

## 冷房使用と通風利用の選択における外気温に応じた室温の調節範囲 Adjusted range of indoor temperatures depending on outdoor temperatures during cooling and window opening selection

○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

\*1 Osaka City University

During summer and autumn, we particularly measured indoor environments, cooling, window opening and closing. Based on the data, we considered the adjusted range of indoor temperature according to outdoor temperatures during cooling (AC) and according to window opening (WO) selection. Results revealed the following. During WO selection, indoor temperatures increase about 0.43°C at night, and about 0.55°C during daytime, per degree rise in outdoor temperature. When outdoor temperatures are higher than 22.1°C, the WO indoor temperature is higher than the AC indoor temperature during night. When outdoor temperatures are higher than 26.3°C, the WO indoor temperature is higher than the AC indoor temperature.

### 1. 研究背景

冷房は熱中症予防のために適切に使用することが必要である一方で、建物内外の寒暖差を生じさせ、「冷房病」などの健康被害をもたらす。窓開放による通風の利用は、自然エネルギーを利用した採涼行為であり、外気環境を室内環境に取り込むことが可能である。さらに、窓開放行為は、温熱環境を調節する在室者による適応行動のひとつであると捉えられている。

de Dear と Brager (1998)<sup>1)</sup>は、温冷感申告と申告に対応する温熱環境測定値、着衣量、活動量を記録した約 20,000 個の観測値からなるデータベースをメタ分析した。その結果、自然通風下の快適温度は月平均外気温度に応じて変化することを示した Adaptive Model を提案した。ASHRAE 基準に導入され実際の設計にも使われている。

本報は、夏季から中間期にかけて、冷房発・停、窓開・閉、室内温熱環境を 20 秒間隔で連続測定したデータに基づいて、冷房及び通風の選択時における内外気温の関係を明らかにし、外気温に応じた室温の調節範囲を検討す

ることを目的とする。具体的には、1)各季節における内外気温の関係はどのようになっているのか、2)室温が外気温に応じてどの程度変化するのか、また、3)内外気温の関係を線形回帰し、Adaptive Model と比較し、4)外気温に応じた冷房選択時と通風選択時の室温を比較したので報告する。

### 2. 方法

実測は、大阪市内の 11 階建て集合住宅 1 棟で、冷房、通風、温熱環境の関係が読み取りやすいようにエアコンが 1 台で間取りが単純 (Fig. 1)、居住者 1~2 人の 9 住戸を対象に 8 月下旬から 12 月中旬まで、室内温熱環境、エアコン吹き出し温度、マグネットスイッチによる全開口部の開・閉を記録した。複数ある開口部のうち、1 つでも開の場合を「開放」、すべて閉の場合を「閉鎖」と定義した。冷房発・停の判定は、冷房吹き出し温度と室温から、居住者の在・不在は玄関の開閉スイッチと照度の記録、居住者へのヒアリングから判定した。屋外環境は、実測対象住棟から西に約 1km 離れた大学建物屋上の気象

