

冷房使用期前後における温熱環境調節行為生起特性の比較

Comparison of thermal control use between pre-cooling and post-cooling seasons

建築環境工学分野 谷口 友浩

温熱環境調節行為を考慮した省エネルギー実現のため、冷房使用期前・後における温熱環境調節行為生起特性について着衣や温熱感覚とともに分析した結果、1)冷房使用期前後で外気温に対する位相のずれは異なる、2)中立温度において、冷房使用期前は外気温は窓開放率と関係するが、冷房使用期後には関係しない、3)温冷感に対して冷房使用期前では温熱環境調節行為選択率が変化し、後では変化しない、4)冷房使用期前の方が後より着衣量が増える、等を明らかにした。

For realization of energy savings related to thermal control use, the relation between thermal control use and thermal environment in pre-cooling and post-cooling, this survey was designed to investigate university student rooms. Results revealed the following: 1) Phase shift to the outside air temperature differs between pre-cooling and post-cooling. 2) For neutral temperatures, although the effect of pre-cooling makes the act of opening a window less likely, that is not true for post-cooling. 3) For thermal sensation, the selection rates of thermal control use vary in pre-cooling, but do not vary in post-cooling. 4) The amount of clothing varies more with pre-cooling than with post-cooling.

1.背景と目的

Humphreysら(1978)¹⁾によって基礎が作られ、deDearら(1998)²⁾によって強化された Adaptive Model⁵⁾は、屋外の気候条件に応じて室温を決められることから、完全に空調に依存するのではなく気候条件をうまく利用する点で省資源・省エネルギーの時代において重要であり、最近、ASHRAEの基準にも取り入れられた。

単に内外を断熱するのではなく、窓開放による自然風の利用により快適性を得ることが可能ならば、冷房使用によるエネルギー消費を減少させることが出来る。

冷房と通風の併用状況については、井上ら(2005)³⁾は、集合住宅を対象に冷房使用期において外気温に対する窓開放行為の限界点や、室温に対する冷房使用率のモデル化を行なった。浅輪ら(2005)⁴⁾は、住宅を対象に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た。

本研究では冷房使用期だけでなく、冷房使用期前後における季節を対象とし、室内外温冷環境と温熱環境調節行為との関係について、温熱感覚や着衣量との関係も含めて分析し、調節行為生起特性の季節比較を行なう。冷房使用期前後における温熱環境調節行為生起特性を分析をすることで、冷房使用に対する生理的・心理的適応による調節行為の違いを明らかにすることに繋がると考えている。

学生居室は、パブリックな場所でありながら、長時間滞在して睡眠以外の行為が行われ、冷房使用への経

済的抵抗感が少なく、着衣が自由であることから。より物理的・生理的・心理的制約のない温熱環境調節が行なわれていると推測される。

本研究の目的は、冷房使用期前・後における 1)温熱環境、温熱感覚、温熱調節行為の推移、2)温熱環境や温熱感覚と温熱調節行為との関係、3)調節行為の選択率、4)着衣量の違い、を明らかにすることである。

2.方法

大阪市内にある大学において、研究室や教室が入った、2棟(図2.1)を対象とする。調査期間は2011年5月9日から11月30日までとする。

2.1測定方法

対象大学の側面3面(図2.1の①～③)の、2～5階の全窓(引き違い窓)を調査対象とし、5名が分担をして調査した。調査時刻は10時30分前、16時10分前後の一日2回(平日)。窓開放度合いは5段階(1/4刻み)。窓開閉状況を調査すると同時に、調査票にて温冷感、着衣量、外気条件などを記入する。また気候条件はC棟北側2階建ての屋上(図2.1参照)にWSを設置し、外気温、湿度、風速、風向、そして日射量を連続測定(10分間隔)した。

室温、冷房使用状況調査は温湿度データロガーをB棟11室、C棟17室の対象室に設置し、連続測定(30分間隔)した。対象室の条件は学生居室であることである。設置方法としてセンサー2本を使い、1つを高さ1.2mに設置し、もう一方をエアコン給気口の奥10cm

に入れ、固定する。

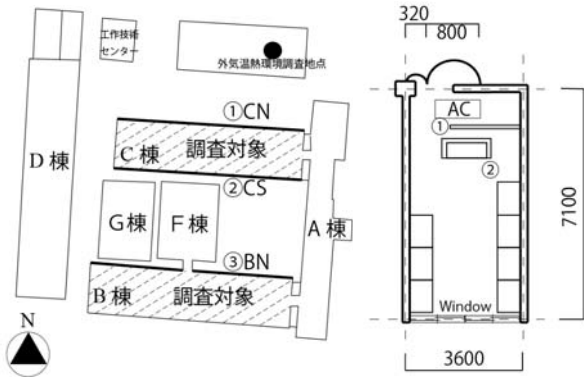


図 2.1 工学部棟平面図

図 2.2 平面図

窓開閉状況調査を行なう前後に着衣、温冷感、気象条件を測定者が記入する。調査項目を表 1 に示す。また温冷感覚のカテゴリー表現を表 2 に示す。本研究の考察では特に温冷感の尺度のうち年間を通して評価できる ASHARE 尺度を用いる。また着衣量は着衣のパターンから式 (2.1) を用いて算出した。

表 1 調査項目

測定項目 (段階)	
測定開始時間	室内における温冷感(7段階)
天気	室外における温冷感(7段階)
雲量(11段階)	室内における湿度感(5段階)
風向(5段階)	室外における湿度感(5段階)
日射量(3段階)	適温感(3段階)
着衣	熱的快感(4段階)

