

冷房使用日と冷房非使用日の寝室の温熱環境温熱感覚及び睡眠の質の比較

—大阪の賃貸集合住宅居住者を対象とした分析—

Relation between thermal environment and sleep quality in bedrooms with and without air-conditioning during summer

- Survey of apartments in Osaka-

○橘良樹（大阪市立大学）梅宮典子（大阪市立大学）新井潤一郎（ダイキン工業）

小林知広（大阪市立大学）中山裕介（大阪市立大学）

Yoshiki TACHIBANA* Noriko UMEMIYA* Tomohiro KOBAYASHI* Jun-ichiro ARAI**

Tomohiro KOBAYASHI*Yusuke NAKAYAMA*

*Osaka City University**Daikin Industries, Ltd

This survey assessed the relation between thermal environment and sleep quality in bedrooms with or without air-conditioning (AC). Respondents were 55 residents of collective housing in Osaka. 1) Results show a significant relation between sleep quality and thermal sensation on days they used AC. 2) The higher the outdoor temperature becomes during sleep, the higher U(AC Use) becomes. The higher indoor temperature becomes during sleep, the lower U becomes. 3) The relation between SET* and sleep quality is stronger than that between indoor temperature and sleep quality. The OSA sleep inventory score becomes highest when indoor SET* during sleep is 23°C with AC. The OSA score becomes lowest when indoor SET* during sleep is 23°C with no AC.

1. 背景と目的

温暖化と都市高温化により夏季の熱帯夜数が増加している。筆者らは夏季睡眠時の適切な冷房使用について検討するにあたって大阪の大学生のべ 179 日の寝室の気温実測と申告調査から、外気温と室温、睡眠時の温熱感覚、睡眠の質を冷房使用日と非使用日のあいだで比較し、睡眠の質は冷房使用日に冷房使用によって温熱感覚とは関係があるが、室温との関係は弱いことを明らかにした。^{文1)}そこで本報は、大阪の賃貸住宅居住者を対象に寝室の気温実測と申告調査から、冷房使用日と非使用日のあいだで、1) 温冷感と睡眠の質の関係、2) 睡眠時の室温や外気温と冷房使用との関係を分析し、3) 室温と睡眠の質の関係について比較をおこなう。

2. 方法

表 1 に測定概要を示す。測定調査は大阪市内および堺市内の公団・公社賃貸集合住宅において、2014 年 8 月 19 日～9 月 27 日に 44 人、2015 年 8 月 1 日～9 月 10 日に 44 人の居住者を対象に実施した。各居住者は連続した 1 週間のあいだ温湿度を記録し、毎朝、前夜の睡眠時の温熱感覚や睡眠の質について評価する。睡眠の質は OSA 睡眠調査票 MA 版^{文2)}を用いて、「非常によい」、「ややよい」、「やや悪い」、「非常に悪い」の 4 段階 15 項目で評価する。また、冷房使用、窓開放および扇風機使用、寝室の在・不在、睡眠について、30 分単位で日誌に記入する。住戸属性や自宅の住環境の主観評価にも回答する。本報では寝室気温を代表する場所にセンサーが設置できていると判断で

きる 2015 年 34 人、2014 年 21 人のデータを使用した。

Table1 Measurement items

測定項目	測定精度	測定位置	測定間隔
気温	0.5K	就寝時の頭部周辺	2014年30分 2015年10分
湿度	1%RH	就寝時の頭部周辺	就寝前 起床後

3. 調査期間の外気温

外気温には気象台の 10 分間隔データを使用する。図 1 に両年の夏における日平均外気温の推移を示す。2014 年は冷夏とされ、また調査期間が異なるため、2014 年は 30.4°C から 20.5°C（平均 24.4°C）、2015 年は 31.9°C から 22.3°C（平均 27.2°C）を推移している。