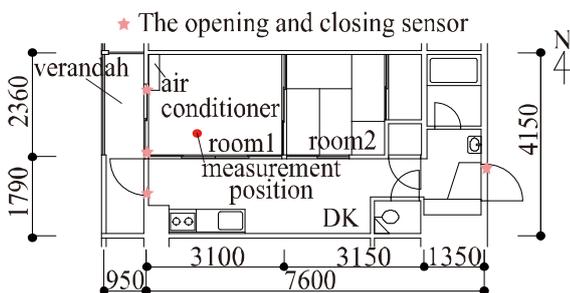


Fig.1 Floor Plan

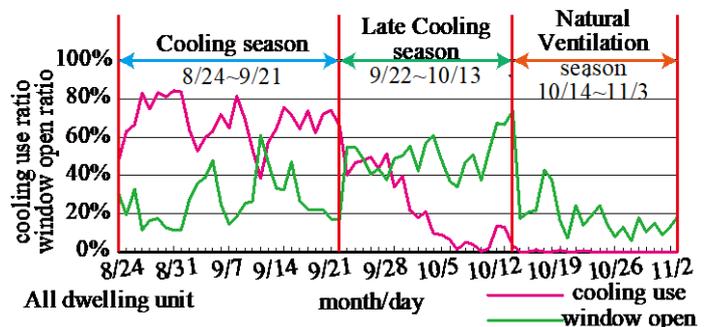


Fig.2 Daily mean ratio of air conditioner use and window opening

観測システムの観測値を用いた。

分析期間は、Fig.2 に示す冷房使用時間率の季節推移をもとに、冷房期、冷房終了期、中間期の3季節とする。温熱環境調節行為は、冷房使用・不使用と窓開閉の組み合わせから、「冷房使用のみ選択」のAC、「冷房使用と窓開放両方選択」のAW、「窓開放のみ選択」のWO、「どちらも選択しない」のFRの4つに分類する。

本報では、各住戸の在宅率の日内変動をもとに推定した過渡状態を除いて分析する。また、生活行為の影響が最も少ないと考えられる夜間 2-5 時と日中 14-17 時の2つの時間帯<sup>2)</sup>を対象とする。

3. 外気温の出現分布

WO 選択時における外気温の出現状況を調べた。

Fig. 3 に冷房期における 1℃刻みにした外気温の出現分布を示す。正規性の検定に Kolmogorov-Smirnov 検定を適用すると  $p < .01$  で、データは正規分布に従っているとはいえない。平均値は夜間 24.1℃、日中 29.7℃である。最頻値は夜間 25℃、日中 31℃である。日中は 28~33℃に分布が集中している一方で、23℃にもピークがある。これは、実測期間のうち、1 日だけ外気温が他の日と比べて低い日があり、そのデータが影響していると考えられる。よって、外れ値とみなし、冷房期の日中の外気温は 25℃未満を除くこととした。

Fig. 4 に冷房終了期における 1℃刻みにした外気温の出現分布を示す。正規性の検定に Kolmogorov-Smirnov 検定を適用すると、 $p < .01$  で、データは正規分布に従っているとはいえない。平均値は、夜間 21.0℃、日中 25.3℃

である。夜間は 23℃、同程度に 20℃が多く、日中の最頻値は 22℃である。

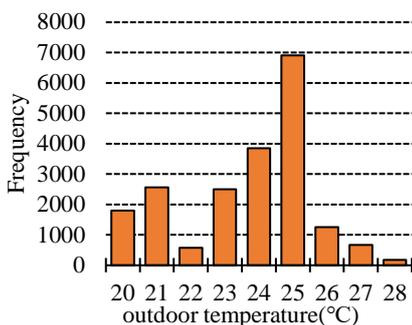
Fig. 5 に中間期における 1℃刻みにした外気温の出現分布を示す。正規性の検定に Kolmogorov-Smirnov 検定を適用すると、 $p < .01$  で、データは正規分布に従っているとはいえない。平均値は、夜間 15.0℃、日中 20.8℃である。最頻値は、夜間 15℃、日中 22℃である。

4. 調節行為別内外温熱環境の関係

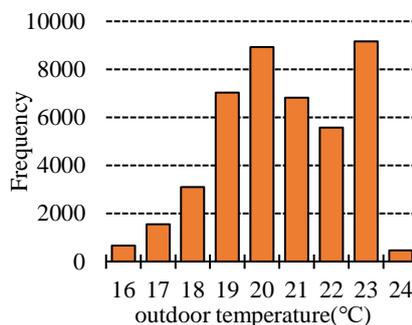
外気温に対する室温の関係について、季節別、調節行為別に述べる。室温も外気温も 95%レンジを分析した。調節行為の違いによって、同じ外気温に対して室温はどう異なるのか、季節による違いにも着目する。Table. 1 に回帰式、決定係数、データ数 N を季節別、調節行為別にまとめて示す。

Fig. 6 に冷房期における外気温と室温の関係を示す。夜間では、決定係数は、Table. 1 に示した通り、WO 選択時のみ 0.1 以上である。外気温が 1℃上昇すると室温は約 0.4℃上昇する。同じ外気温に対して室温は、26.5℃以下において、FR、WO、AC の順に高い。日中では、決定係数は、WO 選択時のみ 0.35 であてはまりがよく、外気温 1℃あたり室温は約 0.3℃上昇する。同じ外気温に対して室温は WO、FR、AC の順に高く、FR と AC はほとんど平行している。

