T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	住宅の夏季温熱環境制御が入眠潜時・中途覚醒に与える影響
Title(English)	Effect of thermal environmental control in summer on sleep latency and arousal during sleep in house
著者(和文)	本多 英里, 伊香賀 俊治, 大平 昇, 海塩 渉
Authors(English)	Eri Honda, Toshiharu Ikaga, Noboru Ohira, Wataru Umishio
出典(和文)	空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第6巻, pp. 25-28
Citation(English)	Technical papers of annual meeting, the Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, 第6巻, pp. 25-28
発行日 / Pub. date	2014, 9

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

住宅の夏季温熱環境制御が入眠潜時・中途覚醒に与える影響
Effect of thermal environmental control in summer on sleep latency and arousal during sleep in house

学生会員　○本多　英里（慶應義塾大学）　　正 会 員　伊香賀　俊治（慶應義塾大学）
正 会 員　大平　昇　（東京ガス株式会社）　学生会員　海塩　渉　（慶應義塾大学）
Eri HONDA*[1]　Toshiharu IKAGA*[1]　Noboru OHIRA*[2]　Wataru UMISHIO*[1]
*[1] Keio University　*[2] Tokyo Gas Co. Ltd.

Decline in the quality of sleep has been a serious problem because of climate changes. In previous studies, the thermal environment affects sleep has been reported. However, the effect of thermal environment control on sleep is unclear. In this study, it was verified that the thermal environment control in summer affects objective and subjective evaluations of sleep from the subject experiment conducted in 2013. It was revealed that the best thermal environment to fall asleep is SET* 25.4°C (the value of sleep latency) and to promote sleep without arousal is SET* 27.6 °C (the average value during sleep).

1. 背景・目的

気候変動に伴う外気温の上昇により、夏季の睡眠の質の低下が問題視されている。睡眠の質の低下は日中の疲労を蓄積させ、生活習慣病の罹患リスクを高めることが示唆されている[文1)]。これを受け、政府は睡眠の質の向上に向けた取り組みを実施している[文2)]。睡眠に影響を与える要素としては、寝室の温熱環境が報告されている[文3)]。しかし既往研究では、居住者が就寝中に行う温熱環境制御が室内温熱環境を介し、睡眠の質の向上に与える影響に関する検証が不十分となっている。そこで本研究では、夏季の温熱環境制御が睡眠の主観・客観評価に与える影響を明確にするため、被験者実験を実施した。

2. 被験者実験

2.1 被験者実験の概要 （表 1, 表 2）

実験場所は、神奈川県に所在する、断熱水準が H11 年基準[注1)]を満たす集合住宅[注2)]のモデルルームとし、2013 年 8 月 2～5 日（A 日程）、8 月 9～12 日（B 日程）の 2 回に分けて行った。被験者は非喫煙者、かつ BMI 値[注3)]により標準的な体型と判定された20～22歳の男子学生8名とした。被験者は A, B いずれかの日程に参加し、各日程 4 名ずつとした。実験ケースの設定は、全国アンケートによる冷房設定温度の最頻値である 26℃設定（Case. Ⅰ）[文4)]、省エネ推進のため政府が推奨する 28℃設定（Case. Ⅱ）[文5)]、自然通風（Case.Ⅲ）の計 3 ケースとした（表 1）。また、順序効果を除去するため、A 日程と B 日程ではケースの順番を変えて実験を行った。各日程のケース設定と外気条件を表 2[注4)]に示す。

表 1　実験ケース

Case. Ⅰ	冷房 26℃設定 連続運転
Case. Ⅱ	冷房 28℃設定 連続運転
Case.Ⅲ	自然通風

表 2　実験日程とケース設定

	A 日程				B 日程			
実施日	8/2	8/3	8/4	8/5	8/9	8/10	8/11	8/12
Case	Ⅱ	Ⅰ		Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ		Ⅰ
天気	曇	晴一時曇		曇後晴	薄曇 時々晴	曇		曇一時晴
気温[℃]	23.7±0.3	24.6±0.6		26.2±0.6	28.1±0.8	29.1±0.8		29.3±0.7
湿度[%]	79.1±1.0	84.6±5.8		86.0±2.7	84.8±3.2	82.0±6.1		68.2±4.1

