

温熱環境の変動が睡眠の質に与える影響

松崎里穂¹⁾, 三宅絵美香¹⁾, 池田直樹¹⁾, 田川萌子¹⁾, 瀧本晃裕¹⁾,
秋山雄一¹⁾, 田辺新一¹⁾, 松前和則²⁾, 松葉佐智子²⁾,
1) 早稲田大学創造理工学部建築学科 2) 東京ガス株式会社

Effects of Variation in Thermal Environment on Sleep Quality Title

Riho MATSUZAKI¹⁾, Emika MIYAKE¹⁾, Naoki IKEDA¹⁾, Moeko TAGAWA¹⁾, Akihiro TAKIMOTO¹⁾,
Yu-ichi AKIYAMA¹⁾, Shin-ichi TANABE¹⁾, Kazunori MATSUMAE²⁾, Tomoko MATSUBASA²⁾
¹⁾ Dept of Architecture, Waseda University, ²⁾ Tokyo Gas Co., Ltd.

Abstract:

In this study, a field survey was carried out in the aim to investigate the thermal environment in bedrooms and to evaluate its effects on sleep quality. The field survey was carried out in autumn 2013 and in summer 2014 and 2015. In total the measurements were done in 41 residences and sleep were measured by making each subjects wear an Actiware that detects body movement. As a result, we have shown that the larger the variation in air temperature and air velocity, the larger the probability of awakening during sleep. Furthermore, air turbulence was calculated in the interval of 10 minutes as a representative thermal stimulus. Air turbulence is the standard deviation of air velocity divided by its average. We then proved that the larger the turbulence intensity, the larger the probability of awakening. From these results, we suggested that variations in thermal environment may become a serious cause of sleep disruption.

Key words: Sleep, Thermal Environment, Air Velocity, Variation in Thermal Environment, Field Survey, Air Turbulence

要旨:

本研究では、実環境における睡眠の実態および温熱環境の睡眠の質へ与える影響に関して調査するために、実測調査を行った。実測調査は、2013 年中間期、2014 年夏季および 2015 年夏季において、のべ 41 名の各対象者の自宅寝室にて実施された。寝室の空気温度変化、気流速度変化が大きいほど、睡眠時の中途覚醒の発生が多くなる傾向がみられた。また、10 分あたりの気流速度の標準偏差を平均で除した”気流の乱れ”を算出し、気流の乱れが強くなる時間帯に中途覚醒時間が長くなる傾向を確認した。以上より、温熱環境の変動が睡眠の阻害要因となる可能性が示唆された。

キーワード: 睡眠、温熱環境、気流、温熱環境の変動、実測調査、気流の乱れ

1. はじめに

Fabbri ら(2014)、Pilcher ら(1997)により、睡眠の質の低下が日中の活動に影響を及ぼすことが明らかとなっている。睡眠に影響を与える要因の 1 つとして、温熱環境が挙げられる。Haskell ら(1981)は、高温および低温の温熱環境下では、中立温度域と比較して、中途覚醒や浅睡眠が増加し、レム睡眠と深睡眠が減少することを示した。これまで、睡眠時の温熱環境に関して様々な研究がなされてきたが、研究の多くは空気温度に着目した研究であり、空気温度以外の温熱要素や温熱環境の変動の影響を加味したものは少ない。

本報では、2013 年の中間期、2014 年夏季および 2015 年夏季において実施した、自宅寝室での実測調査について報告する。

2. 実測調査概要

2013 年 9~10 月、2014 年の 8 月、2015 年 7~9 月に、各対象者の自宅寝室にて実測調査を行い、温熱環境および睡眠時の体動、睡眠環境に関する心理量の測定を行った。対象者には普段通りの生活を送らせ、就床時および起床時に環境適応手法について申告させた。

