

実測に基づく外気 WBGT からの冷房使用率および窓開放率の推定

Estimation of measured thermal control using air conditioners and window ratios by outdoor WBGT during summer autumn

○渡部 麗杏(大阪市立大学) 梅宮 典子(大阪市立大学)

Reia WATABE*¹ Noriko UMEMIYA*¹

*¹Osaka City University

For heatstroke preservation, using air conditioners and open windows is necessary for adequate ventilation. The ultimate goal is creating barometer that can properly evaluate the advisability of cooling use and open windows. The present study analyzed the relation between using air conditioners and window opening and indoor-outdoor WBGT during summer autumn. 1) When outdoor WBGT is less than 21°C, AC ratio starts increasing. When outdoor WBGT is greater than 26°C, AC ratio is steady at about 55%. 2) When outdoor-indoor WBGT is -4K, WO ratio is maximum. 3) AC and WO ratios can be estimated by outdoor WBGT.

1. 背景と目的はじめに

2018年の夏は「災害」と表現されるほどの暑さ^{注1)}となり、全国における熱中症による救急搬送人員数は、2017年のおおよそ2倍となった^{注2)}。熱中症予防のために、冷房の適切な利用が呼びかけられた。しかし、温熱環境条件によっては、通風のみでも暑さをしのぐことができると考えられる。本研究は、冷房使用および通風利用の適否を適切に判断するための指標の作成を最終目標とする。本報は、冷房の使用・不使用と窓の開・閉の実測データを用いて、外気 WBGT からの冷房使用率と窓開放率の推定について報告する。

井上ら(2005)³⁾は、夏季から秋季にかけて、住宅における冷房使用と窓開放の温熱環境調節行為を 20 秒間隔で測定記録し、室温や外気温との関係の分析を行い、1) 外気温 31°C が通風による温熱環境調節行為の限界点、2) 外気温が室温よりも 5K 前後低いときに窓開放が最も盛ん、3) 室温 28°C と 29°C の間に温熱環境調節の境がみられる、等を明らかにした。本研究では、気温だけでなく、湿度、日射量、風速も考慮して暑熱環境の総合指標 WBGT を用いて、室内外の温熱環境と冷房使用や窓開閉等、居住者による温熱環境調節行為の選択との関係を、1) 外気 WBGT、2) 室内 WBGT、3) 内外 WBGT の差に着目して分析する。

2. 方法

大阪市内の 11 階建て集合住宅の同じ間取りで、エアコン 1 台、居住者 1~2 人の小規模住戸(Fig.1)において、20 秒間隔で温熱環境調節行為と温熱環境のデータを分析する。在・不在は玄関の開閉スイッチや照度から判定

し、在宅時のデータのみを分析対象とする。冷房使用は冷房吹出し温度から判定し、窓開・閉は全開口部にマグネットスイッチを設置して連続記録した。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。屋外環境は大阪市立大学屋上の気象観測システムの気温、湿度、日射量、風速のデータを用いる。

外気 WBGT は(1)式²⁾から、室内 WBGT は生気象学会指針³⁾により気温と湿度から推定する。

$$WBGT = 0.735 \times T_a + 0.0374 \times RH + 0.00292 \times T_a \times RH + 7.619 \times SR - 4.557 \times SR^2 - 0.0572 \times WS - 4.064 \quad \dots(1)$$

T_a : 気温(°C), RH : 湿度(%), SR : 日射量(kW/m²), WS : 風速(m/s)

分析期間は、全住戸合計の冷房使用時間率の季節推移(Fig.2)をもとに、冷房使用が盛んな冷房期(C)、冷房使用が減少する冷房終了期(LC)、冷房がほとんど使用されない中間期(NV)に分ける。本報は冷房期から冷房終了期(C-LC 期)について分析する。温熱環境調節行為は、冷房使用と窓開放の組み合わせから Table.1 の 4 分類とする。

