

インターネット調査を用いた 夜間のヒートアイランド現象による睡眠障害の影響評価

Evaluation of environmental impacts on disturbed sleep
by nighttime urban heat island phenomena using surveys via the Internet

岡野 泰久*¹
Yasuhisa Okano

井原 智彦*²
Tomohiko Ihara

玄地 裕*²
Yutaka Genchi

*¹ 工学院大学工学部機械システム工学科 Department of Mechanical Systems Engineering, Kogakuin University

*² 独立行政法人産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センター

Research Center for Life Cycle Assessment, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

Corresponding author: Yutaka Genchi, y.genchi@aist.go.jp

ABSTRACT

We analyzed the relationships of the outside air temperatures at bedtime with sleep quality. First, an online questionnaire survey of residents in the 23 wards of Tokyo was conducted. Next, the responses to the questionnaire were analyzed by using the Japanese version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI-J) and a sleep quality index developed by us for measuring the quality of daily sleep. The overall rate of subjects having sleep quality indices indicative of disturbed sleep was 48.8% (95% confidence interval: 44.0–53.6%) irrespective of outside air temperature when the outside air temperature at bedtime was lower than 25.2 °C. The rate increased by 3.0% with each 1 °C increase in outside air temperature above 25.2 °C. The environmental impact for health damage caused by the increase of disturbed sleep resulting from the effect the urban heat island phenomenon at night was estimated to be 344 million yen (between 68.7 million and 412 million yen).

キーワード: 睡眠障害, 就寝時刻, 外気温, ライフサイクル影響評価

Key Words : Disturbed sleep, Bedtime, Outside air temperature, Life Cycle Impact Assessment

1. はじめに

ヒートアイランド現象は既に顕在化しており、熱中症や熱ストレス、冷房需要の増加に伴うエネルギー消費の増大など社会に大きな影響を与えている⁽¹⁾。現在、この問題を緩和させるため、屋上緑化、高反射塗料、保水性舗装、建築物の省エネルギーなど、さまざまな対策が考案されている。しかしながら、各対策による気温低減効果は季節、時間帯、地域によってそれぞれ変化するため、対策の導入に当たっては、具体的な被害量を季節、時間帯、地域別に把握し、どの対策が被害量を減らす上で最も効果的か判断する必要がある。

環境問題を整理するに当たっては、原因・現象・被害に分け、それぞれの因果関係をはっきりさせることが大切である。そこで、著者らは、後述する日本版被害算定型環境影響評価手法(Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling, LIME)⁽²⁾の枠組みを利用し、熱中症や冷房需要の増加などヒートアイランド現象のもたらすさまざ

まな被害を同じ指標で評価するための研究を進めてきた⁽¹⁾。LIMEは、ISO 14042⁽³⁾で定義されたライフサイクル影響評価(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)の一般的な枠組みにしたがっており、特性化・被害評価・統合化の3ステップを経て環境影響を評価する(2006年にISO 14040~14043は廃止され、新しいISO 14040と14044に再編された⁽⁴⁾)。被害評価では、多数のカテゴリエンドポイントを統計データや物理モデルを用いて4つの最終的な保護対象(人間健康、社会資産、生物多様性、一次生産)に集約する。統合化では、各保護対象の被害量に各保護対象の重み係数を乗じて単一指標である被害算定額に集約するが、重み係数は日本人に対して各保護対象への被害に対する支払い意志額(受容額)を質問し、コンジョイント分析によって算出されている(図1参照)。

ヒートアイランド現象の一つに夜間気温の高温化が挙げられる。実際、東京(大手町)の熱帯夜は、1970年頃は約15日であったのに対し、近年では30日前後にまで増加⁽⁵⁾している。国立環境研究所が過去に実施した温暖化に関す

るアンケート調査⁽⁶⁾では、真夏に経験したことがある症状として、「眠れない」を訴えた人の割合が50%超に上り、「熱中症」や「疲労・変調」など他の症状は30%未満にとどまった。この調査結果から、他の症状に比べ「眠れない」は深刻な問題であることが示唆される。

夜間気温の高温化は室温の高温化に繋がり、暑苦しさによって「なかなか寝付けない」「睡眠の途中で目が覚めてしまう」など睡眠が阻害され、睡眠の質の低下や睡眠不足へと発展していくことが日常経験からも考えられる。実際、これまでも、大中ら⁽⁷⁾は室温の上昇によって睡眠が悪化する可能性があることを指摘している。また、宮原ら⁽⁸⁾はクーラーを使用して終夜室温を一定に保てば質のよい睡眠が得られると報告している。このように夜間気温の高温化による睡眠の悪化は問題であると考えられてきたが、実際、夜間気温の高温化がどの程度睡眠障害者を増加させ、人間健康に影響を及ぼすのかは不明であった。

そこで、本研究では東京23区を対象に、夜間気温と睡眠障害(disturbed sleep)の関係を定量化する。夜間気温データとしては AMeDAS を用いる。広く普及している AMeDAS を説明変数とした睡眠障害の被害関数を作成することにより、幅広く利用できることが期待できるためである。作成した被害関数を用いて、夜間気温の高温化が招く睡眠障害者の増加数を推定し、LIME の枠組みを用いて環境影響を定量的に評価することを目的とする。

2. 方法

2.1 睡眠に関する調査

夜間気温と睡眠の関係把握するために、2006年9月4日(月)~9月13日(水)、2007年7月31日(火)~8月9日(木)それぞれ10日間にわたり、東京23区に居住する

20歳以上の男女500名(日経リサーチ インターネットモニター)を対象に、インターネットを用いた調査を実施した。

なお、2006年と2007年の調査は別に実施された。

(1) 調査対象

本調査は、調査会社が保有するパネル(日経リサーチアクセスパネル)より後述の条件によって選定された調査モニターを対象におこなった。

各モニターは、アフェリエイト経由などではなく、調査会社ウェブサイトのバナーから登録し、パネルに参加している。また、調査専用のモニターであり、広告配信やDMなどに利用されていない。

パネルに含まれるモニターに、「旅行中」「鬱病、高血圧、気管支喘息、夜間狭心症、糖尿病を患っている」「ホルモン剤、睡眠薬を服用している」に当てはまらないこと、かつ、10日間連続で回答可能で、東京23区内に居住していることを条件として、調査内容および報酬(報酬額:2006年は5,000円、2007年は3,000円)を通知し、応募してきたモニターの中から500名を抽出した。抽出の際、性(男・女)、年齢層(20代、30代、40代、50代、60歳以上)および居住区(23区)がそれぞれ均等になるようにした。

(2) 調査手法と項目の概要

調査では、初日のみ回答および毎日回答の2種類の質問を実施した。また、回答率を引き上げるために、前述の報酬額を設定するとともに、未回答者に対して毎日回答の催促をおこなった。下記に主な質問内容を示す。