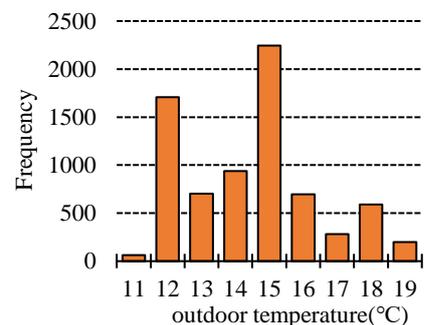
Fig. 7 に冷房終了期における外気温と室温の関係を示す。夜間では、決定係数は WO 選択時で 0.34 とあてはまりがよく、FR 選択時で 0.16 とやや当てはまりがよい。AC 選択時は、外気温と無関係に室温が決まっているのに



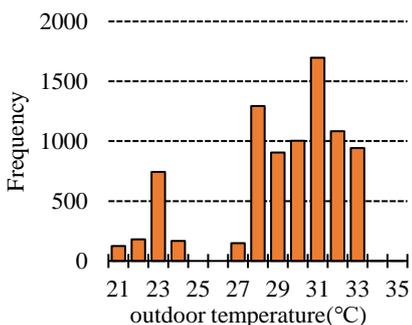
(1) night



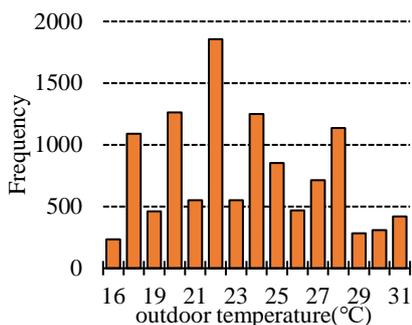
(1) night



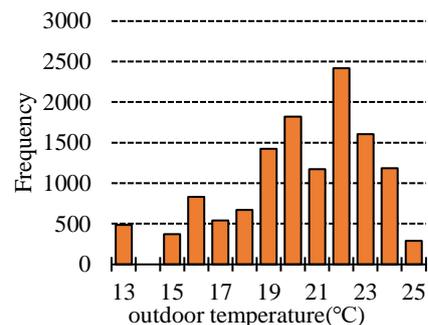
(1) night



(2) daytime



(2) daytime



(2) daytime

Fig.3 Frequency of distribution about outdoor temperature (Cooling season)

Fig4. Frequency of distribution about outdoor temperature (Late Cooling season)

Fig5. Frequency of distribution about outdoor temperature (Natural Ventilation season)

対して、WO 及び FR 選択時は外気温が高いと室温が高い傾向がある。外気温 1℃あたり、室温は、WO 選択時で約 0.4℃、FR 選択時で約 0.3℃上昇する。夜間の外気温の最頻値 23℃における室温は、FR、WO、AC の順に高い。日中では、決定係数は、WO 選択時が 0.56、FR 選択時で 0.26 とあてはまりがよい。WO と FR は外気温 28.3℃に交点をもつ。外気温 1℃あたり、室温は WO 選択時で約 0.4℃、FR 選択時で約 0.2℃上昇する。

Fig. 8 に中間期における外気温と室温の関係を示す。中間期では、AC は選択されない。夜間では、WO も FR も決定係数が 0.1 以下で回帰式のあてはまりは悪い。同じ外気温に対して室温は、FR 選択時の方が WO 選択時より高い傾向がある。日中では、WO 選択時の決定係数が 0.50 とあてはまりがよい。外気温 1℃あたり室温は約 0.4℃上昇する。同じ外気温に対して室温は、FR 選択時の方が WO 選択時より高い傾向がある。

5. Adaptive Model との対応

WO 選択時における内外気温の関係を de Dear ら (1998)<sup>1)</sup> が提案した Adaptive Model の回帰式  $y=0.31x+17.8$  の勾配と比較する。縦軸は快適とは限らないが、在室者の調節による定常状態の室温である。

Fig. 9 に WO 選択時における各季節の外気温と室温の関係を示す。夜間における回帰式の勾配は、冷房期が 0.40、冷房終了期が 0.41、中間期が 0.16 である。冷房期と冷房終了期の勾配は、Adaptive Model の勾配 0.31 より大きい。日中における回帰式の勾配は、冷房期が 0.33、冷房終了期が 0.42、中間期が 0.40 である。すべての季節

