

気温が睡眠に与える影響に関する複数の調査の統合的解析

2021年3月終了予定 環境システム学専攻
47-196660 谷口 祐実子
指導教員：井原 智彦 准教授

キーワード：睡眠困難、多変量解析、国際比較、PSQI、SQIDS

1 緒言

IPCCの予測によると、今後も地球温暖化は進行し温室効果ガス排出量が削減されない場合世界の平均気温は2100年までに4℃程度上昇するという予測がなされている。LIMEに基づく環境影響評価モデル[1](Figure 1)によると、気温の上昇は人間健康に特に影響を及ぼし、今後気温が人間健康に及ぼす影響の評価はより一層重要になる。気温上昇が人間健康に及ぼす影響の中で、主なものは熱中症、疲労、睡眠の3つである。これらのうち、熱中症については人口動態調査や救急搬送数に基づく多くの研究がなされ暑さ指数の提供などの対策も取られている。一方、疲労と睡眠に関しては、局所的な調査にとどまり、十分に定量化されていない。また、国立環境研究所の調査によると、熱中症、疲労、睡眠の中で最も被害を訴える人の割合が多いのは睡眠であった。そこで本研究では、既往研究の少なさと被害人数の多さから、睡眠に着目した。

気温が睡眠にもたらす影響についてはこれまでに、岡野ら[2]が東京での疫学調査をもとに夜間気温が1℃上昇すると睡眠困難罹患率が3.0%上昇することを明らかにし、草間ら[3]はジャカルタでの疫学調査をもとにエアコン有無別の睡眠困難罹患率の被害関数を導出した。しかし、これらの研究は各地域での疫学調査結果を個別に分析しており、地域差や季節差については検討されていない。今後の途上国の経済発展や人口動態の変化により、疫学調査が実施された地域でも過去の睡眠影響評価結果を適用できなくなることが予想されるため、疫学調査が実施されていなくとも睡眠困難を把握できるようにすることが望まれる。そのためには、地域差や人口動態的などさまざまな因子が睡眠困難に及ぼす影響について明らかにする必要がある。

2 研究目的

本研究では、地域、年次、季節などの異なる既存の複数の調査を統合して分析することにより、睡眠困難に影響を及ぼす因子を整理したうえで各因子の影響を評価し、他地域への関数の適用方法を探索することを目的とする。

3 研究手法

3.1 疫学調査

データを使用した疫学調査の詳細をTable 1に示す。これらの調査で使用された指標は、PSQIおよび岡野ら[2]が作成したSQIDSである。SQIDSの評価項目と質問内容をTable 2に示す。SQIDSは毎日の睡眠を評価するもので、毎日の気温の変化に伴う睡眠の変化を評価することが可能である。カットオフポイントを5.5点に定め、睡眠困難罹患率を推計した。

3.2 気温データ

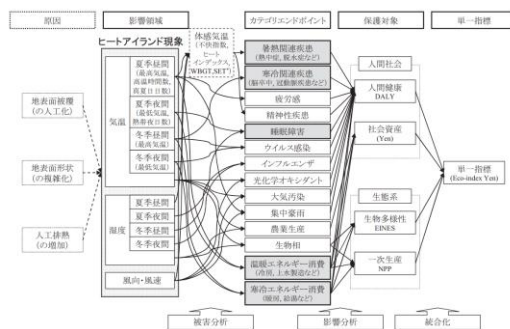


Figure 1 LIMEに基づく環境影響評価モデル

Table 1 データを使用した疫学調査

	調査年	調査時期	地域	PSQI 調査日数	SQIDS 調査日数	被験者数
①	2007年	8月	東京	2日	10日	440人
②	2009年	1月	東京	2日	10日	626人
③	2011年	1月	名古屋	1日	10日	1254人
④	2011年	8月	名古屋	1日	10日	636人
⑤	2012年	8月	名古屋	1日	10日	571人
⑥	2016年	2月	ジャカルタ	2日	9日	263人
⑦	2016年	10月	ジャカルタ	2日	9日	264人
⑧	2019年	2月	デリー	1日	9日	231人
⑨	2019年	5月	デリー	2日	9日	235人

東京では 4 か所（江戸川臨海、羽田、練馬、東京）名古屋では 5 か所（名古屋、テレビ塔、東海、国設名古屋、富田支所）、ジャカルタでは 3 か所（Tanjung Priok、Observatory、Soekarno-Hatta）、デリーでは 2 か所（Palam、Safderjung）の観測点の気温データを使用した。東京のデータは気象庁、名古屋のデータは気象庁と愛知県、ジャカルタとデリーのデータは OGI MET から得た。

