

東京大学大学院新領域創成科学研究科

環境システム学専攻

令和二年度

修士論文

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1日 提出

指導教員 井原 智彦 准教授

谷口 祐実子

目次

1	背景	9
1.1	都市の高温化	9
1.1.1	地球温暖化	9
1.1.1.1	地球温暖化の概要	9
1.1.1.2	地球温暖化問題に対する世界の動向	11
1.1.2	ヒートアイランド現象	12
1.1.2.1	ヒートアイランド現象の概要	12
1.1.3	世界的な人口増加と都市化	14
1.1.3.1	世界人口の増加	14
1.1.3.2	世界の都市化	15
1.2	環境影響評価手法	18
1.3	暑熱に伴う健康影響	19
1.3.1	概要	19
1.3.2	熱中症	19
1.3.3	疲労	20
1.3.4	睡眠困難	20
2	既往研究と本研究の目的	21
2.1	気温の変化が睡眠に与える影響に関する既往研究	21
2.2	研究目的	21
3	研究手法	22
3.1	睡眠困難の集計方法	22
3.1.1	ピッツバーグ睡眠質問票 (PSQI)	22
3.1.2	毎日の睡眠に関する質問票 (SQIDS)	22
3.2	各疫学調査について	23
3.2.1	東京、2007年8月	23
3.2.2	東京、2009年1月	24
3.2.3	東京・名古屋、2011年1月・2月	26
3.2.4	名古屋、2011年8月(1回目)、2012年7-8月(2回目)	27
3.2.5	ジャカルタ、2016年2月(1回目)、10月・11月(2回目)	28
3.2.6	デリー、2019年2月(1回目)、5月(2回目)	30
3.3	気温データについて	33
3.4	睡眠困難被害関数の作成	41
3.4.1	一般化線形モデル (GLM)	41

3.4.2	一般化加法モデル (GAM)	41
4	結果と考察	42
4.1	PSQI の結果	42
4.1.1	PSQI 得点分布	42
4.1.1.1	全体	42
4.1.1.2	東京	43
4.1.1.3	名古屋	44
4.1.1.4	ジャカルタ	45
4.1.1.5	デリー	46
4.1.2	PSQI の要素分析	47
4.1.2.1	全体	47
4.1.2.2	東京	48
4.1.2.3	名古屋	49
4.1.2.4	ジャカルタ	50
4.1.2.5	デリー	51
4.2	SQIDS の結果	52
4.2.1	各説明変数と睡眠困難罹患率	52
4.2.2	気温説明変数別 RMSE	53
4.2.3	日最低気温と睡眠困難罹患率の関係	56
4.2.3.1	地域別	56
4.2.3.2	年代別	59
4.2.3.3	男女別	60
4.2.3.4	住居条件別	61
4.2.3.5	エアコンの有無別	63
4.2.4	気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率の関係の関係	64
4.2.4.1	概要	64
4.2.4.2	前日最高気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率の関係	66
4.2.4.3	日最低気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率の関係	68
4.2.5	パネルデータ分析	71
4.2.5.1	概要	71
4.2.5.2	東京	71
4.2.5.3	名古屋	73
4.2.5.4	ジャカルタ	74
4.2.5.5	デリー	75
4.2.6	一般化加法モデル (GAM) を用いた分析	76

4.2.6.1	3次元での結果の図示.....	76
5	結論と今後の展望.....	79
5.1	結論.....	79
5.2	本研究の課題と今後の展望.....	79
	参考文献.....	80
付録 A	前日最高気温と睡眠困難罹患率の関係.....	82
付録 B	就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係.....	87
	謝辞.....	92

図表目次

Figure 1	気候変動の要因の 1850 年を基準とした放射強制力[1].....	10
Figure 2	世界平均地上気温の予測[2].....	11
Figure 3	世界人口推計[8].....	14
Figure 4	都市人口と農村人口、都市人口率の推移.....	16
Figure 5	1950 年から 2020 年にかけての世界人口の推移.....	17
Figure 6	1950 年から 2020 年の世界人口の推移（地域別）.....	17
Figure 7	ヒートアイランド現象の環境影響評価モデル[13].....	18
Figure 8	真夏に経験したことがある症状[6].....	19
Figure 9	東京 23 区内の気温観測点.....	33
Figure 10	名古屋市の気温観測点.....	34
Figure 11	ジャカルタの気温観測点.....	35
Figure 12	デリーの気温観測点.....	36
Figure 13	東京の気温観測点と被験者の居住位置.....	37
Figure 14	名古屋の気温観測点と被験者の居住位置.....	38
Figure 15	ジャカルタの気温観測点と被験者の居住位置.....	39
Figure 16	デリーの気温観測点と被験者の居住位置.....	40
Figure 17	PSQI 得点分布（全体）.....	42
Figure 18	PSQI 得点分布（東京）.....	43
Figure 19	PSQI 得点分布（名古屋）.....	44
Figure 20	PSQI 得点分布（ジャカルタ）.....	45
Figure 21	PSQI 得点分布（デリー）.....	46
Figure 22	PSQI 構成要素別得点.....	47
Figure 23	PSQI 構成要素別得点（東京）.....	48
Figure 24	PSQI 構成要素別得点（名古屋）.....	49
Figure 25	PSQI 構成要素別得点（ジャカルタ）.....	50
Figure 26	PSQI 構成要素別得点（デリー）.....	51
Figure 27	睡眠困難罹患率の実測値と予測値.....	54
Figure 28	日最低気温と睡眠困難罹患率の関係（地域別）.....	56
Figure 29	気温/相対湿度と睡眠時間および睡眠効率 ..エラー! ブックマークが定義されて いません。	
Figure 30	日没・日出時刻と就寝・起床時刻の関係[32] エラー! ブックマークが定義され ていません。	
Figure 31	日最低気温と睡眠困難罹患率の関係（年代別）.....	59
Figure 32	日最低気温と年代別睡眠困難罹患率の関係（男女別）.....	60
Figure 33	日最低気温と睡眠困難罹患率の関係（住宅種類別）.....	61

Figure 34	日最低気温と睡眠困難罹患率の関係（住宅構造別）	62
Figure 35	日最低気温と睡眠困難罹患率の関係（エアコンの有無別）	63
Figure 36	至適気温（OT）のイメージ	64
Figure 37	日最高気温 85 パーセンタイル値と至適気温との関連（日本、1972-1995 年）	65
Figure 38	前日最高気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（東京）	66
Figure 39	前日最高気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（名古屋）	67
Figure 40	前日最高気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（ジャカルタ）	67
Figure 41	前日最高気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（デリー）	68
Figure 42	日最低気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（東京）	69
Figure 43	日最低気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（名古屋）	69
Figure 44	日最低気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（ジャカルタ）	70
Figure 45	日最低気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（デリー）	70
Figure 46	偏回帰係数ごとの各年代の割合（東京）	72
Figure 47	偏回帰係数ごとの各年代の割合（名古屋）	73
Figure 48	偏回帰係数ごとの各年代の割合（ジャカルタ）	74
Figure 49	偏回帰係数ごとの各年代の割合（デリー）	75
Figure 50	ジャカルタとデリーにおける日最低気温・年齢と睡眠困難罹患率の関係	76
Figure 51	さまざまな変数と睡眠困難罹患率の関係	78
Figure 52	前日最高気温と睡眠困難罹患率の関係（男女別）	82
Figure 53	前日最高気温と睡眠困難罹患率の関係（年代別）	83
Figure 54	前日最高気温と睡眠困難罹患率の関係（住宅種類別）	84
Figure 55	前日最高気温と睡眠困難罹患率の関係（住宅構造別）	85
Figure 56	前日最高気温と睡眠困難罹患率の関係（エアコン有無別）	86
Figure 57	就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係（男女別）	87
Figure 58	就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係（年代別）	88
Figure 59	就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係（住宅種類別）	89
Figure 60	就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係（住宅構造別）	90
Figure 61	就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係（エアコン有無別）	91
Table 1	ヒートアイランドによる環境影響とそれを捉える指標例[6]	13
Table 2	世界の主な都市圏の概要（トップ 20）	15
Table 3	SQIDS の質問項目	23
Table 4	各疫学調査の概要	23
Table 5	2007 年 8 月東京 被験者属性	24
Table 6	2007 年 8 月東京 初日のアンケート質問内容	24

Table 7	2007年8月東京 毎日のアンケート質問内容.....	24
Table 8	2009年1月東京 被験者属性.....	25
Table 9	2009年1月東京 初日のアンケート質問内容.....	25
Table 10	2009年1月東京 毎日のアンケート質問内容.....	25
Table 11	2011年1・2月東京・名古屋 被験者属性.....	26
Table 12	2011年1・2月東京・名古屋 初日のアンケート質問内容.....	26
Table 13	2011年1・2月東京・名古屋 毎日のアンケート質問内容.....	26
Table 14	2011年8月名古屋 被験者属性.....	27
Table 15	2012年7・8月名古屋 被験者属性.....	27
Table 16	2011年8月名古屋 初日のアンケート質問内容.....	28
Table 17	2011年8月名古屋 毎日のアンケート質問内容.....	28
Table 18	2012年7・8月名古屋 初日のアンケート質問内容.....	28
Table 19	2012年7・8月名古屋 毎日のアンケート質問内容.....	28
Table 20	ジャカルタ 2016年2月 被験者属性.....	29
Table 21	ジャカルタ 2016年10・11月 被験者属性.....	29
Table 22	ジャカルタ 2016年2月 初日のアンケート質問内容.....	29
Table 23	ジャカルタ 2016年2月 毎日のアンケート質問内容.....	30
Table 24	ジャカルタ 2016年10・11月 初日のアンケート質問内容.....	30
Table 25	ジャカルタ 2016年10・11月 毎日のアンケート質問内容.....	30
Table 26	デリー-2019年2月 被験者属性.....	30
Table 27	デリー-2019年5月 被験者属性.....	31
Table 28	デリー-2019年2月 初日のアンケート質問内容.....	31
Table 29	デリー-2019年2月 毎日のアンケート質問内容.....	31
Table 30	デリー-2019年5月 初日のアンケート質問内容.....	31
Table 31	デリー-2019年5月 毎日のアンケート質問内容.....	32
Table 32	重回帰分析結果.....	52
Table 33	気温説明変数別の RMSE.....	54
Table 34	地域差が睡眠に影響を及ぼす場合の代表的要因.....	57
Table 35	4つの部屋の条件..... エラー! ブックマークが定義されていません。	
Table 36	偏回帰係数ごとの男女割合 (東京).....	71
Table 37	偏回帰係数ごとの男女割合 (名古屋).....	73
Table 38	偏回帰係数ごとの男女割合 (ジャカルタ).....	74
Table 39	偏回帰係数ごとの男女割合 (デリー).....	75
Table 40	GAM に用いた変数.....	77

1 背景

1.1 都市の高温化

1.1.1 地球温暖化

1.1.1.1 地球温暖化の概要

地球温暖化とは、人間の諸活動に伴う温室効果ガスの排出により世界全体の平均気温が上昇する現象であり、気候変動に関連するさまざまな影響を引き起こす。具体的には熱波・洪水・暴風・干ばつ・海面上昇などの自然災害の増加や、温度上昇・降水量減少・酸性化による生態系の破壊、水資源・食料の不足、マラリア・デング熱・低栄養などのさまざまな被害や影響が懸念されている[1]。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第5次評価報告書[2]によると、陸域と海上を合わせた世界平均地上気温は、1880年から2012年の期間に0.85℃上昇している。さらに、地球の表面では最近30年の各10年間はいずれも1850年以降のどの10年間よりも高温であった。これに伴い日本においても年平均気温が、1898～2014年で100年あたり約1.15℃の割合で上昇している。さらに人間による影響が20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった可能性が極めて高く、世界平均気温の上昇に全太陽放射照度の変化が寄与していなかったことの確信度は高い、とされている。

Figure 1 に気温変動をもたらす主な要因についての1750年を基準とした2011年における放射強制力の推定値を示す。CO₂、CH₄、N₂Oの大気中濃度は、人間活動によりすべて増加していることが分かる。また、2011年の濃度は、工業化以前の水準よりそれぞれ約40%、150%、20%高い。

IPCCは、CO₂などの排出を抑えた低位安定化シナリオのRCP2.6、中位安定化シナリオのRCP4.5、高位安定化シナリオのRCP6.0、2100年における温室効果ガス排出量の最大排出量に相当する高位参照シナリオのRCP8.5の4種のシナリオで気温上昇の予測を発表しており、これをFigure 2に示す。この予測によると、2081～2100年の世界平均地上気温の1986～2005年平均に対する上昇量は、RCP2.6シナリオでは0.3～1.7℃の温度上昇にとどまるのに対し、RCP8.5シナリオでは2.6～4.8℃の範囲に入る可能性が高いとされている。

そのほかにも、世界の海面水位の上昇が続くこと、海の酸性化がさらに進行することなどが予測されている。

冷やす ← → 暖める



Figure 1 気候変動の要因の1850年を基準とした放射強制力[1]

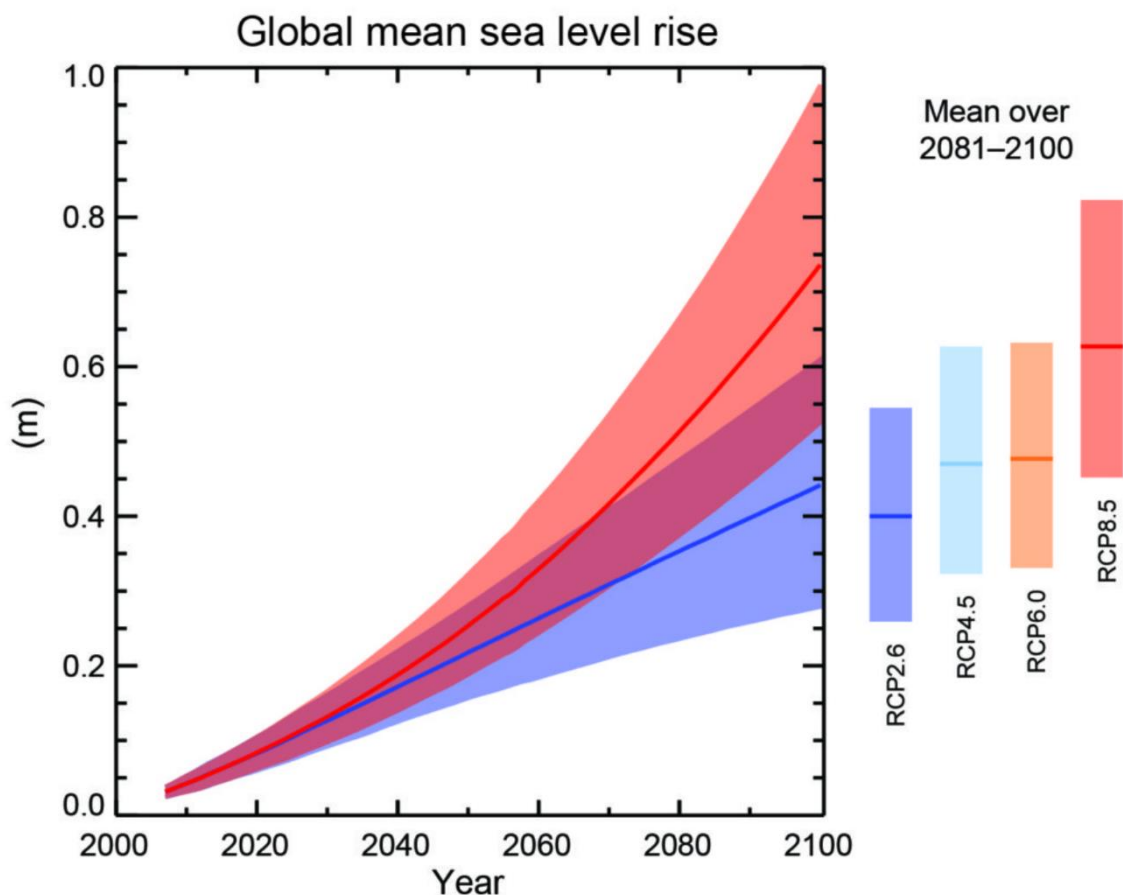


Figure 2 世界平均地上気温の予測[2]

1.1.1.2 地球温暖化問題に対する世界の動向

2015年の国連気候変動枠組条約締約国会議（COP21）において、「パリ協定」が採択され2016年に発効した。「パリ協定」は京都議定書に代わる2020年以降の温室効果ガス排出削減などのための新たな国際的枠組みである。この中で、世界共通の長期目標として2°C目標および1.5°Cに抑える努力をすることが定められ、そのためできる限り早く世界の温室効果ガス排出量をピークアウトし、21世紀後半には温室効果ガス排出量と吸収量のバランスを取ることを目標として掲げられた。「パリ協定」では、途上国も含むすべての参加国に排出削減の努力が求められた[3]。

日本では中期目標として2030年度の温室効果ガスの排出を2013年度の水準から26%削減することを目標として定めた[4]。

1.1.2 ヒートアイランド現象

1.1.2.1 ヒートアイランド現象の概要

ヒートアイランド現象とは、都市の気温が周囲よりも高くなる現象である。気温の分布図を描くと高温域が都市を中心に島のような形状に分布することからこのように呼ばれている。

ヒートアイランド現象の主な要因を環境省[5]は以下の3つのように整理している。①地表面被覆の人工化（緑地の減少と舗装や建物などによる人工被覆面の拡大）、②都市形態の高密度化（密集した建物による風通しの阻害や天空率の低下）、③人工排熱の増加（建物や工場、自動車などの排熱の増加）の3つが挙げられる。この3つの要因の特徴は以下である。

①地表面被覆の人工化

草地、森林、水田、水面などの植生域は、保水力が高く、水分の蒸発により気温の上昇が抑えられやすい。一方、人工被覆域は、植生域に比べると日射による熱の蓄積が多く熱容量が大きいために温まりにくく冷えにくい状態になりやすい。このため、夜間になっても熱を保持し大気へ放出するため、夜間に気温が低下しにくくなる。

②都市形態の高密度化

中高層の建物が増加して高密度化により、天空率が低下し地表面からの放射冷却が阻害されるために熱が溜まりやすくなる。また、風通しが悪くなるため、熱の拡散や換気力の低下も起こる。

③人工排熱の増加

建物の空調機器や自動車、工場、清掃工場、火力発電所におけるエネルギー消費は最終的に熱として環境中に放出される。空冷式の空調機器や燃料の燃焼に伴って発生する熱の大部分を占める顕熱は大気を暖め、気温上昇の原因となる。

また、ヒートアイランド現象による影響は以下の Table 1 のように整理されている。

Table 1 ヒートアイランドによる環境影響とそれを捉える指標例[6]

対象	影響指標	現象の指標	指標の適用例
人の健康	熱中症	発生数	最高気温 年齢階層により、発生数が急増する気温に違いがある。(生産年齢層(15~64歳): 35°C、高齢者(65歳以上): 33°C)
			WBGT WBGT(湿球黒球温度)28°C以上で熱中症発生が急増する。
	循環器系疾患	死亡率	最高気温 33°C以上で高齢者(65歳以上)の心疾患による死亡率が上昇する。
	疲労感	主観的回答	屋内外往来頻度 冷房空間と屋外の往来頻度が多いほど疲労感を生じる。一般的に気温差が5°C以上で体温調節機能に影響をおよぼす。
	睡眠障害	-	室内温度 -
	ウイルス感染	媒介蚊生息域の拡大	年平均気温 ヒトシジミカの分布は年々北上しており、その分布は年平均気温11°C以上の地域と類似している。
媒介蚊の個体群密度の増加		日平均気温 平均気温11°C以上の積算温日数(ヒトシジミカの1世代当たりの積算温日数は350°C・日)	
生態系	生物相	個体数の変化 (経年変化)	ある一定の地域に生息する生物種の経年変化
	植物の成長	光合成速度	気温・湿度 最適温度(スギの場合25°C)を境にして光合成速度は低下する。
大気汚染	NO _x 等	汚染濃度の上昇	- 冬季における混合層内、夏季における海風前線の前面で大気汚染濃度が上昇する。
	光化学オキシダント	汚染濃度の上昇	最高気温 都市上空(混合層内)で光化学反応が促進される。
気象	集中豪雨	集中豪雨の頻度	- 都内における積乱雲の発生にヒートアイランド現象が関与している可能性がある。
エネルギー	消費量	消費量の増加	気温・最高気温 電力消費量の増加
		消費量の減少	気温・最低気温 電力消費量、灯油消費量、ガス消費量の減少