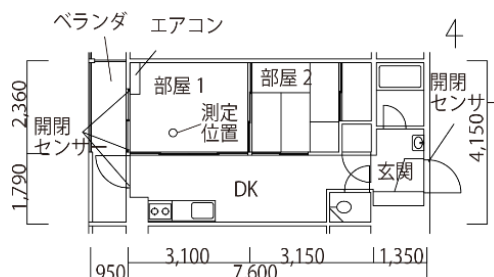
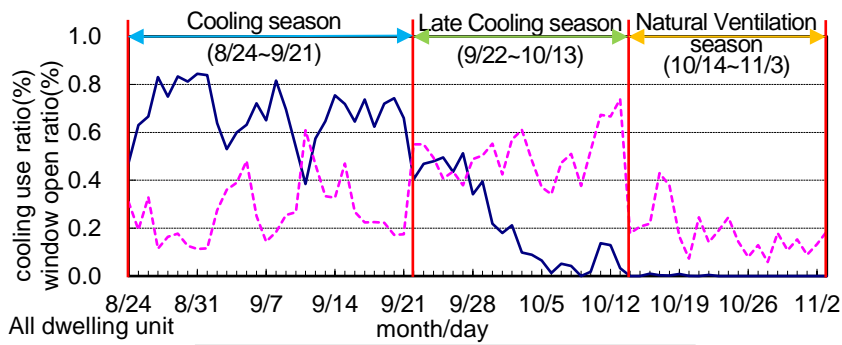


Fig.1 Floor plan



		Cooling	
		use	not use
Window	open	AW	WO
	close	AC	FR

Table.1 Classification of thermal control

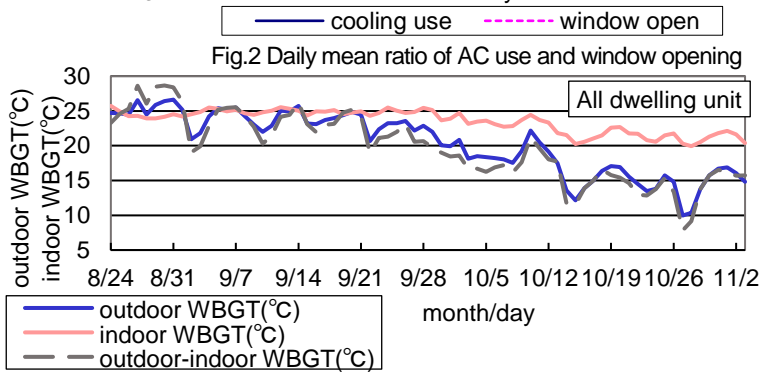


Fig.4 Transition of indoor and outdoor WBGT

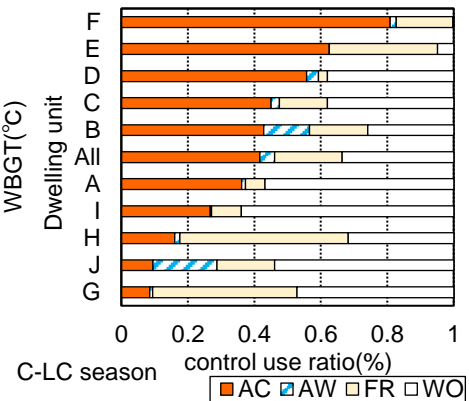


Fig.3 Control use ratio by dwelling unit

3. 調節行為選択率の出現状況

Fig.3に、C-LC期の在宅時において、20秒ごとに判定したAC(冷房使用)、AW(冷房使用+窓開放)、WO(窓開放)、FR(冷房不使用+窓閉鎖)の4種類の温熱環境調節行為の選択率を住戸別に示す。住戸合計(All)に比べて、住戸D、E、Fは冷房選択率が特に高く、G、H、I、Jは特に低い。AllよりACが高い住戸B、C、D、E、Fを冷房使用頻度の高い住戸、AllよりACが低い住戸A、G、H、I、Jを冷房使用頻度の低い住戸とする。最もWOが高いのは、住戸Iであり、低いのは住戸Fである。住戸Bと住戸JはAWが他の住戸に比べて高い。FRは住戸G、Hで高く、住戸Dが最も低い。