表 2 温熱感覚のカテゴリー表現

温熱感覚	カテゴリー内容
温冷感(暑涼尺度)	非常に暑い・暑い・少し暑い・暑くも涼しくもない 少し涼しい・涼しい・非常に涼しい
温冷感(ASHARE尺度)	暑い・暖かい・少し暖かい・暑くも寒くもない 少し涼しい・涼しい・寒い
適温感	室温をもっと上げてほしい 室温をもっと下げてほしい・このままでいい
湿度感	高い・少し高い・高くも低くもない 少し低い・低い
熱的快感	快適・やや不快・不快・かなり不快

$$I = I_{total} \times \frac{3}{4} + \frac{1}{10} \quad (2.1)$$

2.2 用語の定義

冷房の使用・不使用はエアコン給気温度と室温から判定した。本論文における冷房使用率とは、対象時間帯における欠測値を除く実記録数に対する冷房室の割合とする。

また窓開放面積率とは、全学生居室を対象として、窓開放度合いを考慮した開閉可能な窓に対する割合である。

2.3 季節の定義

図 2.3 に冷房使用率の日推移を、図 2.4 に 5 月 9 日から 6 月 10 日までの冷房使用室数の推移を示す。表 2 に期間の定義を示す。5 月 9 日から冷房使用率の急激

な上昇が見られ、冷房使用室の数が午前と午後の平均が 1.5 を超える 6 月 2 日までを春中間期、冷房使用率が 0.5 を超える 6 月 22 日までを冷房開始期、0.5 を下回り下降し続ける 9 月 21 日までを冷房使用期とした。10 月 3 日から冷房を使用している室が 20 室中、2 室以下になるため、それまでを冷房終了期、11 月 7 日の週から暖房を使用し始めている室が 28 室中 9 室見られるため、それまでを秋中間期、それ以降を暖房開始期とした。また特に冷房使用期前の春中間期と冷房開始期を「向暑期」、冷房使用期後の冷房終了期と秋中間期を「向寒期」と定義する。

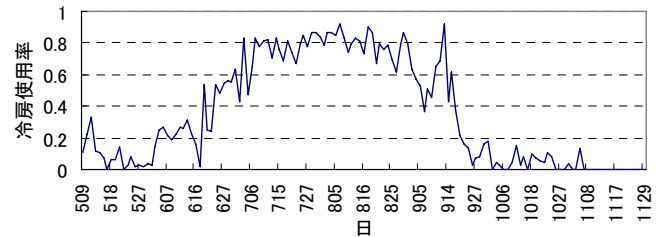


図 2.3 日平均冷房使用率

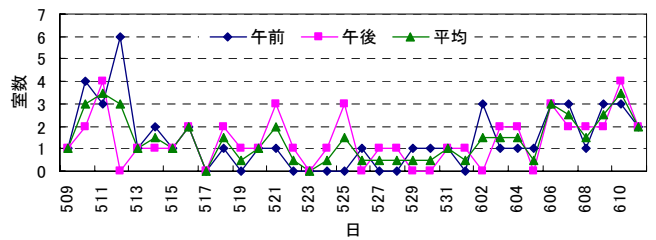


図 2.4 冷房使用室数(5月9日から6月10日)

表 2 季節の定義

季節	期間	定義
春中間期	5/9-6/2	冷房使用率の急激な上昇と、冷房使用室の数が平均1.5を超える。また外気温の上昇も見られる。
冷房開始期	6/3-6/22	冷房使用率が0.5を上回るまでの期間
冷房使用期	6/23-9/20	冷房使用率が0.5を下回るまでの期間
冷房終了期	9/21-10/3	冷房使用している室が2室以下になるまでの期間
秋中間期	10/4-11/6	暖房使用している室が2室以上になるまでの期間
暖房開始期	11/7-12/6	それ以降

3. 温熱環境、温熱感覚、温熱調節行為の推移

推移は平日 5 日間の午前と午後の平均を取り、一週間ごとの推移としたものである。祝日は除いている。

外気温と室温の推移(図 3.1)では、向暑期は急激に上昇し、向寒期は緩やかに下降している。室温は外気温と比べ、全期間を通して推移の変化が緩やかである。

屋外温冷感の推移(図 3.2)は向暑期では 3「少し涼しい」から 5「少し暖かい」を超え、冷房使用期には 4「暑くも寒くもない」から 6「暖かい」の間で変動し、向寒期はほぼ 3 に安定する。

着衣量の推移(図 3.3)を示す。向暑期は 0.6clo から 0.5clo まで緩やかに減少し、冷房使用期には 0.4clo 前後で変動し、冷房終了期に 0.4clo から 0.6clo まで急増

し、秋中間期以降は0.6clo前後ではほぼ一定となる

冷房使用率の推移(図3.4)は、向暑期の6月13日の週から冷房使用が開始され、冷房使用期には0.8を超え、安定している。7月11日から8月31日の週は0.8で安定し、9月から下降し、9月21日には0.2を切り、10月3日以降はほぼ0となる。

窓開放面積率の推移(図3.5)は、向暑期である6月13日にピークに達し、以降下降する。冷房使用期である8月31日までは0.02以下であり、向寒期である9月21日から上昇して、10月11日に0.5に近づき、以降緩やかに減少する。