表 1 に実測調査概要を示す。対象者として、健康で規則的な睡眠習慣をもつ男女 41 名(男性 21 名、女性 20 名)を用いた。2013 年は、9 月と 10 月に 1 回ずつ、連続する平日 5 日間の実測調査を、各対象者へ実施した。2014 年は連続する 7 日間、2015 年は連続する 5 日間の実測調査を、各対象者へ実施した。また、2014 年は、20 代の男女 10 名と、50 代の男女 10 名を用いた。のべ 325 日間にわたり実測調査を実施した。

2.1 温熱環境測定

表 2 に温熱環境・生理量測定項目を示す。寝室の空気温度、相対湿度、黒色グローブ温度、気流速度、照度、CO₂濃度、及びエアコンの吹き出し温度を測定した。測定機器を小型三脚の上に設置して、三脚高さを調節することにより、センサー部分の高さをベッド(布団)上面に調節した。測定位置はいずれも就寝中に温熱環境の影響を最も受けやすいとされる頭部付近⁴⁾とした。なお、2014年の空気温度および相対湿度は、機器の不調により欠測とした。

2.2 生理量測定

対象者の非利き腕に体動計(Actiwatch2)を装着させ、体動を30秒間隔で測定し、入眠潜時、中途覚醒時間、中途覚醒回数と睡眠効率を算出した。

2.3 事前調査

各対象者について、暑がりもしくは寒がりであるか、エアコン気流の好み等の事前調査を行った。また、住宅の形態や寝室の間取りについても申告させた。

2.4 環境適応手法および着衣と寝具の使用状況調査

就床時に、その晩の環境適応手法、エアコンと扇風機に関しては設置位置、風量、吹き出し方向に関して毎日申告させた。また、就床時の着衣、寝具の種類と掛け方に関して申告させ、就寝前後での着衣と寝具を合わせた全熱抵抗(以下総合clo値)を算出した⁵⁾。

2.5 心理量

申告用紙を配布し、就床時と起床時にベッド(布団)上で申告させ、ベッド(布団)上における温熱環境の評価を行った。就床時、起床時に温冷感・熱的快不快感・気流感に加え、その気流環境に対する快不快感、気流の温度や強さについて申告させた。就寝中の心理量測定は起床時に行った。また、就床時に疲労感、起床時に前夜の睡眠に対する満足度を申告させた。

3. 実測調査結果

3.1 対象者の睡眠の実態

表 3 に年代、季節ごとの睡眠の実態を示す。TIBとは、ベッド(布団)に横になってから起床するまでの総就床時間であり、入眠潜時とは横になってから実際に寝付くまでの時間である。TSTとは、ベッド(布団)の上で実際に眠っていた時間であり、総就床時間から入眠潜時と中途覚醒時間を除いた値である。また、睡眠効率はTIBに対するTSTの割合である。対象者の年代別、および実測調査の季節別にTIB、TST、入眠潜時、睡眠効率、中途覚醒時間、中途覚醒回数の平均および標準偏差を算出した。2013年を中間期、2014年および2015年を夏季とした。TIBの全体の平均は6.21時間であった。睡眠効率の全体平均は90.05%であり、夏季と比較して、中間期の睡眠効率の平均は、約2.35%高かった。

表 1 実測調査概要

年	期間	対象	対象人数			測定日数
			男性	女性	総計	
2013	9/2~10/26	20代学生	11人	5人	16人	10日/人
2014	8/7~8/28	20代学生	5人	5人	20人	7日/人
		50代	1人	9人		
2015	7/20~8/22	20代学生	4人	1人	5人	5日/人
総計			21人	20人	41人	325日

表 2 温熱環境・生理量測定項目

測定項目	年	測定機器	測定間隔	
温熱環境	空気温度 相対湿度	2013	小型温湿度計	1min
		2014	YUHO ⁶⁾	1sec
		2015	小型温湿度計	30sec
	気流速度	2013	Tr式微風速計	10sec ^{注)}
		2014	YUHO ⁶⁾	1sec
		2015	Tr式微風速計	10sec ^{注)}
	照度	2014,2015	YUHO ⁶⁾	1sec
	グローブ温度	2013,2014	簡易グローブ球	1min
2015		30sec		
CO ₂ 濃度	2014	二酸化炭素濃度計	1min	
吹き出し温度	2015	小型温度計	30sec	
生理量	体動	すべて	Actiwatch2	30sec