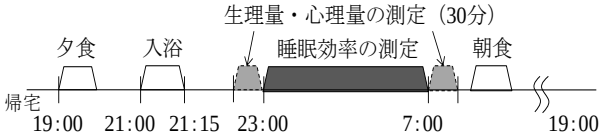

図 1　実験スケジュール

2.2 実験スケジュール（図 1）

1 日の実験スケジュールを図 1 に示す。被験者は夜 19 時までにモデルルームに帰宅し[注5)]、統一した夕食を済ませた後、21 時より上限を 15 分として入浴した。入浴から入眠までの時間を統一するため、被験者は 3 日間同じ順番で入浴した。その後、23 時から 7 時まで睡眠状態の測定を行った。睡眠時間は統計局より報告された 20～24 歳男性の平均睡眠時間である 8 時間とした。寝具は綿シーツをかけた敷布団とタオルケットとし、着衣は半袖と

半ズボンに統一した。就寝前後には生理量・心理量、物理環境の測定を実施した。

2.3 測定項目

2.3.1 物理環境（図 2, 表 3）

物理環境測定点を図 2 に示す。環境測定点は被験者が睡眠をとった各部屋に 2 点ずつとした。測定項目を表 3 に示す。室内の温湿度は 0.1m と 1.1m、グローブ温度、風速は 0.1m の高さで 1 分間隔の連続測定を行った。照度、騒音、CO_2 濃度は 0.1m の高さで就寝前と起床時に測定した。また屋外の温湿度についても、1.1m の高さで 1 分間隔の連続測定を行った。

2.3.2 生理量（表 4）

生理量の測定項目を表 4 に示す。睡眠状態の測定には枕元に設置し、測定を行う非接触型の睡眠計を採用した。睡眠計は電波センサを用いて体動を感知し、体動の有無によって睡眠・覚醒の状態を判定する。これにより、睡眠効率、入眠潜時、中途覚醒回数・時間の測定を行った。睡眠効率は総就床時間中の総睡眠時間の割合を示し、入眠潜時は寝付くまでに要する時間を表す。就寝前後にはストレスの度合いを示す唾液アミラーゼ活性や脳波、鼓膜温の測定を行った。

2.3.3 心理量（表 5）

心理量の測定項目を表 5 に示す。室内環境満足度、体調、疲労感、主観的な睡眠感に関するアンケート調査を実施した。室内環境満足度は、就寝前と起床時に温熱、光、音、空気質環境について 4 段階の評価を行い、疲労感は自覚症状調べ[文 6)]を用いて頭痛、だるさといった 32 症状を調査した。主観的な睡眠感については OSA 睡眠調査票 MA 版[注 6)]を用いた。

3. 実験結果

3.1 物理環境の測定結果（表 6）

温熱環境以外の環境要素の中で睡眠へ影響を及ぼすとされる光、音環境[文 7)]についてケース間に有意な差がなく、ケース間比較の上で、光、音環境の影響を大凡排除出来ることを確認した。従って以降の分析では、温熱環境に着目し、検証を行う。温熱環境の指標には温湿度、風速、放射の影響を考慮した体感温度である標準新有効温度（SET*）を用いて評価を行った。温湿度、風速、放射温度は実測値を採用し、着衣量及び代謝量は標準状態における 0.6clo、58.2W/m^2[文 8)]とした。睡眠時間中（23 時～7 時）の平均 SET*は、Case Ⅰでは 24.9℃、Case.Ⅱでは 27.4℃、Case.Ⅲでは 30.4℃であった。また、入眠時の SET*、睡眠時間後半の平均 SET*は睡眠時間中の平均と大差なく±0.3℃の範囲であった。これにより、冷房の連続運転により室内温熱環境が睡眠中一定に維持されていることを確認した。