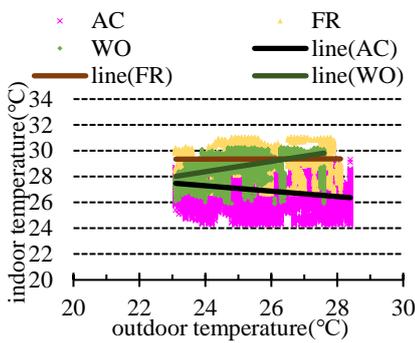
で勾配は Adaptive Model の勾配 0.31 より大きく、冷房期では同程度である。

Fig. 10 に、冷房期から中間期までの合計の WO 選択時における外気温と室温の関係を示す。夜間の回帰式の決定係数は 0.67 とあてはまりがよい。勾配は 0.43 で Adaptive Model の勾配 0.31 より大きい。日中の回帰式の決定係数は 0.81 とあてはまりがよい。勾配は 0.55 で Adaptive Model の勾配 0.31 より大きい。

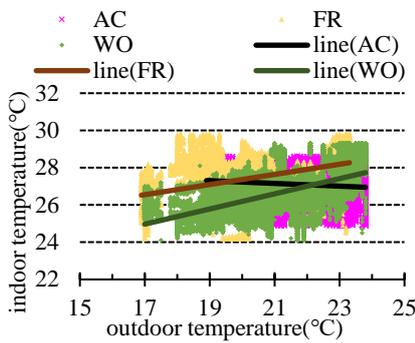
以上により、WO 選択時において、各瞬間の外気温と室温との関係の勾配は、各季節において、中間期の夜間以外は Adaptive Model より大きい。3 季節合計の場合、勾配は Adaptive Model より大きく、外気温 1℃当たり室温は、夜間では 0.43℃、日中は 0.55℃上昇する。Adaptive Model は、長期的な関係を示しているが、瞬時値でみて

Table.1 Seasonal refression formula

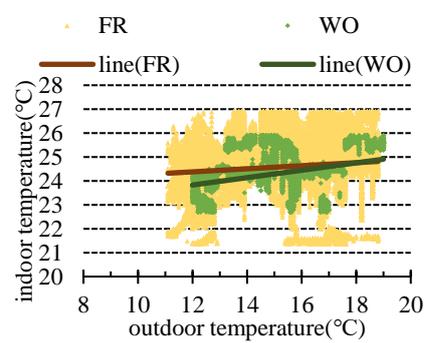
		refression formula	R <sup>2</sup>	N
Cooling season	night	AC $y=-0.21x+32.3$	0.07	58,580
		WO $y=0.40x+18.8$	0.16	14,386
		FR $y=0.004x+29.3$	0.00003	17,388
	daytime	AC $y=-0.08x+30.0$	0.02	20,766
		WO $y=0.33x+20.5$	0.35	6,865
		FR $y=-0.03x+30.5$	0.002	2,612
Late Cooling season	night	AC $y=-0.073x+28.7$	0.01	21,238
		WO $y=0.41x+18.1$	0.34	40,317
		FR $y=0.27x+21.9$	0.16	29,054
	daytime	AC $y=-0.04x+28.9$	0.02	7,707
		WO $y=0.42x+17.0$	0.56	16,795
		FR $y=0.18x+23.8$	0.26	9,391
Natural Ventilation season	night	WO $y=0.16x+22.0$	0.10	7,012
		FR $y=0.06x+23.6$	0.02	77,739
	daytime	WO $y=0.40x+16.0$	0.50	11,517
		FR $y=0.17x+22.1$	0.07	14,565



