

盛夏季における就寝時および起床時までの
寝室温熱環境の変化と温熱感覚や睡眠の質との関係
—大阪の集合住宅を対象とした調査

**Relation between thermal environment change and evaluation of thermal sensation and
sleep quality in bedrooms during peak summer
-Survey of Apartments in Osaka**

○山形胡桃（大阪市立大学） 梅宮典子（大阪市立大学） 小林知広（大阪市立大学）

橘良樹（大阪市立大学） 中山裕介（大阪市立大学） 福村薫美（大阪市立大学）

白本雄大（大阪市立大学） 喬蔚（大阪市立大学） 陳宇航（大阪市立大学）

Kurumi YAMAGATA*¹ Noriko UMEMIYA*¹ Tomohiro KOBAYASH*¹ Yoshiki TACHIBANA *¹ Yusuke
NAKAYAMA*¹ Kurumi FUKUMURA*¹ Yudai SIRAMOTO*¹ Wei QIAO*¹ Yuhang CHEN*¹

*¹ Osaka City University

When ACs are used all night, WBGT decreases after the beginning of sleep. The decrease range is within 0.2°C for high Sleep Quality residents. WBGT decreases during 30 min after the beginning and remains 0.2°C lower than the beginning for middle SQ residents. WBGT decreases during 60 min after the beginning and stays 0.4°C lower than the beginning for low SQ residents. When natural ventilation is used all night, WBGT is 0–0.2°C higher than the end for thermally comfortable residents. It is 0.4°C lower at 2 hr before the end and increases toward the end for uncomfortable residents.

1. 背景と目的

近年、熱帯夜数が増加する一方^{文1)}、地球温暖化対策や節電が求められるなど、夏季の睡眠時における冷房使用のあり方が問われている。橘ら(2017)^{文2)}は7月末～9月初めの実測調査にもとづき、温熱環境調節行為パターンとして出現頻度の高い)全時間冷房、i)全時間窓開放、u)冷房一時使用を比較して、1) 室内温熱環境はi>u>a、2) a)の温冷感には差がない、3)睡眠の質はi>a、等を明らかにした。ここで温熱環境には一晩平均値を用いているが、本研究は温熱環境の時間的推移に着目し、就床時からおよび起床時までの温熱環境の時間的変化によって睡眠の質や温熱感覚の主観的評価にどのような違いがあるかについて分析したので報告する。

2. 方法

大阪の集合住宅居住者 63 名を対象に、7 日間にわたり寝室の枕元にボタン電池型ロガーと湿度計を設置し、温度は 10 分間隔、湿度は就床時と起床時に記録する。室内の温熱環境指標には自然湿球温度 Tw と黒球温度 Tg から(1)式で定義される WBGT ^{文3)} は、実測した気温と相対湿度から換算^{文2)}した。この際、気温には 10 分毎の実測値、気温は就床時と起床時の平均値をその晩の値として用いた。

$$WBGT=0.7 \cdot Tw+0.3 \cdot Tg \quad \dots (1)$$

被験者は毎朝起床後、前晩の睡眠の質 (OSA 調査) や睡眠時の温熱感覚を申告し、睡眠・起床、寝室の在・不在、寝室の窓の開・閉、冷房や扇風機の使用・不使用(寝室に限定せず)についても、30 分刻みで申告する。

日別の分析対象者数と日平均外気温の推移に下降低下上昇のトレンドはなく、盛夏期に毎日人数の偏りなく測定できたといえる (Fig. 1)。

3. 分析対象の構成

年齢は 27～88 歳、男女比は 0.56 である (Fig. 2)。睡眠の質を示す OSA 得点は平均 52.3 点で分布する (Fig. 3)。温熱環境調節行為としての冷房使用、窓開放、扇風機使用の各 3 種類について、睡眠時間に対する行為の時間率「全時間(o)」「一時(Δ)」「不使用(x)」の 3 段階をかけた計 27 パターンについて、出現頻度が高いパターンは順に、全時間冷房使用 123 日、冷房一時使用 57 日、全時間窓開放+扇風機使用 43 日、全時間窓開放 43 日である (Fig. 4)。