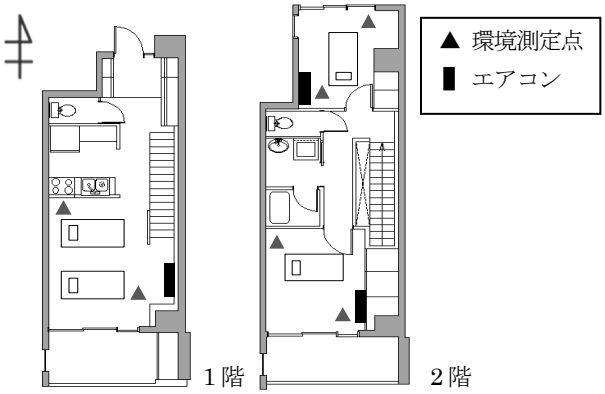

図 2 モデルルームの平面図と物理環境測定点

表 3 物理環境の測定項目

	測定項目	測定機器
屋外	温度/湿度	ワイヤレスデータロガー（RTR-503）
室内	温度/湿度	ワイヤレスデータロガー（RTR-503）
	グローブ温度	グローブ球（080340-150）
	風速	クリモマスター風速計（Model6533）
	照度	照度計（T-10）
	騒音	普通騒音計（NL-21）
	CO_2 濃度	IAQ モニター（Model2211）

表 4 生理量の測定項目

測定項目	測定機器
睡眠効率 入眠潜時 中途覚醒回数・時間	睡眠計（HSL-102-M）
鼓膜温	耳式体温計けんおんくん（MC-510）
脳波	脳波測定機（alphatec-IV）
唾液アミラーゼ活性	唾液アミラーゼモニター
自律神経	多機能ワイヤレスホルタ記録器（CarPod）

表 5 心理量の測定項目

調査のタイミング		評価項目	指標や質問形式
就寝前	起床時		
○	○	室内環境満足度	温熱・光・音・空気質に対して 4 段階評価
○	×	体調	4 段階評価
○	×	疲労感	自覚症状調べ（頭痛、だるさ等の 32 症状）
×	○	睡眠感	OSA 睡眠調査票 MA 版

表 6 物理環境の測定結果

		Case. Ⅰ	Case. Ⅱ	Case.Ⅲ
睡眠中の平均室温[℃]		24.9±0.5	26.7±0.7	28.3±1.0
睡眠中の平均湿度[%]		71.6±4.1	74.9±2.5	78.2±1.0
睡眠中の平均 SET*[℃]		24.9±0.9	27.4±1.4	30.4±1.4
入眠時の SET*[℃]		24.7±1.4	27.3±1.3	30.7±1.1
睡眠時間後半の平均 SET*[℃]		25.0±0.9	27.7±1.1	30.3±1.5
照度[lx]	就寝前	130±68	136±55	140±66
	起床時	249±75	222±97	250±87
騒音[dB]	就寝前	37.9±2.1	37.5±1.5	39.5±1.2
	起床時	37.6±1.8	37.4±1.3	39.7±1.3

3.2　睡眠の客観指標と主観指標の対応関係（図 3）

睡眠は主観的な評価も重要な指標であることから[文9)]、測定した客観指標である睡眠効率について、主観指標との対応を検証した。睡眠効率は個人差の非常に大きい指標であるため、各ケースの睡眠効率から、各被験者の睡眠効率の平均値を引き、個人差を排除した上で評価を行った。睡眠効率が総就床時間中の総睡眠時間の割合であることから、睡眠の維持が重要であるため、睡眠の質に関する主観指標として、OSA 睡眠調査票の「入眠と睡眠維持」の因子の得点を採用した。その結果、両者の間に有意な相関関係が確認され、睡眠効率の向上は主観的な睡眠の質の向上に寄与することが示唆された（図 3）。

3.3　室内温熱環境と睡眠効率の関係（図 4）

室内温熱環境が睡眠効率に与える影響を検証するため、睡眠中の平均 SET*と睡眠効率の関係を図 4 に示す。その結果、SET*27.6℃で睡眠効率が最大となる傾向が示唆された。過度な冷房使用による低い SET*と冷房を使用しないことによる高い SET*は、共に睡眠へ悪影響を及ぼす危険性が示された。