外気温と屋外温冷感、着衣量、そして窓開放面積率と冷房使用率について平均値と標準偏差を用いて基準化した位相の推移(図3.6)では、外気温の変化と比較して、温冷感と冷房使用率は同位相で、着衣量と窓開放面積率が逆位相である。また窓開放面積率と冷房使用率の位相にずれはない。向暑期において着衣量は約1週間遅れて変化し、温熱調節行為は約2週間遅れて変化するが、温冷感の位相のずれはない。一方向寒期においては着衣量が外気温より約2週間遅れて変化する温冷感、温熱調節行為は外気温と位相のずれはない。

向暑期では心理的・生理的に季節順応するのに時間がかかることで、向寒期と比べ、位相にずれがあると推測される。

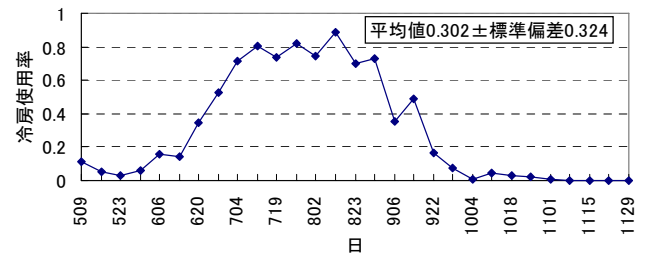


図 3.4 冷房使用率の推移

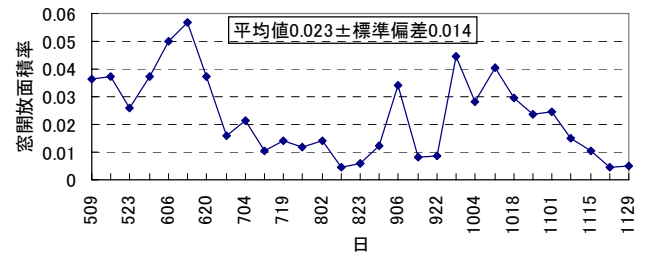


図 3.5 窓開放面積率の推移

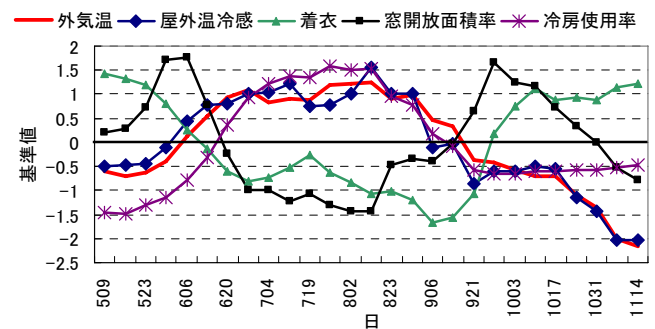


図 3.6 外気温と温冷感、着衣量、調節行為の位相

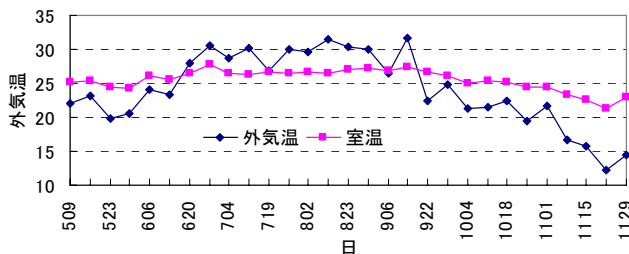


図 3.1 外気温の推移

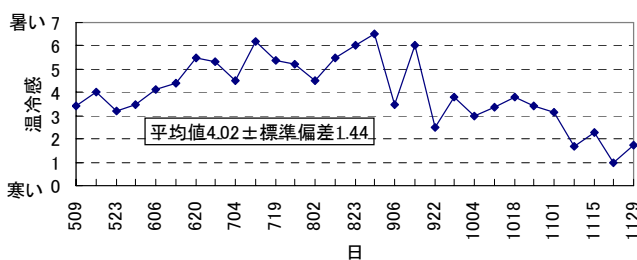


図 3.2 屋外温冷感の推移

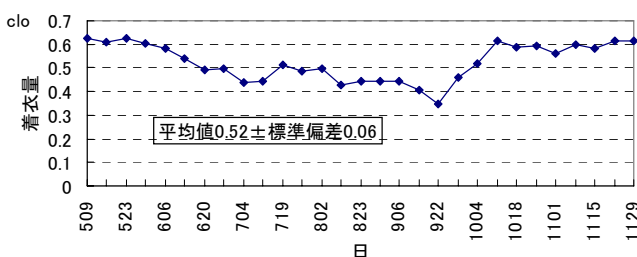


図 3.3 着衣量の推移

4.向暑期と向寒期の温熱環境・温冷感と温熱環境調節行為の関係

徐々に暑くなる向暑期と、徐々に寒くなる向寒期において、冷房の使用に対して生理的・心理的・社会的に慣れが生じることで、同じ温熱環境、同じ温熱感覚に対しても調節行為に違いがあることが考えられる。

向暑期と向寒期における外気温と窓開放面積率(図4.1)では窓開放面積率は外気温に対して向暑期、向寒期ともに関係が強く正の勾配であるが、図4.2に外気温と冷房使用率(図4.2)では、冷房使用率は外気温に対して向暑期は関係が強いものの、向寒期では関係は強くない。向暑期と向寒期で異なる傾向にあることがわかる。