4. 就床時からの WBGT の時間的推移

調節行為のパターンごとに OSA を 25、75%タイル値で下位、中位、上位の 3 段階に、睡眠時熱的快適感を快、不快の 2 段階に分ける。ほぼ全員が就寝している時間帯を対象に、就寝時の WBGT を起点として、睡眠時の各時刻の WBGT から就床時の WBGT を引いた値 (就床時 WBGT 差) の推移を考察する。

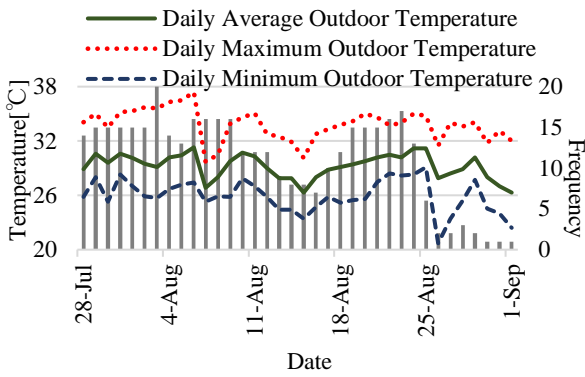


Fig.1 Daily mean outdoor temperature and measured periods

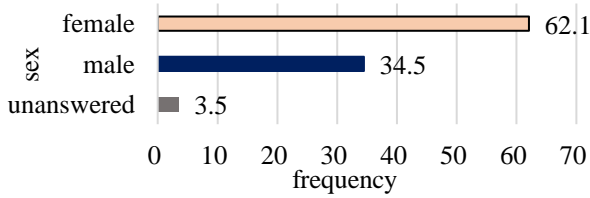


Fig.2 Gender proportion

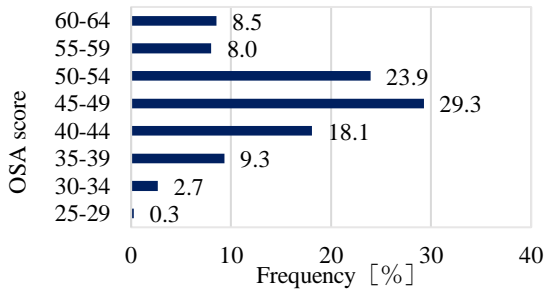


Fig.3 Distribution of OSA score

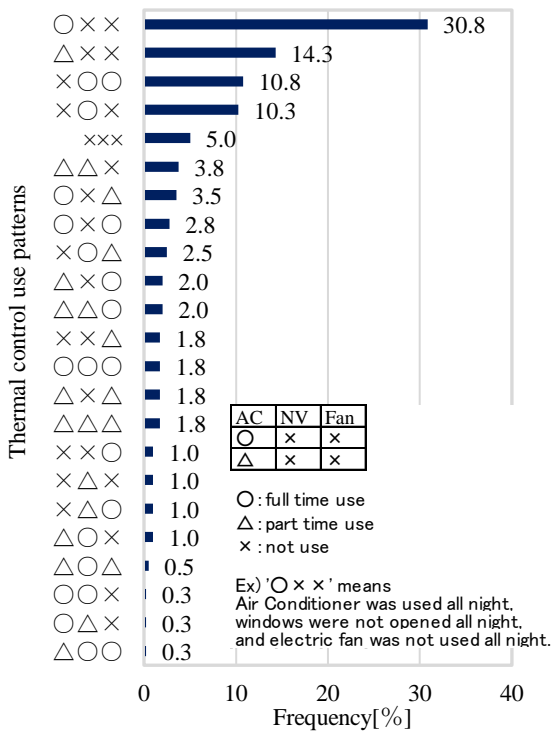


Fig.4 Distribution of thermal control use pattern

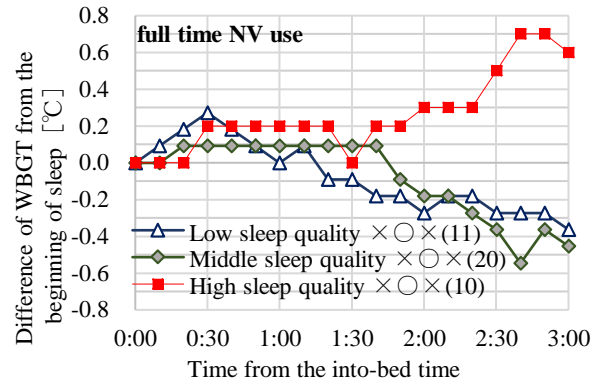