4. 室内外温熱環境の推移

Fig.4に、内外WBGTの季節推移を示す。外気WBGTは、LCになると徐々に下がり、室内WBGTは、C-LC期は25°C付近にあり、NV期以降下がる。室内WBGTは外気WBGTほど低下せず、20°Cまでに保たれている。

5. 調節行為と室内外温熱環境(住戸合計)

Fig.5~Fig.7にWBGTの外気、室内、内外差の出現頻度を住戸合計で示す。いずれも正規分布し($p < 0.01$)、外気WBGTはC期で23°C、LC期で21°Cが最多、室内WBGTはC期とLC期で25°Cが最多、内外差は、C期で-2.5K、LC期で-4Kが最多である。C-LC期で、出現頻度が3%を超える範囲は、外気WBGTで17~28°C、室内WBGTで21~27°C、内外差で-6~1.5Kである。以降、出現頻度が3%以上の範囲について考察する。

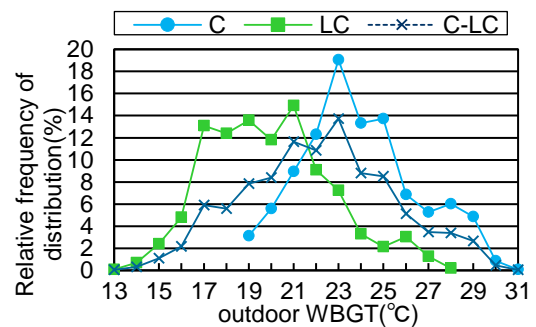


Fig.5 Relative frequency of distribution (%) outdoor WBGT

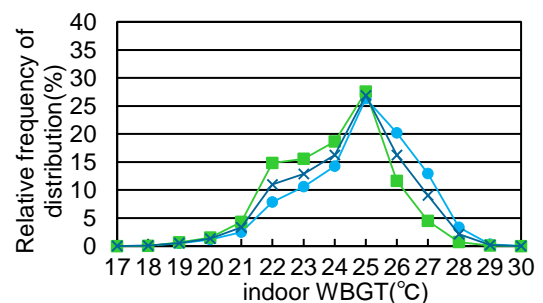


Fig.6 Relative Frequency of distribution (%) indoor WBGT

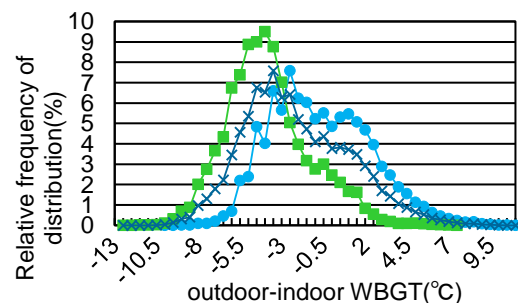


Fig.7 Relative frequency of distribution (%) outdoor-indoor WBGT

Fig.8 に内外 WBGT と温熱環境調節行為の選択率の関係を示す。

(1)外気 WBGT ACは25℃まで外気 WBGT が高いほど一定の割合で高く、26℃以上は約55%で一定である。WOは25℃まで外気 WBGT が高いほど一定の割合で低くなり、26℃以上は約25%で一定である。FRは20℃まで外気が高いほど低くなり、21℃以上は約15%で一定である。AWは20℃以上で約5%前後で一定である。

(2)室内 WBGT ACは21～23℃まで、約35%前後の一定であり、24～26℃のとき50%以下の範囲で室内 WBGT が高いと徐々に高くなり、27℃のとき少し下がる。WOは21～22℃のとき約47%で一定で、23℃以上のとき室内 WBGT が高いと徐々に低くなる。FRは23℃まで高くなり、24℃以上は約23%前後で一定である。AWは22℃まで低くなり23℃以上は5%以下の一定である。

(3)内外 WBGT の差 ACは外気 WBGT が室内 WBGT より高くなるほど高くなる。WOは-4Kに最大の50.3%となる。外気 WBGT が室内 WBGT より高くなるほど、徐々にFRが低く、AWが高くなる。