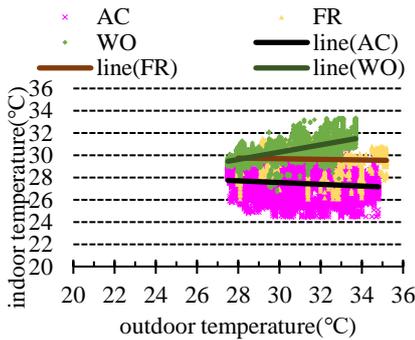
(1) night



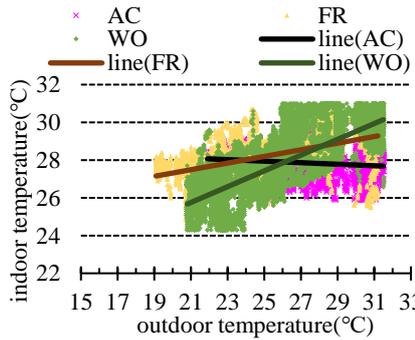
(1) night



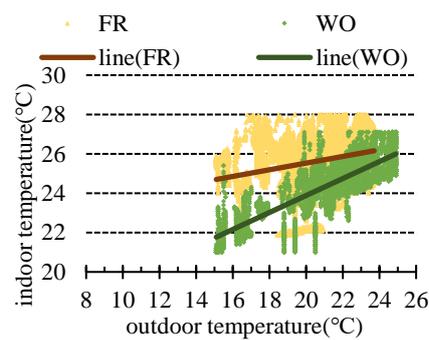
(1) night



(2) daytime



(2) daytime



(2) daytime

Fig.6 Relation of indoor and outdoor temperature (Cooling season)

Fig.7 Relation of indoor and outdoor temperature (Late Cooling season)

Fig.8 Relation of indoor and outdoor temperature (Natural Ventilation season)

も室温は外気温に応じて決まっており、外気温が室温を決定する傾向は瞬時値の方がより強いことが示された。

6. 外気温に応じた室温の調節範囲

Fig. 11 に3季節合計のW0選択時とAC選択時の外気温に対する室温との関係を示す。夜間のW0選択時の回帰式は、 $y=0.43x+17.7$ 、決定係数は0.67であてはまりがよい。AC選択時は決定係数が0.04であてはまりが悪い。AC及びW0の回帰直線の交点は、外気温22.1℃、室温27.2℃である。同じ外気温に対して、外気温22.1℃以上は、W0選択時の方が室温は高く、外気温22.1℃以下では、W0選択時の方が室温は低い。

日中のW0選択時の回帰式は、 $y=0.55x+13.4$ 、決定係数は0.81であてはまりがよい。AC選択時は決定係数が0.05であてはまりは悪い。AC及びW0の回帰直線の交点は、外気温26.3℃、室温27.9℃である。同じ外気温に対して外気温26.3℃以上では、W0選択時の方がAC選択時に比べ室温は高く、26.3℃以下ではW0選択時の方が室温は低

い。

7. 結論

20秒間隔で測定した冷房発・停、窓開・閉、室内温熱環境のデータに基づいて、内外気温の関係を Adaptive Model と比較した。通風選択時の外気温と室温の関係は、1) 中間期夜間を除き直線回帰でき、外気温が1℃上昇すると室温は約0.3~0.4℃上昇、2) 中間期夜間を除き、線形回帰の勾配は Adaptive Model の0.31より大きく、冷房期の日中は0.33でほぼ同じ、3) 3季節合計の室温の瞬時値は外気温の瞬時値に応じて変化し、外気温が1℃上昇すると、室温は夜間約0.43℃、日中約0.55℃上昇する。瞬時の室温は Adaptive Model より敏感に外気温に反応、4) 3季節合計の通風選択時の室温は同じ外気温に対し、夜間では外気温22.1℃以上のとき冷房選択時より高く、日中では外気温26.3℃以上のとき冷房選択時より高い。

【参考文献】 1) de Dear ら, ASHRAE transactions, 145-167, 1998  
 2) NHK 国民生活時間調査2015年, <https://www.nhk.or.jp/bunken/yoron-jikan/>, 2021年2月16日閲覧