1.1.3 世界的な人口増加と都市化

前項までで述べたように、地球温暖化の原因は二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスの排出であり、ヒートアイランド現象の原因は地表面被覆の人工化、都市形態の高密度化、人工排熱の増加である。そしてこれらは人口の増加や都市化の進行によってさらに深刻になる可能性がある。今後の世界の人口動態と都市化の進行の予測について以下で示す。

1.1.3.1 世界人口の増加

地球の人口は2019年の77億人から2030年に85億人、2050年には97億人、2100年には109億人へ増加すると予測されている。世界の人口動態予測をFigure 3に示す。

世界人口の1960年代以降の急増の要因として、出生数の増加や医療の進歩などに加え、世界規模の戦争が起こらなかったことなどが挙げられる。さらに1990年以降の急速な都市化については、冷戦終結に伴い自由化が進んだことによる交通や情報通信手段の急速な発展などが挙げられる[7]。

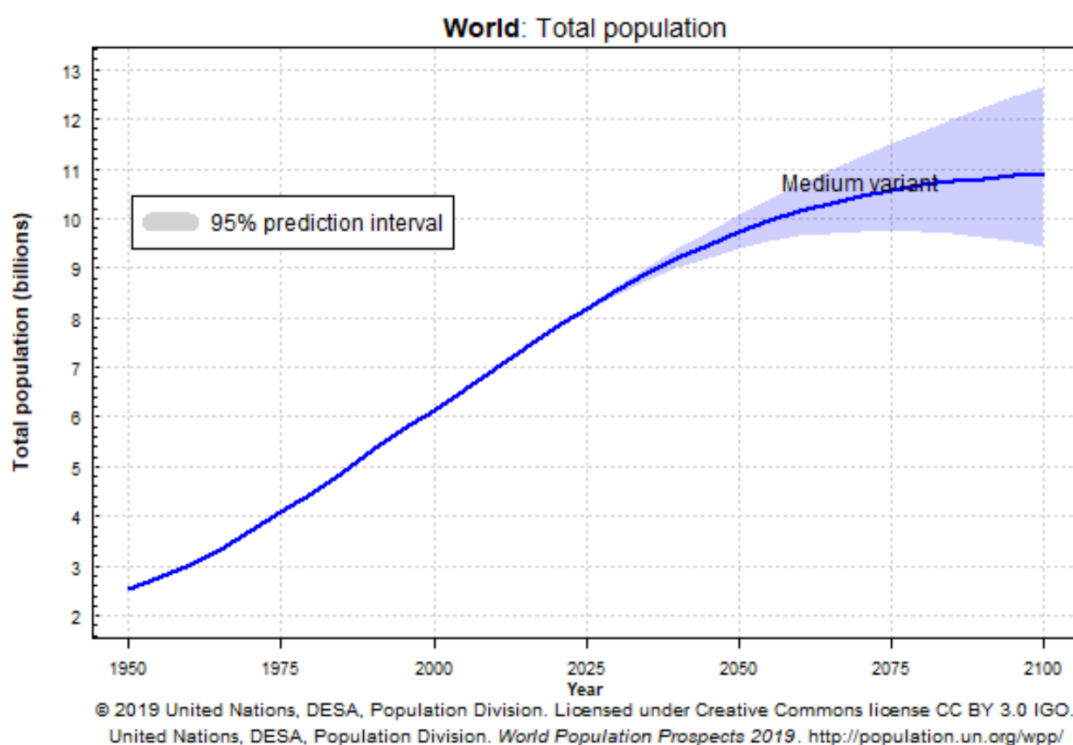


Figure 3 世界人口推計[8]

1.1.3.2 世界の都市化

国連の調査によれば 1950 年に 7 億 3200 万人であった世界の都市人口は 2014 年までに 39 億人に増えた。そのうち、アジアの比率は 53% を占め、予測によると都市成長の 93% がアジア・アフリカで起こると予測されている。2050 年の都市人口は、25 億人増加し、総人口に占める都市の割合は 66% に達すると見込まれている[7]。

世界の主な都市圏の 20 位までのランキングを Table 2 に示す。このうち 13 都市がアジアの都市であり、7 都市で所得水準が USD5000 未満である。また都市人口と農村人口の 1950 年から 2050 年にかけての推移を Figure 4 に示す。農村人口は 2030 年頃から減少に転じる一方、都市人口および都市人口率は 2050 年まで増加し続けている。

これらのデータから、今後も世界的に都市人口が増加していくことが分かる。この背景には、平和な時期が続いたこと、人口爆発、都市と地方の貧富の差が激しいために大都市に人が集まるといったことが挙げられる。

Table 2 世界の主な都市圏の概要 (トップ 20)

順位	国	都市圏	人口(万人)	面積(km ²)	人口密度(人/km ²)	一人当たりGDP(US\$)
1	日本	東京、横浜	3,798	8,230	4,614	40,256
2	インドネシア	ジャカルタ	3,454	3,540	9,756	4,197
3	インド	デリー	2,962	2,232	13,266	2,098
4	インド	ムンバイ	2,336	944	24,773	2,098
5	フィリピン	マニラ	2,309	1,873	12,330	3,512
6	中国	上海	2,212	4,068	5,436	10,522
7	ブラジル	サンパウロ	2,207	3,116	7,076	8,751
8	韓国	ソウル	2,179	2,768	7,871	31,846
9	メキシコ	メキシコシティ	2,100	2,386	8,802	9,862
10	中国	仏山	2,090	4,342	4,815	10,522
11	アメリカ	ニューヨーク	2,087	12,093	1,700	65,254
12	中国	北京	1,943	4,172	4,658	10,522
13	エジプト	カイロ	1,937	2,010	9,639	3,044
14	インド	コルカタ	1,756	1,351	12,988	2,098
15	ロシア	モスクワ	1,713	5,891	2,908	11,601
16	タイ	バンコク	1,707	3,199	5,336	7,807
17	アルゼンチン	ブエノスアイレス	1,616	3,221	5,015	9,890
18	中国	深圳	1,593	1,803	8,836	10,522
19	バングラデシュ	ダッカ	1,544	456	33,878	1,816
20	アメリカ	ロサンゼルス	1,540	6,351	2,310	65,254

(出典：文献[9]から筆者作成、一人当たり GDP のみ文献[10]を参照)

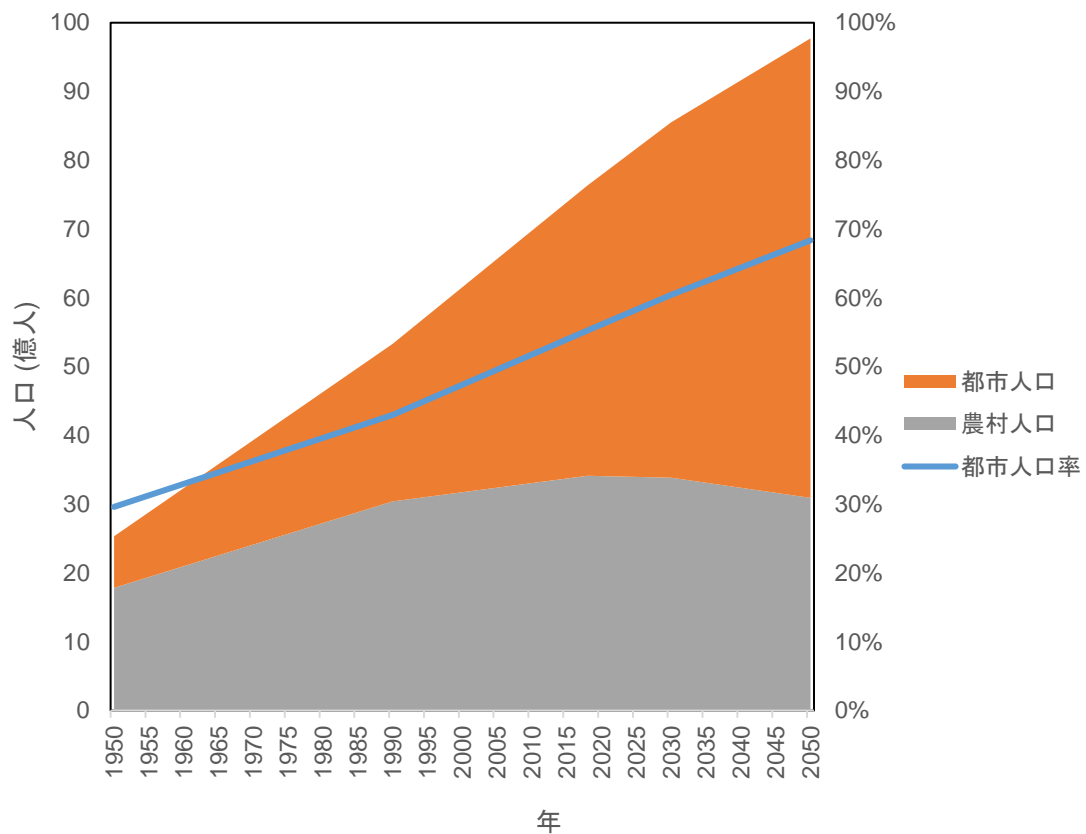


Figure 4 都市人口と農村人口、都市人口率の推移
 (出典：文献[11]より筆者作成)

Figure 5 に 1950 年から 2020 年にかけての世界人口の推移を示す。先進国の人口はほぼ一定だが、途上国の人口が急速に増加していることがわかる。さらに地域別の人口の推移を Figure 6 に示す。この図からアジア、アフリカ、南米・中米の人口が増加していることがわかる。

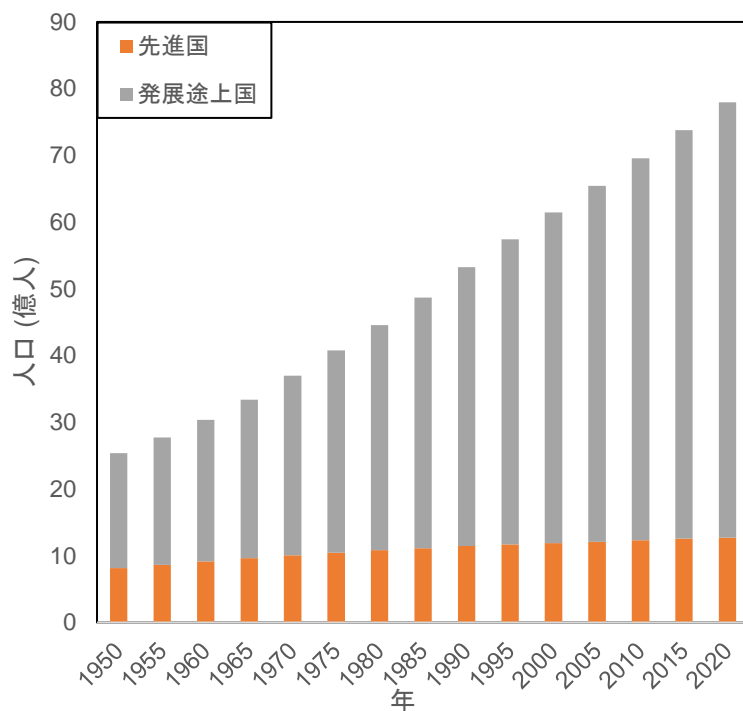


Figure 5 1950年から2020年にかけての世界人口の推移
(出典：文献[12]より筆者作成)

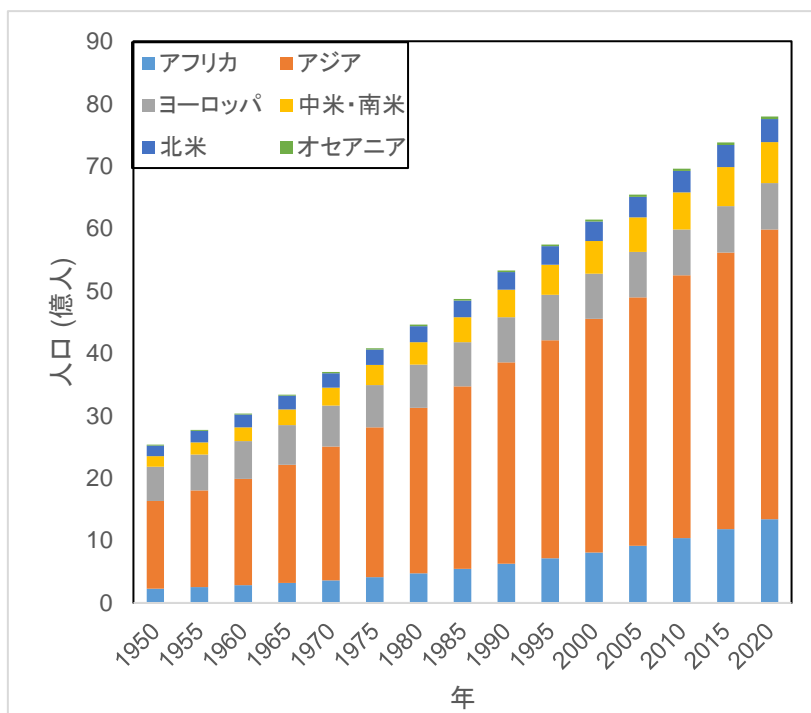


Figure 6 1950年から2020年の世界人口の推移 (地域別)
(出典：文献[8]より筆者作成)

1.2 環境影響評価手法

さまざまな環境影響を包括的に分析する手法として、ライフサイクル影響評価がある。井原・玄地[13]は都市が高温化した場合の被害を、LCIAの手法を参考に統合化した。統合化した環境影響評価モデルをFigure 7に示す。都市の気温や湿度が変化することで健康や生物相、都市の大気環境やエネルギー消費に影響を及ぼす。特に、気温や湿度の変化は体感気温を変化させるため、熱ストレスや精神疾患などのエンドポイントに影響を及ぼす。Figure 7に示される通り、ほかの保護対象に比べて人間健康に多くの線が集まっており、温熱環境が人間に及ぼす影響は非常に多岐に渡ることが分かる。そこで、都市の高温化に伴う被害に対する適応策、緩和策を検討するうえで、健康被害と気温や湿度といった温熱要素との関係を解析することは重要である。

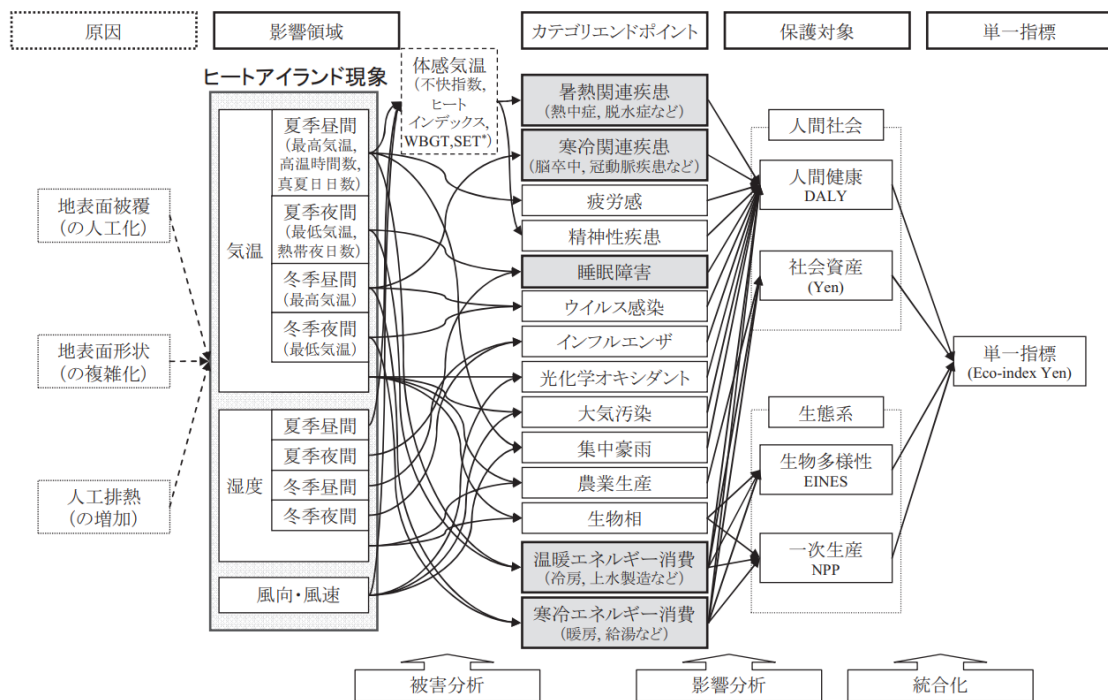


Figure 7 ヒートアイランド現象の環境影響評価モデル[13]

1.3 暑熱に伴う健康影響

1.3.1 概要

ヒートアイランド現象に伴う健康影響として、熱中症、循環器系疾患、疲労感、睡眠障害、ウイルス感染などが挙げられる。中でも暑熱による直接の健康影響として、主に熱中症、疲労、睡眠障害の3つがある。国立環境研究所が平成15年におこなった調査[6]の結果をFigure 8に示す。夏季の熱ストレスの心理生理的的症状として熱中症を挙げたのは約10%であったのに対し、疲労は約30%、睡眠困難（眠れない）は約60%であり、暑熱による疲労や睡眠困難を感じる人は多いとみられている。

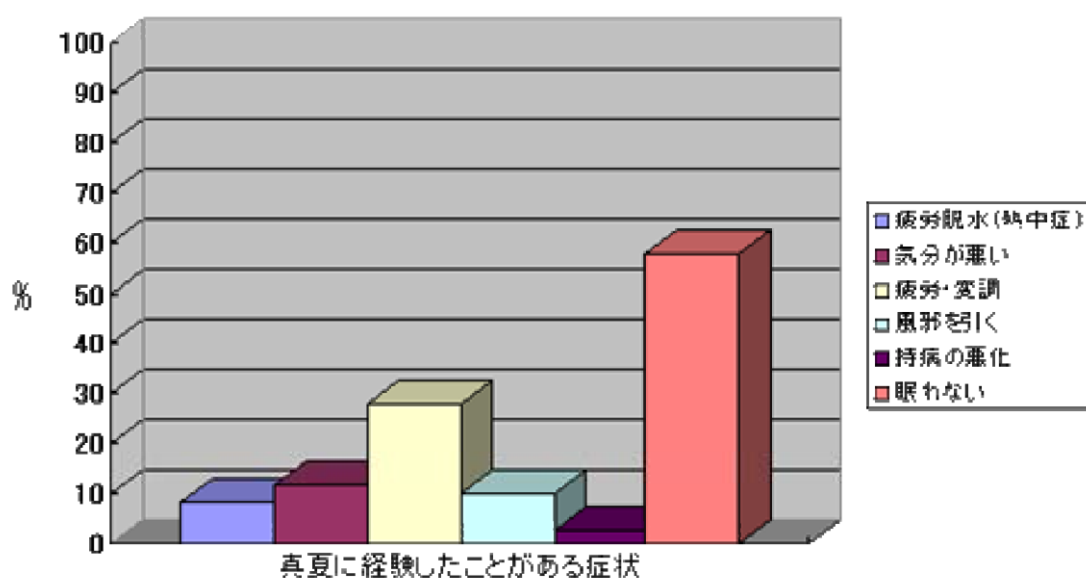


Figure 8 真夏に経験したことがある症状[6]

一方で既往研究では、熱中症については比較的定量化の研究が進み対策も取られているのに対し、疲労や睡眠困難については被害の定量化の研究が進んでおらず、対策も導入できていない。熱中症、疲労、睡眠困難に関する既往研究の概要は以下である。