向暑期と向寒期における屋外温冷感と窓開放面積率(図4.3)では、外気温同様、窓開放面積率に関しては向暑期、向寒期ともに関係があり、屋外温冷感と冷房使用率(図4.4)では、わずかに向暑期のほうが、関係がある。

屋外温冷感で区分した場合の外気温に対する季節別の窓開放面積率を図4.5、図4.6に示す。屋外温冷感3における外気温に対しては向暑期、向寒期ともに関係が見られる。しかし、屋外温冷感4における外気温に

対しては、向暑期では関係が見られるが、向寒期では関係が見られない。このことから中立温度では向暑期は外気温に於いて窓開放行為を行なうが、向寒期では外気温に関わらず窓開放を行なうことがわかり、季節により外気温の感じ方が異なるといえる。

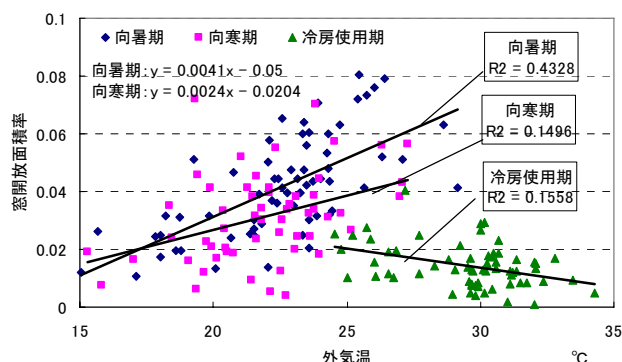


図 4.1 冷房使用期前後の外気温と窓開放面積率

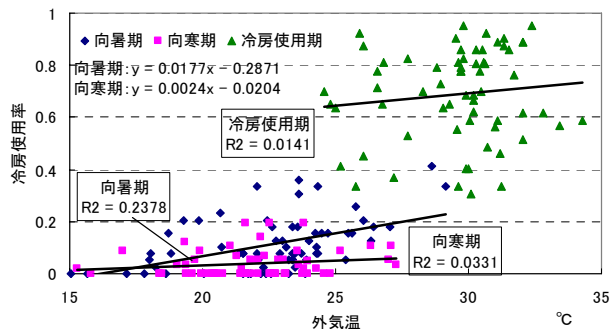


図 4.2 冷房使用期前後の外気温と冷房使用率

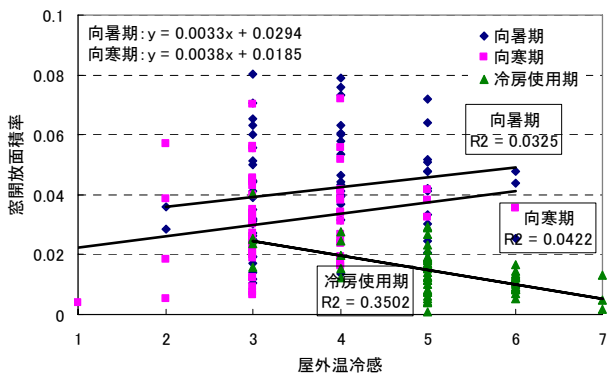


図 4.3 冷房使用期前後の屋外温度感と窓開放面積率

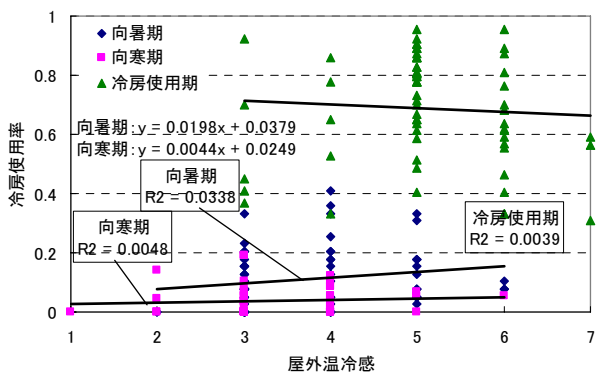


図 4.4 冷房使用期前後の屋外温度感と冷房使用率

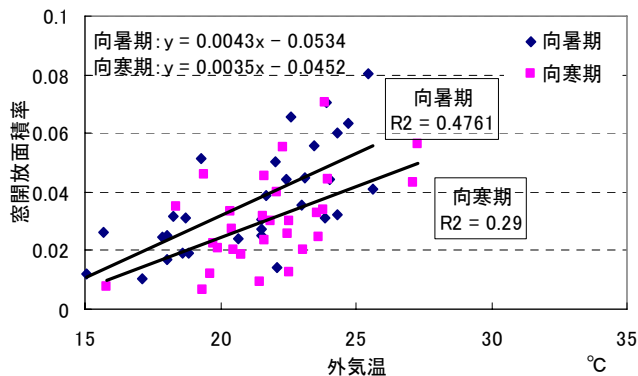


図 4.5 温度感 3 に対する外気温と窓開放面積率

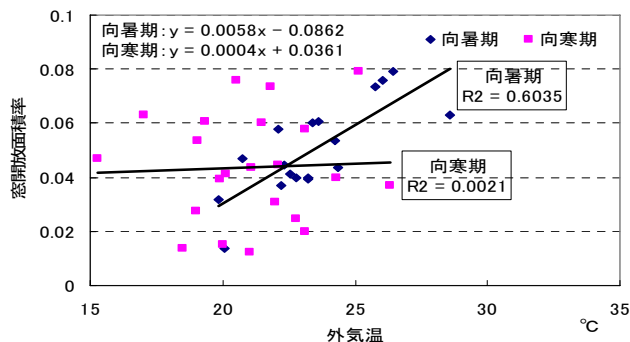


図 4.6 温度感 4 に対する外気温と窓開放面積率

5. 向暑期と向寒期の温熱環境調節行為選択率

向暑期、向寒期における屋外温度感に対する冷房使用率の関係はわずかな差しか見られなかったが、温熱調節行為選択率における傾向を考察する。調節行為として「冷房使用と窓開放行為を行なっている」「冷房使用のみ」「窓開放のみ」「温熱環境調節行為を何もしていない」の4種類が考えられるため、これらの選択率を示す。またここでいう窓開放は対象室のみである。

向暑期と向寒期での外気温に対する温熱調節行為選択率(図 5.1、図 5.2)について、横軸の外気温は 23 とは 23°C 台のデータを意味している。27°C を境に窓開閉行為から冷房使用を選択する傾向にある。また 29°C を除くと、外気温が上昇すればするほど、「なにもしない行為率」が減少することから、窓開放や冷房使用による温熱調節行為が行なわれているといえる。向寒期は 25°C を境に窓開閉行為から冷房使用を選択する傾向にある。向暑期同様、外気温の上昇とともに温熱調節行為が行なわれているといえる。

向暑期と向寒期での屋外温度感に対する温熱調節行為選択率(図 5.3、図 5.4)では屋外温度感が暑い側に評価すると、「なにもしない行為率」が減少することから、窓開放や冷房使用による温熱調節行為が行なわれているといえる。向寒期では屋外温度感に関わらず、調節行為が行なわれており、特に冷房使用選択率は屋外温度感に影響しない。

向暑期と向寒期での着衣量に対する温熱調節行為選

択率(図 5.5、図 5.4)では、向暑期は着衣量の変化に関わらず調節行為を行なっているが、向寒期は着衣量が平均的な値のとき、窓開放選択率が高く、着衣が薄着または厚着になるほど、窓開放選択率が減少する。また向暑期の着衣量の平均値が $0.59\text{clo} \pm$ 標準偏差 0.074clo に対して向寒期の着衣量の平均値が 0.54 ± 0 標準偏差 0.11clo であることから、向寒期のほうが向暑期より着衣量の変化が大きい。要因としては向寒期のほうが着衣による調節行為が盛んな可能性もあるが、社会的側面によるものと推測される。