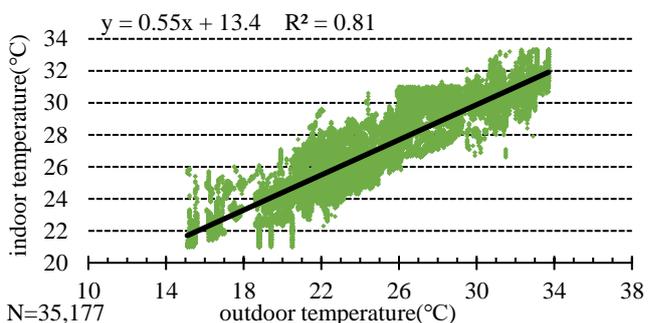
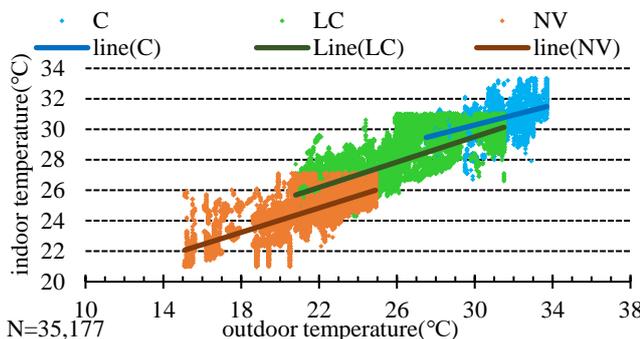
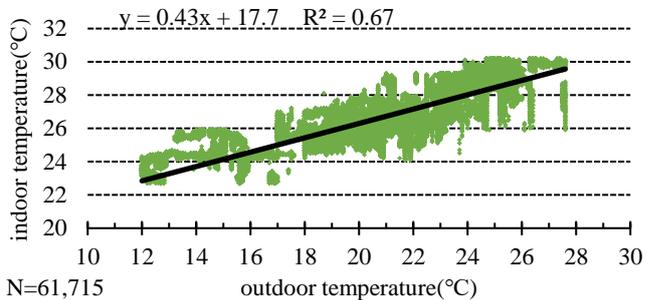
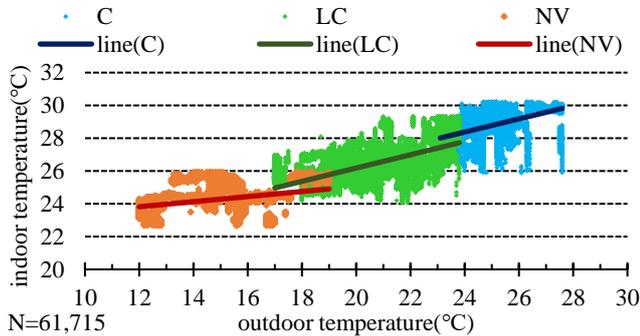


Fig.9 Seasonal Relation of indoor and outdoor temperature (W0)

Fig.10 All season Relation of indoor and outdoor temperature (W0)

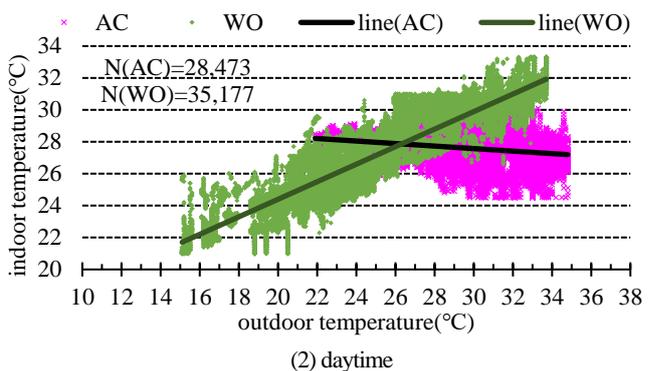
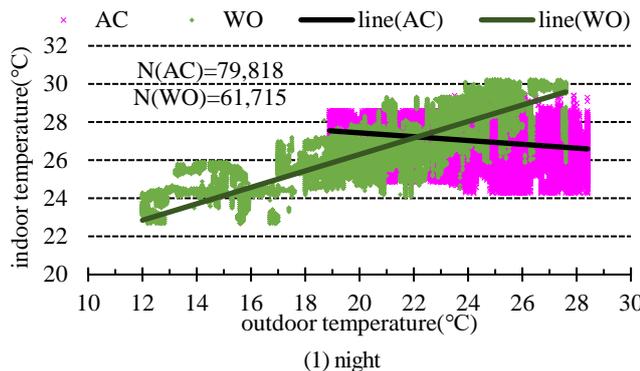


Fig.11 All season Relation of indoor and outdoor temperature (AC and W0)