3.4　温熱環境制御が温熱環境満足度とストレスに与える影響（図 5, 図 6）

就寝前と起床時に実施した温熱環境満足度に関するアンケート調査結果を図 5 に示す。就寝前の回答では Case.Ⅰにおける不満の割合が最も低く 12.5%に抑えられていた。しかし、就寝前後の回答の変化に着目すると、Case.Ⅱと Case.Ⅲでは顕著な差が見られないのに対し、Case.Ⅰでは起床時の温熱環境を不満と感じる割合が 75%まで増加していた。また、就寝前後のストレスの度合いを示す唾液アミラーゼ活性の測定結果を図 6 に示す。その結果、Case.Ⅰにおいて就寝前のストレス値が有意に低い結果が得られた。しかし、起床時には Case.Ⅱと比較して唾液アミラーゼ活性の値が有意に高く、低い SET*は入眠時には好影響を与える一方で、睡眠時間中の後半にかけて悪影響を与える可能性が示唆された。以上より、睡眠の前半に適切な温熱環境と睡眠の後半に適切な温熱環境が異なると推察される。

3.5　睡眠効率と入眠潜時、中途覚醒の関係（図7, 図8）

図 6, 7 の結果より、就寝中の平均した温熱環境の評価だけでなく、睡眠の前半や睡眠中の後半について検証を行う必要性が示唆された。そこで、寝付きや睡眠中後半の中途覚醒が睡眠の質に与える影響を明確にするため、睡眠効率と入眠潜時、睡眠中後半における中途覚醒時間の関係を検証した（図 7, 図 8）その結果、入眠潜時が短いほど、また睡眠中後半における中途覚醒時間短いほど、睡眠の質が向上する傾向が示唆された。これを受け、以降の分析において、寝付きの良さを評価する指標としては「入眠潜時」を用い、睡眠中の後半における適切な温熱環境の検証では、「中途覚醒時間」を採用した。