a. 初日のみ

年齢、性別、喫煙の有無、所在地(23区)、日本語版ピッツバーグ睡眠質問票18項目(Japanese version of the

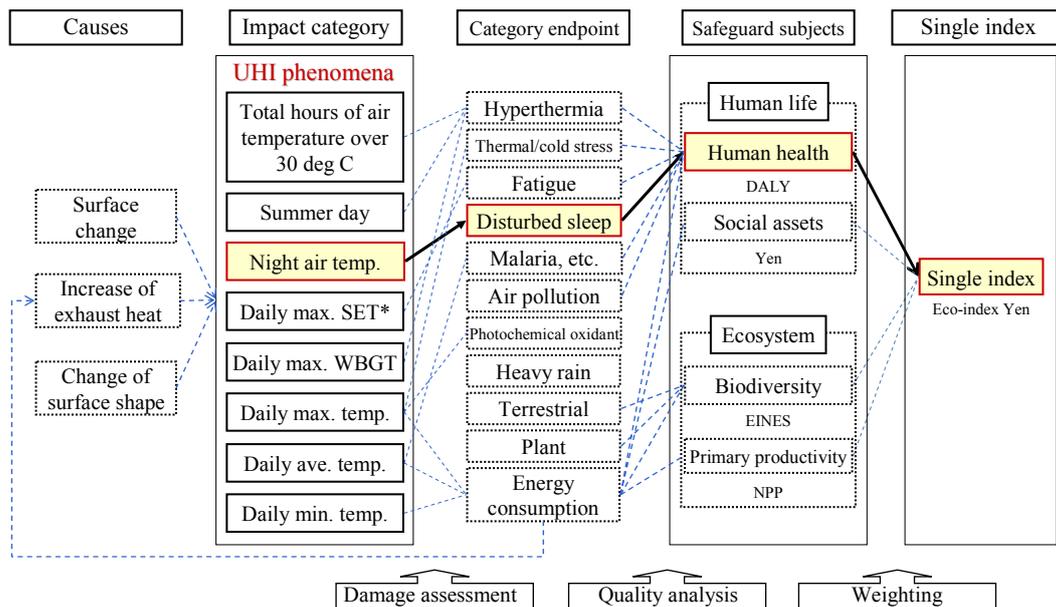


図1 LIMEの枠組みを用いたヒートアイランド現象に伴う環境影響の評価フロー

Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI-J⁽⁹⁾の質問を行った。ただし、PSQI-Jは2007年調査でのみ実施した。

b. 毎日

就寝時・起床時の室温湿度、空調使用状況（クーラーなど）、疲労・ストレス、飲酒、毎日の睡眠質問票9項目（Sleep Quality Index for Daily Sleep, SQIDS）（就寝時刻を含む）の質問を行った。

2.2 睡眠の評価手法

(1) 日本語版ピッツバーグ睡眠質問票 (PSQI-J)

ピッツバーグ睡眠質問票は、ピッツバーグ大学精神科学教授 Kupfer ら⁽¹⁰⁾によって開発された睡眠に関する標準化された18項目の質問からなる自記式質問票であり、土井ら⁽¹¹⁾によって日本語版が作成された。18質問項目は、過去1ヶ月間における睡眠に関する問いであり、以下のような7つの構成要素に分類される。

- ①睡眠の質 ②入眠時間 ③睡眠時間 ④睡眠効率
- ⑤睡眠困難 ⑥眠剤の使用 ⑦日中覚醒困難

これらを各0-3点の4段階で評価し、総合得点（0-21点）を算出する。総合得点が高いほど睡眠が悪いと評価される。

PSQI および PSQI-J はさまざまな目的に使われているが、土井らは PSQI-J の結果が睡眠障害(sleep disorder)と相関することを示し、特に PSQI-J 総合得点 5.5 点（5点と6点の間）と睡眠障害の診断基準が高い割合で一致することを示した⁽¹²⁾。土井らはこの判定得点を用いて全国の睡眠障害者(sleep problems)の割合を推定している⁽¹³⁾。

なお、睡眠障害(sleep disorder)は精神疾患の一種であり、本来は精神科医が明確な診断基準（たとえば DSM⁽¹⁴⁾）を用いて診断するものである。そのため、本研究で評価する影響は、主観的睡眠障害(disturbed sleep)として睡眠障害(sleep disorder)と区別される。ただし、土井らが示したように、PSQI-J による主観的睡眠障害(disturbed sleep)の判定結果は、睡眠障害(sleep disorder)の診断結果とよく一致すると考えられる。本稿で評価する睡眠障害は、すべて自記式の質問票による主観的睡眠障害であるため、以下、主観的睡眠障害を指して睡眠障害と記述する。

(2) 毎日の睡眠を評価するための質問票

PSQI-J は過去1か月の睡眠を評価するため、その評価結果は、毎日の気温の影響を受けない。そのため、PSQI-J によって評価される睡眠障害者は、夜間高温化と無関係に睡眠障害を訴える人々であると推測される。本稿では、以下、気温と無関係に睡眠障害を訴える人々をベース睡眠障害者と記述する。

一方、毎日の気温による睡眠の悪化を評価するためには、毎日の睡眠の質を調査する必要がある。そこで、本研究では、PSQI-J を参考に、毎日の睡眠を評価する SQIDS を作成した。SQIDS の詳細を別紙に示す。気温が睡眠の悪化を招くほど高くない条件下での SQIDS によ

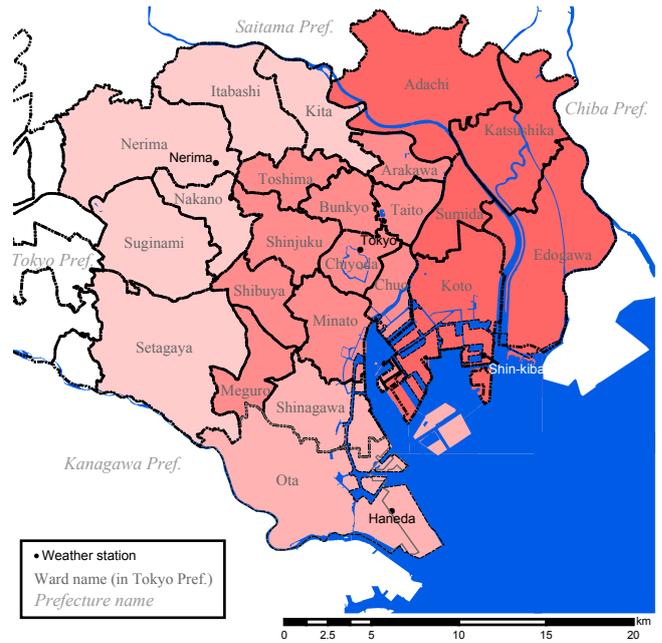


図2 東京23区分類図

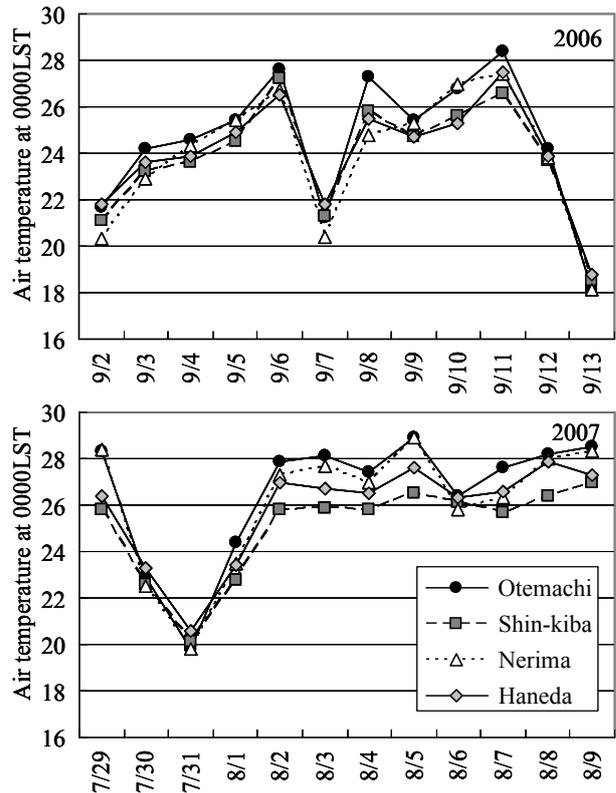


図3 各地域0時の気温データ

る睡眠障害の判定基準は、PSQI-J による判定結果と一致するように設定する。すなわち、両者でのベース睡眠障害者の割合が一致するように SQIDS の判定基準を設定する。