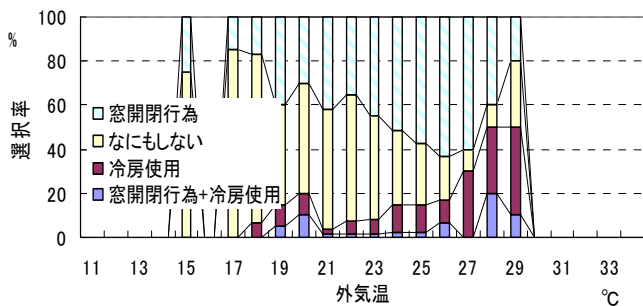


図 5.1 向暑期の外気温に対する温熱調節行為選択率

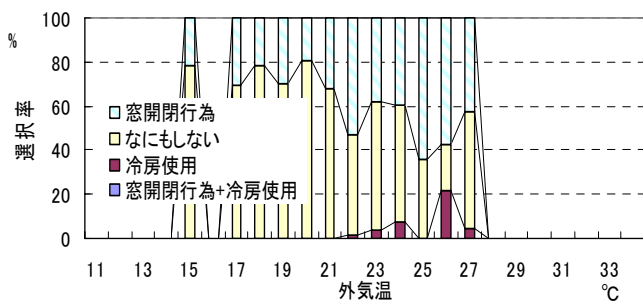


図 5.2 向寒期の外気温に対する温熱調節行為選択率

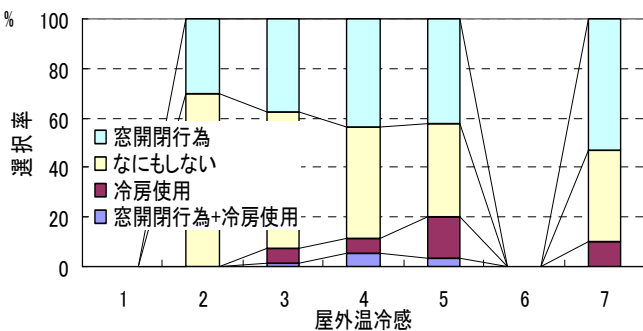


図 5.3 向暑期の屋外温冷感に対する温熱調節行為選択率

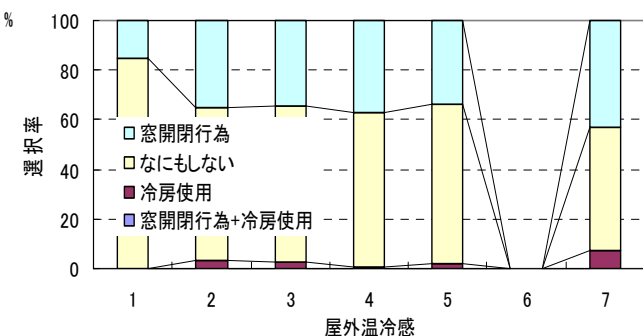


図 5.4 向寒期の屋外温冷感に対する温熱調節行為選択率

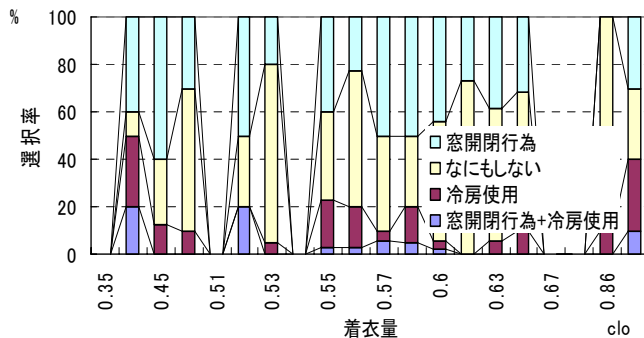


図 5.5 向暑期の着衣量に対する温熱調節行為選択率

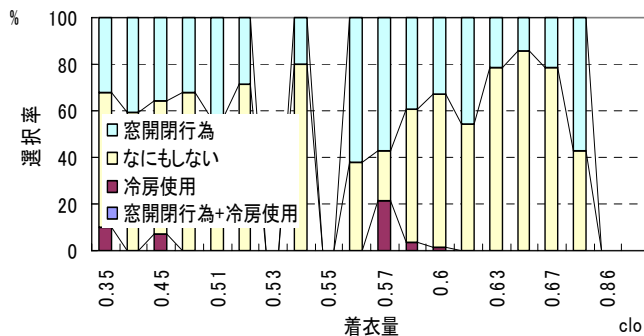


図 5.6 向寒期の着衣量に対する温熱調節行為選択率

6. 温熱環境、温熱感覚および温熱調節行為の関係

4、5で冷房使用期前後における温熱環境、温熱感覚と調節行為の関係、調節行為選択率を示したが、さらに細かく各季節における、温熱環境と温熱感覚、および調節行為について考察する。但し、暖房開始期は除いている。またデータは午前と午後の値を用いている。

外気温と室温の関係(図 6.1)では、春中間期、秋中間期において外気温と室温の関係が強く、一方で冷房使用期では関係が弱い傾向にある。冷房使用による室温の変化が外気温との関係を弱くしていると推測される。また自然通風室の Adaptive Model の 80%快適範囲に収まる。

外気温と屋外温冷感の関係(図 6.2)では、春中間期、冷房開始期のほうが、冷房終了期、秋中間期より関係が強い。また同じ外気温に対して秋中間期より約一目盛り、冷房開始期のほうが暑い側に評価している。向暑期にあたる冷房開始期のほうが外気温に対して反応しているといえる。

外気温と窓開放面積率の関係(図 6.3)では、春中間期、冷房終了期に外気温と関係が強く、上昇割合は外気温 1°C 上昇すると、窓開放面積率が 0.0036 高くなる。