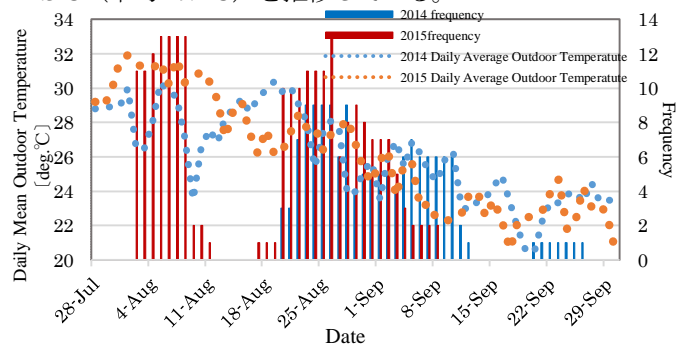


Fig.1 Daily mean outdoor temperature and frequency

4. 調査結果

4.1 睡眠時の室温と湿度

図2に睡眠時における室温と外気温の平均値を示す。

2015年は10分間隔、2014年は30分間隔のデータを使用し、1日毎の居住者ごとに異なる睡眠時間帯で平均した値を年別に平均した。睡眠時の外気温の平均は2014年24.3℃、2015年26.4℃で2015年が高いが、室温平均は2014年27.5℃、2015年27.8℃でほぼ同じである。図3に相対湿度の室内と外気の平均を示す。平均は個人別の就寝前と就寝後の2回の平均を年別に平均した。湿度は外気も室内も両年でほぼ同じである。

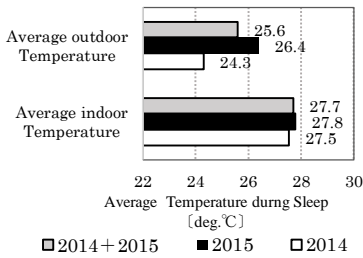


Fig.2 Average indoor and outdoor temperature during sleep

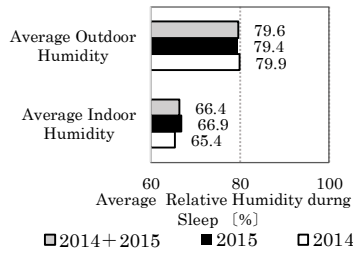


Fig.3 Average indoor and outdoor humidity during sleep

4.2 睡眠時の温熱環境調節行為

図4に、30分ごとの申告に基づいて各被験者で1日ごとに求めた睡眠時間に対する冷房を使用した時間率、窓を開放した時間率の平均を示す。睡眠時の冷房使用率は2014年19.1%、2015年36.0%、窓開放率は2014年58.2%、2015年46.2%であり、2015年は2014年より冷房を使い窓を閉めている。

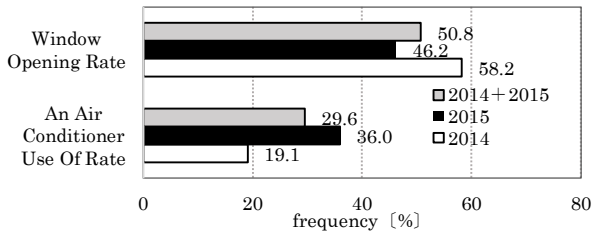


Fig.4 Time ratio of thermal control use in each year

4.3 OSA 得点

図5に、日誌に基づいて睡眠時に冷房を30分以上使用した「冷房使用日」と、全く使用しなかった「冷房非使用日」別のOSA得点を示す。使用日49.1点、非使用日47.9点で、有意ではないが使用日の方が非使用日より高い。(P=0.15)

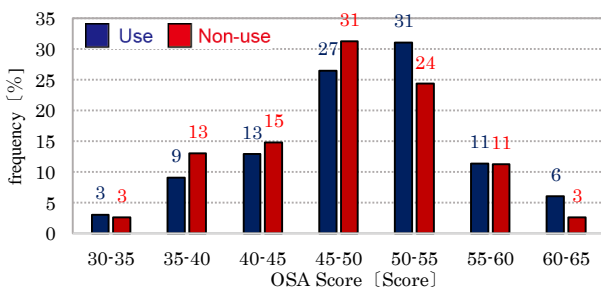


Fig.5 OSA Score

4.4 室温および温冷感

睡眠時室温は、使用日27.4℃、非使用日28.2℃である。図6に起床時に回答した睡眠時の温冷感を冷房使用別に示す。使用日は「暑くも寒くもない」が28.9%、非使用日は「暑くも寒くもない」、「やや暑い」の割合が32.2%で最多であり、使用日の方が有意に暑い(P=0.003)。