2.3 気温データ

気温は地域・時刻によって異なる。どの地域および時

刻の気温を用いるかは、次のように決定した。

(1) 地域

東京 23 区内においても地域によって気温が異なることが知られている。そこで、熱帯夜日数分布図⁽¹⁵⁾と熱環境マップ⁽¹⁶⁾を考慮して、東京 23 区を東京気象台観測地域、練馬・新木場・羽田 AMeDAS 観測地域の 4 地域に分類し、それぞれ対応する地域の気温を用いる (図 2 参照)。以下に詳細を示す。

- 東京気象台：荒川区、渋谷区、新宿区、台東区、千代田区、中央区、豊島区、文京区、港区、目黒区 (計 10 区)
- 練馬 AMeDAS：板橋区、北区、杉並区、世田谷区、中野区、練馬区 (6 区)
- 新木場 AMeDAS：足立区、江戸川区、葛飾区、江東区、墨田区 (5 区)
- 羽田 AMeDAS：大田区、品川区 (2 区)

気象観測所のある東京・練馬・新木場・羽田の位置を黒点で示す。

各地域の 0 時における気温データを図 3 に示す。高温時には、新木場および羽田が他の 2 地点より若干気温が低くなる傾向にある。前述の理由により、本研究では広く公開されている AMeDAS 気温を説明変数としたが、必ずしも地域の代表気温とはなっていない可能性があることに留意する必要がある。

(2) 時刻

寝入りばな (就寝時) の約 3 時間に、たいへん質のよい大切な眠り (深いノンレム睡眠=熟睡) が、まとめて出現する⁽¹⁷⁾。このとき成長ホルモンが 1 日の中で最も多く分泌されることから、心身の成長・修復、疲れの回復などが活発におこなわれていると考えられる。そのため、入眠時間前後の環境が全体的な睡眠の質を支配するのではないかと考えられる。実際、睡眠環境に関する既往研究では、特に入眠時に着目したものが存在する⁽⁷⁾。そこで、本研究でも、就寝時の気温を説明変数とした。ただし、どの時間帯の環境が睡眠の質に大きく影響するか、ということに対する理論的な根拠についてはさらなる検討が必要である。

2.4 PSQI-J によるベース睡眠障害者の割合の評価方法

PSQI-J 18 項目を、PSQI-J の総合得点算出方法⁽⁹⁾に基づき、7 要素に分類し各 0-3 点で評価し、総合得点 (0-21 点) を算出する。この結果を性別・年代別に分類し、平均得点と標準偏差を算出し、年代間の得点の差異を、Kruskal-Wallis 検定の一元配置分散分析法を用いて判定する。算出した総合得点を用いて、ベース睡眠障害者 (PSQI-J の総合得点 ≥ 5.5 点) の割合を 95% の信頼区間で評価する。また、性別ごとに χ^2 検定を用いて、各年代のベース睡眠障害者の比率に差が生じるか検定する。

2.5 SQIDS による睡眠障害者の割合の評価方法

(1) 回帰式による平均得点の推定方法

PSQI-J の総合得点算出方法を参考に、SQIDS の総合得点を算出する。

大中ら⁽⁷⁾によると、快適な睡眠環境の上限は室温 28°C、不快指数 78 と報告されている。このことから、睡眠が悪化し始める気温の閾値が存在すると推測される。

我々は気温の変化が電力需要に与える影響を定量化する際に、線形回帰を用いて気温の閾値を推定し評価してきた⁽¹⁸⁾。線形近似は取り扱いが容易であることから、睡眠障害においても、気温上昇と SQIDS 総合得点の上昇値との間に 1 次式が成立するとし、気温の閾値および気温感応度の考え方を導入した。具体的には、SQIDS で得た総合得点に対して、

$$S = S_o + \underbrace{\left(\frac{\Delta S}{\Delta \theta}\right)}_{\text{when } \theta > \theta_o} (\theta - \theta_o) \quad (1)$$

が成立するとした。

ここで、 S は回帰式により推定された総合得点の平均 (以下、平均得点 (推定) と記述) であり、 S_o は S のベース得点である。また θ は気温、 θ_o は気温の閾値 (以下、閾値気温と記述)、 $(\Delta S/\Delta \theta)$ は気温に対する平均得点 (推定) の感応度 (以下、気温感応度と記述) である。

(2) 睡眠障害者の割合の推定方法

SQIDS の結果を閾値気温未満 (睡眠が気温に影響されない区間)・以上 (睡眠が気温に影響される区間) に分類し、それぞれの睡眠障害者の割合を算出する。前者の区間では、算出される割合はベース睡眠障害者の割合と一致するはずである。後者では、ベース睡眠障害者に、夜間高温化によって睡眠が悪化する人々が加わる。

3. 結果

3.1 調査結果

(1) 2006 年度 (回収数: 420 名, 有効回答率: 84.0%)

a. 所在地別 (23 区)

- 足立区; 16 名, 荒川区; 17 名, 板橋区; 21 名, 江戸川区; 19 名, 大田区; 23 名, 葛飾区; 19 名, 北区; 18 名, 江東区; 16 名, 品川区; 21 名, 渋谷区; 11 名, 新宿区; 17 名, 杉並区; 22 名, 墨田区; 17 名, 世田谷区; 20 名, 台東区; 19 名, 中央区; 19 名, 千代田区; 11 名, 豊島区; 19 名, 中野区; 19 名, 練馬区; 19 名, 文京区; 20 名, 港区; 18 名, 目黒区; 19 名

b. 観測地域別

- 東京気象台; 170 名, 練馬 AMeDAS; 119 名, 新木場 AMeDAS; 87 名, 羽田 AMeDAS; 44 名

表1 各年齢における PSQI-J の得点(平均±標準偏差)および
PSQI-J より判定したベース睡眠障害者の割合(%、信頼区間 95%)

Male (n = 213)	20-29 years (n = 40)	30-39 years (n = 45)	40-49 years (n = 44)	50-59 years (n = 42)	60-69 years (n = 34)	70-79 years (n = 8)
Sleep quality**	1.10 ± 0.62	1.16 ± 0.63	1.25 ± 0.68	1.52 ± 0.70	0.91 ± 0.66	1.13 ± 0.78
Sleep latency**	1.00 ± 0.92	1.11 ± 0.87	0.98 ± 0.97	1.00 ± 0.98	0.65 ± 0.84	0.13 ± 0.33
Sleep duration**	1.23 ± 0.76	1.62 ± 0.68	1.61 ± 0.68	1.40 ± 0.79	0.88 ± 0.80	0.63 ± 0.70
Sleep efficiency**	0.08 ± 0.26	0.04 ± 0.21	0.09 ± 0.29	0.26 ± 0.69	0.15 ± 0.35	0.38 ± 0.70
Sleep disturbance*	0.68 ± 0.52	0.82 ± 0.44	0.61 ± 0.53	0.83 ± 0.61	0.79 ± 0.47	0.88 ± 0.60
Hypnotic medication**	0.03 ± 0.16	0.29 ± 0.86	0.18 ± 0.61	0.55 ± 1.10	0.15 ± 0.43	0.75 ± 1.30
Daytime dysfunction**	1.00 ± 0.92	1.02 ± 0.93	1.27 ± 1.03	1.00 ± 0.93	0.41 ± 0.69	0.38 ± 0.70
Global**	5.10 ± 2.44	6.07 ± 2.82	6.00 ± 2.91	6.57 ± 3.53	3.94 ± 2.71	4.25 ± 3.11
Disturbed sleep (%)	40.0 (26.3-55.4)	55.6 (41.2-69.1)	54.5 (40.1-68.3)	47.6 (33.4-62.3)	23.5 (12.4-40.0)	12.5 (2.2-47.1)