1.3.2 熱中症

ヒートアイランド現象が熱中症の発症などに及ぼす影響については、これまで主に熱中症救急搬送者数などの統計データと日最高気温の関連などに関する研究が主であった。しかし、最近では熱中症発生の状況について性別、年代別、発症時の時間帯や行動、場所などより細かい条件別の分析もおこなわれている。また、従来の救急搬送者数、人口動態調査などの統計データを用いた研究[14], [15]に加え、WBGTや日射量など発生時の気象に関する指標と熱中症発症の関係なども調べられ[16]、熱中症発症予測法に関する研究や都市における人の熱ストレスをモデル化し数値計算により評価する研究もおこなわれている。

1.3.3 疲労

気温と疲労の関係については、気温の上昇に伴って疲労を自覚症状として訴える者の割合が増加するといった研究[17]が多数おこなわれている。しかし、既往研究のほとんどは、定量的な指標で関係性を評価しているもの[18]であっても異なる季節のデータを用いたがために季節差を含む可能性があるものがほとんどである。季節差を考慮しなければならない理由として、気温と死亡率の関係が季節によって異なることが挙げられる。

1.3.4 睡眠困難

睡眠と温熱環境に関する調査は、室内における詳細な実験が主要であったが、最近では屋外暑熱環境と睡眠との関係を把握し、ヒートアイランド現象による外気温の上昇による睡眠阻害などへの影響に関しても研究がおこなわれている。

2 既往研究と本研究の目的

2.1 気温の変化が睡眠に与える影響に関する既往研究

1.3.4 節で触れた睡眠困難に関する既往研究についての詳細を以下で述べていく。

気温が睡眠に与える影響に関して、2000年代前半頃までは室内気温や寝具など室内環境と睡眠の関係についての研究[19]が多くおこなわれていた。一方2000年代後半から2010年代以降では、屋外気温と睡眠の関係をアンケートなどによる大規模な調査データをもとに統計的に明らかにする研究が増加してきた。2007年に岡野ら^[16]は、東京23区を対象にヒートアイランド現象による睡眠障害の影響をLIMEの枠組みを用いて定量化した。さらに2008年には東京23区を対象としてPSQI-Jを指標としたアンケート調査をおこない、夜間気温が1℃上昇するごとに気温に関係する睡眠障害者の割合が3.0%増加することを示した[21]。また、2017年には草間ら[22]が、エアコン有無別の就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係を明らかにし、特に高温の場合にエアコンを使用しない人が使用する人に比べ睡眠困難罹患率が高いことを明らかにした。

以上までの既往研究は異なる年次に異なる地域でおこなわれた調査をそれぞれ分析したものであり、それぞれの研究では季節差や地域差が考慮されていない。しかし睡眠困難の被害を正確に把握する上で季節差や地域差の考慮は重要である。季節差を考慮しなければならない理由としては、睡眠障害の割合が季節によって変化すること[17]が挙げられる。また、地域差を考慮しなければならない理由としては、人種[23]、経済状況[24]、文化[25]など地域差に伴うさまざまな要因により、睡眠困難の被害状況に差が生まれると考えられるためである。定量的な指標で、かつ季節差や地域差を考慮して評価されている研究がほぼないため、気温と罹患数の関係が明らかになっておらず、被害について正確に把握されているとは言えない。

2.2 研究目的

前述のとおり、睡眠の被害を定量化する研究は近年増加している。睡眠の地域差についても研究がおこなわれつつあるが、日本をはじめとした高緯度の先進国に限られる場合が多く、高緯度の先進国と低緯度の発展途上国を比較している研究はほとんど見られない。しかしこれらの差を考慮することは、今後先進国と発展途上国において人口や都市化状況が変化する中で、睡眠困難の被害実態を把握する上で重要である。そこで本研究では、季節差や地域差を含め睡眠に影響をもたらすパラメータを明らかにすることを目的とする。

3 研究手法

3.1 睡眠困難の集計方法

3.1.1 ピッツバーグ睡眠質問票 (PSQI)

ピッツバーグ睡眠質問票 (Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI) は、ピッツバーグ大学精神科学教授 Buysse ら[26]によって開発された睡眠に関する標準化された 18 項目の質問票からなる自記式質問票である。PSQI はイタリア語版[27]、韓国語版[28]など国ごとに異なる言語で作り直されており、日本では土井ら[29]によって日本語版 (PSQI-J) が作成されている。ピッツバーグ睡眠質問票は、睡眠の質に関する研究に最も広く利用されている指標の一つである。

ピッツバーグ睡眠質問票の質問項目は、過去一か月間における睡眠を対象としている。18 の質問項目は、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、という 7 つの項目に分類される。これらを各 0-3 点の 4 段階で評価し、総合得点 (0-21 点) として算出する。総合得点が高いほど睡眠の質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用されているが、土井らは PSQI-J の結果が睡眠障害 (sleep disorder) に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 (sleep disorder) の診断基準が高い割合で一致することを示した。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。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 (dusturbed 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。本研究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な睡眠障害であるため、以下睡眠障害と区別し睡眠困難 (sleep disturbance) と記述する。

3.1.2 毎日の睡眠に関する質問票 (SQIDS)

SQIDS は、PSQI-J を参考に岡野ら[21]によって作成された質問票である。PSQI-J が過去一か月の睡眠の質を評価するものであるのに対し、SQIDS は毎日の睡眠の評価をおこなうものである。

PSQI-J の質問項目では、過去一か月の睡眠について問うため、PSQI-J によって睡眠障害と評価される被験者は夜間高温化とは無関係に睡眠困難と評価される人々であると考えられる。本研究では、毎日の気温の変化による睡眠の変化を評価するために、SQIDS も評価指標に用いる。睡眠困難の判定基準は PSQI-J と同様に 5.5 点以上の場合とする。

SQIDS の 7 項目 (C1-C7) と質問の概要を Table 3 に示す。

Table 3 SQIDS の質問項目

項目	内容
C1 睡眠の質	・質問1「熟睡できましたか」 ・質問2「起床時の目覚め感(すっきり度)はどうですか」
C2 入眠時間	・質問3「寝床についてから30分以内に眠ることが出来ましたか」
C3 睡眠時間(実睡眠時間)	・床上時間(質問4「何時に寝床につきましたか」)=就寝時間 ・質問5「何時に起床しましたか」=起床時間 ・床上時間=起床時間-就寝時間
C4 睡眠効率	・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) ・睡眠効率=実睡眠時間/床上時間
C5 睡眠困難(中途覚醒)	・質問8「睡眠の途中で目が覚めましたか」 ・質問9「途中で目覚めた回数を教えてください」 ・質問9「目が覚めた後、30分以内に眠ることが出来ましたか」
C6 眠剤の使用	・質問10「昨日、眠るために薬を服用しましたか」
C7 日中覚醒困難	・質問11「眠気無くすっきり過ごせましたか」

(出典：文献[21]より筆者作成)

3.2 各疫学調査について

本研究では、2007年から2019年に、日本の東京と名古屋、インドネシアのジャカルタ、インドのデリーでおこなわれた9つの調査のデータを解析した。それぞれの概要をTable 4に示す。

Table 4 各疫学調査の概要

	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	7月・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・2月	東京・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	7月・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・11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

各疫学調査の詳細について以下に記載する。

3.2.1 東京、2007年8月

日本の東京において2007年7月31日から8月9日までの連続10日間疫学調査を実施した。調査は株式会社日経リサーチがおこなった。対象者は日経リサーチのインターネットモニターで東京23区に居住する20歳以上の男女から年齢構成を考慮して抽出した。サンプル数はN=418であった。以下Table 5に被験者属性の概要を示す。

Table 5 2007年8月東京 被験者属性

	N=	male (%)	female (%)
合計	418	51.0%	49.0%
男性	213	100.0%	0.0%
女性	205	0.0%	100.0%
20-29歳	80	50.0%	50.0%
30-39歳	90	50.0%	50.0%
40-49歳	85	51.8%	48.2%
50-59歳	85	49.4%	50.6%
60-69歳	67	50.7%	49.3%
70-79歳	11	72.7%	27.3%

アンケートでは、年齢・性別などの基本的事項や生活習慣、PSQIの質問項目などについて訊ね、日々の睡眠や生活については毎日訊ねた。アンケートの質問内容の概要について、以下 Table 6、Table 7 に示す。

Table 6 2007年8月東京 初日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q1～16	年齢、性別、職業、喫煙、居住地域、住宅の環境、睡眠時の環境
Q17～25	ピッツバーグ睡眠質問票

Table 7 2007年8月東京 毎日のアンケート質問内容

概要	詳細
SQIDS	Table 3参照
その他	ストレス、飲酒、就寝時の室温・湿度・クーラーの設定

3.2.2 東京、2009年1月

日本の東京において2009年1月19日から28日の連続10日間疫学調査を実施した。サンプル数はN=588であった。以下 Table 8 に被験者属性の概要を示す。

Table 8 2009年1月東京 被験者属性

	N=	male (%)	female (%)
合計	588	52.6%	47.4%
男性	309	100.0%	0.0%
女性	279	0.0%	100.0%
20-29歳	98	48.0%	52.0%
30-39歳	105	46.7%	53.3%
40-49歳	108	50.9%	49.1%
50-59歳	114	51.8%	48.2%
60-69歳	108	50.9%	49.1%
70-80歳	55	80.0%	20.0%

アンケートでは、初日に年齢・性別などの基本的事項や生活習慣、PSQIの質問項目などについて訊ね、SQIDSの質問項目や日々の生活については毎日訊ねた。アンケートの質問内容の概要について、以下Table 9、Table 10に示す。

Table 9 2009年1月東京 初日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q1～17	年齢、性別、職業、居住地域、住宅の環境、睡眠時の環境
Q17～26	ピッツバーグ睡眠質問票

Table 10 2009年1月東京 毎日のアンケート質問内容

概要	詳細
SQIDS	Table 3参照
その他	ストレス、飲酒、就寝時の服装・暖房の設定・寝具

3.2.3 東京・名古屋、2011年1月・2月

日本の東京と名古屋において2011年1月26日から2月4日の連続10日間疫学調査を実施した。サンプル数はN=1257であった。以下Table 11に被験者属性の概要を示す。

Table 11 2011年1・2月東京・名古屋 被験者属性

	N=	male (%)	female (%)
合計	1257	49.8%	50.2%
東京	634	50.0%	50.0%
名古屋	623	49.6%	50.4%
男性	626	100.0%	0.0%
女性	631	0.0%	100.0%
20-29歳	236	45.8%	54.2%
30-39歳	269	48.7%	51.3%
40-49歳	256	50.0%	50.0%
50-59歳	272	46.7%	53.3%
60-69歳	164	53.0%	47.0%
70-80歳	60	75.0%	25.0%

アンケートでは、初日に年齢・性別などの基本的事項や生活習慣、PSQIの質問項目などについて訊ね、SQIDSの質問項目や日々の生活については毎日訊ねた。アンケートの質問内容の概要について、以下Table 12、Table 13に示す。

Table 12 2011年1・2月東京・名古屋 初日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q1~11	性別、年齢、職業、労働、住宅環境
Q12	Chalderの疲労質問票
Q13~21	PSQI質問票
Q22~27	ストレス、体調、食事、就業・屋外滞在時間、飲酒

Table 13 2011年1・2月東京・名古屋 毎日のアンケート質問内容

概要	詳細
Q22~33	ストレス、体調、就業・屋外滞在時間、食事、飲酒
Q34	Chalderの疲労質問票
Q35~43	SQIDS質問票
Q44~56	空調、自覚症状、基礎疾患、喫煙、妊娠

3.2.4 名古屋、2011年8月（1回目）、2012年7-8月（2回目）

日本の名古屋において、1回目は2011年8月2日から11日の10日間、2回目は2012年7月31日-8月2日、8月7-9日、8月14-16日の計9日間疫学調査を実施した。サンプル数は1回目 N=636、2回目 N=571 であった。以下 Table 14、Table 15 にそれぞれの調査の被験者属性の概要を示す。

Table 14 2011年8月名古屋 被験者属性

	N=	male (%)	female (%)
合計	636	50.0%	50.0%
男性	318	100.0%	0.0%
女性	318	0.0%	100.0%
20-29歳	127	51.2%	48.8%
30-39歳	115	45.2%	54.8%
40-49歳	140	49.3%	50.7%
50-59歳	120	53.3%	46.7%
60-69歳	115	46.1%	53.9%
70-79歳	19	78.9%	21.1%

Table 15 2012年7・8月名古屋 被験者属性

	N=	male (%)	female (%)
合計	571	51.1%	48.9%
男性	292	100.0%	0.0%
女性	279	0.0%	100.0%
20-29歳	88	47.7%	52.3%
30-39歳	124	56.5%	43.5%
40-49歳	112	51.8%	48.2%
50-59歳	147	40.1%	59.9%
60-69歳	81	61.7%	38.3%
70-79歳	19	68.4%	31.6%

アンケートでは、初日に年齢・性別などの基本的事項や生活習慣、PSQIの質問項目などについて訊ね、SQIDSの質問項目や日々の生活については毎日訊ねた。アンケートの質問内容の概要について、以下 Table 16、Table 17、Table 18、Table 19 に示す。

Table 16 2011年8月名古屋 初日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q1~13	性別、年齢、職業、労働、住宅環境
Q14	Chalderの疲労質問票
Q15~21	PSQI質問票
Q22~26	基礎疾患、手術歴、喫煙、妊娠

Table 17 2011年8月名古屋 毎日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q1~14	ストレス、体調、就業・屋外滞在時間、食事、飲酒
Q15	Chalderの疲労質問票
Q16~26	SQIDS質問票
Q27~46	空調、自覚症状

Table 18 2012年7・8月名古屋 初日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q1~14	性別、年齢、職業、労働、住宅環境
Q15	Chalderの疲労質問票
Q16~22	PSQI質問票
Q23~27	基礎疾患、手術歴、喫煙、妊娠

Table 19 2012年7・8月名古屋 毎日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q1~12	ストレス、体調、就業・屋外滞在時間、食事、飲酒
Q13~14	Chalderの疲労質問票
Q15~25	SQIDS質問票
Q26~45	空調、自覚症状

3.2.5 ジャカルタ、2016年2月（1回目）、10月・11月（2回目）

この調査は、環境省の気候変動の緩和策と適応策の統合的戦略研究（環境研究総合推進費戦略研究プロジェクト S-14）における、テーマ4「アジアのメガシティにおける緩和を考慮した適応策の実施事例研究」の一環としておこなわれたものである。調査は株式会社インテージリサーチに依頼されおこなわれた。

インドネシアのジャカルタにおいて1回目は2016年2月9-11、16-18日、23-25日の計9日間、2回目は10月18-20日、25-27日、11月1-3日の計9日間に睡眠に関する疫学調査が実施された。調査は訪問留め置き調査にておこない、対象者はジャカルタに居住

する 20 歳以上の男女から年齢構成、社会階級（SEC）を考慮して抽出された。サンプル数は 1 回目 N=263、2 回目 N=264 であった。以下 Table 20、Table 21 に被験者属性の概要を示す。

Table 20 ジャカルタ 2016 年 2 月 被験者属性

	N=	male (%)	female (%)
合計	263	50.6%	49.4%
男性	133	100.0%	0.0%
女性	130	0.0%	100.0%
20-29歳	101	50.5%	49.5%
30-39歳	84	51.2%	48.8%
40-49歳	58	50.0%	50.0%
50-59歳	20	50.0%	50.0%

Table 21 ジャカルタ 2016 年 10・11 月 被験者属性

	N=	male (%)	female (%)
合計	264	51.1%	48.9%
男性	135	100.0%	0.0%
女性	129	0.0%	100.0%
20-29歳	100	51.0%	49.0%
30-39歳	86	52.3%	47.7%
40-49歳	58	50.0%	50.0%
50-59歳	17	47.1%	52.9%
60-69歳	3	66.7%	33.3%

アンケートは性別・年齢などの基本的事項や直近の生活、疲労・睡眠について初日に訊ね、Chalder の疲労尺度の質問や SQIDS の質問項目、空調や自覚症状については毎日訊ねた。PSQI 質問票に関しては、初日に加えて 3 週目（火曜日）にも訊ねた。アンケートの質問内容の概要を Table 22、Table 23、Table 24、Table 25 に示す。

Table 22 ジャカルタ 2016 年 2 月 初日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q1~8	性別、年齢、職業、労働、住宅環境
Q9~10	Chalderの疲労質問票
Q11~16	PSQI質問票
Q17~21	基礎疾患、手術歴、喫煙、妊娠

Table 23 ジャカルタ 2016 年 2 月 毎日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q0~12	ストレス、体調、就業・屋外滞在時間、食事、飲酒
Q13~14	Chalderの疲労質問票
Q15~25	SQIDS質問票
Q26~46	空調、自覚症状

Table 24 ジャカルタ 2016 年 10・11 月 初日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q1~8	性別、年齢、職業、労働、住宅環境
Q9~10	Chalderの疲労質問票
Q11~16	PSQI質問票
Q17~21	基礎疾患、手術歴、喫煙、妊娠

Table 25 ジャカルタ 2016 年 10・11 月 毎日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q0~12	ストレス、体調、就業・屋外滞在時間、食事、飲酒
Q13~14	Chalderの疲労質問票
Q15~25	SQIDS質問票
Q26~46	空調、自覚症状

3.2.6 デリー、2019 年 2 月（1 回目）、5 月（2 回目）

インドのデリーにおいて 1 回目は 2019 年 2 月 12-14、19-21 日、26-28 日の計 9 日間、2 回目は 5 月 14-16 日、21-23 日、28-30 日の計 9 日間に睡眠に関する疫学調査が実施された。サンプル数は 1 回目 N=231、2 回目 N=235 であった。以下 Table 26、Table 27 に被験者属性の概要を示す。

Table 26 デリー2019 年 2 月 被験者属性

	N=	male (%)	female (%)
合計	231	49.8%	50.2%
男性	115	100.0%	0.0%
女性	116	0.0%	100.0%
20-29歳	69	55.1%	44.9%
30-39歳	60	45.0%	55.0%
40-49歳	52	50.0%	50.0%
50-59歳	50	48.0%	52.0%

Table 27 デリー2019年5月 被験者属性

	N=	male (%)	female (%)
合計	235	52.8%	47.2%
男性	124	100.0%	0.0%
女性	111	0.0%	100.0%
20-29歳	74	52.7%	47.3%
30-39歳	59	54.2%	45.8%
40-49歳	45	55.6%	44.4%
50-59歳	57	49.1%	50.9%

アンケートは性別・年齢などの基本的事項や直近の生活、疲労・睡眠について初日に訊ね、Chalderの疲労尺度の質問やSQIDSの質問項目、空調や自覚症状については毎日訊ねた。PSQI質問票に関しては、初日に加えて3週目（火曜日）にも訊ねた。アンケートの質問内容の概要をTable 28、Table 29、Table 30、Table 31に示す。

Table 28 デリー2019年2月 初日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q1~8	性別、年齢、職業、労働、住宅環境
Q9~10	Chalderの疲労質問票
Q11~19	PSQI質問票
Q20~22	基礎疾患、手術歴、喫煙、妊娠

Table 29 デリー2019年2月 毎日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q0~12	ストレス、体調、就業・屋外滞在時間、食事、飲酒
Q13~14	Chalderの疲労質問票
Q15~25	SQIDS質問票
Q26~46	空調、自覚症状

Table 30 デリー2019年5月 初日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q1~10	性別、年齢、職業、労働、住宅環境
Q11~12	Chalderの疲労質問票
Q13~21	PSQI質問票
Q22~25	基礎疾患、手術歴、喫煙、妊娠

Table 31 デリー2019年5月 毎日のアンケート質問内容

質問番号	内容
Q0~12	ストレス、体調、就業・屋外滞在時間、食事、飲酒
Q13~14	Chalderの疲労質問票
Q15~25	SQIDS質問票
Q26~46	空調、自覚症状

3.3 気温データについて

東京の気温データは、気象庁から入手した。東京 23 区の中で気温を測定している観測点は江戸川臨海、羽田、練馬、東京の 4 か所である。これらの観測点の位置を Figure 9 に示す。



Figure 9 東京 23 区内の気温観測点

名古屋のデータは気象庁（気象台、アメダス）と愛知県（常監局）から入手した。データを使用した観測点は、名古屋地方気象台、東海アメダス、国設名古屋、富田支所、テレビ塔である。それぞれの位置を Figure 10 に示す。