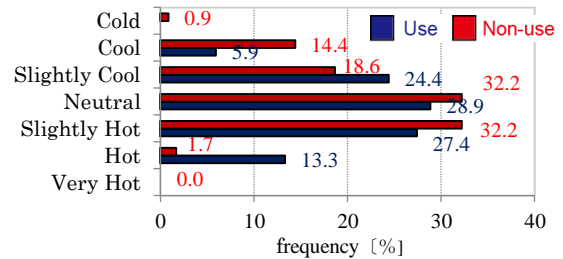


Fig.6 frequency distribution of Thermal Sensation vote

また、図7に冷房使用によつての温冷感の変化について示す。2015年のべ85日のデータを用いている。温冷感が「涼しい」ほど冷房使用によつて「涼しくなった」の割合が多くなっている。また、温冷感が「やや暑い」であっても67%が「涼しくなった」と回答しており、冷房使用によつて温冷感は改善されているといえる。

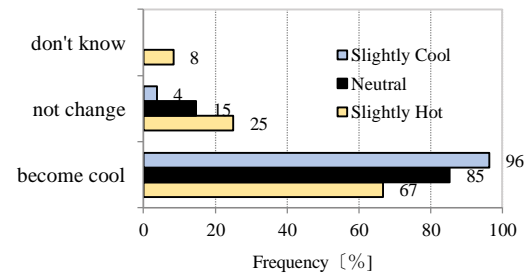


Fig.7 frequency Thermal Sensation vote by cooling

5. 温冷感と睡眠の質の関係

図8に冷房使用別の温冷感とOSA得点の関係を示す。冷房使用日では温冷感が「涼しい」ほどOSAが有意に高い(P=0.002)。一方、冷房非使用日は温冷感とOSA得点に関係がない(P=0.86)。大阪の大学生の調査でも同様の結果が得られている。

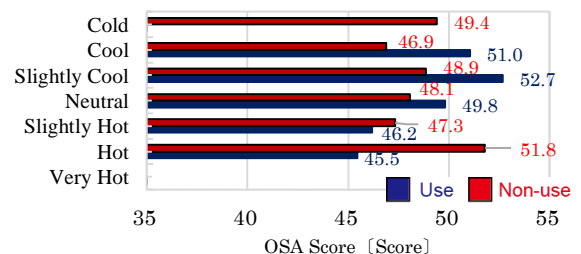


Fig.8 Average OSA Score in each TS category

温冷感申告とPMVの関係を図9に示す。PMVの室温と湿度は実測データを使用し、MRTは室温+1℃と仮定した。気流速度はアンケートにより扇風機を使用しない場合やりズム風、その他の場合0.2 m/sとし、使用する場合は別途おこなった測定をもとに「強」2.5m/s、「中」

1.2m/s、「微」0.3m/sとした。クロ値はアンケートの寝間着の種類により表2のように仮定した。代謝量は0.9Metとした。冷房非使用日では申告のほうが勾配が緩やかであるが温冷感中立時にPMVがほぼ0で両者は一致している。使用日では温冷感中立時にPMVがほぼ-1で温冷感中立がPMVでは「涼しい」側にずれている。

Table 2 clothing and clo value

Clothing	clo value
半袖半ズボン	0.23
半袖長ズボン	0.26
長袖半ズボン	0.28
長袖長ズボン	0.31
ワンピース	0.35
浴衣	0.31
ほぼ裸	0.05
ノースリーブ短パン	0.16
甚平	0.31
上下下着	0.1
半袖のみ	0.12