外気温と冷房使用率の関係(図 6.4)では、冷房開始期と冷房終了期に外気温との関係が強いが、勾配は冷房終了期は負の勾配である。

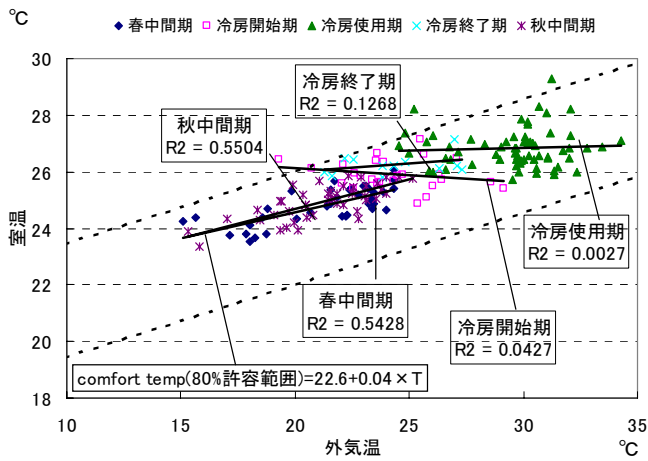


図 6.1 外気温と室温の関係

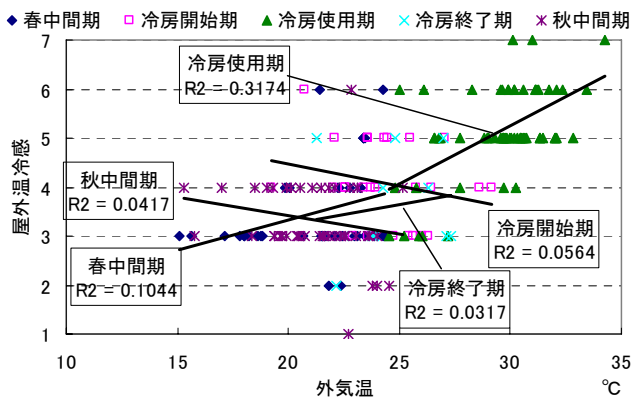


図 6.2 外気温と屋外温度冷感の関係

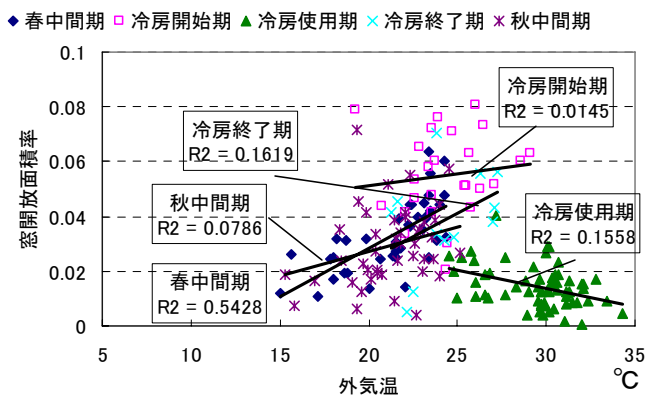


図 6.3 外気温と窓開放面積率の関係

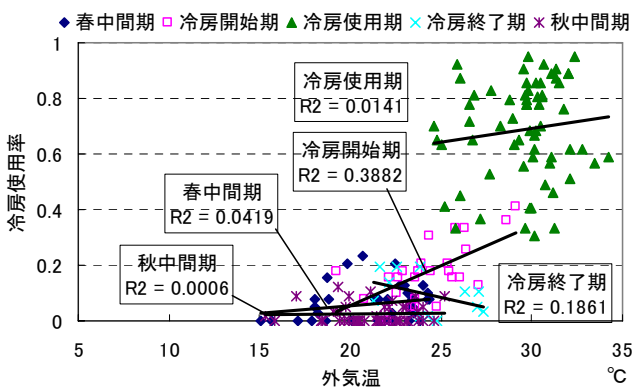


図 6.4 外気温と冷房使用率の関係

7. 結論

冷房使用期前・後における温熱環境と温熱環境調節行為との関係について、大学の学生居室を対象に、温熱環境の測定と申告調査、および窓開閉状況の観察調査を実施した。季節別による温熱環境調節行為の生起特性に関して以下のことを明らかにした。

- 1) 冷房使用期前（向暑期）には位相は、外気温に対して着衣量は約 1 週間遅れて下降し、温熱調節行為は外気温に約 2 週間遅れて変化する。温冷感と冷房使用率と窓開放面積率は外気温と位相のずれがない。一方後（向寒期）には、冷房使用期後は、着衣量は外気温に約 2 週間遅れて上昇し、温冷感と冷房使用率と窓開放面積率は外気温と位相のずれがない。冷房使用期前のほうが外気温に対して位相のずれが多いのは真理的・生理的な季節順応に時間がかかるためと推測される。
- 2) 温冷感 4「暑くも寒くもない」において外気温と窓開放面積率は、冷房使用期前は関係があるが、冷房使用期後では関係がない。向暑期のほうが心理的・生理的な季節順応に時間がかかるため、中立温感に対して敏感に反応し窓開放行為を行なっている可能性がある。
- 3) 向暑期では屋外温度冷感に対して温熱環境調節行為選択率が変化し、暑い側に評価すると温熱調節行為が活発になる。向寒期では屋外温度冷感に対して温熱環境調節行為選択率は変化しない。向暑期のほうが季節的順応の遅れから敏感に温冷感に対して反応している可能性がある。
- 4) 向寒期のほうが向暑期より着衣変化による温熱環境調節行為は活発である。