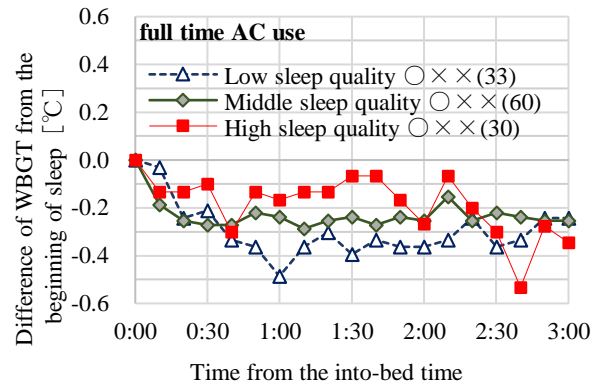


Fig.5 WBGT change since the beginning of sleep and OSA score
 ※Number in () shows the number of nights

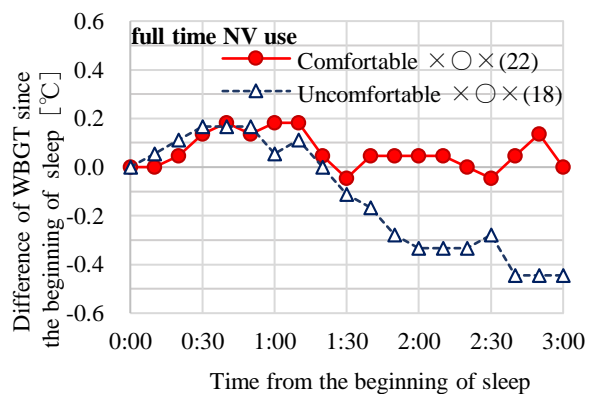
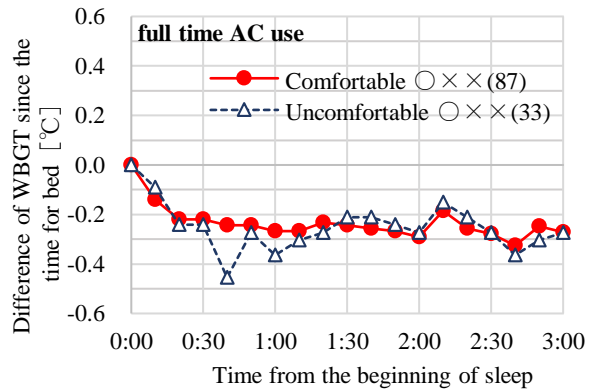


Fig.6 WBGT change since the beginning of sleep and thermal comfort

4.1 睡眠時の WBGT の推移と睡眠の質の関係 (Fig. 5)

(1) 全時間冷房使用 (○××) の場合

睡眠時に全時間冷房を使用した晩について、就床後、WBGT は下降したのち一定になる。就床時との差は、OSA 上位では 0.1℃、中位では 0.2℃、下位では 0.4℃程度である。差は、OSA 上位では 15 分、中位では 30 分、下位では 60 分でほぼ一定になる。OSA 上位>中位>下位の順に、就床時からの WBGT の下降が小さく、早く一定になる。睡眠時に全時間冷房を使用する場合、就寝時からの WBGT の低下が小さく、早く一定になるほど睡眠の質が高いといえる。