Figure 10 名古屋市の気温観測点

ジャカルタの気温データは OGIMET[30]から入手した。データを使用した気温観測点は、Soekarno-Hatta、Tanjung Priok、Observatory の 3 か所である。それらの位置を Figure 11 に示す。



Figure 11 ジャカルタの気温観測点

デリーの気温データは OGIMET[30]から入手した。データを使用した気温観測点は、Palam、Safdarjung の2か所である。それらの位置を Figure 12 に示す。

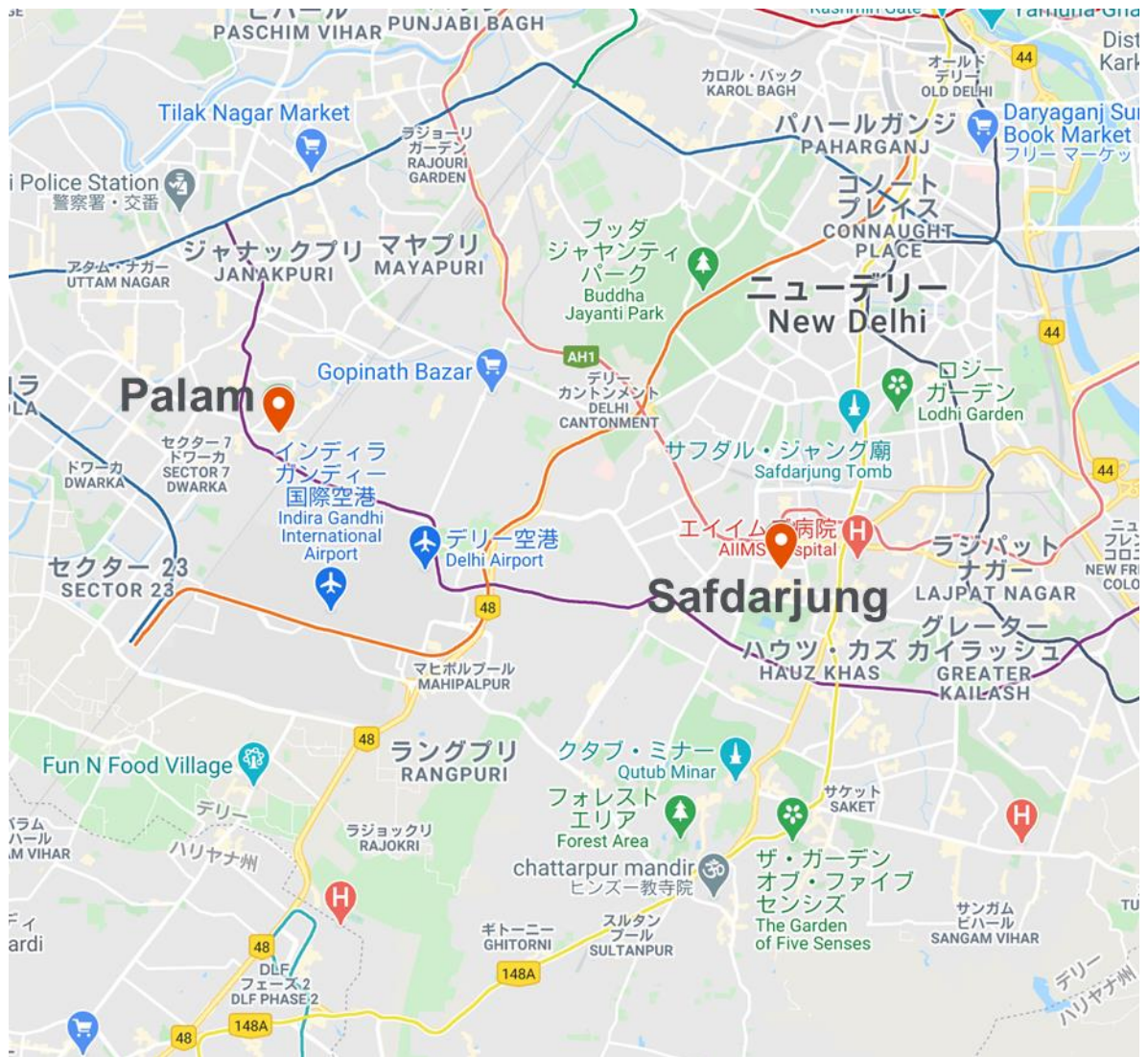


Figure 12 デリーの気温観測点

また、被験者の睡眠データと気温データを対応させる際、各被験者の居住位置に最も近い観測点の気温データを使用した。各都市の観測点と被験者の居住位置の対応を Figure 13、Figure 14、Figure 15、Figure 16 に示す。

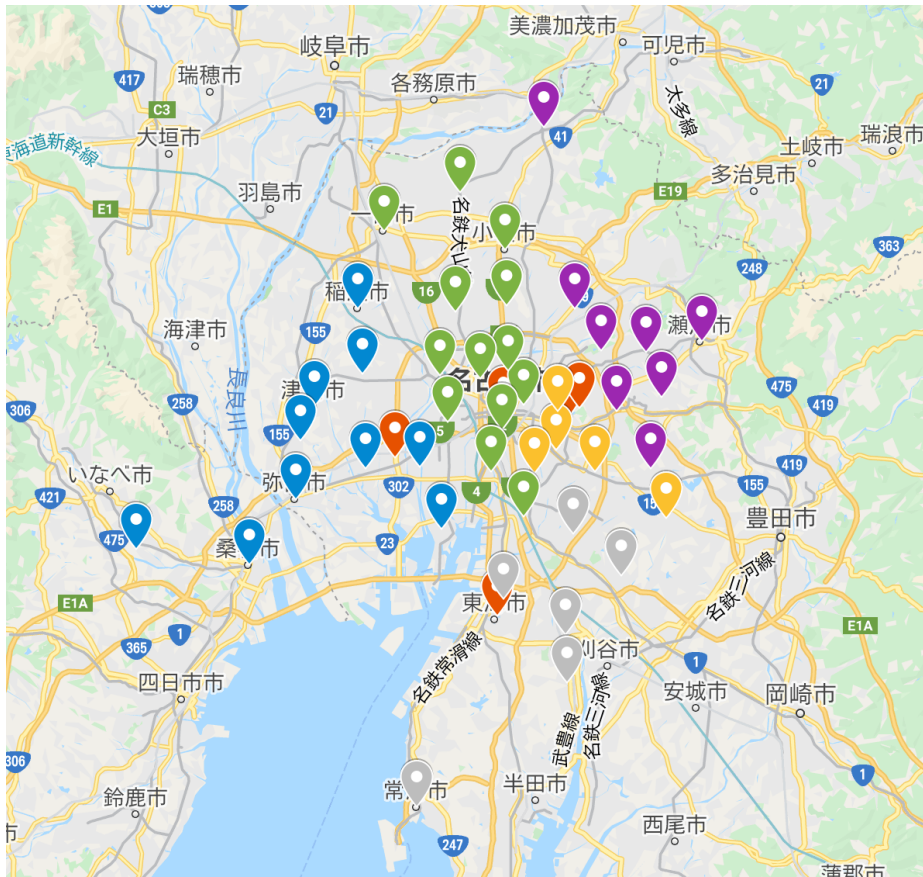


Figure 14 名古屋の気温観測点と被験者の居住位置

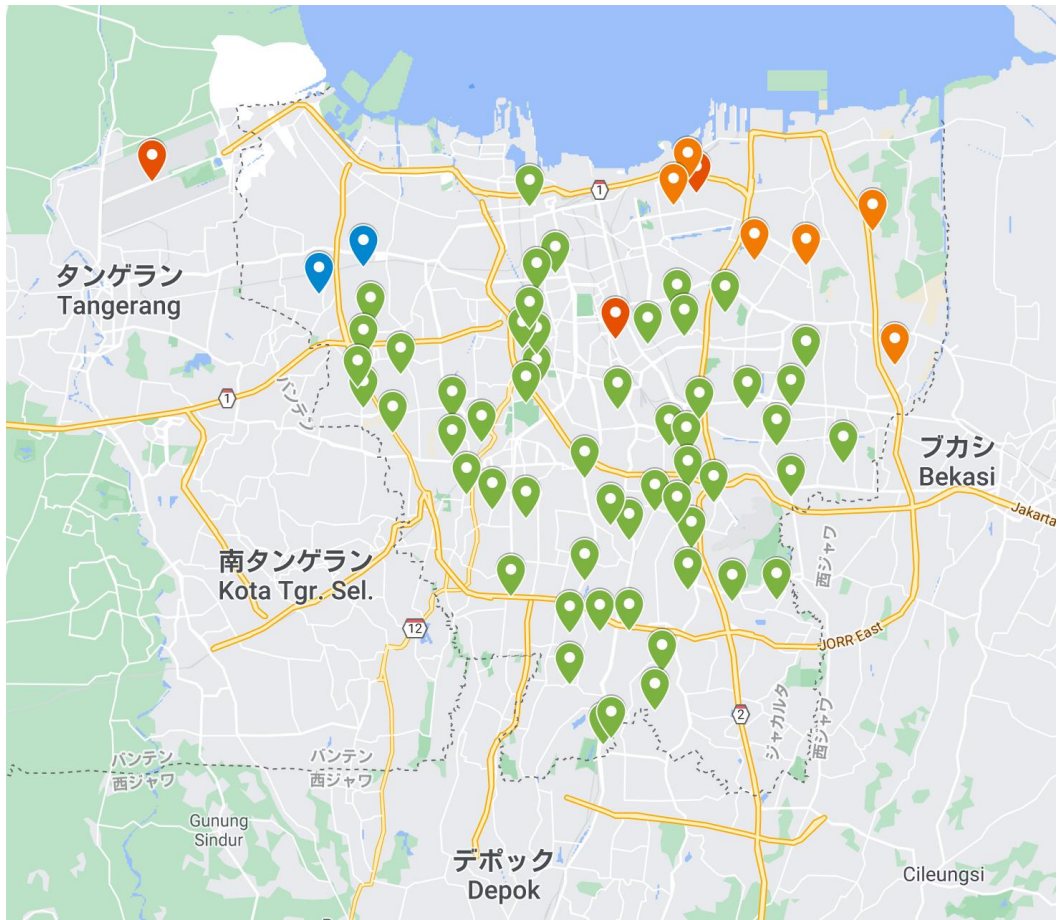


Figure 15 ジャカルタの気温観測点と被験者の居住位置

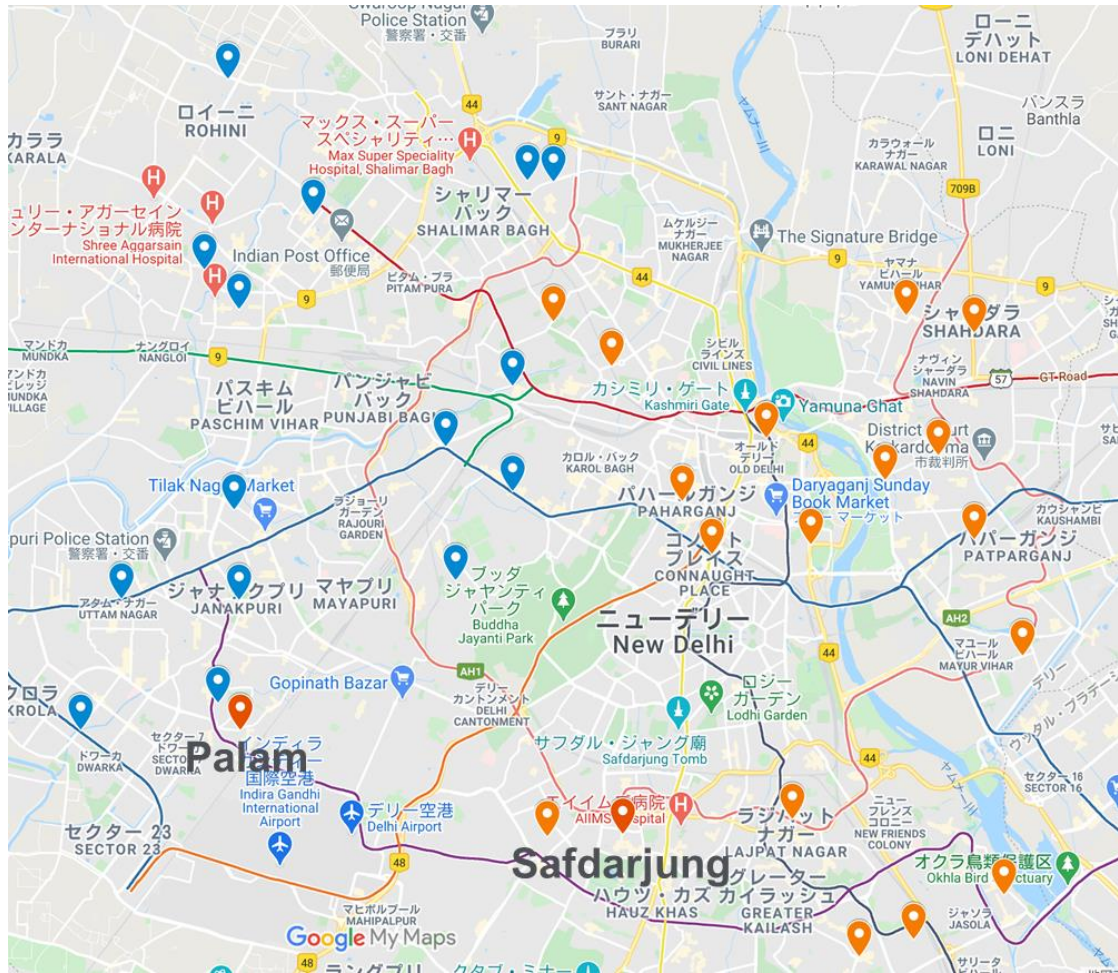


Figure 16 デリーの気温観測点と被験者の居住位置

3.4 睡眠困難被害関数の作成

3.4.1 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。

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

本研究では、4.2.2 節、4.2.3 節、4.2.4 節で用いている。関数には 3 次のスプライン関数を使用した。最適化には一般化クロスバリデーション (GCV) を用いた。

3.4.2 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。

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

本研究では、4.2.6 節で用いている。関数には 3 次のスプライン関数を使用した。最適化には一般化クロスバリデーション (GCV) を用いた。

4 結果と考察

4.1 PSQI の結果

4.1.1 PSQI 得点分布

4.1.1.1 全体

Table 4 に示したすべての調査の PSQI の得点分布を Figure 17 に示す。全体では、PSQI 総合得点が 4 pt の被験者の割合が最大となった。

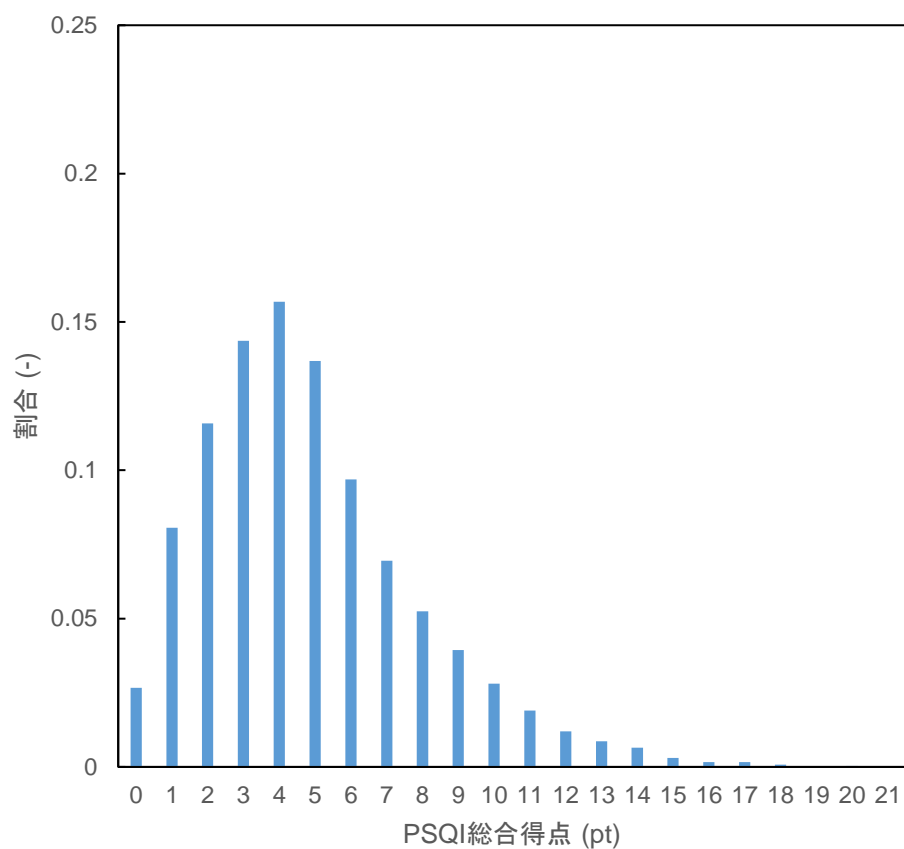


Figure 17 PSQI 得点分布 (全体)

4.1.1.2 東京

東京においておこなわれた 2007 年夏、2009 年冬、2011 年冬の調査における PSQI の得点分布を Figure 18 に示す。東京でも全体の結果と同様に、総合得点が 4 pt の被験者の割合が最大となった。一方で、全体の結果に比べると総合得点が 5 pt 以上の被験者の割合は大きかった。

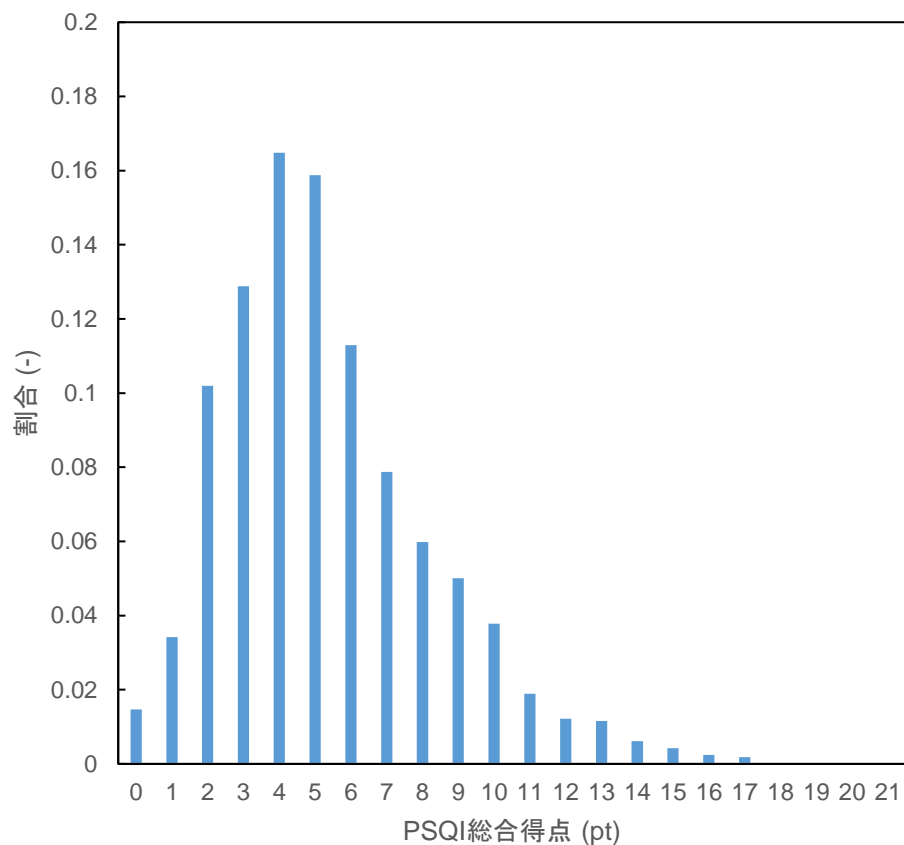


Figure 18 PSQI 得点分布 (東京)