Female (n = 205)	20-29 years (n = 40)	30-39 years (n = 45)	40-49 years (n = 41)	50-59 years (n = 43)	60-69 years (n = 33)	70-79 years (n = 3)
Sleep quality*	1.35 ± 0.61	1.47 ± 0.62	1.54 ± 0.83	1.21 ± 0.59	1.24 ± 0.60	1.00 ± 0.00
Sleep latency**	1.33 ± 1.03	1.44 ± 0.83	1.22 ± 1.00	0.95 ± 0.91	1.09 ± 1.05	2.33 ± 0.47
Sleep duration**	1.18 ± 0.95	1.53 ± 0.78	1.54 ± 0.77	1.70 ± 0.79	1.27 ± 0.79	1.00 ± 0.00
Sleep efficiency**	0.25 ± 0.54	0.27 ± 0.77	0.24 ± 0.62	0.21 ± 0.59	0.24 ± 0.65	0.33 ± 0.47
Sleep disturbance**	1.03 ± 0.42	0.91 ± 0.46	0.83 ± 0.54	0.88 ± 0.44	0.88 ± 0.48	1.33 ± 0.47
Hypnotic medication**	0.28 ± 0.67	0.24 ± 0.67	0.27 ± 0.80	0.14 ± 0.55	0.33 ± 0.80	1.00 ± 1.41
Daytime dysfunction**	1.00 ± 0.92	1.00 ± 0.89	0.93 ± 0.87	0.86 ± 0.85	0.48 ± 0.70	0.33 ± 0.47
Global*	6.40 ± 3.16	6.87 ± 2.89	6.56 ± 2.96	5.95 ± 2.82	5.55 ± 3.07	7.33 ± 2.62
Disturbed sleep (%)	55.0 (39.8-69.3)	64.4 (49.8-76.8)	53.7 (38.7-67.9)	48.8 (34.6-63.2)	42.4 (27.2-59.2)	66.7 (20.8-93.9)

*Prob. < 0.05, **Prob. < 0.01

(2) 2007 年度 (回収数: 418 名, 有効回答率: 83.6%)

a. 所在地別 (23 区)

- 足立区; 19 名, 荒川区; 16 名, 板橋区; 17 名, 江戸川区; 19 名, 大田区; 19 名, 葛飾区; 17 名, 北区; 17 名, 江東区; 21 名, 品川区; 17 名, 渋谷区; 18 名, 新宿区; 19 名, 杉並区; 17 名, 墨田区; 18 名, 世田谷区; 22 名, 台東区; 11 名, 中央区; 15 名, 千代田区; 22 名, 豊島区; 21 名, 中野区; 19 名, 練馬区; 17 名, 文京区; 18 名, 港区; 20 名, 目黒区; 19 名

b. 観測地域別

- 東京气象台; 179 名, 練馬 AMeDAS; 109 名, 新木場 AMeDAS; 94 名, 羽田 AMeDAS; 36 名

3.2 PSQI-J によるベース睡眠障害者の割合の評価結果

2007 年度アンケート調査で得た PSQI-J 18 項目を, PSQI-J の総合得点算出方法に基づき, 性別・年代別の 7 つの構成要素と総合の平均得点を標準偏差とともに表 1 に示す. さらに, 土井らの研究報告⁽¹²⁾⁽¹³⁾を用いて PSQI-J 総合得点が 5.5 点以上の者をベース睡眠障害者とした場

合の, ベース睡眠障害者の割合(%)および 95%信頼区間 (confidence interval, CI)も示す.

表 1 に示した性別・年代別の結果を集計すると, 男性 (n = 213) の 44.1% (95% CI: 37.6-50.8%), 女性 (n = 205) の 53.7% (46.8-60.4%) が睡眠に何らかの問題があり (睡眠障害者), アンケート回答者 (n = 418) 全体では 48.8% (44.0-53.6%) がベース睡眠障害者であると評価された.

なお, Kruskal-Wallis 検定をおこなったところ, 男女ともに, 年齢の傾向とベース睡眠障害者の割合に関連性は見られなかった.

3.3 SQIDS による睡眠障害者の割合の評価結果

(1) 特定の睡眠の解析対象からの除外

PSQI-J の総合得点算出方法を参考に, SQIDS の総合得点を算出し, 838 人 × 9 日間 (睡眠数 n = 7542) の睡眠を評価した. その中で, 睡眠に影響を及ぼすと考えられる『疲労・ストレス』『煙草』『飲酒』『年齢』『性別』を熟眠度および目覚め感で 4 段階評価したものを表 2 および表 3 にそれぞれ示す.

その結果, 『疲労・ストレスを大変感じている

表2 要因ごとのSQIDS 熟眠度の4段階評価の割合(%), 睡眠数(母集団)(838人, n=7,542)

Factor	Proportion (%)				Population	
	Sleep well	Sleep	Sleep poorly	Sleep very poorly		
Fatigue /Stress	Not feel	37.5	49.3	11.4	1.8	1,221
	Not feel so much	21.6	62.8	14.6	1.1	3,019
	Feel	13.6	60.6	23.8	2.1	2,610
	Feel very much	18.9	49.4	22.3	9.4	692
Smoking (Cigarette)	Smoking	20.7	59.5	17.7	2.1	5,751
	Non-smoking	22.6	55.8	18.8	2.8	1,791
Drinking (Alcohol)	Not drink	20.1	59.2	18.2	2.4	5,010
	Not be conscious of drunk	24.0	58.3	15.7	2.1	1,306
	Tipsy	22.2	57.4	18.9	1.6	1,160
	Extremely drunk	24.2	40.9	24.2	10.6	66
Age	-39 years	20.9	58.3	17.6	3.3	3,006
	40-54 years	19.6	59.6	18.7	2.1	3,051
	55-64 years	24.5	57.0	17.8	0.7	1,386
	65 years-	28.3	62.6	8.1	1.0	99
Gender	Male	21.4	59.9	16.4	2.3	3,834
	Female	20.8	57.4	19.5	2.3	3,708

表3 要因ごとのSQIDS 目覚め感の4段階評価の割合(%), 睡眠数(母集団)(838人, n=7,542)

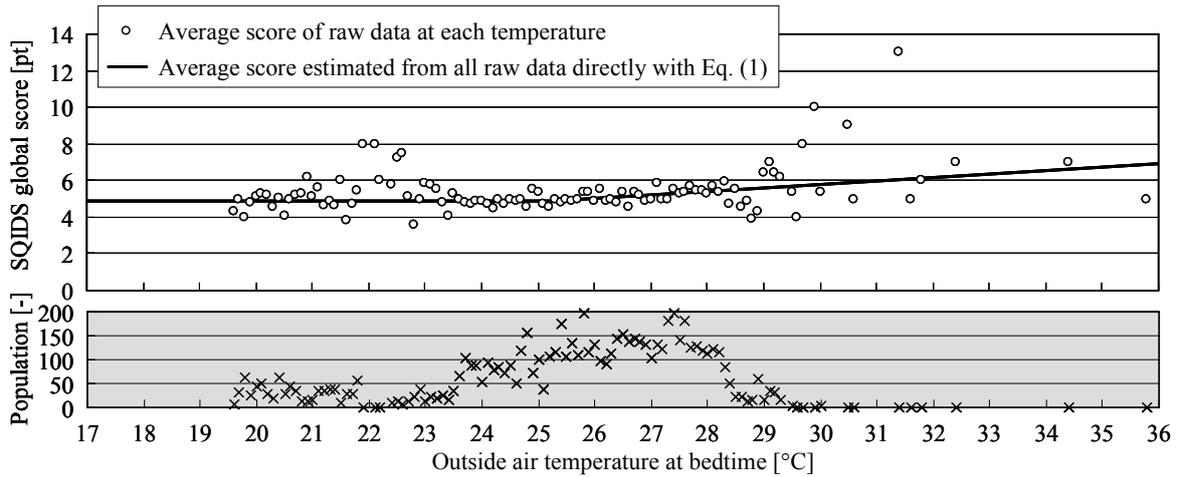
Factor	Proportion (%)				Population	
	Very clear	Clear	Not so clear	Very poor		
Fatigue /Stress	Not feel	20.5	58.1	17.2	4.2	1,221
	Not feel so much	7.5	64.7	24.8	3.0	3,019
	Feel	4.1	50.5	38.3	7.1	2,610
	Feel very much	6.8	35.3	35.4	22.5	692
Smoking (Cigarette)	Smoking	8.5	57.1	28.8	5.6	5,751
	Non-smoking	7.8	52.7	30.5	9.0	1,791
Drinking (Alcohol)	Not drink	7.9	55.7	29.8	6.6	5,010
	Not be conscious of drunk	11.4	58.9	24.8	4.9	1,306
	Tipsy	7.2	55.9	31.0	5.9	1,160
	Extremely drunk	1.5	27.3	42.4	28.8	66
Age	-39 years	8.5	51.4	30.4	9.7	3,006
	40-54 years	6.4	57.3	30.8	5.5	3,051
	55-64 years	12.8	61.8	23.8	1.6	1,386
	65 years-	2.0	78.8	18.2	1.0	99
Gender	Male	8.6	57.2	28.4	5.8	3,834
	Female	8.0	54.8	30.1	7.0	3,708