6. 調節行為と室内外温熱環境(住戸比較)

Fig.9 に内外 WBGT と選択率の関係を3区間移動平均で示す。

(1)外気 WBGT C-LC期において、すべての住戸で17℃から21℃のときACは上がり始め、外気 WBGT が高いとACは上昇傾向にある。WOは、住戸E、Fを除き、17℃から21℃の範囲内にピークをもち、住戸E、F、Gを除き、22℃から25℃のとき減少傾向にある。

(2)室内 WBGT 室内 WBGT が23℃以上のとき、冷房使用頻度の低い住戸と住戸Eでは、ACは減少傾向にあり、住戸Eを除く冷房使用頻度の高い住戸では、ACは上昇傾向がある。室内 WBGT が23℃以上のとき、住戸A、E、G、I、JではWOは上昇傾向にあり、住戸B、C、D、HではWOは減少傾向にある。

(3)内外 WBGT の差 外内が-2.5K以下のとき、冷房使用頻度の低い住戸では、ACが0.1以下であり、住戸E、Fを除くすべての住戸で、-2.5K以下の範囲にWOはピークをもち、外内が-2K以上のとき、冷房使用頻度の低い住戸では、ACが上昇し始め、WOが住戸Gを除き緩やかに下降する。外内の差が0.5K以上のとき、ACは上昇傾向があり、WOは住戸Gを除き下降傾向がある。

7. 外気 WBGT からの調節行為の選択率の推定

Fig.10 に各住戸のACの選択率の平均値に対する1標準偏差を示す。6.から、外気 WBGT に対してACは、21℃と25℃のとき変化がみられる。外気 WBGT が21℃のとき、1標準偏差は0.26で、ACの選択率は、0.04以

上0.57以下である。この範囲内に住戸E、F、Jを除く住戸が含まれている。外気 WBGT が25℃のとき、1標準偏差は0.26で、ACの選択率は、0.31以上0.84以下である。ACはおおむね全住戸、住戸合計いずれも外気 WBGT が高いとACは高い傾向があり、住戸間で似た傾向を示す。冷房使用の選択率は1標準偏差の範囲内に含まれ、外気 WBGT から推定できる可能性がある。

Fig.11 に各住戸のWOの選択率の平均値に対する1標準偏差を示す。6.で述べたように、外気 WBGT に対してWOは、21℃と25℃のとき変化がみられる。外気 WBGT が21℃のとき、1標準偏差は0.29で、WOの選択率は、0.16以上0.75以下の範囲内にある。外気 WBGT が25℃のとき、1標準偏差は0.18で、WOの選択率は0.03以上0.39以下の範囲内にある。WOは、住戸E、Fを除き、外気 WBGT が21℃以上のとき、外気 WBGT が高いと低くなる傾向があり、住戸合計のWOの選択率の変化と似た傾向を示す。窓開放の選択率は、1標準偏差の範囲内に含まれ、外気 WBGT から推定できる可能性がある。

8. 結論まとめ

住戸合計では、1)ACは25℃まで外気 WBGT が高いほど高く26℃以上は約55%一定、WOは25℃まで外気 WBGT が高いほど低く、26℃以上は約25%一定、2)ACは室内 WBGT が21～23℃まで35%前後一定、24℃以上で室内 WBGT が高いと徐々に高く、WOは21～22℃まで約47%一定で23℃以上は室内 WBGT が高いほど低い、3)外気 WBGT が室内 WBGT より高くなるほどACは高く、WOは外内が-4Kで最大となる。

住戸別では、4)外気 WBGT が17～21℃のときACが上がり始め、22～25℃のとき住戸E、F、Gを除き、WOは減少傾向にある。冷房使用頻度の低い住戸では、5)外気 WBGT が室内 WBGT より2.5℃以上低いとき、ACが低く、WOが高い、6)外気 WBGT が室内 WBGT より2℃以上高いとき、冷房を使用し始め、窓開放の選択率は低くなる。外気 WBGT に対して、7)各住戸の冷房使用および窓開放の選択率は、住戸合計の選択率と似た傾向を示し、各住戸のそれぞれの選択率の平均値に対する1標準偏差の範囲内におおむね含まれ、外気 WBGT から冷房使用および窓開放の選択率を推定できる可能性がある。