被験者の回答と気温を対応させるにあたり、各被験者の住所に最も近い観測点の気温を使用した。被験者住所と観測点は、Figure 2 のように地図上にプロットすることで対応させた。

3.3 睡眠困難被害関数の作成

3.3.1 一般化線形モデル (GLM)

一般化線形モデル (GLM) は以下の式で表されるモデルである。

$$g(\mu) = w_0 + w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_dx_d$$

関数には 3 次の平滑化スプライン関数を使用し最適化には一般化クロスバリデーションを用いた。

3.3.2 一般化加法モデル (GAM)

一般化加法モデル (GAM) は以下の式で表されるモデルである。

$$g(\mu) = w_0 + f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_d(x_d)$$

関数には 3 次の平滑化スプライン関数を使用し、最適化には一般化クロスバリデーションを用いた

4 結果と考察

4.1 PSQI の要素分析

地域ごとの PSQI の各要素の平均得点を Figure 3 に示す。PSQI の構成要素は、睡眠の質 (C1)、入眠時間 (C2)、睡眠時間 (C3)、睡眠効率 (C4)、睡眠困難 (C5)、眠剤の使用 (C6)、日中覚醒困難 (C7) の 7 つである。多くの要素では、東京と名古屋で平均得点が大きく、ジャカルタとデリーの平均得点は小さくなった。項目別だと、特に C1、C3、C4、C6 など特に日本とジャカルタ・デリーの差が大きかった。

4.2 気温説明変数別の RMSE の導出

気温と睡眠困難罹患率の関係を分析する上で、使用する気温説明変数として日最低気温、前日最高気温、就寝時気温など複数のものが挙げられる。そこでこれら 3 つの変数を用いた推計の中で最も精度の高いものを判断するため、実測値と予測値から RMSE を求めた。RMSE とは以下の式で計算される指標で、値が小さいほどモデルの精度は高いということになる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

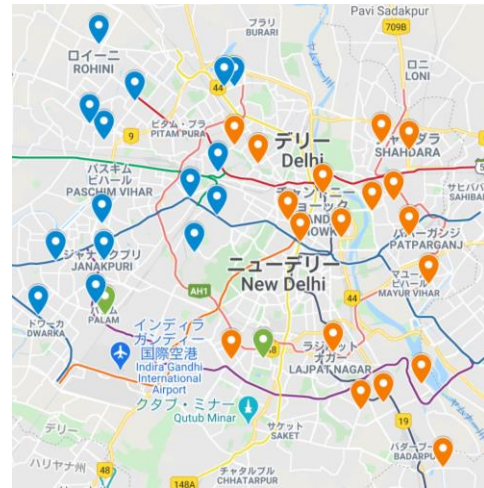


Figure 2 観測点と被験者住所の対応

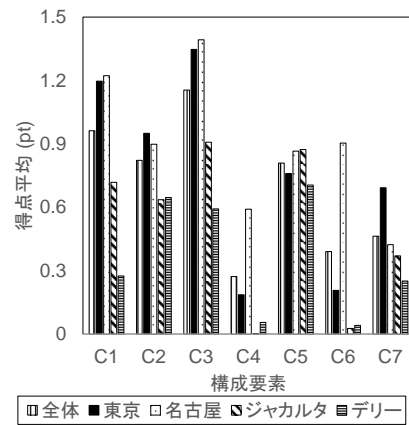


Figure 3 PSQI の各要素の平均得点

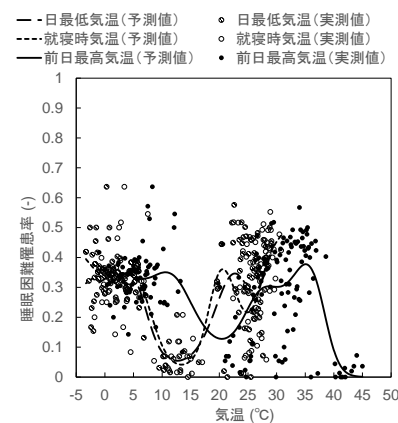


Figure 4 睡眠困難罹患率の実測値と予測値

各気温説明変数を用いた際の睡眠困難罹患率の実測値と予測値を Figure 4 に示す。また、これらをもとに計算した RMSE の値を Table 2 に示す。この結果では、各気温説明変数において RMSE の値に大きな違いは見られなかった。日最低気温と就寝時気温を用いた場合に RMSE の値はやや小さくなった。これは、日最低気温は午前 5-8 時ごろの気温にあたり、日最低気温と就寝時気温はいずれも睡眠の前後の気温であり直接的に影響を与えやすいと考えられる。就寝時気温は入眠にも大きな影響をもたらす可能性があり日最低気温以上に睡眠への影響は大きいと考えられるが、デリーおよびジャカルタでは最高気温と最低気温以外は 3 時間ごとの気温しか得ることが出来ず、モデルの精度が低くなったと考えられる。また前日最高気温は日中の疲労に影響を及ぼし就寝時の気温とも比例すると考えられるが、日最低気温や就寝時気温に比べると影響が少なく、RMSE の値が大きくなったと考えられる。本研究では、RMSE 値の小ささとデータの整備されていない発展途上国などでもデータが得やすいことから、日最低気温を説明変数として主な分析を行っていく。