(2) 全時間窓開放 (×○×) の場合

睡眠時に全時間窓を開放した晩について、OSA 中位と下位では、WBGT は就床後いったん上昇したのち下降する。中位では 1 時間 40 分後、下位では 30 分後に就床時 WBGT 差が下降し、それぞれ就床から 1 時間 50 分後、1 時間 20 分後以降は就床時よりも WBGT が低くなる。一方、OSA 上位では WBGT は就床後 3 時間のあいだ上昇を続ける。睡眠時に全時間窓を開放する場合、睡眠の質は就床時から WBGT が下降する場合に低く、上昇する場合に高いといえる。

4.2 睡眠時の WBGT の推移と熱的快適感の関係 (Fig. 6)

(1) 全時間冷房使用 (○××) の場合

睡眠時に全時間冷房を使用した晩について、快、不快ともに WBGT は就床後 30 分のあいだに 0.2℃下降し、その後ほぼ一定で推移する。全時間冷房を使用する場合、就床後の WBGT の推移と睡眠時熱的快適感には特に関係がないといえる。

(2) 全時間窓開放 (×○×) の場合

睡眠時に全時間窓を開放した晩について、快、不快とも就床後 1 時間半までは同じように推移し、就床後 40 分に就床時より 0.2℃高くなり、就床後 1 時間 10 分から 30 分にかけて 0.2℃下降する。その後、熱的快と不快のあいだに違いがあらわれ、快では就床時と同じになり、不快では就床時より 0.2℃~0.4℃低い。WBGT の変動幅も不快のほうが大きい。睡眠時に全時間窓を開放する場合、熱的快適と不快のあいだには就寝後 1 時間半以降の WBGT に違いがあり、1 時間半後も WBGT が下降を続ける場合に熱的に不快になるといえる。

なお温冷感や熱的受容度によっては、冷房使用でも窓開放でも、就床時からの WBGT の推移に違いはない(図略)。

5. 起床時までの WBGT の時間推移

各時刻の WBGT から起床時の WBGT を引いた「起床時 WBGT 差」について、ほぼ全員が就寝している時間帯における推移を考察する。

5.1 睡眠時の WBGT の推移と睡眠の質の関係 (Fig. 7)

(1) 全時間冷房使用 (○××) の場合

睡眠時に全時間冷房を使用した晩について、OSA 得点に

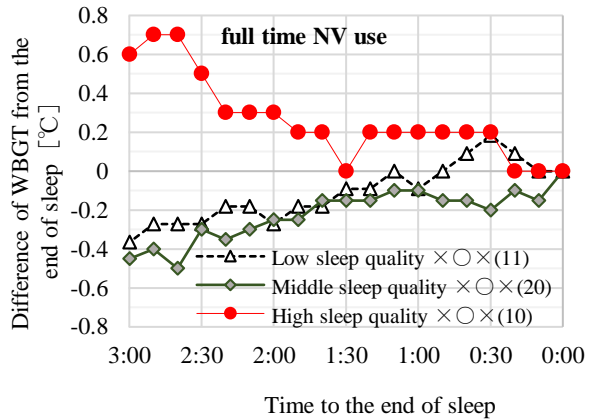
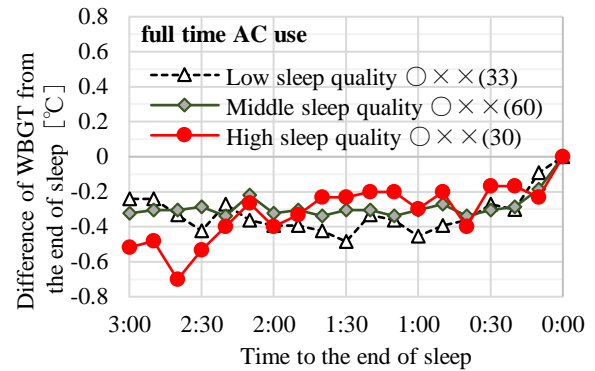