(Fatigue/Stress: Feel very much)』(n = 692), 『泥酔状態 (Drinking: Extremely drunk)』(n = 66)と回答した者の熟眠度・目覚め感は、「眠れなかった」「悪い(目覚め感)」の割合が他の要因と比較して著しく高くなった。これら2つの要因は睡眠の質(熟眠度・目覚め感)に著しく悪影響を及ぼすことが推測できるため、解析対象から除外した。除外後の解析睡眠数 n = 6804 となった。

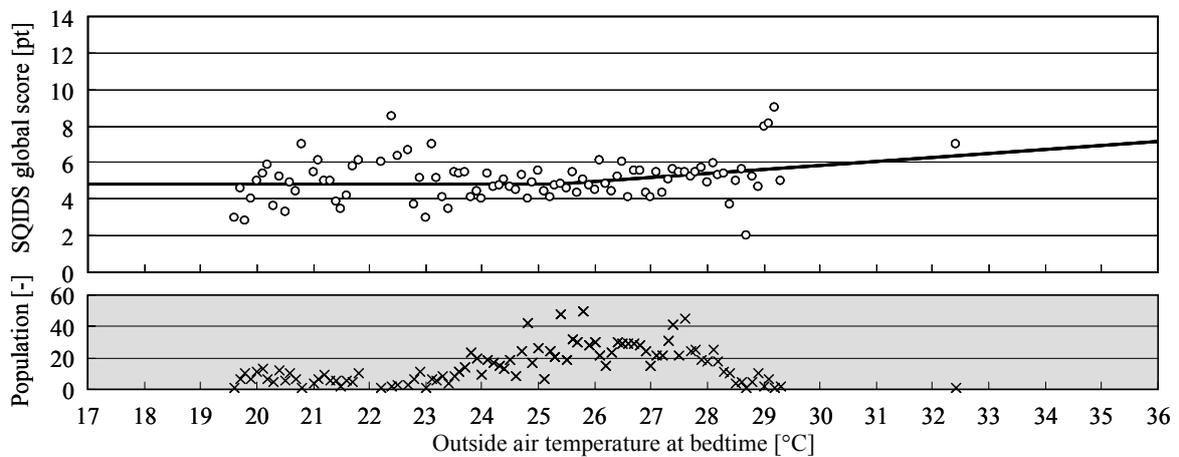
(2) 就寝時の気温とSQIDS総合得点との関係の評価

就寝時の気温と睡眠の関係を定量化するため、(a)解析睡眠数全体を対象として、式(1)を用いて、ベース得点、閾値気温、気温感応度を推定し、平均得点(推定)を算出した。

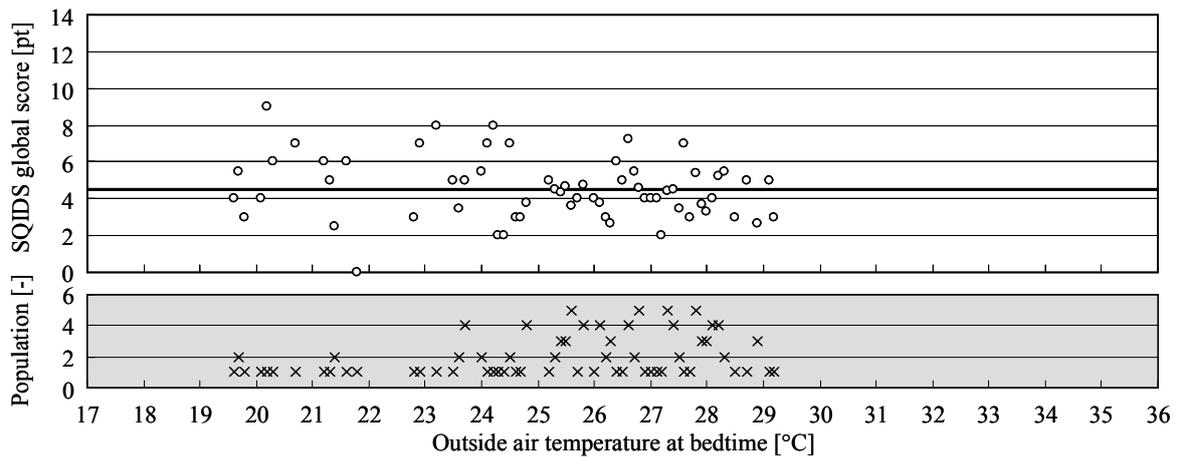
ところで、冒頭に述べたように、クーラーを使用し終夜室温を一定に保つことによって、快適な睡眠が得られ



(a) 全体 (838 人, n = 6,804)



(b) 10日間連続クーラー不使用者 (170 人, n = 1,394)



(c) 10日間連続クーラー使用者 (15 人, n = 125)

図4 就寝時の気温とSQIDS総合得点との関係

る⁽⁷⁾⁽⁸⁾との報告がある。そこで、(a)に加えて、(b)10日間連続クーラー不使用者の睡眠(10日間毎夜間いっさいクーラーを稼働せず)、(c)10日間連続クーラー使用者の睡眠(10日間毎日終夜にわたりクーラーを稼働)についても就寝時の気温と睡眠の関係を定量化し、クーラーの稼働と睡眠の関係の評価も試みた(10日間の中でクーラー

を使用したり使用しなかったりした回答者、また切タイマーや入タイマーを用いてクーラーを使用した回答者は(b)にも(c)にも含まれない。

a. 全体 (838 人, n = 6,804)

就寝時の気温が25.2℃未満のときベース得点は4.89点となり、25.2℃以上になると1℃上昇するごとに0.189点

表4 SQIDS 総合得点の解析結果

	(a)			(b)			(c)		
	t -Stat.	Prob.		t -Stat.	Prob.		t -Stat.	Prob.	
S_o [pt]	4.89	122.0	0.000	4.80	54.2	0.000	4.49	-	-
$(\Delta S/\Delta \theta)$ [pt/°C]	0.189	7.5	0.000	0.225	3.6	0.000	-	-	-
θ_o [°C]	25.2			25.3			-		
R^2	0.0081			0.0094			-		
N	6804			1394			125		