本研究は、冷房使用期の前・後において、温熱環境調節の生起特性が同じ温熱環境や温熱感覚に対して異なることを明らかにした。結果は、違いの要因として冷房使用期前・後における生理的・心理的適応の違いの影響を示唆している。着衣量などの社会的適応を考慮したモデルはあるが、今後は生理的・心理的適応まで考慮したモデル化が必要である。

謝辞 長期にわたり調査にご協力いただいた関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) Humphreys M.A. (1978), Outdoor temperatures and comfort indoors, *Building Research and Practice* 6(2), 92-105.
- 2) Richard J. de Dear and Gail Schiller Brager, Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, *ASHRAE Transactions*, 145-167, 1998
- 3) 井上銀次郎他：建・大・梗概集、193-194、2005年
- 4) 浅輪貴史他；建・環・論文集、593、87-94、2005年
- 5) Humphreys M.A. and Nicol J.F. (1998), *ASHRAE Transactions* 104 (1), 991-1004.

討 議 等

◆討議 [貫上佳則先生]

温冷感や着衣量の調査対象人数は何人か。

一般化できる人数なのか。

◆回答：窓観察の調査者が1日2回の観察の前後に、温熱感覚と着衣について記入した。人数は5人である。図1と図2に、温冷感と着衣量の季節推移を示す。季節に応じた推移を示しており、被験者は5人であるが一定の傾向が認められる。

温冷感や着衣量を窓開放や冷房使用と同時にこのように長期に渡り縦断的に調査したという点で、被験者数は少人数であるが貴重なデータが得られたと考えている。

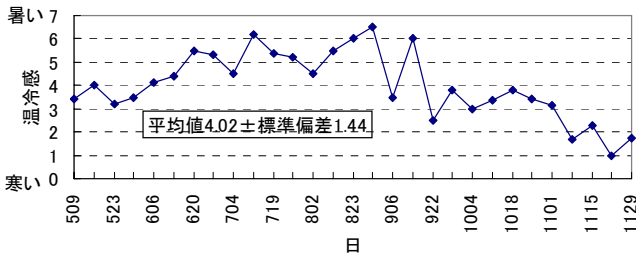


図1 屋外温冷感の日平均推移

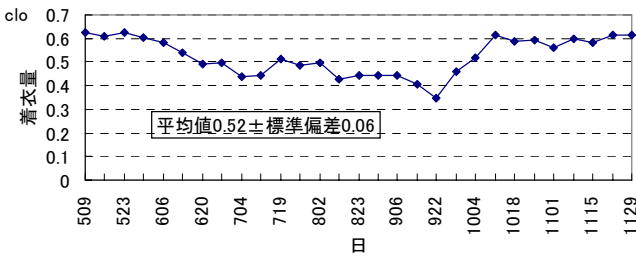


図2 着衣量の日平均推移

◆討議 [西岡真稔先生]