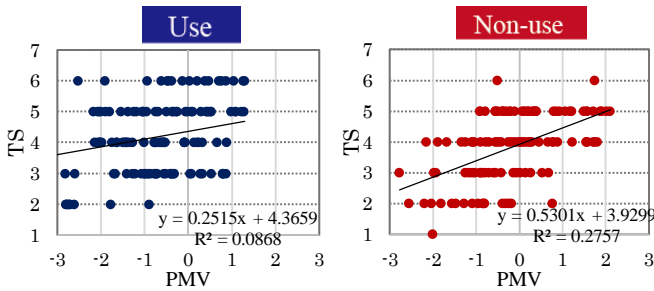


Fig.9 Relation between PMV and TS

図10にPMVとOSA得点の関係を示す。PMVと睡眠の質の関係は冷房使用日、非使用日ともに関係は見られない。

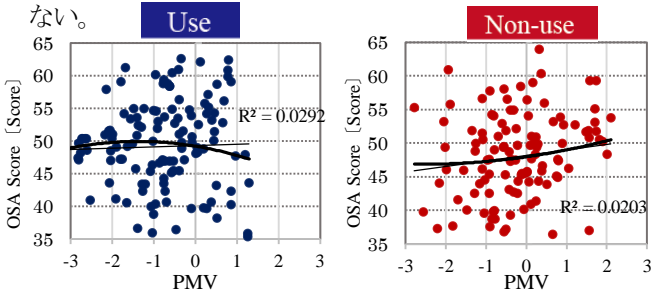


Fig.10 Relation between PMV and OSA Score

以上より温冷感冷房使用日では温冷感が「涼しい」ほど睡眠の質が有意に高く、冷房使用日の方が室温が低い実測結果から算出した温熱環境と睡眠の質との間に関係は見られない。

6. 睡眠時室温・外気温と冷房使用の関係

6.1 睡眠時外気温と冷房使用の関係

図11に睡眠時の1℃刻みの外気温のビンにおける冷房使用と非使用の度数分布と相対度数分布を示す。外気温は30分刻みでの瞬時値を使用し、度数は30分ごとに数えた。外気温は23℃～25℃台と28℃台が多い。冷房使用の割合は外気温29℃で50%とピークに達し、30℃、31℃にかけて下がる。30℃以上は度数が小さいので無視すると、外気温が高くなるにつれて冷房使用率が上がるといえる。27℃台、28℃台では40～50%が冷房を使用している。

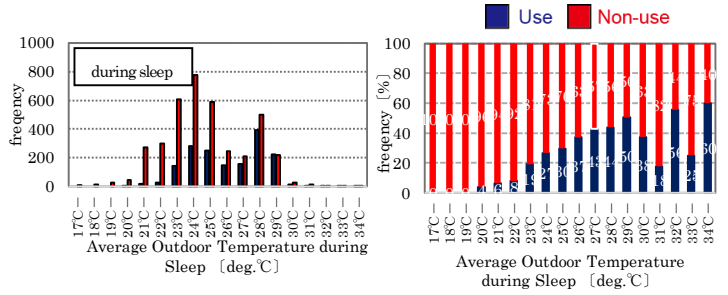


Fig.11 AC use and non-use for outdoor temperature

6.2 睡眠時室温と冷房使用の関係

図12に図11と同様室温について示す。冷房使用時非使用時ともに28℃台が多い。室温が高くなるにつれて冷房使用の割合が低く、冷房を使用しているとき室温は低いといえる。

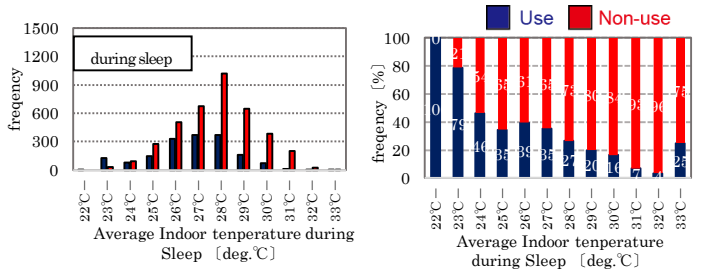


Fig.12 AC use and non-use for bedroom temperature

7. 温熱環境と睡眠の質の評価方法の検討

7.1 睡眠時における外気ET*と室温との関係

図13に冷房使用別の日ごとの睡眠時外気ET*と睡眠時平均室温との関係を示す。外気平均放射温度はグローブ温度と外気温および風速から求めた。グローブ温度は以下の式から推定した^{文3)}。clo値は0.5、Metは一律0.9とした。de Dearは外気ET*と室内作用温度の関係を総括し^{文4)}、空調空間ではComfort tem=22.6+0.04×外気ET*、非空調空間ではComfort tem=18.9+0.255×外気ET*としている。図13にはその80%快適範囲も重ねて示す。冷房使用日では空調時の80%許容室温範囲にほとんど入っており、冷房非使用日では非空調時の80%許容温度に半数ほど入っているが外気ET*が高いときはほとんど入っていない。非使用日の回帰式の勾配は快適方程式よりも急である。