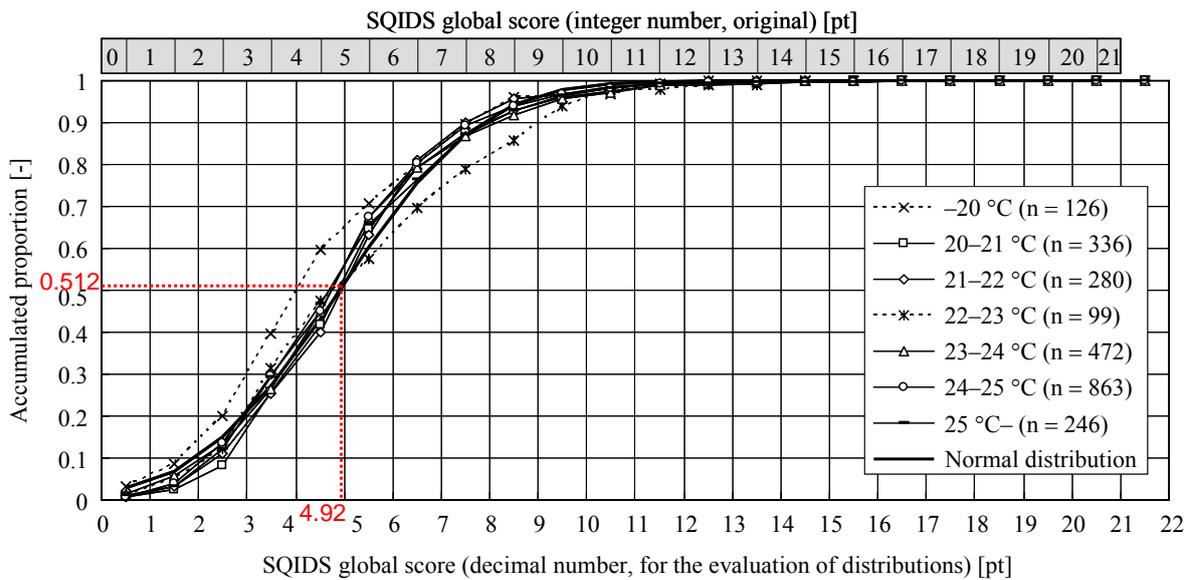


図5 閾値気温(25.2°C)未満のSQIDS 総合得点の累積分布

ずつ増加する傾向にあると推定された。解析結果を図4(a)上のグラフに示す。グラフ中、太線が解析結果であり、これは6804個ある未加工データから直接推定した結果である。白丸は気温ごとの未加工データの平均値であり、縦軸(SQIDS 総合得点)が整数であるゆえ大半のプロットが重なり合ってしまう未加工データをそのまま掲載しても理解しにくいので、代わりに掲載したものである。ただし、白丸はあくまでも参考に掲載したものであり、太線は未加工データから直接推定をおこなっている。図4(a)下のグラフは気温ごとの母集団である。母集団の少ない気温(特に低温域や高温域)では、個人の影響が強く現れてしまうため、白丸は太線から外れる傾向にある(白丸から太線を推定していないので解析上の問題はない)。解析結果とともに各説明変数の検定結果を表4(a)にまとめる。睡眠はさまざまな要因に左右されるため、要因の一つに過ぎない気温での単回帰分析では著しく小さい決定係数 R^2 しか得られない。しかし、 t 検定の結果、 P 値(Prob.)がきわめて小さいことから、説明変数は有意である、すなわち睡眠は気温に影響されると結論づけられた。

b. 10日間連続クーラー不使用(170人, n=1,394)

10日間連続クーラー不使用者は、就寝時の気温が25.3°C未満のときベース得点は4.80点となり、25.3°C以上になると1°C上昇するごとに0.225点増加する傾向にあると推定された(図4(b)および表4(b)参照)。

c. 10日間連続クーラー使用(15人, n=125)

10日間連続クーラー使用者は、ベース得点が4.49点となり、閾値気温および気温感応度の存在は確認されなかった(図4(c)および表4(c)参照)。

解析結果より、クーラーの終夜使用は夜間高温化に伴う睡眠の悪化を緩和する可能性が示唆された。

(3) 就寝時の気温と睡眠障害者の割合との関係の評価

気温が25.2°C以上になるとSQIDS 総合得点が増加するため、睡眠障害者が増加していると考えられる。そこで、就寝時の気温を「25.2°C未満」「25.2°C以上」に分類して睡眠障害者の割合を算出した。

a. 就寝時の気温:25.2°C未満

この気温区間では、気温によらず睡眠障害者の割合は変化せず、その割合はPSQI-Jによって判定されるベース睡眠障害者の割合と一致すると考えられる。そこで、睡

眠障害者の割合を、PSQI-Jによる判定結果である48.8%と考えた。

SQIDSの総合得点は平均4.89 ± 標準偏差2.30点と算出されたが、その分布を気温区間ごとに集計して描くと、図5に示すように、母集団の小さい20℃未満と22-23℃を除けばほぼ正規分布を示した。そこで、正規分布に基づいて区間確率を算出すると、ベース睡眠障害者の割合が48.8%となる得点(睡眠障害基準得点)は4.92点であることがわかった。図5では、20℃未満を除けばいずれの気温区間でも基準得点を4.92点としたとき非睡眠障害者の割合が約51.2%となっている。以上より、SQIDSの得点が4.92点以上の者を睡眠障害者(ベース睡眠障害者)と推定できる。

b. 就寝時の気温:25.2℃以上

SQIDS 総合得点の平均得点が気温上昇の影響を受けるように、その分布(標準偏差)も気温上昇の影響を受けると考えられる。この気温区間においても各気温における得点分布はほぼ正規分布を示した。そこで、25.2℃未満同様に正規分布を仮定し、式(1)と同様にして、式(2)により標準偏差を推定した。なお、閾値気温は式(1)で算出された25.2℃を用いた。

$$s = s_0 + \underbrace{\left(\frac{\Delta s}{\Delta \theta} \right) (\theta - \theta_0)}_{\text{when } \theta > \theta_0} \quad (2)$$

ここで、 s は回帰式により推定された標準偏差(以下、標準偏差(推定)と記述)であり、 s_0 は s のベース標準偏差である。また、 $(\Delta s/\Delta \theta)$ は気温に対する標準偏差(推定)の感応度である。

解析の結果、ベース標準偏差 s_0 は2.30点、25.2℃以上の気温における標準偏差の気温感応度 $(\Delta s/\Delta \theta)$ は0.048点/℃と算出された。

結果を用いて、各気温における睡眠障害基準得点(4.92点)以上となる際の区間確率を算出し、睡眠障害者の割合を推定した。そして、25.2-30.0℃における睡眠障害者の割合の増加傾向を平均傾きとして近似すると、就寝時の気温が1℃上昇するごとに睡眠障害者の割合が3.0%増加することが推定された。

3.4 健康影響評価

東京23区居住者(2005年)を対象に、就寝時の気温上昇に伴う睡眠障害の健康影響をLIMEの枠組みで評価した。LIMEは、人間健康への影響を障害調整生存年(Disability-Adjusted Life Year, DALY)⁽²⁾を用いて評価する。DALYは早死による生命損失年数(Years of Life Lost, YLL)と障害による相当損失年数(Years Lived with a Disability, YLD)の和と定義されるが、睡眠障害による死亡は確率的に小さいと考え、YLDのみ評価した。