4.3 さまざまな変数に関する重回帰分析

睡眠困難の有無を目的変数、9 つの調査の中で質問された項目を説明変数として重回帰分析をおこなった。その結果を Table 3 に示す。偏回帰係数の絶対値から、地域差は比較的睡眠困難に影響を及ぼしやすい因子であり、その次に性別、年代、気温なども影響を及ぼしやすいことが明らかになった。一方で、エアコンの有無、住宅種類、住宅構造については今回分析した因子の中では睡眠への影響は小さかった。

4.4 条件別の日最低気温と睡眠困難罹患率の関係

本研究ではさまざまな条件別に、日最低気温と睡眠困難罹患率の関係を分析した。地域別分析の結果を Figure 5 エラー! 参照元が見つかりません。に示す。PSQI の結果と同様に、東京と名古屋ではジャカルタとデリーに比べて睡眠困難罹患率が比較的高いという結果になった。地域差が睡眠に及ぼす影響として、Table 4 に示すものが既往研究では多く考察されている。湿度については、Koh Mizuno ら [4] 高温では湿度が高い方が深い睡眠の時間や睡眠効率が低下することを示しているが、東京、名古屋、ジャカルタ、デリーにおいて夏の湿度はいずれも 70-80% 程度であり今回の結果の地域差への影響はあまり大きくないと考えられる。日照時間については、Masanori Hashizaki ら [5] によって日出時刻と起床時刻および睡眠時間が比例し、日出時刻が早いと人々の起床時間が早まり睡眠時間が短くなることが示されている。しかし夏は東京と名古屋での日出時刻がジャカルタやデリーに比べて早い冬はジャカルタの方が早く、日出時刻が起床時刻や睡眠時間

Table 2 各気温説明変数における RMSE

気温説明変数	RMSE
日最低気温	0.104
就寝時気温	0.107
前日最高気温	0.114

Table 3 さまざまな変数に関する重回帰分析

項目	変数	偏回帰係数	t	P-値
地域	東京	0.331	34.53	8.76E-258
	名古屋	0.389	37.57	5.63E-304
	ジャカルタ	0.004	0.64	5.23E-01
性別	男性	-0.055	-11.85	2.50E-32
年代	20代	0.040	6.07	1.32E-09
	30代	0.070	10.68	1.42E-26
	40代	0.050	7.89	3.16E-15
	50代	0.030	4.81	1.51E-06
気温	日最低気温(°C)	0.047	7.43	1.13E-13
エアコン有無	エアコン有	0.019	3.82	1.35E-04
住宅種類	戸建	-0.022	-0.87	3.83E-01
	集合住宅	-0.027	-1.09	2.76E-01
住宅構造	木造	0.023	2.31	2.06E-02
	鉄骨造	0.003	0.44	6.62E-01
	鉄筋コンクリート造	-0.003	-0.29	7.69E-01

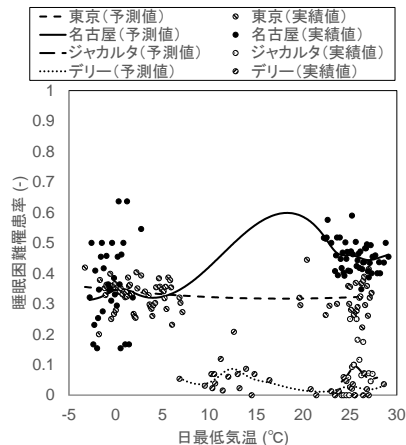


Figure 5 日最低気温と睡眠困難罹患率 (都市別)