注) 10秒間隔の平均値を測定

表 3 年代、季節ごとの睡眠の実態

		年代		季節		平均
		20代	50代	中間期	夏季	
TIB	[h]	6.24 (1.63)	6.04 (1.13)	6.23 (1.48)	6.18 (1.62)	6.21 (1.55)
TST	[h]	5.41 (1.56)	5.28 (1.12)	5.46 (1.45)	5.31 (1.53)	5.39 (1.49)
入眠潜時	[min]	11.2 (11.7)	10.9 (12.5)	9.7 (10.5)	12.6 (12.9)	11.1 (11.8)
睡眠効率	[%]	90.79 (4.15)	89.19 (6.34)	91.66 (4.07)	89.31 (4.95)	90.50 (4.68)
中途覚醒時間	[min]	23.1 (13.4)	27.5 (19.1)	21.4 (12.3)	26.4 (16.5)	23.9 (14.7)
中途覚醒回数	[回]	29.9 (12.9)	24.1 (8.5)	31.1 (13.0)	26.4 (11.4)	28.8 (12.4)

Mean(Standard deviation)

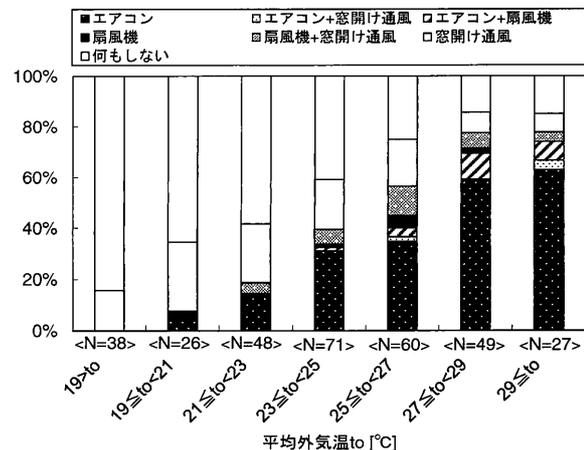


図 1 就寝中の日平均外気温ごとの環境適応手法の割合

3.2 環境適応手法の使用実態

図 1 に就寝中の日平均外気温ごとの環境適応手法の割合を示す。日平均外気温は、各自宅最寄りの気象台にて測定された1日の平均外気温とした。⁷⁾日平均外気温の上昇に伴い、何らかの環境適応手法を採用する対象者が増加した。日平均外気温 27℃以上においては、就寝中に「何もしない」と答えた対象者は約15%であった。また、日平均外気温が高いほど「エアコン」を使用する割合が増加した。

3.3 環境適応手法ごとの温熱環境の分布

図2に環境適応手法ごとの空気温度・気流速度分布を示す。各対象者の入眠から起床までの間に、表2に示した測定間隔で測定した空気温度及び気流速度の分布を示した。2014年は温湿度が欠測であったため、2013年と2015年のデータを用いた。「エアコン」を使用した際の空気温度は中央値が26.2℃であり、26℃付近でのエアコンの運用が最も多かった。「扇風機」を使用した際の空気温度の中央値は、28.2℃であり、最大値は30.0℃であった。「窓開け通風」を選択した際の空気温度の中央値は、25.5℃であった。空気温度が29.0℃よりも大きいときに「窓開け通風」を選択した者はいなかった。また、「窓開け通風」よりも、「何もしない」を選択した者の空気温度の分布は低かった。

また、「扇風機」を選択した者の気流速度の中央値は、0.44 m/sであり、最大値は1.01 m/sであった。また、「窓開け通風」を採用した者は、気流速度の分布が幅広い範囲に及んだ。