注 1) 大阪では、8月の平均気温は、平年より0.9℃高い。^{文4)}
2) 5月から9月の全国における熱中症による救急搬送人員数の累計は2018年で95,137人、2017年で52,984人であった^{文4)}。

参考文献 1) 井上ら：空・衛・近，153-156，2005年
2) 小野ら：日生気誌，50(4)，147-157，2014年
3) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針，2012年
4) 気象庁 <https://www.jma.go.jp/jma/index.html> 2018年10月30日閲覧
5) 総務省消防庁 <http://www.fdma.go.jp/> 2018年10月30日閲覧

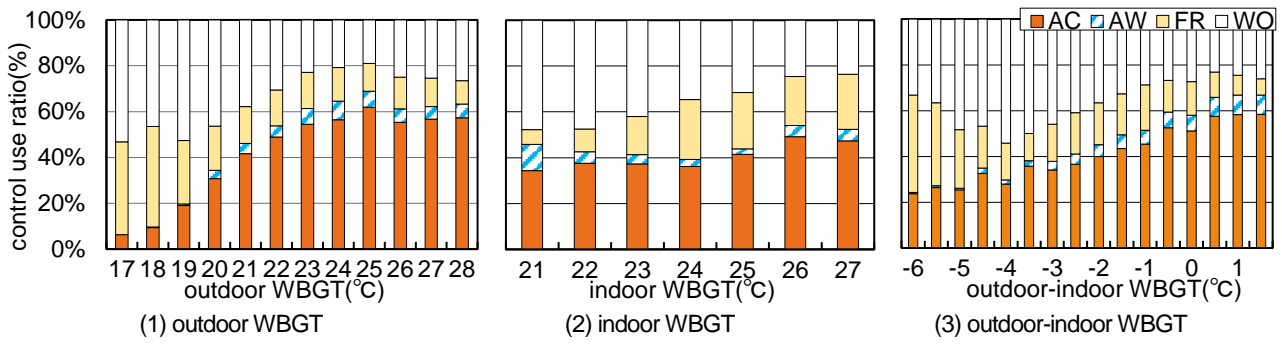