体感温度ではなく、なぜ気温を使ったのか。
湿度では見なかったのか。
室内での窓開放における通風は考慮しているのか。

◆回答：背景で述べたように、Adaptive Modelでは外気条件に対して快適な温度が決まる、とされている。既往研究では外気温を基準にしたものが多く、本研究でも外気条件に対する調節行為に着目した。屋外の気候条件を有効に活用するためには、外気条件との関係を把握する必要がある。

屋外気象条件としては、気温だけでなく風速、湿度、着衣量そして代謝量を考慮したET*を用いても考察したが、ET*と外気温の関係に大きな差が見られなかったため、概要では割愛している。図3に、外気温と外気ET*の関係を示す。

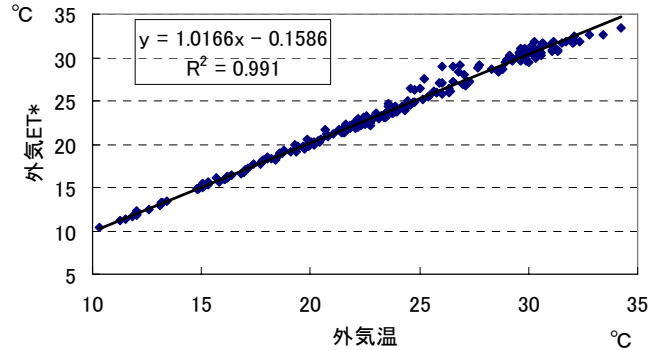


図3 外気温と外気ET*の関係

湿度については、谷口ら(2008)¹⁾によって、外気湿度が調節行為に影響するものの、外気温の方が、影響が強いことがわかっているため、本研究では扱わなかった。ちなみに図4に示すように、屋外相対湿度の推移は季節により異なる傾向にあることがわかった。7月～8月にかけては日による変化は少なく、60%付近で安定している。また10月～11月にかけても日変動が小さい特徴がある。また図5に示すように、屋外絶対湿度は7月に入ると急激に上昇し、10月に入ると急激に減少し外気温の期間による推移と同様の傾向がある。また屋外の風速については日平均の推移では日によってランダムに推移する。

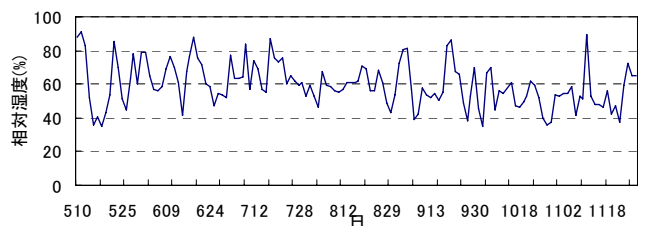


図4 屋外相対湿度の日平均推移

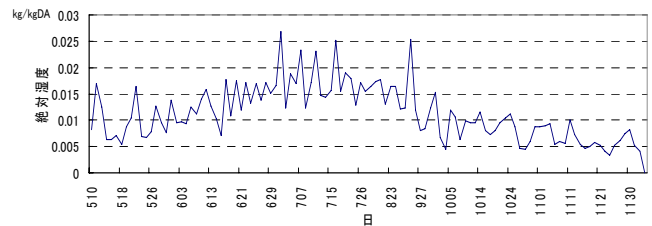


図5 屋外絶対湿度の日平均推移

体感温度としての室温と冷房使用や窓開放との関係についても調べている。しかし、室温に対しての調節行為の関係も見られたが、室温とは調節行為によって

変化するものでもあるため、原因であるが結果でもありと考えられることから、概要では割愛した。

風速に関しては、本研究では窓開放の実態を調べており、開放の目的が通風か換気かは言及していない。なお井上ら(2006)²⁾が中廊下型の住棟に対して玄関と窓の複数の開放パターンにおける室内風速を2秒間隔で15分ずつ測定した結果では、ベランダの風速を基準とした比べた室内風速の通風率は15~80%であった。なお、室内の扇風機の使用については調査を行い、扇風機使用室の7月~9月の風速は0.8m/sとしてPMVを求めた。

◆討議 [鍋島美奈子先生]

回帰式について、相関を見ているだけになってしまっているため、範囲を決めて回帰式を使うほうがよい。また値の低いものを載せる意味はあるのか。

◆回答：式の適応範囲は回帰線の範囲として図中に示している。また値の低いものを載せているのは、関係のあった季節との違いをひかくするためである。なお本研究では $R=0.4$ 程度を関係があるとみなしている。

引用文献

- 1) Noriko Umemiya and Koichi Taniguchi: Effects of Weather Conditions on Thermal Control use in Apartments during Summer Autumn, Proceedings of the International Air Infiltration and Ventilation Centre Conference on low energy and sustainable ventilation technologies for green buildings, 6A-3, pp.1-13, 2010.
- 2) 井上銀次郎他: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、2006