4.1.1.3 名古屋

名古屋においておこなわれた 2011 年冬、2011 年夏、2012 年夏の調査における PSQI 質問票の得点分布を Figure 19 に示す。名古屋では総合得点が 5 pt の被験者の割合が最大となり、全体や東京の結果よりも大きかった。さらに、全体の結果と比較すると総合得点が 6 pt 以上の被験者の割合も大きかった。

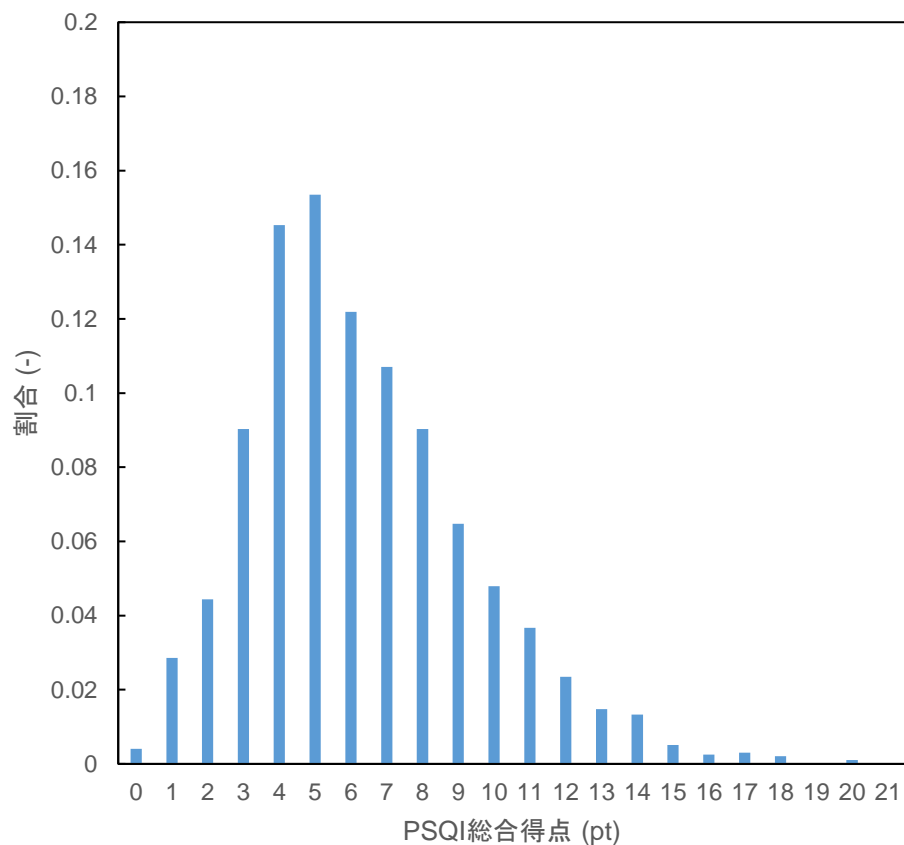


Figure 19 PSQI 得点分布 (名古屋)

4.1.1.4 ジャカルタ

ジャカルタにおいておこなわれた2016年2月、10月の調査のPSQIの総合得点分布をFigure 20に示す。人数割合が最大であった得点は3ptであり、東京や名古屋に比べると小さい結果となった。また、得点が5.5ptを超える睡眠困難罹患者の割合も東京や名古屋に比べてかなり小さかった。

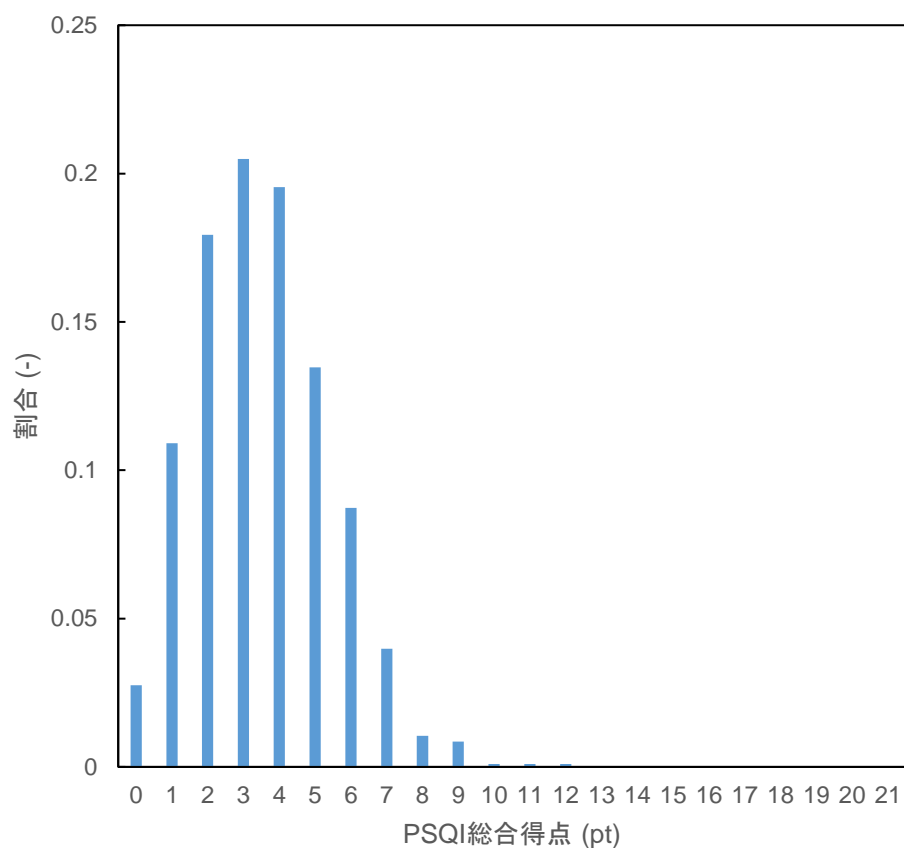


Figure 20 PSQI 得点分布 (ジャカルタ)

4.1.1.5 デリー

2019年2月、5月にデリーにおいておこなわれた調査のPSQIの得点分布をFigure 21に示す。デリーでは、人数割合が最大であった得点は1ptであり、他のどの地域よりも小さい結果となった。また、得点が5.5ptを超える睡眠困難罹患者の割合も最小であり、睡眠困難の被害状況は最も少ないと考えられる。

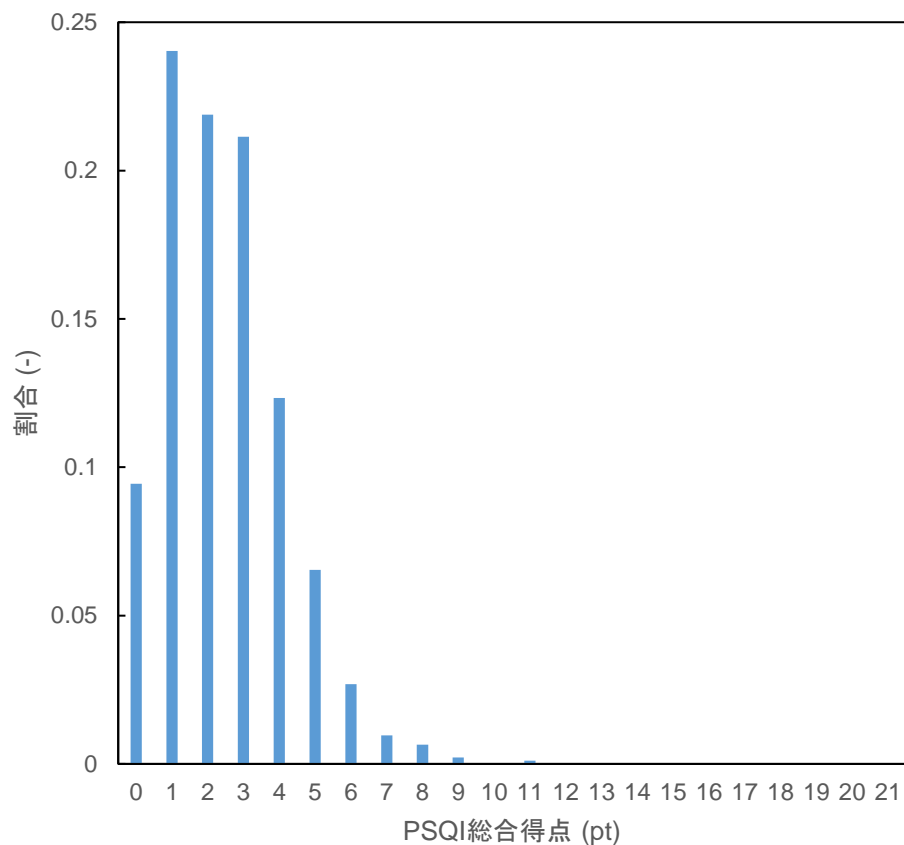


Figure 21 PSQI 得点分布 (デリー)

4.1.2 PSQI の要素分析

4.1.2.1 全体

地域ごとの PSQI の各要素の平均得点を Figure 22 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、それらと比較して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、特に睡眠の質 (C1)、睡眠時間 (C3)、睡眠効率 (C4)、眠剤の使用 (C6) など特に東京・名古屋とジャカルタ・デリーの差が大きかった。一方で睡眠困難 (C5) については地域ごとの差があまりなかった。

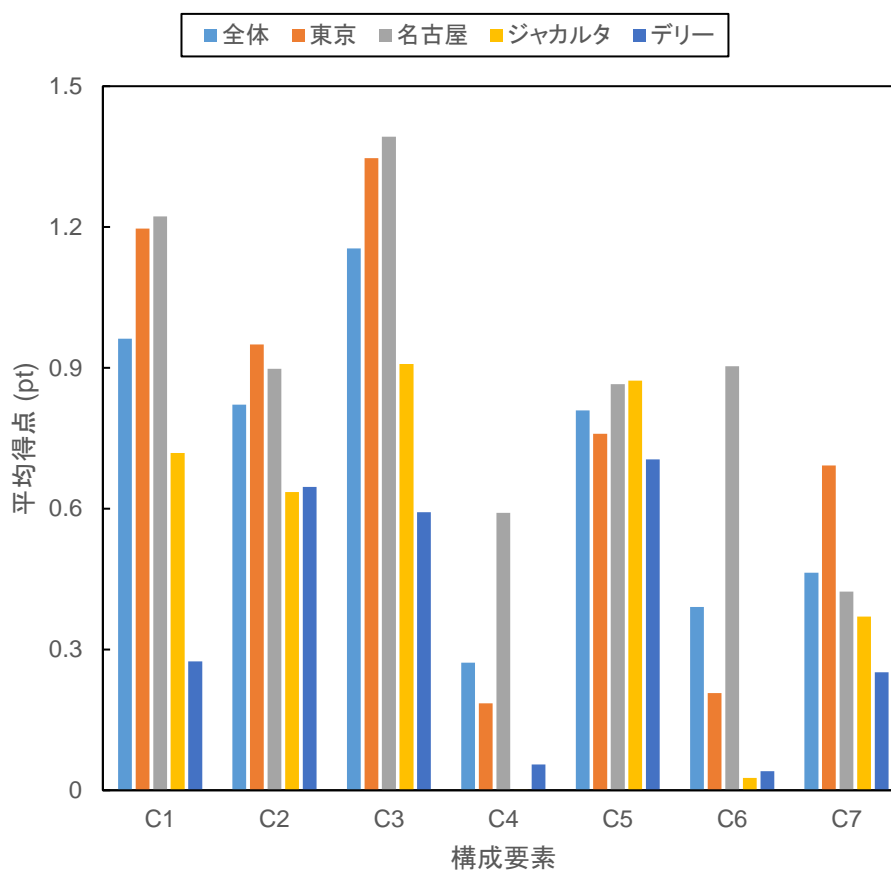


Figure 22 PSQI 構成要素別得点

4.1.2.2 東京

東京の季節別の PSQI 構成要素別得点を Figure 23 に示す。どの項目でも、1月の方が8月に比べ得点は大きくなった。特に季節間での差が大きくなったのは、入眠時間 (C2)、日中覚醒困難 (C7) であった。

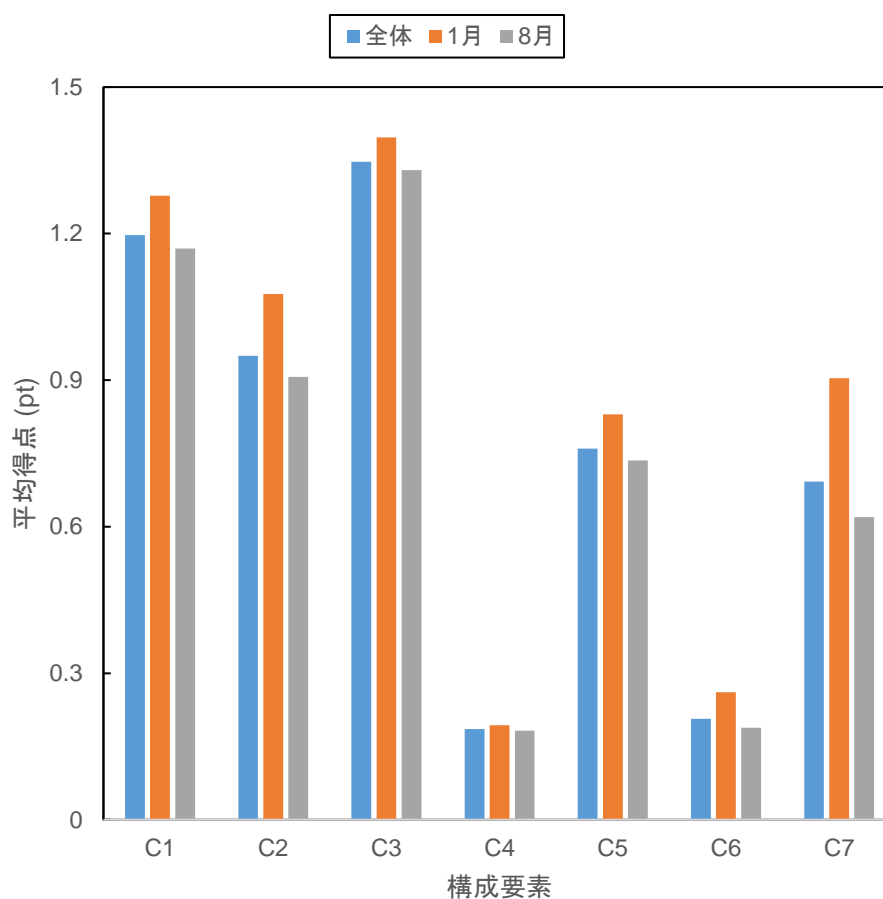


Figure 23 PSQI 構成要素別得点 (東京)

4.1.2.3 名古屋

名古屋の季節別のPSQI構成要素別得点をFigure 24に示す。多くの項目で1月の方が8月よりも得点が低くなり、東京と異なる結果となった。気温が大きく変わらない東京と名古屋で1月と8月の結果が大きく変わったことから、季節差による睡眠への影響の出方は地域によって異なることが分かった。

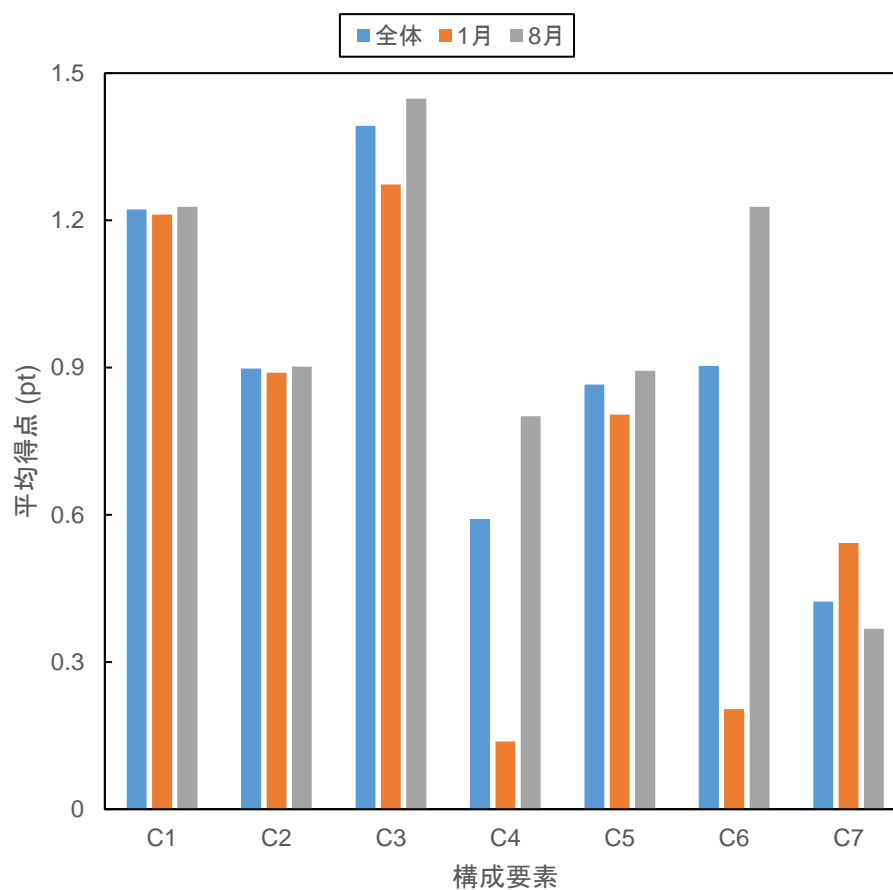


Figure 24 PSQI 構成要素別得点 (名古屋)

4.1.2.4 ジャカルタ

ジャカルタの2月と10月の調査におけるPSQI構成要素別得点をFigure 25に示す。特に睡眠効率(C4)と眠剤の使用(C6)の点数が低かった。

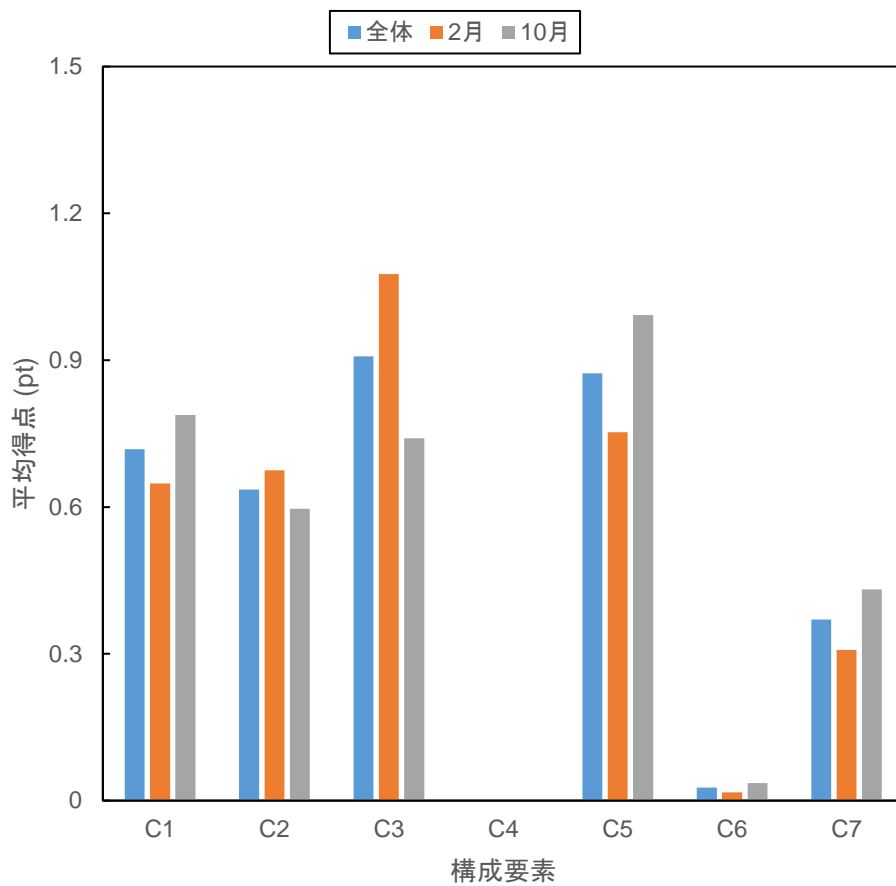


Figure 25 PSQI 構成要素別得点 (ジャカルタ)