3.4 年代ごとの睡眠実態

図3に睡眠効率、図4に中途覚醒時間、図5に中途覚醒回数を示す。年代ごとに1晩あたりの睡眠効率、中途覚醒時間、中途覚醒回数の分布をそれぞれ算出した。図3において、年代ごとの睡眠効率の中央値は20代が91.1%、50代が90.8%と、ともに同程度の値となった。しかし、50代の対象者の中には、20代と比較して睡眠効率が著しく低い者もいた。50代の睡眠効率の最低値は66%であり、該当する夜の入眠潜時は12.5分、中途覚醒時間は115分であった。図4より、1晩あたりの中途覚醒時間は、年代ごとに中央値は概ね同じ値となったが、50代は20代と比較して、分布が広範囲に及び最大値は115分であった。一方、図5より、1晩あたりの中途覚醒回数の中央値および最大値は、20代と比較して50代が小さいという結果となった。以上より、20代と比較して50代は、1回あたりの中途覚醒時間が長い可能性が示唆された。

4. 考察

4.1 温度の変化

図6に空気温度変化と中途覚醒発生率の関係を示す。2013年、2015年の欠測を除いた全データを対象に、就寝中の空気温度変化を1分間隔で算出した。その後、空気温度変化を0.1℃刻みに分類、各区分内での中途覚醒発生率を算出し、プロット1つにつき100以上の測定数のもののみプロットした。なお、各温度変化に対してActiwatch2により就寝時間中に覚醒状態と判定されたデータの割合を「中途覚醒発生率」として定義している。結果、寝室の空気温度変化が大きいほど、中途覚醒発生率が高くなる傾向がみられた。