Fig.7 WBGT change to the end of sleep and OSA score

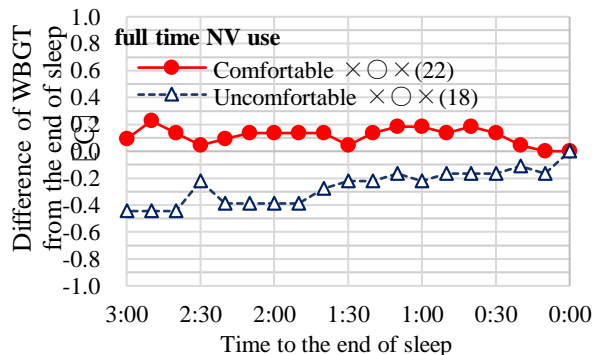
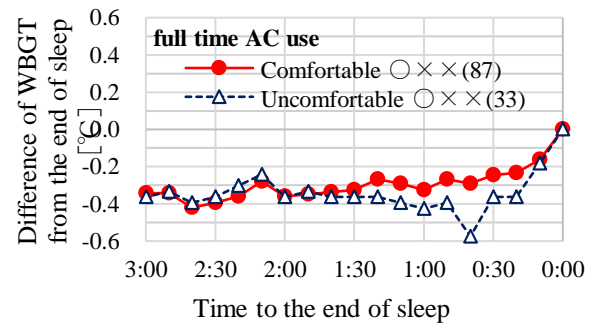


Fig.8 WBGT change to the end of sleep and thermal comfort 関わらず、起床前3時間のWBGTは起床時よりも低い。いずれも起床前約30分から上昇を始める。起床前3時間では、OSA上位であるほど起床時との差が小さいが、起床前1時間40分で逆転し、以降はほぼその順番で推移を続ける。睡眠時に全時間冷房を使用する場合、起床前1時間半より前は睡眠の質が高いほど起床時との差が小さいが、

その後は睡眠の質が高いほど起床時との差が大きい。

(2) 全時間窓開放 (×○×) の場合

睡眠時に全時間窓を開放した晩について、OSA 上位は起床 3 時間前+0.6°Cで、+0.7°Cまで上昇した後下降し、1 時間 50 分以降はおおよそ+0.2°C、20 分前に±0.0°Cとなる。中位は-0.5°Cから少しずつ上昇を続ける。常にマイナスの値をとる。下位は-0.4°Cから 30 分前に+0.2°Cとなり、その後下降する。変動幅は上位 0.7°C、中位 0.5°C、下位 0.6°C である。

5.2 睡眠時の WBGT の推移と熱的快適感の関係 (Fig. 8)

(1) 全時間冷房使用 (○××) の場合

睡眠時に全時間冷房を使用した晩について、起床前 1 時間 30 分前は快不快で起床時 WBGT の推移に違いはない。快では、起床の 1 時間 30 分よりは起床時より 0.3°C低くほぼ一定で、起床 30 分前から徐々に上昇する。不快では起床時より 0.4°C低く一定で、起床の 40 分前に起床時より 0.6°C低い値を示し、その後起床時にむけて上昇する。睡眠時に全時間冷房を使用する場合、快よりも不快の方が起床までの WBGT の変動幅が大きいといえる。

(2) 全時間窓開放 (×○×) の場合

睡眠時に全時間窓を開放した晩について、起床前 3 時間において、起床時 WBGT 差は快が±0.0°C~+0.2°C、不快が-0.4°C~±0.0°Cである。全時間冷房使用の場合と同様に、快より不快が起床までの WBGT の変動幅が大きい。

なお温冷感や熱的受容度によっては、冷房使用でも窓開放でも、起床時までの WBGT の推移に違いはない(図略)。

6. 外気温と冷房使用時間率の関係

一晩ごとの睡眠時間に対する冷房使用時間の割合を測定日ごとの被験者間で平均した「日平均冷房使用時間率」、被験者が睡眠中の外気温を一晩ごとに平均し、測定日ごとに平均した「日平均睡眠時外気温」について考察する。ここで、測定日は 18 時開始で定義し、前日の 0 時開始の外気象データと対応させる。例として 7 月 27 日 18 時~7 月 28 日 18 時を 7 月 28 日と定義し、外気象データは 7 月 27 日 0 時~24 時の値を用いる。湿度は就寝時と起床時の平均を測定日の値として用いる。