4.1.2.5 デリー

デリーの PSQI 構成要素別得点を Figure 26 に示す。ジャカルタと類似して睡眠効率 (C4) と眠剤の使用 (C6) の点数は低かった。また、デリーだけに見られる特徴として、睡眠の質 (C1) の点数が低いことが挙げられる。

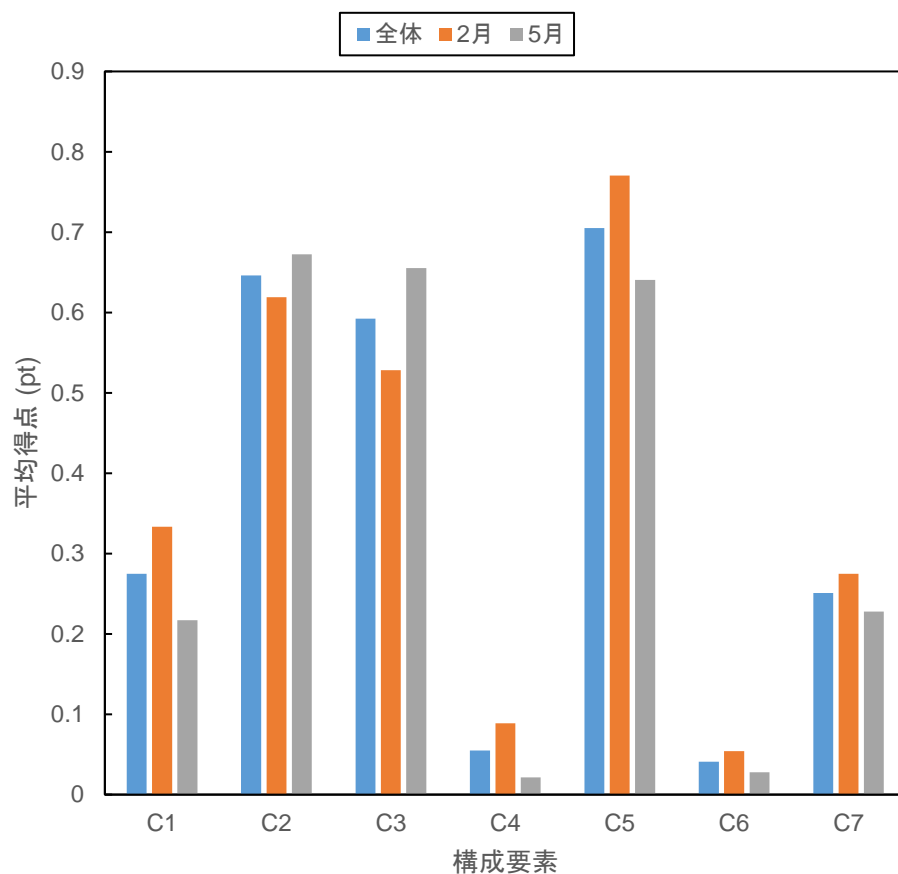


Figure 26 PSQI 構成要素別得点 (デリー)

4.2 SQIDS の結果

4.2.1 各説明変数と睡眠困難罹患率

睡眠困難罹患率を目的変数、性別、年齢、気温などさまざまな条件を説明変数として重回帰分析をおこなった。住宅種別、住宅構造には、それぞれ「その他」や「不明」という選択肢があった。この結果を Table 32 に示す。偏回帰係数の絶対値から、今回解析した中では地域差の影響が最も大きいことが示された。それ以外にも性別、年代、気温などは比較的影響の大きな要因であることが分かった。

Table 32 重回帰分析結果

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

4.2.2 気温説明変数別 RMSE

気温と睡眠困難罹患率の関係を分析する上で、使用する気温として日最低気温、就寝時気温、前日最高気温など複数の変数が考えられる。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、実測値と予測値のデータから RMSE を求めた。RMSE とは、モデルの精度を判断するために用いられる指標であり、以下の式で計算される。

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

Table 4 に示した全調査の結果データを統合したものを、日最低気温、就寝時気温、前日最高気温それぞれを変数として、気温と睡眠困難罹患率の一般化線形モデルを用いて回帰した。この実測値と予測値の結果を Figure 27 に示す。

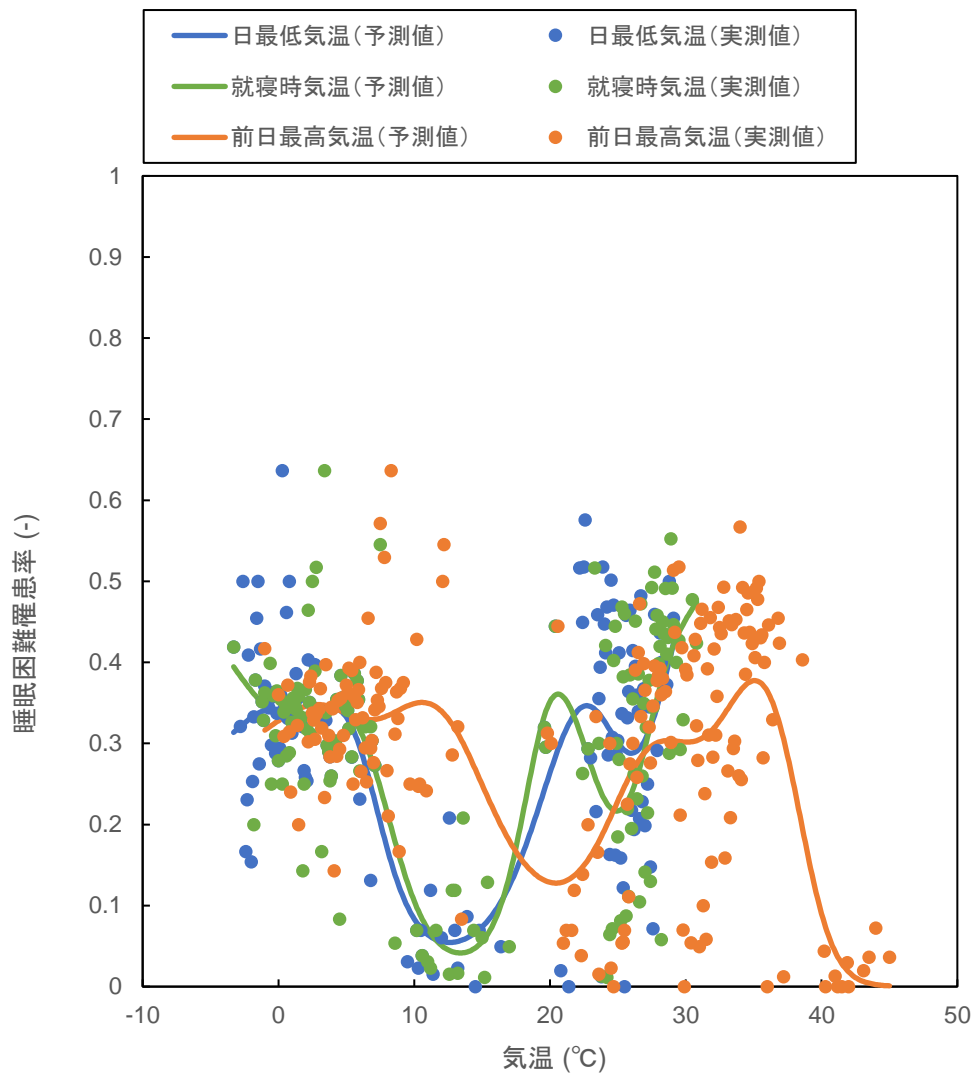


Figure 27 睡眠困難罹患率の実測値と予測値

また、RMSE の計算結果を Table 33 に示す。

Table 33 気温説明変数別の 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

Figure 27 では 3 種類の気温説明変数のうち、前日最高気温を用いた場合だけグラフの形が他と異なっている。また、Table 33 では各気温説明変数を用いた際の RMSE は大きく

は変わらないが、中でも日最低気温と就寝時気温を用いた時に **RMSE** の値はやや小さく、前日最高気温を用いた時はやや大きいことが分かる。

日最低気温は午前 **5-8** 時ごろに記録されることが多く、起床時の気温に近い。日最低気温と就寝時気温は睡眠前後の気温となり睡眠に直接的な影響を与えやすいと考えられる。就寝時気温は入眠にも影響を与える可能性があり、日最低気温以上に **SQIDS** の結果に影響を与えうるが、今回 **OGIMET** から得られた気温は日最高気温と日最低気温以外は **3** 時間ごとのものであり、就寝時気温ではより就寝時刻に近い気温を使用したことも、結果に影響したと考えられる。また前日最高気温は、前日の疲労に影響を及ぼしたり睡眠中の気温とも比例すると考えられるものの、日最低気温や就寝時気温ほどには影響がないと考えられる。

以下では代表的な気温説明変数として、**RMSE** の値が小さくデータの整備されていない発展途上国などにおいてもデータを得やすい日最低気温を用いて分析をおこなっていく。

4.2.3 日最低気温と睡眠困難罹患率の関係

4.2.3.1 地域別

地域別の日最低気温と睡眠困難罹患率の関係を Figure 28 に示す。グラフの形および睡眠困難罹患率の値は地域によって大きく異なった。PSQI の結果と同様に、東京と名古屋で睡眠困難罹患率が高く、それに比べてジャカルタとデリーでは低いことが分かった。

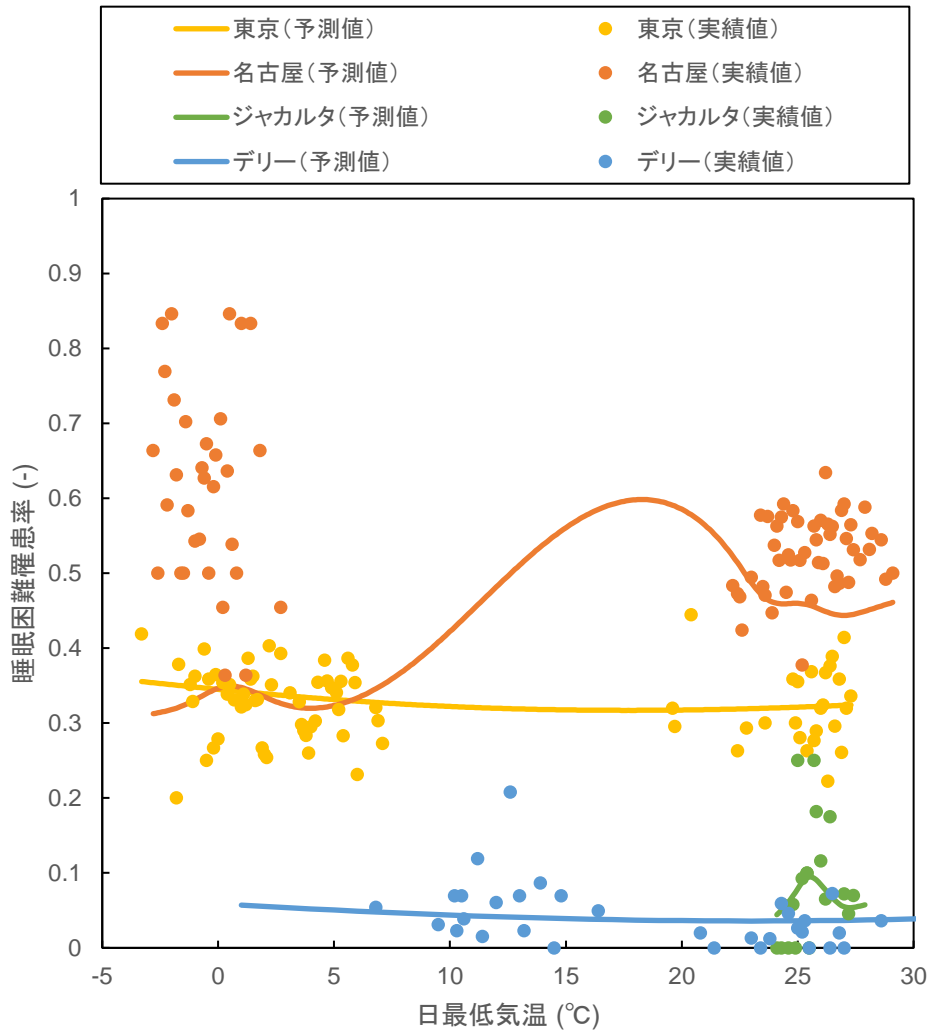


Figure 28 日最低気温と睡眠困難罹患率の関係 (地域別)

4.1 節、4.2.1 節でも地域差による睡眠への影響の大きさが示された。地域差による睡眠への影響の要因として、既往研究では Table 34 に示すものが多く考察されている。

Table 34 地域差が睡眠に影響を及ぼす場合の代表的要因

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・社会的差異
	経済的差異
	社会的ストレス
	生物学的差異

湿度に関して、Koh Mizuno ら[31]は 29℃と 35℃の部屋において相対湿度を 50%と 75%に設定した場合に、75%の場合の方が深い睡眠の時間が短くなり睡眠効率も低下することを示した。この結果から夏場などの高温環境では湿度が高い場合に睡眠が悪化すると考えられるが、東京・名古屋、ジャカルタ、デリーではいずれも夏の湿度は 70-80%程度であり、睡眠の差の要因として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[32]により人々の起床時刻が日出時刻と相関し日出時刻が早い時期に人々の起床時刻も早まり睡眠時間が短縮することが明らかになっている。各都市の調査年における日出時刻は Table 35 に示すとおりである。6 月頃は日本での日出時刻がジャカルタやデリーに比べて早い時期もあるが、冬はジャカルタに比べて遅く、日出時刻による起床時刻の変化がもたらす地域差への影響はあまり大きくないと考えられる。

Table 35 各都市の日出時刻

	最も早い日の出時刻	最も遅い日の出時刻
東京	4:25頃(6月)	6:50頃(1月)
名古屋	4:40頃(6月)	7:00頃(1月)
ジャカルタ	5:25頃(11月)	6:05頃(7月)
デリー	5:20頃(6月)	7:15頃(1月)

経済的差異による影響については、Martica Hall ら[33]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。しかし今回の結果では、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[32]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。

4.2.3.2 年代別

年代別の日最低気温と睡眠困難罹患率の関係を Figure 29 に示す。地域別に比べて、年代別ではグラフの形は大きくは変わらなかった。60-80代ではややグラフの形が他の年代と異なっているが、これは60-80代の被験者が他の年代に比べ少なく、特に7°Cから19°Cの温度帯（主にジャカルタとデリーの調査）ではほとんど存在しないことが原因出ると考えられる。

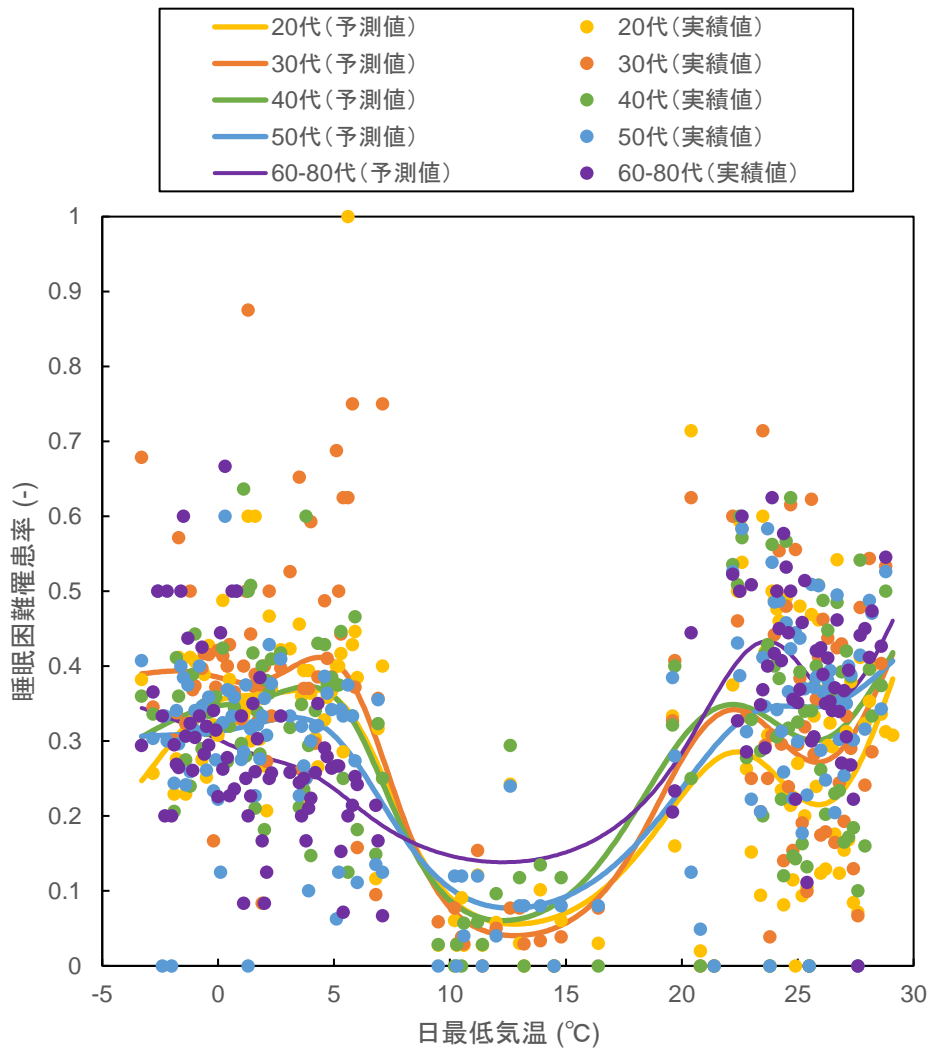


Figure 29 日最低気温と睡眠困難罹患率の関係（年代別）

4.2.3.3 男女別

男女別の日最低気温と睡眠困難罹患率の関係を Figure 30 に示す。男女別では日最低気温と睡眠困難罹患率の関係はほとんど変わらず、睡眠困難罹患率という指標では性差は睡眠に大きな影響を与えないと考えられる。ただし全体的に男性に比べ女性の方が睡眠困難罹患率が高いという結果になった。これは、Sami Karjalainen[34]らが明らかにしているように、女性の方が男性に比べ適温から逸脱した場合に不快感を抱きやすいことなどが原因として考えられる。

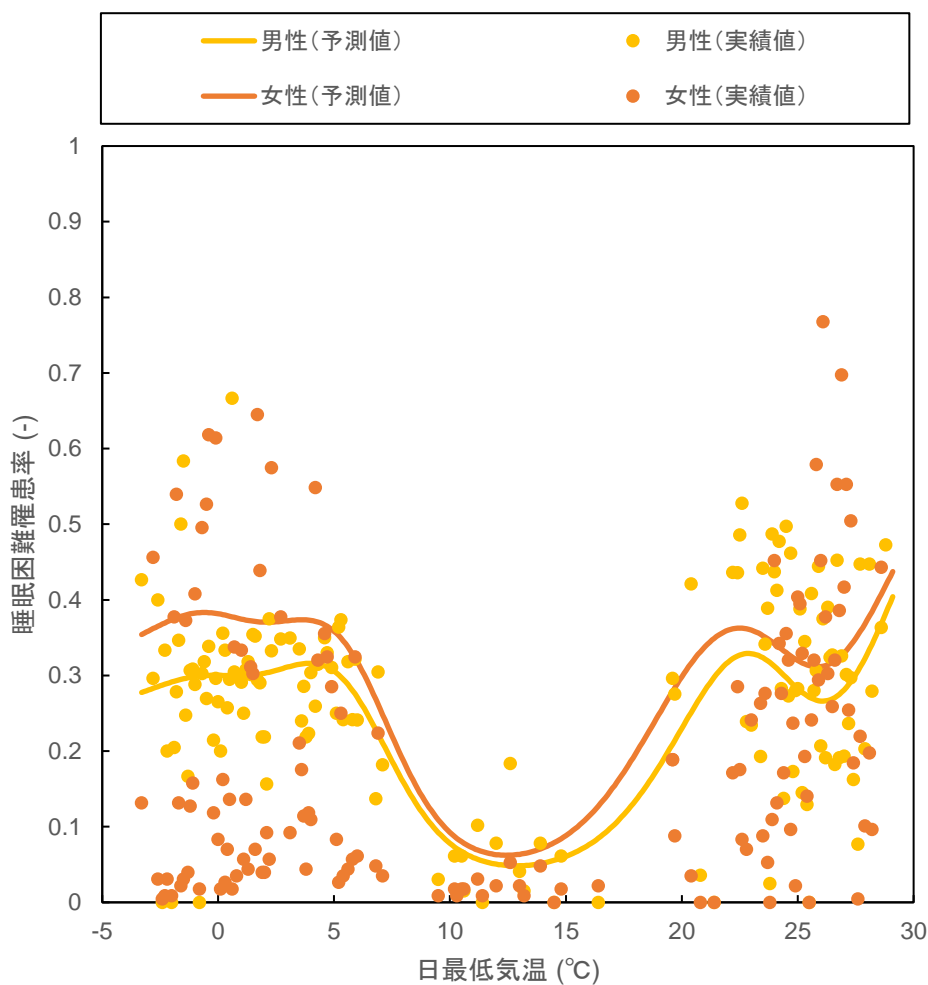


Figure 30 日最低気温と年代別睡眠困難罹患率の関係 (男女別)