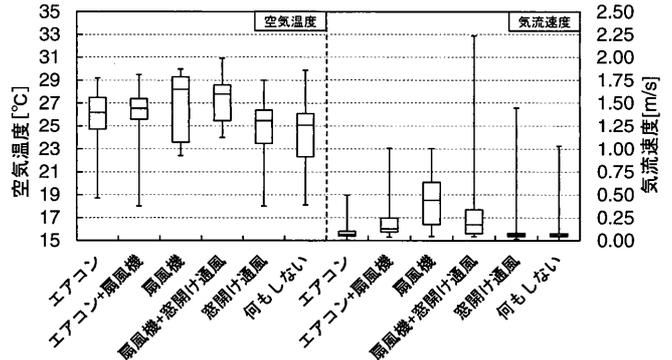


図2 環境適応手法ごとの空気温度・気流速度分布

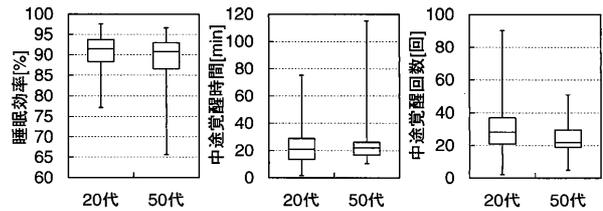


図3 睡眠効率 図4 中途覚醒時間 図5 中途覚醒回数

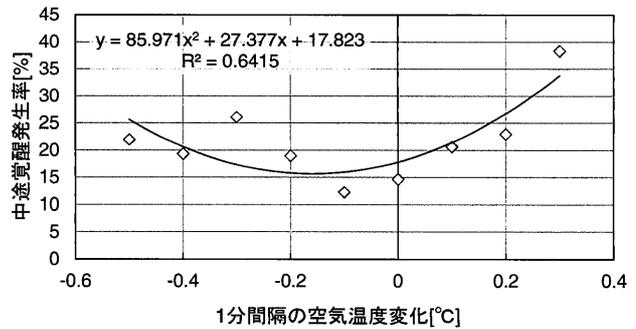


図6 空気温度変化と中途覚醒発生率の関係

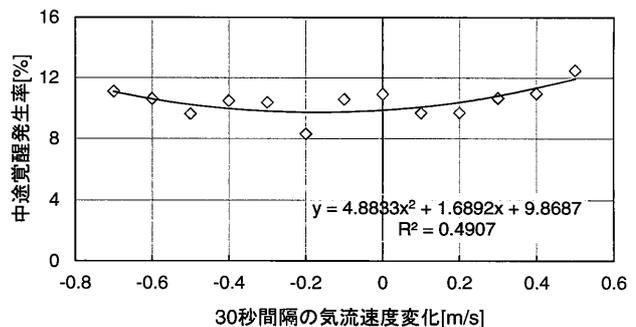


図7 気流速度変化と中途覚醒発生率の関係

4.2 気流速度の変化

図7に気流速度変化と中途覚醒発生率の関係を示す。2013年、2014年、2015年の欠測を除いた全データを対象に、就寝中の気流速度変化を30秒間隔で算出した。その気流速度変化を0.1m/s刻みに分類、各区分内での中途覚醒発生率を算出し、プロット1つにつき70以上の測定数のもののみプロットした。結果、気流速度変化の正負に関わらず、寝室の気流速度変化が大きいほど、中途覚醒発生率が高くなる傾向がみられた。

空気温度と気流速度、どちらの温熱要素の30秒間隔の変化も睡眠に影響を及ぼすことが確認された。

4.3 気流の乱れ

Fanger ら⁸⁾によって気流の乱れの強さが、気流不快感に影響することが示されている。気流の乱れの強さ Tu が睡眠に及ぼす影響を検討した。式 (1) に気流の乱れの強さ Tu の定義を示す。気流速度の標準偏差と平均値は各実測調査対象者の就寝中に 1 秒間隔で測定した気流速度から 10 分あたりの値として算出した。

$$Tu = \frac{SD_v}{\bar{v}} \times 100 \quad [\%] \quad \text{注)} \quad (1)$$

SD: 気流速度の標準偏差 [m/s] \bar{v} : 気流速度の平均値 [m/s]
注) 乱れの強さは 10 分間隔で算出

図 8 に対象者 A の代表日 (2013 年 10 月 3 日) における 10 分あたりの気流の乱れの強さと中途覚醒時間の経時変化を示す。気流の乱れの強さは 10 分間の測定値、中途覚醒時間は 10 分あたりに覚醒している時間で示した。対象者 A の代表日における平均気流速度は 0.06 m/s と比較的弱く、平均の気流の乱れも 11.7 % と強くなかったが、気流の乱れが 30 % を超える時間帯があった。気流の乱れが強くなる時間帯に中途覚醒時間が長くなる傾向がみられた。他の実測調査対象者においても同様の傾向がみられ、気流の乱れの強さが中途覚醒に起因する可能性が示された。そこで、気流の乱れの強さと中途覚醒発生率の関係を算出した。

図 9 に気流の乱れの強さと中途覚醒発生率の関係を示す。気流の乱れを 5 % 刻みに分類し、各区分内での中途覚醒発生率を算出した。なお、プロット 1 つにつき 30 以上の測定数のもののみプロットした。夏季の実測調査においては、気流の乱れが強い環境での結果が得られ、中間期と同様に、気流の乱れが強いほど中途覚醒発生率が高くなることを示された。しかし、図 9 の傾きから、中間期は、夏季と比較して、人は気流の乱れに対して敏感であり、気流の刺激によって中途覚醒が起こりやすいと考えられる。

5. まとめ

日平均外気温の上昇に伴い、何らかの環境適応手法を採用する対象者が増加した。日平均外気温が 27 °C 以上においては、約 85 % が何らかの環境適応手法を採用していた。環境適応手法別に就寝中の温熱環境を算出したところ、26 °C 付近でのエアコンの運用が最も多かった。また、扇風機を使用した群の気流速度は 0.44 m/s 付近の分布が最も多かった。