冷房使用率は 8 月 15 日までは外気温が高い日に高いが、16 日~21 日は外気温が高い日に低い(Fig. 9)。分析対象者が 3 人以下となる 26 日以降を除くと、冷房使用率との相関係数の P 値は日平均 0.10、日最低 0.24、日最高 0.06、睡眠時日平均 0.42 である。冷房時間率は日最高外気温で二次回帰すると $r^2=0.27$ である。睡眠時の冷房使用率は、日最高外気温が 33°C程度のとくに低い (Fig. 10)。

7. まとめ

大阪の集合住宅居住者 63 人を対象に盛夏季に寝室の温湿度実測と申告調査を行い、寝室 WBGT の推移と温熱感覚や睡眠の質との関係を、睡眠時に全時間冷房を使用した場合と全時間窓を開放した場合について、就寝時および

起床時を起点および終点とする推移を分析し、OSA 得点で表した主観的な睡眠の質の上位中位下位のあいだで、および起床時に評価した睡眠時の寝室の熱的快適感の快と不快のあいだで、就寝時からおよび起床時までの WBGT の推移に違いがあることを明らかにした。1) 全時間冷房使用では、就寝時からの WBGT の低下が小さく早く一定になるほど睡眠の質が高い。全時間窓開放では、2) 熱的に快適のほうが就寝後の WBGT の変化が小さく、3) 起床時にむけて睡眠の質が上位では WBGT が下降するのに対して中位や下位では上昇する。

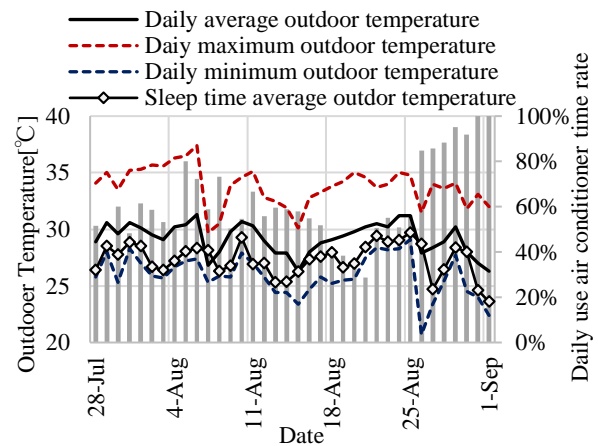


Fig.9 Daily use air conditioner time rate and outdoor temperature

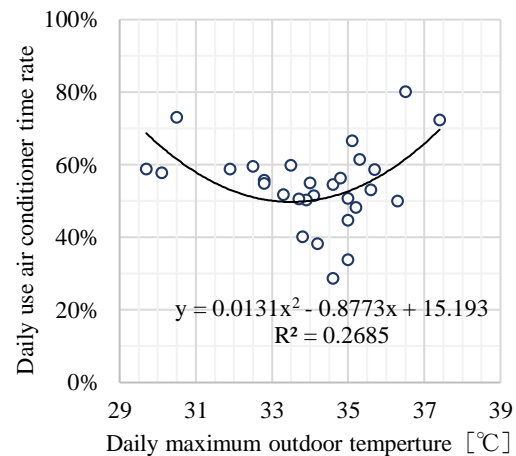


Fig.10 Daily use air conditioner time rate and maximum outdoor temperature

参考文献

- 1) 気象庁, <http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>, 平成 29 年 10 月 1 日閲覧
- 2) 橋良樹ほか、空・衛近畿論文集, 46, A-56, 2017 年 3 月
- 3) 日本生気象学会、日常生活における熱中症予防指針, 2013 年
- 4) 陳宇航ほか、空・衛近畿論文集, 47, 2018 年投稿中