Fig.8 Control use ratio by all dwelling unit indoor and outdoor WBGT

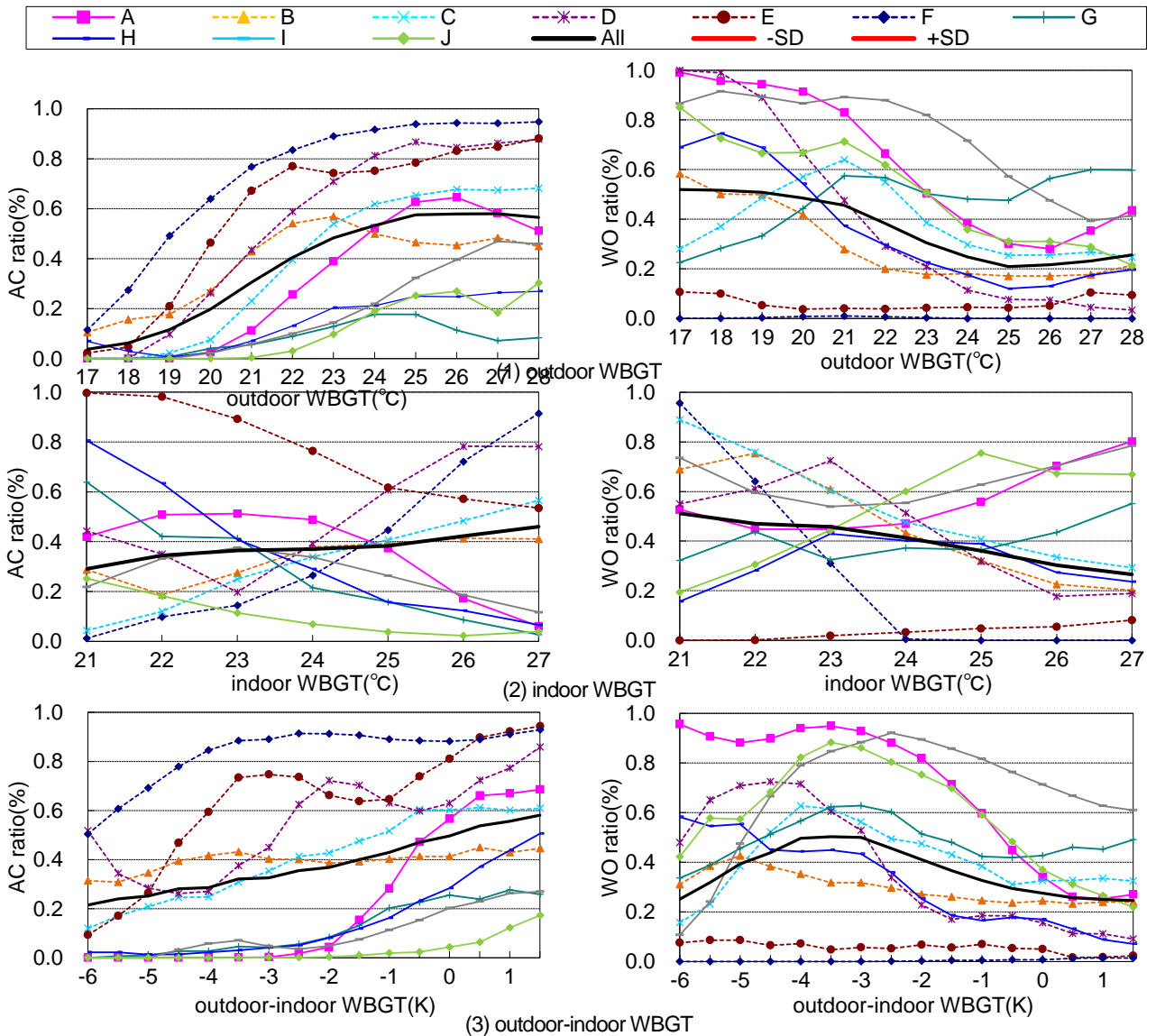


Fig.9 Cooling use ratio and Window opening ratio for indoor and outdoor WBGT

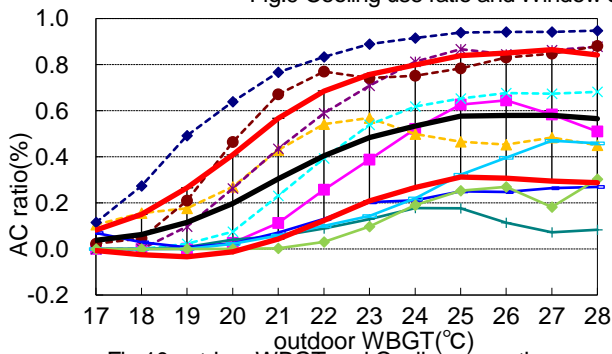


Fig.10 outdoor WBGT and Cooling use ratio

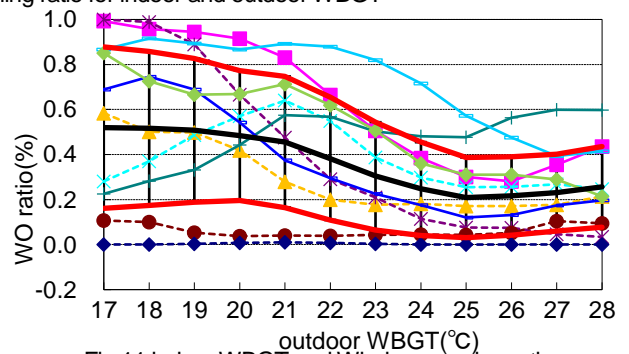


Fig.11 indoor WBGT and Window opening ratio