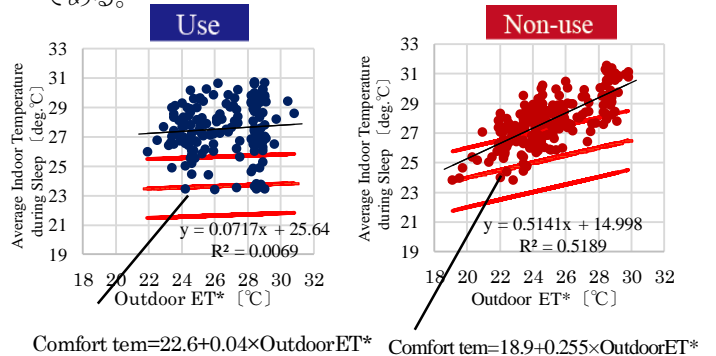


Fig.13 Relation between Outdoor ET* and Average Indoor Temperature during Sleep

Comfort tem=22.6+0.04×OutdoorET* Comfort tem=18.9+0.255×OutdoorET*

また、温冷感の熱的中立(「やや暑い」、「暑くも寒くもない」、「やや涼しい」)を抽出した図14を図13同様に冷房使用別に示す。温冷感が中立であっても80%許容室温範囲にほとんど入っておらず、冷房非使用日では非空調時の80%許容温度に半数ほど入っているが外気ET*が高いときはほとんど入っていない。

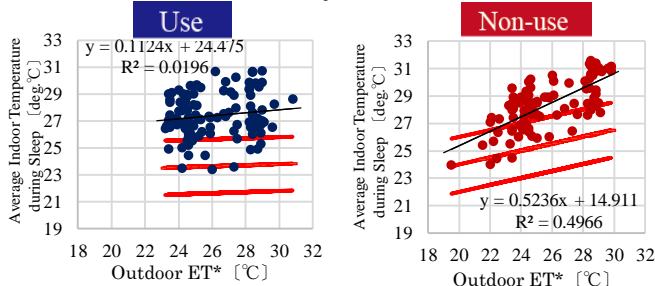


Fig.14 Relation between Outdoor ET*and Average Indoor Temperature during Sleep (3≤TS≤5)

次に、PMVの熱的中立(-1≤PMV≤1)を抽出した図15を図13同様に冷房使用別に示す。PMVが熱的中立であるとき冷房使用日、非使用日ともに勾配は快適式に近くなるが、80%許容室温範囲にほとんど入っておらず、快適式がよりも高い温度であり、快適式より室温が高くても熱的中立は保てる。

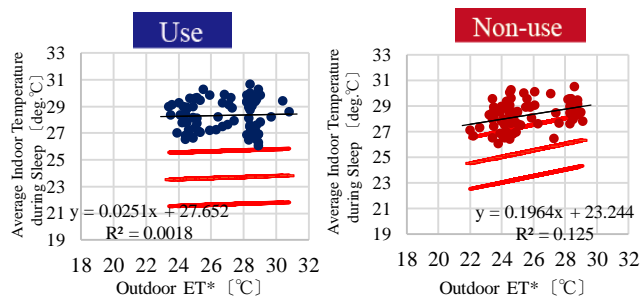


Fig.15 Relation between Outdoor ET*and Average Indoor Temperature during Sleep (-1≤PMV≤1)

7.2 睡眠時外気ET*と睡眠時平均室内SET*との関係

図16に冷房使用別の睡眠時外気ET*と睡眠時平均室内SET*との関係を示す。図16では快適式の室作用温度を室内SET*に置き換えて快適範囲を示す。睡眠時平均室内SET*は冷房使用日非使用日ともに80%許容温度にほとんど入っている。また、非使用日について、外気ET*と室内SET*の回帰式の勾配は0.27であり快適式の勾配に近い。