Table 4 地域差が睡眠に及ぼす影響の代表的要因

分類	代表的な要因
地理的な環境の違い	気温
	湿度
	日照時間
居住する人々の特性の違い	文化的差異
	経済的差異
	社会的ストレス
	生物学的差異

に影響を及ぼすことによる睡眠困難罹患率の地域差はあまり大きくないと考えられる。経済的差異については、Martica Hallら[6]が経済的に困窮している場合の方が困窮していない場合に比べてPSQI得点が高く入眠潜時が長く睡眠効率も低いことを明らかにしている。しかし本研究の結果では、経済水準の高い日本の都市の方がむしろ睡眠困難罹患率は高く、他の要因の影響の方が大きいとみられる。文化による習慣の差異、社会的ストレス、人種などの生物学的差異による東京、名古屋、ジャカルタ、デリーにおける地域差への影響を具体的に考察することは難しい。文化的差異については、Masanori Hashizakiら[5]が日本における平日と休日での起床時刻の差が44.0分であることを示しているが、これは季節変化による差の30.7分よりも大きく、社会的抑制の影響が自然環境変化の影響よりも大きいことを示している。東京および名古屋とジャカルタおよびデリーにおいても、仕事の時間や睡眠前後の習慣の違いが睡眠に影響を及ぼしている可能性がある。またFigure 5の結果について、特に名古屋においては15から20°Cで睡眠困難罹患率が最大となっているが、これは今回扱った調査では観測されていない気温帯であり、春や秋などに追加調査を行うことでより正確な予測が可能になると考えられる。

4.5 一般化加法モデル (GAM) を用いた解析

GAMを使用した場合、複数の変数を同時に考慮した場合の睡眠困難罹患率を求めることができる。一例として複数の変数を考慮した場合の日最低気温と睡眠困難罹患率の関係をFigure 6に示す。考慮した変数はTable 5に示すとおりである。図示するにあたって、性別=男性、年代=20代、エアコン有無=エアコン有、住宅種類=戸建、住宅構造=木造という条件を指定した。GLMを用いた場合と比較してGAMを用いた場合には、東京、名古屋、ジャカルタにおいてグラフは下に凸となり、気温が高い場合または低い場合に不快感が高まるという一般的な感覚や既往研究[7]に矛盾しない結果となった。GLMの場合に比べ複数の変数を同時に考慮し年代構成比などの気温以外の要因を固定して考えることが出来るためこのような結果になったと考えられる。デリーにおいては上に凸のグラフとなったが、これは10-15°C付近がデリーにおける調査月の気温の中では比較的低温で、不快感を抱きやすいためだと考えられる。

5 結言

PSQI得点によると日本ではデリーやジャカルタに比べ睡眠困難の傾向が高かった。また、睡眠への影響は地域差が最も大きく、その次に性別、年代、気温が挙げられた。日最低気温と睡眠困難罹患率の関係を都市別に分析した場合も上記と同様の結果が得られた。最後にGAMの使用により複数の条件を同時に考慮し、気温単体による影響を確認できた。

参考文献

- [1] 井原智彦, 玄地裕, 日本建築学会環境系論文集, 2008, 73 (634), 1407-1415. [2] 岡野泰久, 井原智彦, 玄地裕, 日本ヒートアイランド学会論文集, 2008, 3, 22-33. [3] 草間蓮, 東京大学大学院修士論文, 2017. [4] Koh Mizuno, et al., Sleep, 1999, 22, (6), 767-773. [5] Masanori Hashizaki, et al., Chronobiology International, 2018, 35 (17), 933-945 [6] Martica Hall, et al., Biological Psychology, 2008, 77, 217-222. [7] 環境省:ヒートアイランド対策の環境影響等に関する調査業務報告書, <https://www.env.go.jp/air/report/h21-06/>, (参照 2020年1月28日)

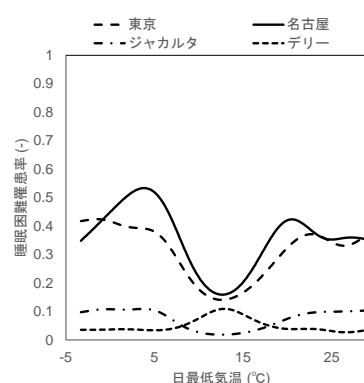


Figure 6 日最低気温と睡眠困難罹患率の関係 (GAM)

Table 5 GAMで使用した変数

項目	変数	変数の形式
地域	東京	ダミー変数
	名古屋	ダミー変数
	ジャカルタ	ダミー変数
	デリー	ダミー変数
性別	男性	ダミー変数
	女性	ダミー変数
年代	20代	ダミー変数
	30代	ダミー変数
	40代	ダミー変数
	50代	ダミー変数
	60-80代	ダミー変数
気温	日最低気温 (°C)	連続変数
エアコン有無	有	ダミー変数
	無	ダミー変数
住宅種類	戸建	ダミー変数
	集合住宅	ダミー変数
住宅構造	木造	ダミー変数
	鉄骨造	ダミー変数
	鉄筋コンクリート造	ダミー変数