寝室の空気温度変化、気流速度変化が大きいほど、睡眠時の中途覚醒の発生が多くなる傾向がみられた。また、10 分あたりの気流速度の標準偏差を平均で除した気流の乱れを算出し、気流の乱れが強くなる時間帯に中途覚醒時間が長くなる傾向を確認した。

以上より、温熱環境の変動が睡眠の障害要因となる可能性が示唆された。

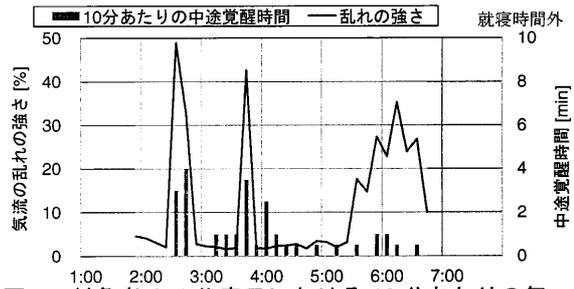


図 8 対象者 A の代表日における 10 分あたりの気流の乱れの強さと中途覚醒時間の経時変化

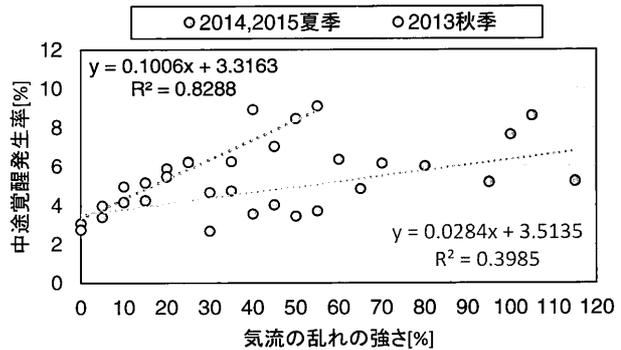


図 9 気流の乱れの強さと中途覚醒発生率の関係

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金 (No. 32689) の助成を受けたものである。調査にあたりご協力いただいた皆様に、記して深甚の謝意を表します。

6. 文献

- 1) Marco Fabbria, Lorenzo Tonetti, Monica Martonic & Vincenzo Nataleb : Sleep and prospective memory, *Biological Rhythm Research* 2014, Vol.45, No.1, pp115-120, 2014
- 2) June J. Pilcher, Douglas R. Ginter, Brigitte Sadowsky : Sleep quality versus sleep quantity: Relationships between sleep and measures of health, well-being and sleepiness in college students, *Journal of Psychosomatic Research*, Vol.42, No.6, pp.583-596, 1997
- 3) Haskell et al. *The Effects of High and Low Ambient Temperatures on Human sleep Stages*, *Electroencephalograph and Clinical Neurophysiology*, 1981, 51:494-501
- 4) 石渡 貴之, 奥川 太志, 三品 由紀, 田中 浩一, 吉川 肖子, 新井 潤一郎, 本田 智子, 楊 肇 隆 哉: 頭部への動的な温度制御による快眠効果の可能性, *日本生理人類学会誌*, 10, pp.116-117, 2005
- 5) Lin ZP, Deng Sm: A study on the thermal comfort in sleeping environments in the bedding systems commonly used in the subtropics measuring the total insulation values for the bedding systems commonly used in the subtropics, *Building and Environment*, vol 43 pp.905-916, 2008
- 6) 中川純, 田辺新一: 建築・都市における動的な熱的快適性に関する研究 (第 1 報) ウェアラブルセンシングデバイスの開発, *空気衛生・調和工学会学術講演会講演論文集*, 2015
- 7) 気象庁: <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/>, 2015.9.9 参照
- 8) P.O. Fanger, A.K. Melikov, H. Hanzawa, J. Ring: *Air Turbulence and Sensation of Draught, Energy and Buildings*, 1988

<連絡先>

連絡先氏名 松崎里穂
住所 東京都新宿区大久保 3-4-1 55-N701
所属 早稲田大学大学院 田辺新一研究室
E-mail アドレス matsuzaki@tanabe.arch.waseda.ac.jp