4.2.3.4 住居条件別

住宅種類別の日最低気温と睡眠困難罹患率の関係を Figure 31 に示す。戸建と集合住宅で、日最低気温と睡眠困難罹患率の関係には大きな差は見られなかった。ただし全体としてやや戸建の方が睡眠困難罹患率が高く、これは戸建ての方が外気に接する壁の面が多く外気の影響を受けやすいためだと考えられる。

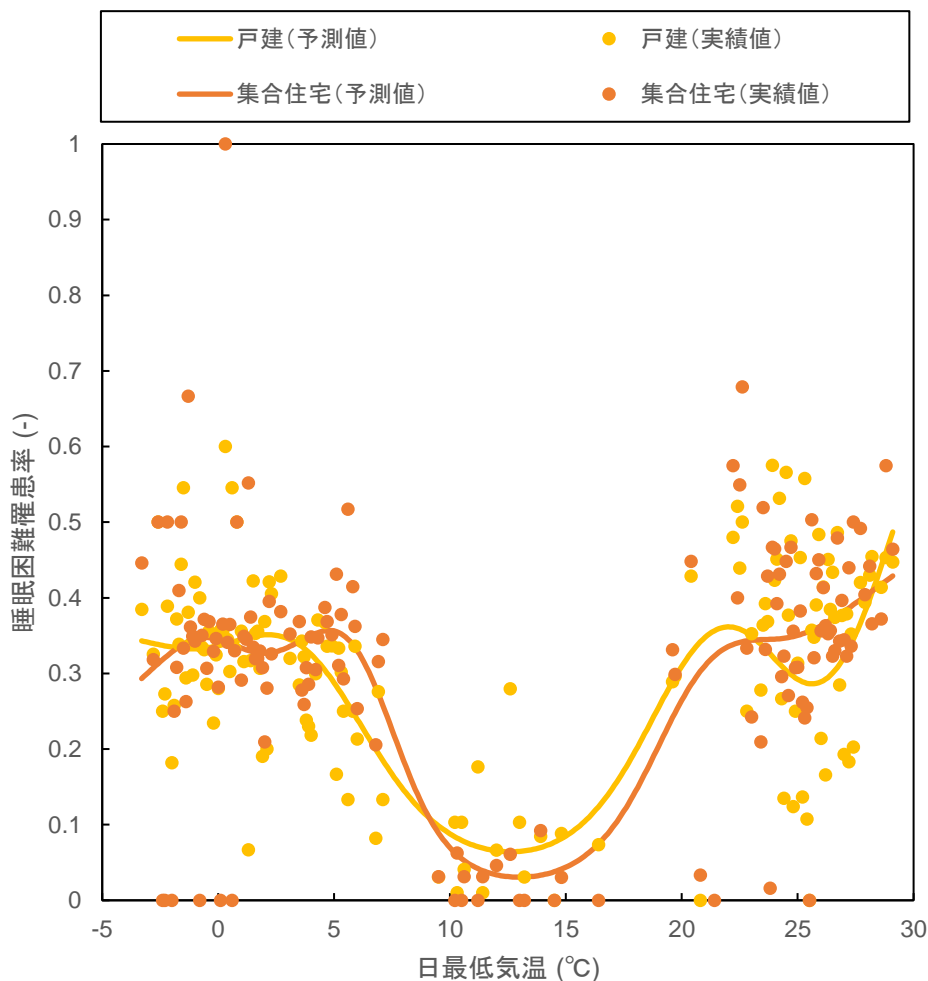


Figure 31 日最低気温と睡眠困難罹患率の関係 (住宅種類別)

次に住宅構造別の日最低気温と睡眠困難罹患率の関係を Figure 32 に示す。全体として木造と鉄骨造で睡眠困難罹患率が高い結果となった。この原因として、木造や鉄骨造の住居では築年数が長い物件が多く隙間風などが入りやすい場合が多いことや、木材の容積比熱がコンクリートに比べ小さいことなどが挙げられる。

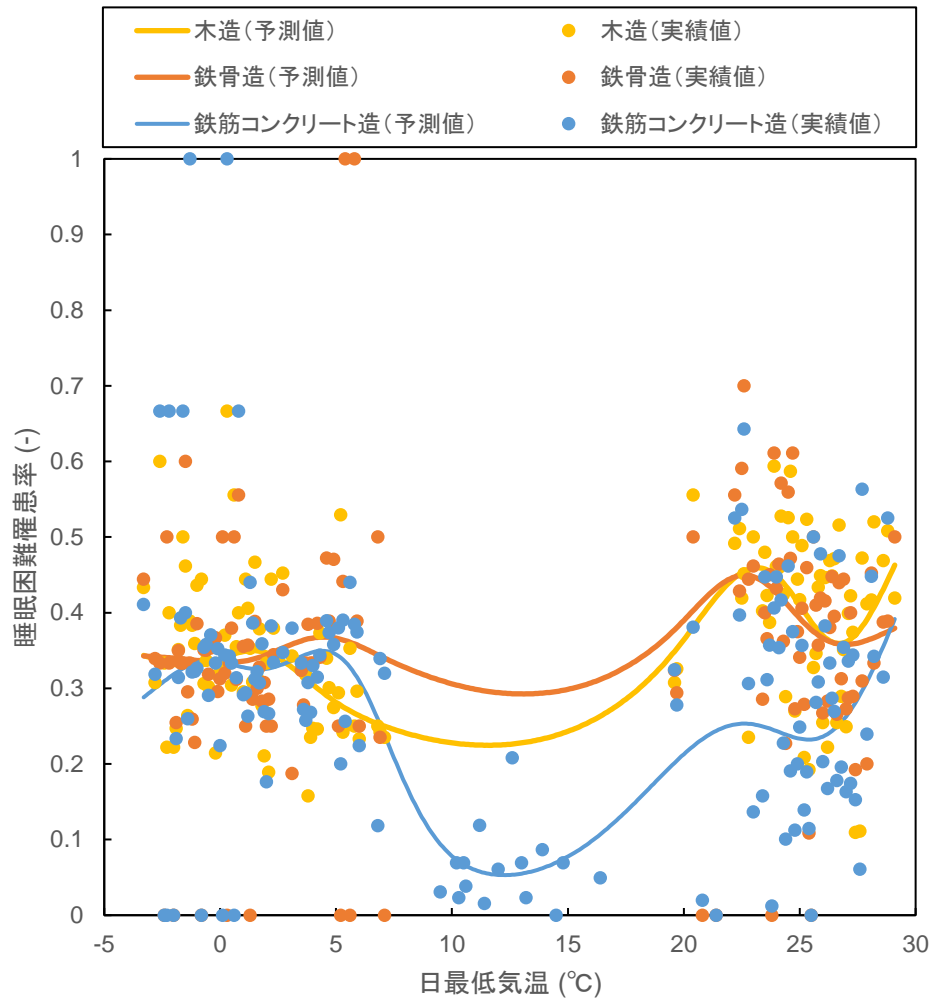


Figure 32 日最低気温と睡眠困難罹患率の関係 (住宅構造別)

4.2.3.5 エアコンの有無別

エアコンの有無別の日最低気温と睡眠困難罹患率の関係を Figure 33 に示す。調査期間中に観測された温度帯では、エアコンがある方がない場合に比べて睡眠困難罹患率が高いという結果になった。これは極度に暑い場合以外にエアコンを付ける人はもともと睡眠困難である可能性が高いためと考えられる。一方で 28℃付近のグラフの傾きから、今回扱う調査では観測されなかった 28℃以上の気温ではエアコン無の方が睡眠困難罹患率が高くなる可能性も考えられる。

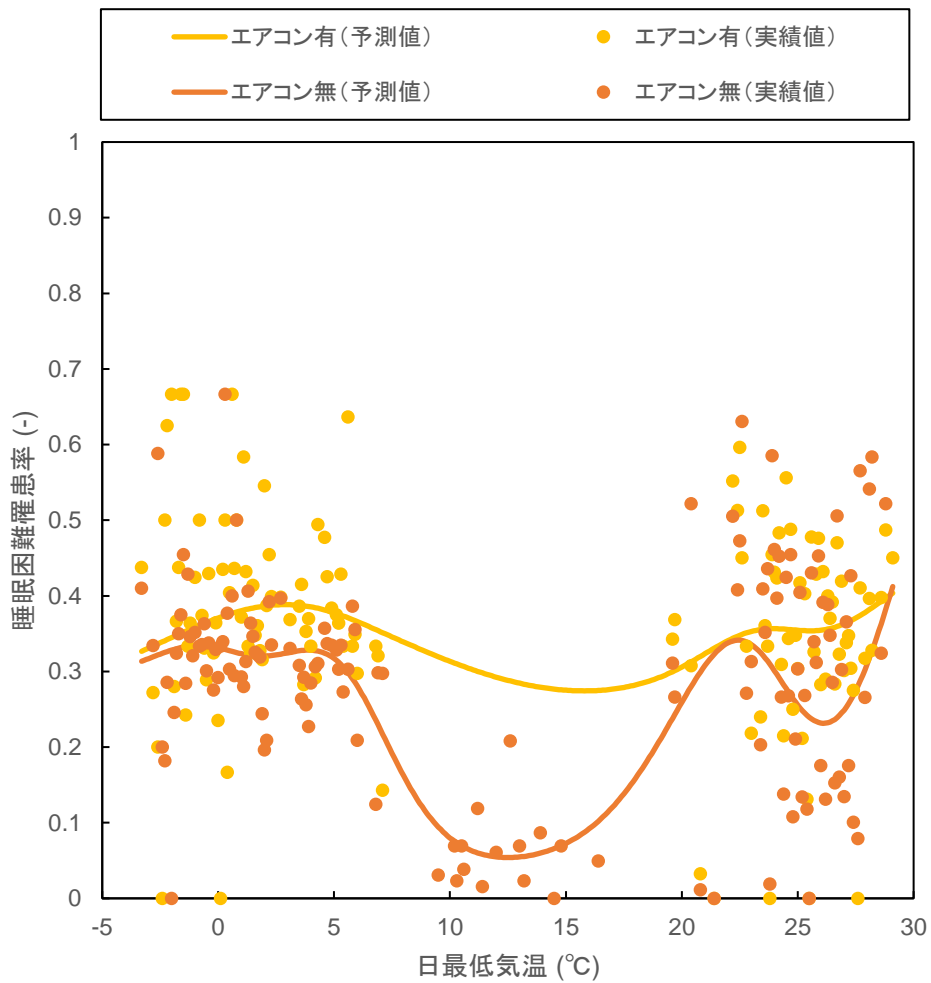


Figure 33 日最低気温と睡眠困難罹患率の関係 (エアコンの有無別)

4.2.4 気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率の関係の関係

4.2.4.1 概要

本田ら[35]は日最高気温と死亡率の関係を求めた研究において、死亡率が最小となる日最高気温を至適気温（OT）と定義（Figure 34）し、日本の47都道府県の多くで至適気温がその地域の1972-1995年の間の日最高気温85パーセンタイル値とほぼ一致することを明らかにした。この結果をFigure 35に示す。

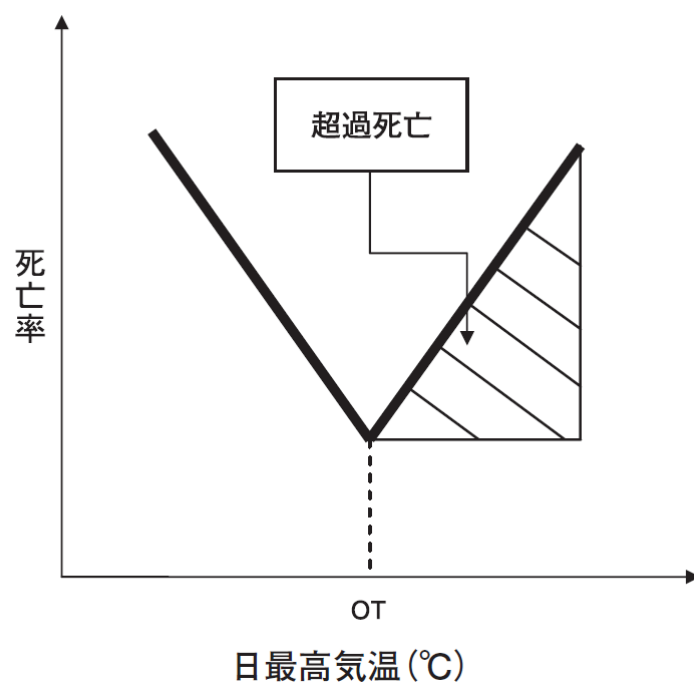


Figure 34 至適気温（OT）のイメージ

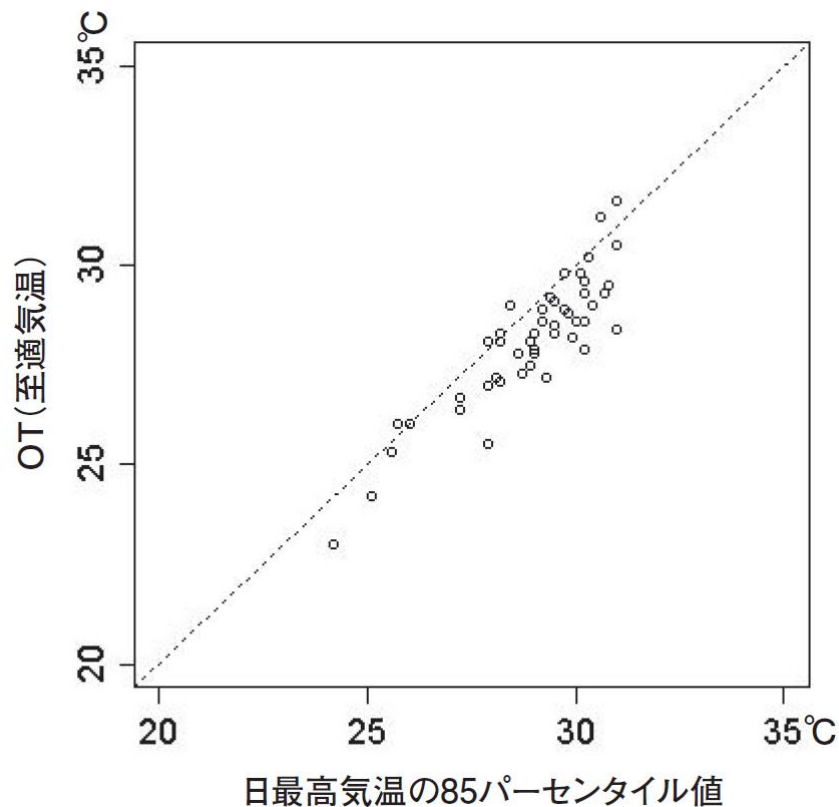


Figure 35 日最高気温 85 パーセンタイル値と至適気温との関連（日本、1972-1995 年）

本田らの研究を参考に、気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率の関係に何かしらの傾向がみられる可能性があると考えた。そこで本研究においても、日最高気温、日最低気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率の関係を各地域に関して調べた。

解析をおこなうにあたり、グラフが直線になってしまう場合や極度に波打ってしまう場合 OT を特定するのが難しいため、Smoothing Parameter (sp) の調整をおこなった。調整の結果、すべてのグラフで $sp=0.1$ とし解析をおこなった。

この結果を以下に示す。

4.2.4.2 前日最高気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率の関係

各都市における前日最高気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率の関係を Figure 36、Figure 37、Figure 38、Figure 39 に示す。いずれの都市でもグラフはV字にならずOTを特定することはできなかった。また、グラフの形は各都市で異なっており、一定の傾向は見られなかった。