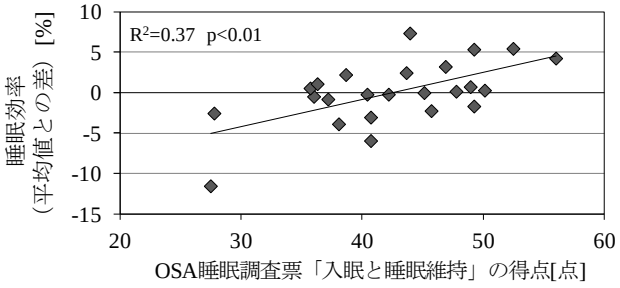

図 3　主観評価による睡眠の質と睡眠効率の関係

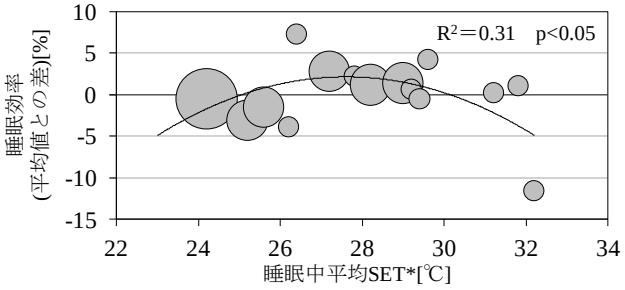

図 4　睡眠中平均 SET*と睡眠効率の関係

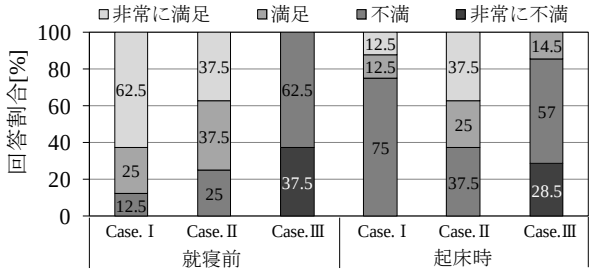

図 5　睡眠前後の温熱環境満足度

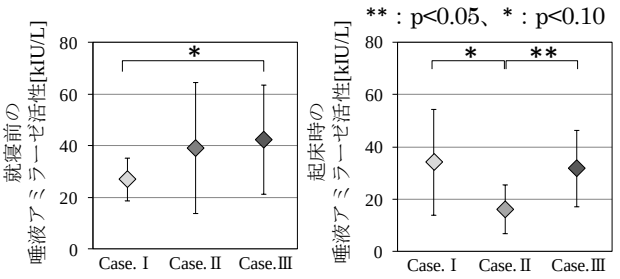

図 6　ケース別のストレス値　就寝前（左図）起床時（右）

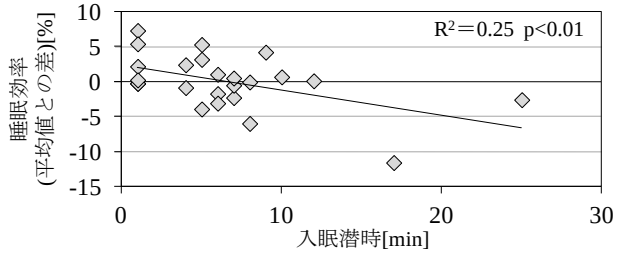

図 7　睡眠効率と入眠潜時の関係

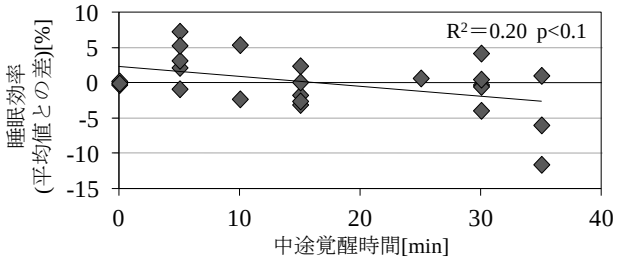

図 8　睡眠効率と中途覚醒時間の関係

3.6　室内温熱環境と入眠潜時・中途覚醒の関係（図9, 図10）

入眠時および睡眠中の後半に適切な温熱環境を明らかにするため、SET*と入眠潜時、中途覚醒時間の関係を検証した。入眠時については、入眠時 SET*が 30℃を超える環境において、入眠潜時が顕著に長くなる傾向が確認され、SET* 25.4℃において最も寝付きの良い環境であることが示唆された（図 9）。図 3 の睡眠効率が最大となる SET*27.6℃から 2.2℃低い結果となり、入眠時においては睡眠中の平均 SET*より低くすることで良質な睡眠が得られる可能性が示唆された。一方で、睡眠中の後半における適切な温熱環境の検証では、睡眠中の後半における 平均 SET*と中途覚醒時間の関係を図 10 に示す。その結果、SET*27.6℃で覚醒が最も抑えられることが示された。これにより、入眠時には SET*25.4℃程と低く保ち、睡眠中の後半は平均 SET*を 27.6℃に保つことで、睡眠の質の向上に寄与する可能性が示唆された。

4. まとめ

夏季の温熱環境制御が睡眠効率及び入眠潜時や中途覚醒といった睡眠状態に与える影響を検証することを目的として、被験者実験を行った。本実験により得られた知見を以下に示す。

(1) 睡眠効率が最大となる睡眠中平均 SET*は 27.6℃であった。

(2) 室内温熱環境満足度に関する測定結果から、就寝前においては Case. Ⅰの満足者割合が最も高い傾向が得られた。しかし、起床時には不満側の申告が急増する傾向が確認された。また、ストレスの度合い示す唾液アミラーゼ活性の測定結果から、就寝前においては Case. Ⅰの時に最もストレス値が低下する傾向が得られた。しかし、起床時においては Case. Ⅱと比較してストレス値が有意に高く、低い SET*は入眠時には好影響を与える一方で、睡眠時間中の後半にかけて悪影響を与える可能性が示された。

(3) 睡眠効率と入眠潜時、睡眠中の後半における中途覚醒時間の関係から、入眠潜時が短いほど、また睡眠中後半における中途覚醒時間短いほど、睡眠の質が向上する傾向が示唆された。

