家族世帯住戸となるような複雑な間取りでは、各部屋に冷房があり、各部屋の調節方法が違ふと考えられる。この研究はそういった家族住戸の場合にも応用できるのか？

A2. 平成12年の国勢調査では、大阪市の1人及び2人世帯数は全体の65%にのぼり、さらに今後も増えていくことが考えられます。過去の研究報告では家族世帯の住宅を対象とした住戸が多く、少人数世帯の研究は数少ないのが現状です。そこで、本研究ではこれから重要となっていくであろう1人及び2人世帯を選んでいきます。

Q3. 集合住宅においては、片廊下型や中廊下型などの住戸形式によって窓開放による風量が変わってくると思いますが、その辺はどうですか？

A3. 実測した集合住宅は中廊下型です。玄関扉と窓開口部を同時に開放し、通風を得ている住戸が多数あり、風通しは中廊下型でも良いようです。