DALYを算出するには、睡眠障害の継続期間と障害度を設定する必要がある。そこで、本研究における睡眠障

害は当日のみに影響を及ぼす症状と考えられるので、障害継続期間を1日間とした。相当損失年数の評価で対象とするdisabilityを評価するためには、当該疾患による障害度も必要となる。障害度は健常:0、死亡:1の目盛りで、「娯楽」「教育」「生殖」「就業」を基準に定量化するが、睡眠障害による障害度はThe Global Burden of Disease (GBD)⁽¹⁹⁾を始めとする疫学データベースには記載されていない。そこで、LIME2で騒音による睡眠妨害の障害度を0.045と設定⁽²⁰⁾していること、また障害度が近いと考えられる虫歯や重度の貧血がGBDではそれぞれ0.081、0.120と定義されていることを参考に、睡眠障害の障害度を0.05と仮定してDALYを評価した。ただし、仮定値であるため、同時に結果への感度を解析するため、0.01-0.06と幅をもたせた評価もおこなった。上方の感度が小さいのは、虫歯や重度の貧血よりは障害度が軽いであろう、という判断である。式(3)にDALYの算出方法を示す。

$$\text{DALY} = \text{睡眠障害者の増加割合} \times \text{東京23区人口} \times \text{障害継続期間} \times \text{障害度} \quad (3)$$

式(3)より、睡眠障害によるDALYは、35.4(感度解析:7.1-42.5)[年/℃日]と推定された。ここで、℃日(degree-day for sleep)は就寝時の気温と閾値気温(25.2℃)のずれである。

LIMEでは、1DALYあたり970万円に換算⁽²⁾されるため、就寝時の気温の上昇による睡眠障害の健康被害量は、 3.44×10^8 (感度解析: 6.87×10^7 - 4.12×10^8)[円/℃日]相当と見積もられた。ここで、円はEco-index Yen/日本円に相当する。

4. おわりに

4.1 結果

東京23区居住者を対象にインターネット調査を実施し、就寝時の気温と睡眠の関係を定量化し、夜間気温の高温化による睡眠障害者(disturbed sleep)の増加数を推定した。

まず、回答者の何割が実際に睡眠障害者なのかを調べるため、PSQI-Jの7つの構成要素と総合得点を性別・年齢別に算出した。その結果、2007年の調査結果より48.8%(95%信頼区間:44.0-53.6%)が夜間高温化とは無関係に睡眠障害であるベース睡眠障害者であると推定された。

次に、毎日の気温と睡眠の関係を定量化するために、就寝時刻の気温をパラメータとしてSQIDSの7つの構成要素と総合得点を算出し、式(1)を用いて評価した。その結果、就寝時の気温が25.2℃を超えると睡眠が悪化する傾向にあることが推定された。また、クーラーの使用状況別で評価した結果、クーラーを使用しなかった者の睡眠は気温の影響を大きく受け、気温の上昇に伴って睡眠が悪化する傾向にあることが推定された。一方、クーラーを終夜使用した者においては気温と睡眠の関係は見られず、クーラーの終夜使用は気温上昇に伴う睡眠の悪化

を緩和する可能性が示唆された。ただし、後者は、10 日間毎日終夜クーラーを使用するという小さい母集団から得られた結果である。

以上の結果から、気温に無関係な睡眠障害者（ベース睡眠障害者）の割合は 48.8%と判断され、気温に関係する睡眠障害者の割合は、就寝時の室温が 1°C 上昇するごとに 3.0%増加することが示唆された。

さらに、LIME を用いて睡眠障害が人間健康へ及ぼす影響を評価した結果、DALY は 35.4 (感度解析: 7.1-42.5) [年/°C 日]、健康被害量は 3.44×10^8 (感度解析: 6.87×10^7 - 4.12×10^8) [円/°C 日]と見積もられた。

なお、上記の数値は、公募モニターによるインターネット調査により得られた生データを元にした結果に留意する必要がある。

4.2 インターネット調査について

本研究では、公募されたモニターを対象にインターネット調査をおこない、2007 年 7 月下旬における東京 23 区の睡眠障害者の割合を 48.8% (95% CI: 44.0-53.6%)と評価した。

公募モニターによるインターネット調査の結果は、無作為抽出による訪問調査や書面調査の結果と異なるのではないかと、との指摘がある。違いを分析した調査研究⁽²¹⁾⁽²²⁾によると、一定の調査項目は、年齢や職業で補正可能であるが、一方、意識に関する調査項目は、年齢や職業で補正できない、モニターの心理的な違いが結果に違いをもたらしている、としている。

本研究では、過去、既往研究⁽²³⁾で世論調査とほぼ同じ傾向を示した調査会社のモニター(日経リサーチ インターネットモニター)を用い、かつ、通常よりも高額報酬を支払う、毎日の回答の催促をおこなうことによって、調査テーマに関心のある層のみが参加する、ということを防ぎ、できるだけバイアスを排除した。

ここで、比較できる項目についてのみ、既往の研究結果と比較する。無作為抽出による書面調査を通じて PSQI-J で評価した土井ら⁽¹³⁾によると、1999 年 9 月下旬における全国の睡眠障害者の割合は男性 26.4% (23.6-29.3%)、女性 31.1% (28.1-33.9%)としている。また、本研究で得られた睡眠時間を、同じく無作為抽出である国民生活時間調査⁽²⁴⁾の 2005 年における東京圏の結果と比較すると、平均起床時刻は 6:30 頃とほぼ同じであるが、平均就寝時刻が 0:30 と 23:30 であり本研究は 1 時間ほど遅い傾向にある。

本研究と既往研究は、上記のように、評価結果に一定の差異が認められるが、調査対象とした年・季節・地域および調査手法が異なるため、直ちに調査方法の違いが結果に違いをもたらしている、とは判断できない。また、本研究は意識を問う問題ではないため、心理的な要因が結果に違いをもたらしている可能性は低い、と考えられる。しかし、今後、本研究に一般性を持たせるには、無

作為抽出による調査とのより詳細な比較、さらに比較結果を基とした適切な補正手法の開発が望まれる。

4.3 今後の課題

本研究では、気温と睡眠障害の関係、さらにクーラーによる睡眠障害の軽減効果について評価したが、結果の信頼性を向上させるため、特に以下の課題に今後取り組む必要がある。

第一は、睡眠の質に影響を与える環境(気温)の時間である。特に入眠時が睡眠の質に影響を左右すると考えられているため、本研究では就寝時の気温と睡眠の質との関係を解析した。しかし、定量的な根拠が存在しないため、今後、入眠から起床までにかけて分析をおこない、どの時間の環境が睡眠の質を左右するのか、評価をおこなう必要がある。

第二は、環境影響評価に用いた睡眠障害の障害度である。本研究では 0.05 と仮定し、不確実性を考慮して感度を確認した。仮定した値は、LIME2 で騒音による睡眠妨害の障害度⁽²⁰⁾と比較して、大きく外れた値ではないと考えられるが、LIME2 の睡眠障害の定義が本研究とは異なるため、今後、専門家パネルを開催して、障害度を定量化する必要がある。

調査方法の問題点については前述の通りである。

以上の課題を克服した上で、最終的には、本研究の結果とその他のヒートアイランド現象によってもたらされるさまざまな環境影響を LIME の枠組み内で比較し、どの環境影響が重要なのか見極め、対策導入時の定量的検討をおこなえるようにする予定である。

5. 謝辞

国立保健医療科学院研修企画部の土井由利子部長には、睡眠障害の疫学研究をはじめ日本語版ピッツバーグ睡眠質問票を提供して頂くなど、貴重な御意見を頂きました。また、日本大学医学部精神医学講座の内山真教授には、経済損失額を試算する貴重な資料を提供して頂きました。両氏に対し、ここに深く感謝の意を表します。

6. 参考文献

- (1) Y.Genchi, T.Minami and T.Ihara, Life cycle impact assessment of countermeasures for urban heat island in Tokyo, The 6th International Conference on Urban Climate Preprints (2006-6), pp.354-357, Göteborg, Sweden.
- (2) 伊坪徳宏・稲葉敦編、ライフサイクル環境影響評価手法(2005)、産業管理協会。
- (3) ISO14042, Environmental management -Life cycle assessment- Life cycle impact assessment, (2000).
- (4) M.Finkbeiner, 稲葉敦, R.B.H.Tan, K.Christiansen and H.J.Klüpel, ライフサイクルアセスメントの新規格:

- ISO14040 および 14044 について, LCA 日本フォーラムニュース, 41 (2006), pp.10-16.
- (5) 気象庁, 気象統計情報, 気象庁ウェブサイト, <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>, (2007).
- (6) 国立環境研究所, 温暖化に関するアンケート調査(平成 15 年度実施), http://www.nies.go.jp/impact/jp_quest.html, (2003).
- (7) 大中忠勝, 睡眠時の体動からみた寝室の快適温熱環境の上限, 第 25 回人間-生活環境系シンポジウム報告集, (2001-12), pp.272-275, 沖繩.
- (8) 宮原律子・久保博子・矢々部真一・清水克浩・杉崎智子・大石麻裕子・竹嶋聡子, 夏期のエアコンタイマー使用による室温変化が終夜睡眠に及ぼす影響, 日本睡眠学会第 30 回定期学術集会抄録集, (2005-6), pp.270, 宇都宮.
- (9) 内山真編, 睡眠障害の対応と治療ガイドライン (2002), じほう.
- (10) D.J.Buysse, C.F.Reynold III, T.H.Monk, S.R.Berman, and D.J.Kupfer, The Pittsburgh Sleep Quality Index: A New Instrument for Psychiatric Practice and Research, *Psychiatry Research*, 28 (1988), pp.193-213.
- (11) 土井由利子・簗輪真澄・内山真・大川匡子, ピッツバーグ睡眠質問票日本語版の作成, *精神科治療学*, 13-6 (1998), pp.755-763.
- (12) Y.Do, M.Minowa, M.Uchiyama, M.Okawa, K.Kim, K.Shibui and Y.Kamei, Psychometric assessment of subjective sleep quality using the Japanese version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI-J) in psychiatric disordered and control subjects. *Psychiatry Research*, 97 (2000), pp.165-172.
- (13) Y.Do, M.Minowa, M.Uchiyama and M.Okawa, Subjective sleep quality and sleep problems in the general Japanese adult population. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 55 (2001), pp.213-215.
- (14) American Psychiatric Association, DSM-IV-TR 精神疾患の診断・統計マニュアル, 高橋三郎・大野裕・染矢俊幸訳, 新訂版 (2004), 医学書院.
- (15) 東京都環境科学研究所, 熱帯夜日数分布の比較, https://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/heat2/heat_hm/observation_results/summary/comp_night.htm, (2007).
- (16) 東京都環境局, ヒートアイランド対策推進エリアと熱環境マップについて, <http://www.metro.tokyo.jp/INET/OSHIRASE/2005/04/20f4b100.htm>, (2005).
- (17) 井上昌次郎, 睡眠の基礎, 日本睡眠学会第 24 回学術大会第 4 回「睡眠科学・医療専門研修」セミナーテキスト「初心者のための睡眠の基礎と臨床」, (1999-6), pp.1-8, 広島.
- (18) T.Ihara, T.Sato, Y.Genchi, K.Yamaguchi and Y.Endo, Analysis of the sensitivity of energy consumption to the air temperature and humidity in business district of Tokyo, The 6th International Conference on Urban Climate Preprints, (2006-6), pp.592-593, Göteborg, Sweden.
- (19) C.J.L.Murray and A.D.Lopez, The Global Burden of Disease, Global Burden of Disease and Injury series volume 1 (1996), Harvard University Press, Cambridge.
- (20) 井伊亮太, LIME2 ワークショップ 新規影響領域 一室内空気質汚染と騒音の環境影響— 講演集, 産業技術総合研究所, (2008-2), pp.47-64, 東京.
- (21) 内閣府大臣官房政府広報室, 世論調査の調査方法に関する試験調査, <http://www8.cao.go.jp/survey/sonota/h17-houhou/index.html>, (2006).
- (22) 本多則恵・本川明, インターネット調査は社会調査に利用できるか—実験調査による検証結果—, 労働政策研究報告書, No.17, (2007), 労働政策研究・研修機構.
- (23) 本田智則・田原聖隆, AHP を用いた社会影響評価における保護対象の設定, 環境情報科学論文集, 21 (2007), pp.327-332.
- (24) NHK 放送文化研究所編, データブック 国民生活時間調査 2005, (2006), 日本放送出版協会.

(Received February 28, 2008, Accepted September 30, 2008)

(別紙)

毎日の睡眠を評価するための質問票
Sleep Quality Index for Daily Sleep, SQIDS

(1) 睡眠の質

①「QB20 熟睡できましたか」

熟睡できた	0点
眠れた	1点
あまり眠れなかった	2点
眠れなかった	3点

②「QB21 起床時の目覚め感(すっきり度)はどうですか」

大変よい	0点
まあよい	1点
あまりよくない	2点
悪い	3点

③「①, ②の合計を算出」

① + ② = 点

④「③の合計点より以下のように決定」

0点 (大変よい)	0点
1-2点 (まあよい)	1点
3-4点 (あまりよくない)	2点
5-6点 (悪い)	3点

(2) 入眠時間

「QB16 寝床についてから30分以内に眠ることが出来ましたか」

はい	0点
いいえ	2点

(3) 睡眠時間(実睡眠時間)

①「床上時間」

QB14 就寝時刻を教えてください, QB15 起床時間を教えてください

= 起床時間 - 就寝時間

②実睡眠時間

= 床上時間 - (入眠時間 + 中途覚醒回数 × 中途覚醒後の入眠時間)

= 床上時間 - { 入眠時間(0 or 30分) + 中途覚醒回数(0 or 1 or 2 or 3 or 4 or 5回) × (毎回出来た5分 or 出来たとき, 出来なかったときがある17.5分 or 毎回出来なかった30分) }

7時間を超える	0点
6時間を超える7時間以下	1点
5時間以上6時間以下	2点
5時間未満	3点

(4) 睡眠効率

①「睡眠効率」

= 実睡眠時間 / 床内時間 × 100

②「①の睡眠効率より, 以下のように決定」

85%以上	0点
75%以上85%未満	1点
65%以上75%未満	2点
65%未満	3点

(5) 睡眠困難(中途覚醒)

QB17 睡眠の途中で目が覚めましたか

はい	(以下の質問)	
いいえ	(大変よい)	0点

QB17a, 17b 途中目覚めた回数を教えてください. また, 目が覚めた後30分以内に眠ることが出来ましたか

1回毎回出来た	(大変よい)	0点
1回毎回出来なかった	(まあよい)	1点
2回毎回出来た	(まあよい)	1点
2回出来たとき, 出来なかったときがある	(まあよい)	1点
2回毎回出来なかった	(あまりよくない)	2点
3回毎回出来た	(あまりよくない)	2点
3回出来たとき, 出来なかったときがある	(あまりよくない)	2点
3回毎回出来なかった	(悪い)	3点
4回以上毎回出来た	(悪い)	3点
4回以上出来たとき, 出来なかったときがある	(悪い)	3点
4回以上毎回出来なかった	(悪い)	3点

(6) 眠剤の使用

睡眠薬使用の頻度 0, 1, 2, 3点

本調査において,睡眠薬を服用している者は対象外としているので, 回答者全員0点

(7) 日中覚醒困難

QB1 眠気無くすっきりと過ごせましたか

すっきりしていた	0点
まあ, すっきりしていた	1点
少し眠かった	2点
とても眠かった	3点

総合得点

以上の(1)から(7)までの得点を合計

((1)+(2)+(3)+(4)+(5)+(6)+(7)) 0-20点