(4) 室内温熱環境と入眠潜時、中途覚醒時間の関係から、入眠時の温熱環境については SET*25.4℃程と低く保ち、睡眠中の後半は平均 SET*を 27.6℃に保つことで、睡眠の質の向上に寄与する可能性が示唆された。

入眠時に SET*を低く設定し、起床時に向けて徐々に上昇させる変化は冷房の間欠運転によって実現可能であると考えられる。今後、間欠運転の実験ケースを加えた被験者実験を行うことで、非定常的な制御を含めて、睡眠の質が最も向上する温熱環境制御法を検討していく必要があると言える。

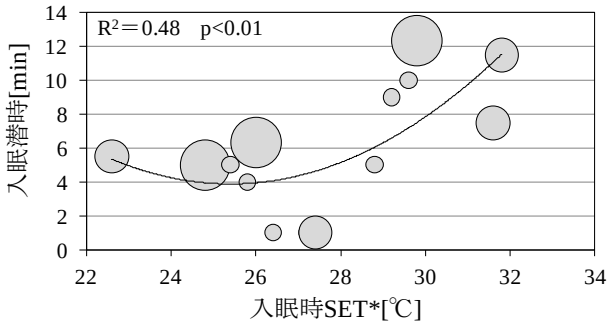

図 9　入眠時 SET*と入眠潜時の関係

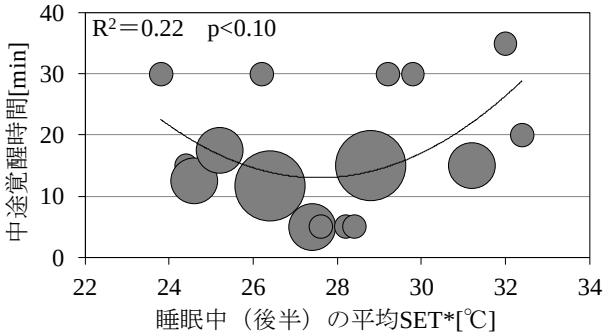

図 10　睡眠中（後半）の平均 SET*と中途覚醒時間の関係

謝 辞

本研究は、東京ガス株式会社の委託研究「居住者の意識・生活行動がエネルギー消費量と健康へ与える影響の経済性評価に関する調査研究（研究代表者：伊香賀俊治）」として実施したものである。本研究の遂行にあたり多大な御協力、御助言を頂きました松岡由紀子様（当時東京ガス株式会社勤務）、浦田麻衣様（当時慶應義塾大学大学院）、被験者の皆さまに感謝の意を表す。

注　釈

1) 国土交通省により制定された断熱性能基準を使用　2) 省エネ・創エネ・蓄エネ設備を導入した住宅　3) BMI(=体重[kg]÷(身長[m]×身長[m]))が 18.5 以上 25.0 未満　4)本稿においては、結果を平均±標準偏差で示す 5) 日中は激しいスポーツ、飲酒、昼寝等の制限を行った 6) 睡眠感を評価する心理尺度

参 考 文 献

1) 土井由利子「日本における睡眠障害の頻度と健康影響」, 保健医療科学, 2012, Vol.60, No.1, p.3-10　2) 厚生労働省「健康づくりのための睡眠指針 2014」, 2014.3　3) 梁瀬度子「住空間の快適性に関わる生理・心理学的研究」, 日本家政学会誌, 1998.9, Vol.49, No.9, pp.975-984　4) DIMSDRIVE『エアコン』に関するアンケート, http://www.dims.ne.jp/Timelyresearch (2014.4.30 参照) 5) 経済産業省　資源エネルギー庁「資源エネルギー政策, 一般向け省エネ情報 http://www.enecho.meti.go.jp/policy/general/howto/airconditioning/index.html (2014.4.30 参照)　6) 吉竹博「改訂産業疲労-自覚症状からのアプローチ-」, 1993　7) 環境省,「ヒートアイランド対策の環境影響に関する調査業務報告書」, 2009.2 8) 空気調和・衛生工学会「快適な温熱環境のメカニズム」, 2006, p.113-119　9) 本多和樹「眠りの科学とその応用：睡眠のセンシング技術と良質な睡眠の確保に向けての研究開発」, 2007.8, p.137-139