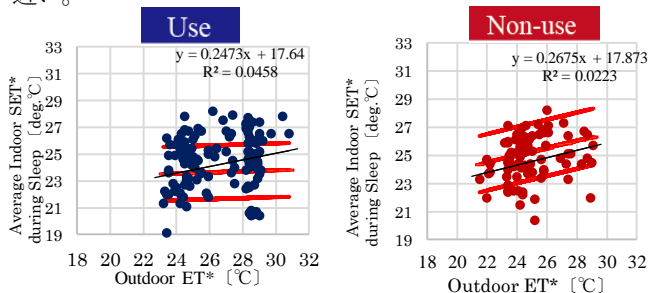


Fig.16 Relation between Outdoor ET*and Average Indoor SET* during Sleep

7.3 睡眠時睡眠時平均室内SET*と睡眠の質の関係

図17に睡眠時平均室内SET*とOSA得点との関係を冷房使用別に示す。室温で評価するよりも関係が強く、睡眠時平均室内SET*が冷房使用日では23°Cで最も睡眠の質が良く、非使用日では23°Cで最も睡眠の質が悪い。

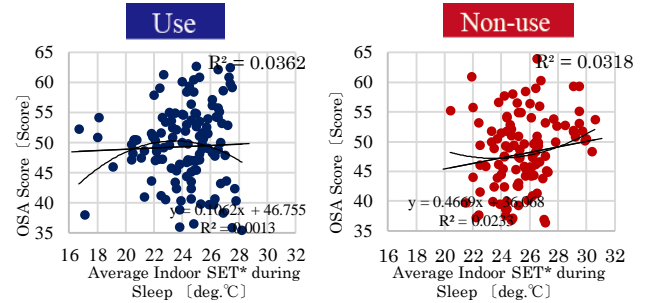


Fig.17 Relation between Average Indoor SET* during Sleep and OSA

以上より外気温と室温と冷房使用の実態では冷房使用の割合は外気温が高くなるにつれて多くなり、室温は低いほど多くなる。また、睡眠時平均室内SET*は外気に対してのAdaptive Modelの80%許容範囲に冷房使用日で60%、非使用日で73%が入っており、室温よりSET*で評価するほうが寝室の温熱環境を評価するには適しており、快適に室内環境が調整されているが、睡眠時平均室内SET*と睡眠の質との関係は見られない。

8. まとめ

大阪の集合住宅居住者55名のべ383日を対象に、30分ごとの行動申告にもとづき冷房を30分以上使用した「冷房使用日」と全く使用しない「非使用日」について睡眠時の室温実測値、温冷感申告、およびOSA睡眠評価得点を比較した。1)室温は使用日27.4°C、非使用日28.2°C、温冷感使用日が有意に暑く、OSA得点は使用日49.1点、非使用日47.9点で有意差はない、2)OSA得点は、使用日は「涼しい」ほど高いが非使用日は温冷感申告と関係がない、3)PMVゼロのとき使用日は「暑い」側、非使用日は「中立」に申告、4)30分刻みの気温に対し冷房を使用した割合は、外気温が高いと高く27°C台と28°C台で約40%、室温が高いと低い、5)非使用日には睡眠時平均室内SET*の73%がAdaptive Model自然通風時の80%快適範囲に入る、6)室温とOSA得点とは使用日非使用日とも関係がないが、SET*23°CのときOSA得点の使用日では最高、非使用日では最低となる。

参考文献

- 1) 橘ら：冷房使用日と冷房非使用日の寝室の温熱環境、温熱感覚及び睡眠の質の比較 大阪の大学生を対象とした分析 2015年度 日本建築学会学術講演梗概集 (P343-344), 2015
- 2) 山本ら：中高年・高齢者を対象としたOSA睡眠感調査票(MA版)の開発と標準化。脳と精神の医学 10: 401-409, 1999
- 3) 登内 道彦, 村上 貢司, 2008, 日本生気象学会雑誌, 45(3), 62.
- 4) de Dear et al. : Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference ASHRAE transactions 104, 145