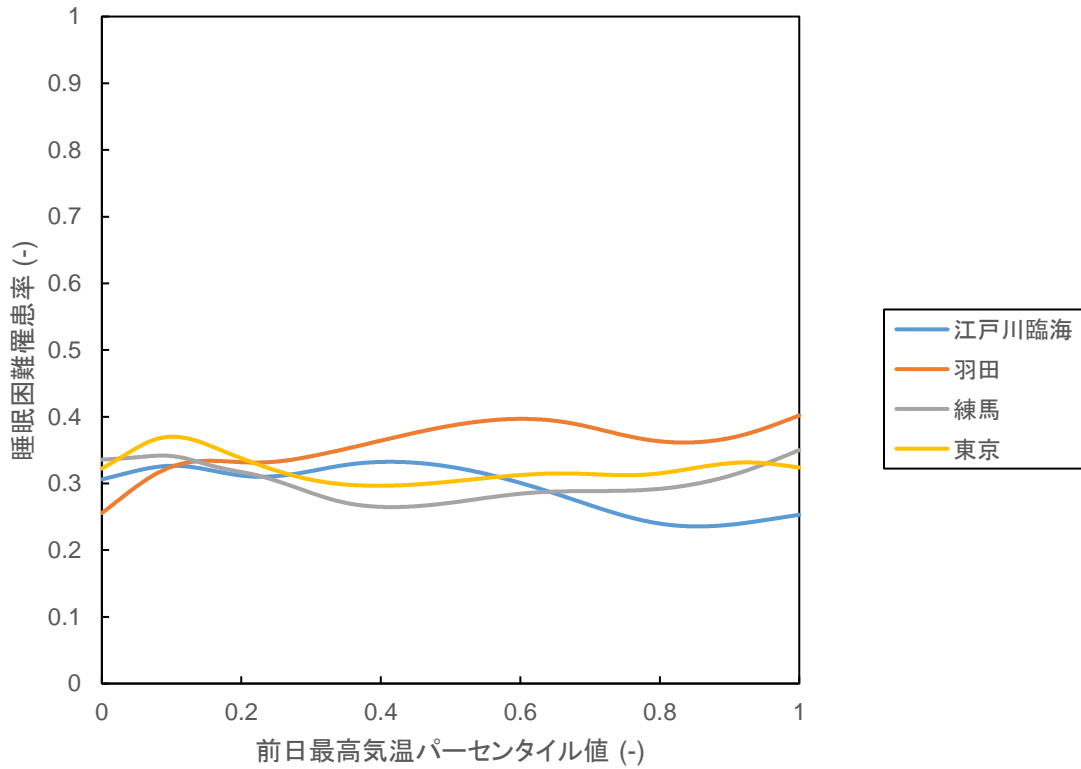


Figure 36 前日最高気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（東京）

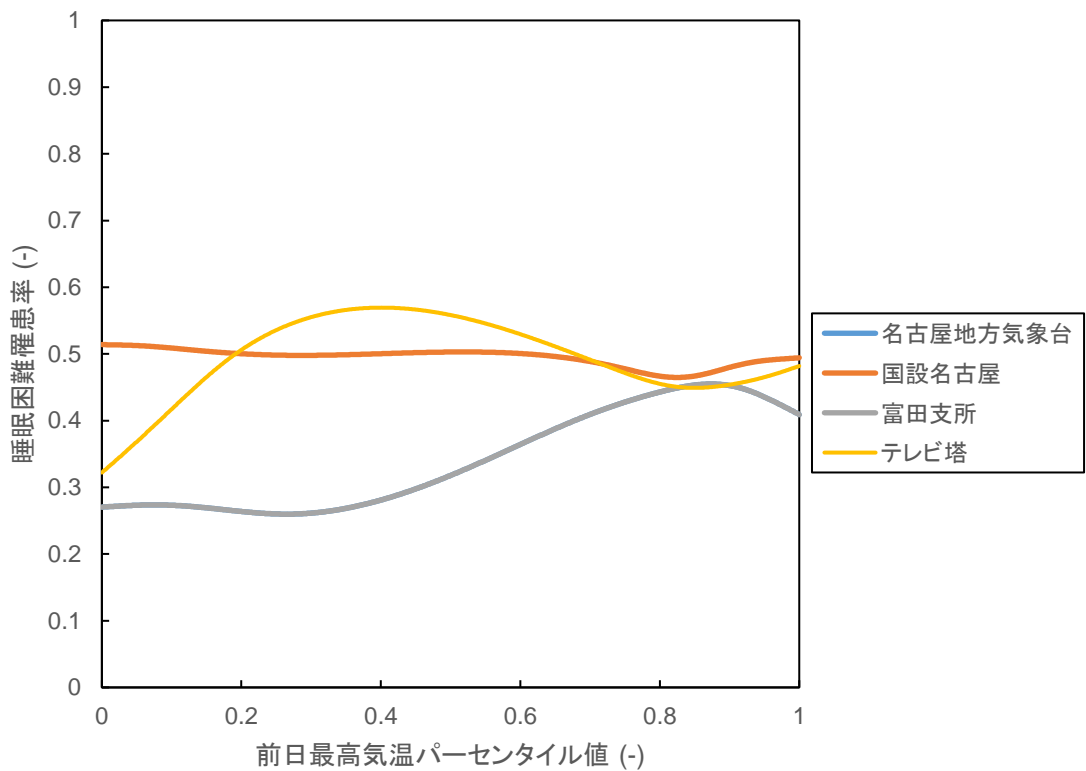


Figure 37 前日最高気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（名古屋）

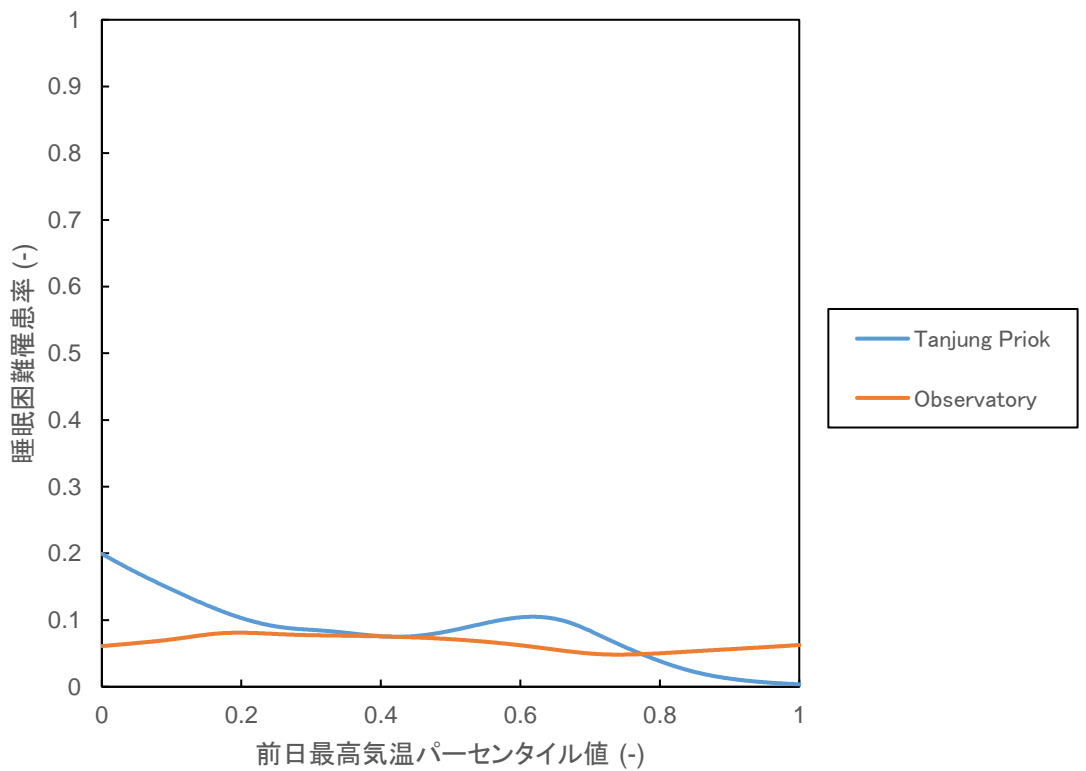


Figure 38 前日最高気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（ジャカルタ）

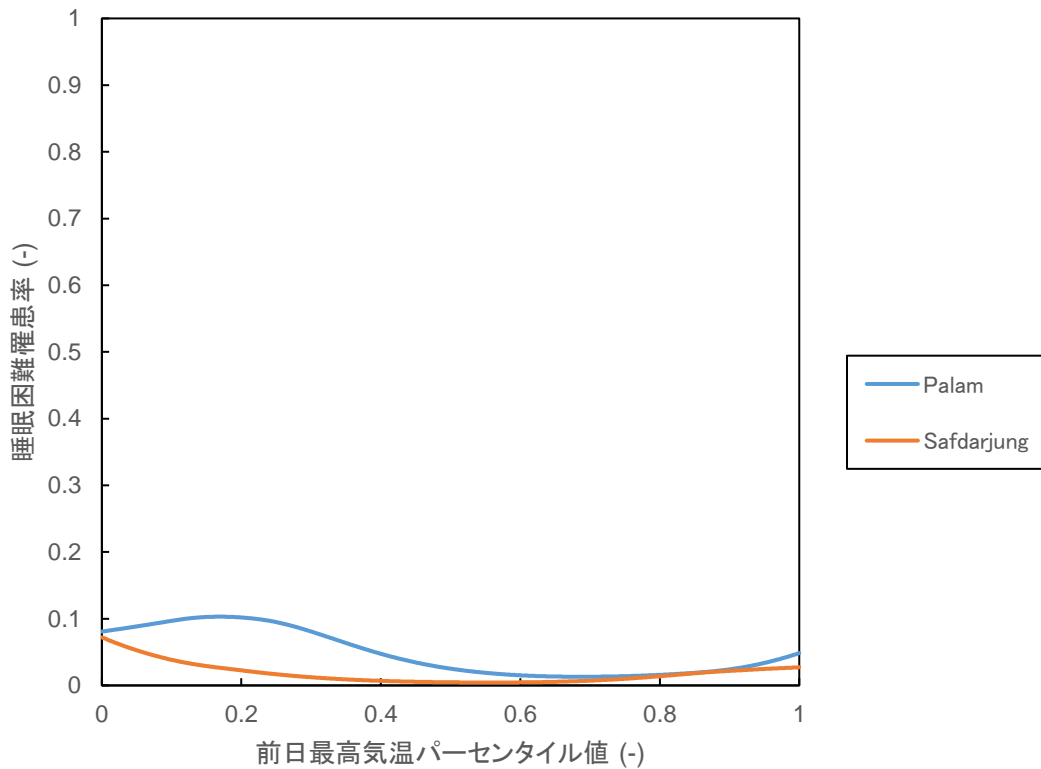


Figure 39 前日最高気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（デリー）

4.2.4.3 日最低気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率の関係

各都市における日最低気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率の関係を Figure 40、Figure 41、Figure 42、Figure 43 に示す。前日最高気温パーセンタイル値の場合と同様にいずれの都市でもグラフは V 字にならず OT を特定することはできなかった。また、グラフの形は各都市で異なっており、一定の傾向は見られなかった。

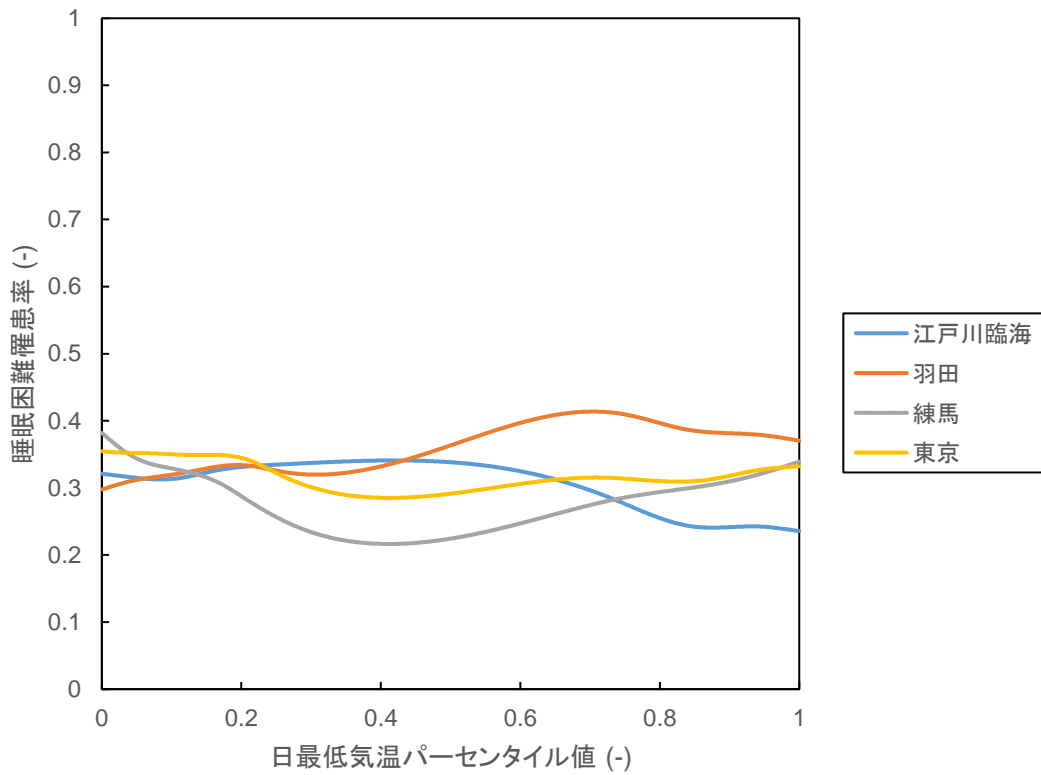


Figure 40 日最低気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（東京）

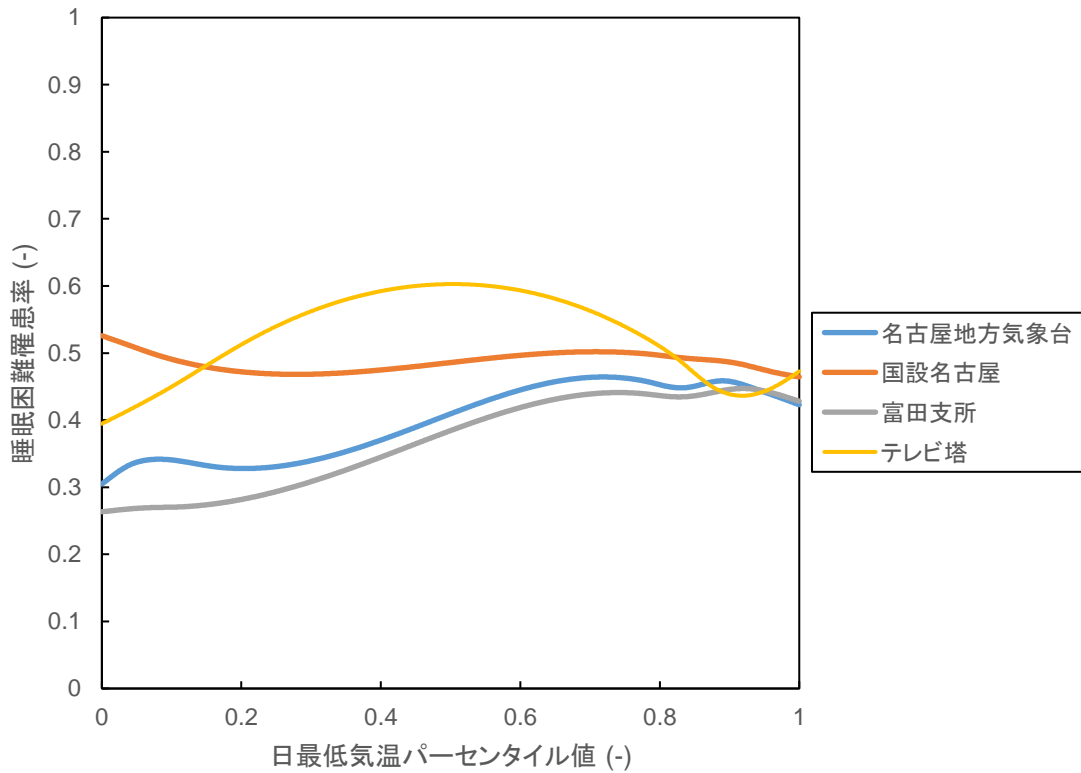


Figure 41 日最低気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率（名古屋）

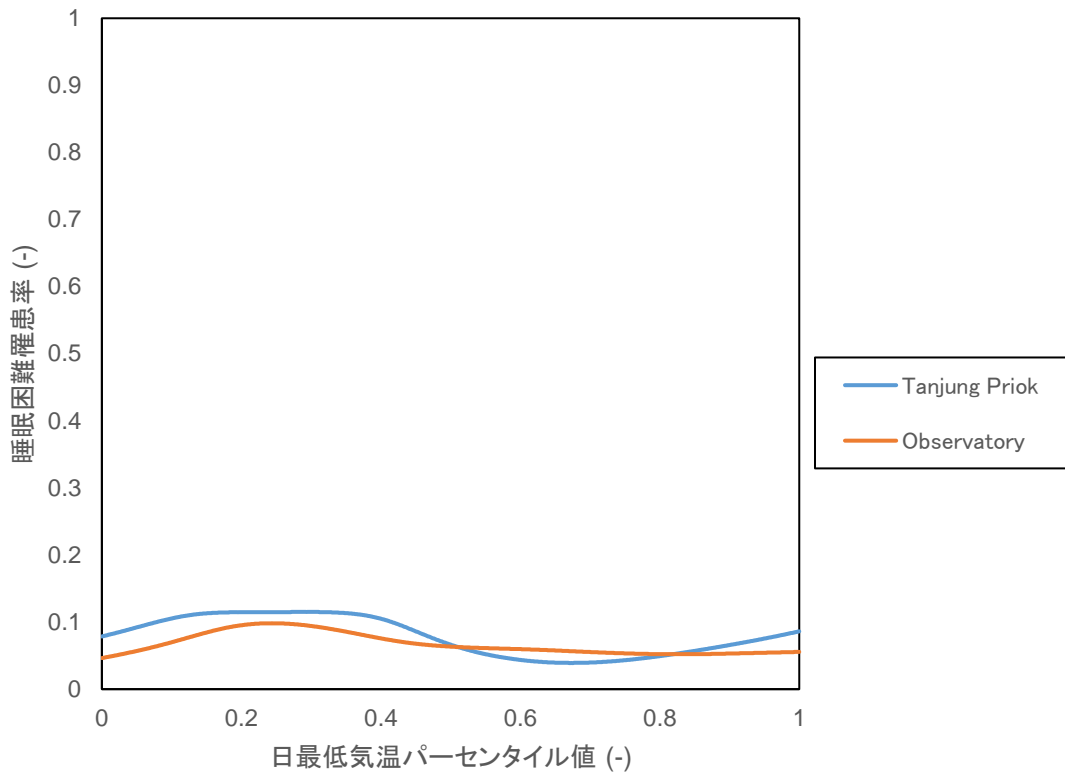


Figure 42 日最低気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率 (ジャカルタ)

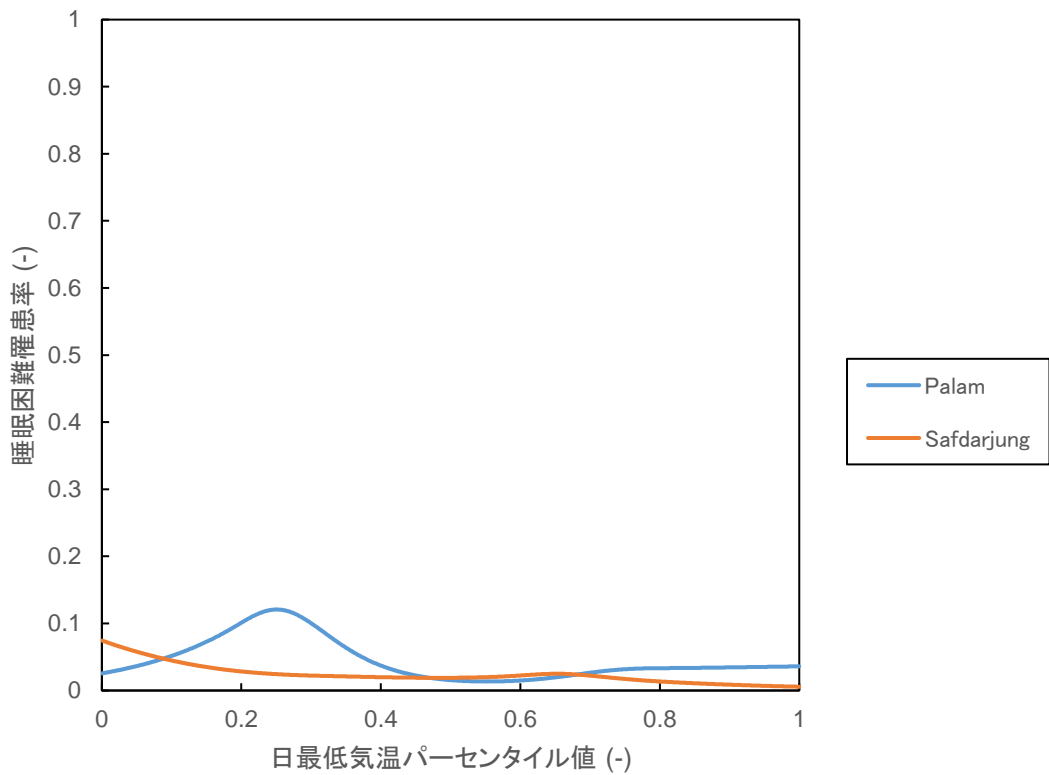


Figure 43 日最低気温パーセンタイル値と睡眠困難罹患率 (デリー)

4.2.5 パネルデータ分析

4.2.5.1 概要

ここまでの解析では、結果をモデルに当てはめることで気温と睡眠困難罹患率の関係を分析してきた。しかし、このようにモデルに当てはめることで誤差やゆがみが出てしまう可能性がある。そこで各被験者についてパネルデータ分析をおこない、ここまでとは異なる結果が得られるか検証をおこなった。偏回帰係数の絶対値から、今回解析した中では地域差の影響が最も大きいことが示された。それ以外にも性別、気温などは比較的影響の大きな要因であることが分かった。

方法としては、各被験者を説明変数、睡眠困難の有無を目的変数として重回帰分析をおこなった。ダミー変数作成のために除いた1名以外の被験者について、偏回帰係数ごとの男女割合や年代割合を求めることで、睡眠困難の有無に影響をもたらす要素を明らかにしようと試みた。

結果を以下に示す。

4.2.5.2 東京

偏回帰係数ごとの男女割合を Table 36 に示す。男女割合と偏回帰係数に明確な関係性は見られなかった。

Table 36 偏回帰係数ごとの男女割合（東京）

	$\beta < 0.01$	$0.01 < \beta < 0.02$	$0.02 < \beta < 0.03$	$0.03 < \beta < 0.04$	$0.04 < \beta$
男性	0.58	0.46	0.46	0.39	0.51
女性	0.42	0.54	0.54	0.61	0.49

また偏回帰係数ごとの各年代の割合を Figure 44 に示す。こちらも各年代の割合と偏回帰係数に明確な関係性は見られなかった。

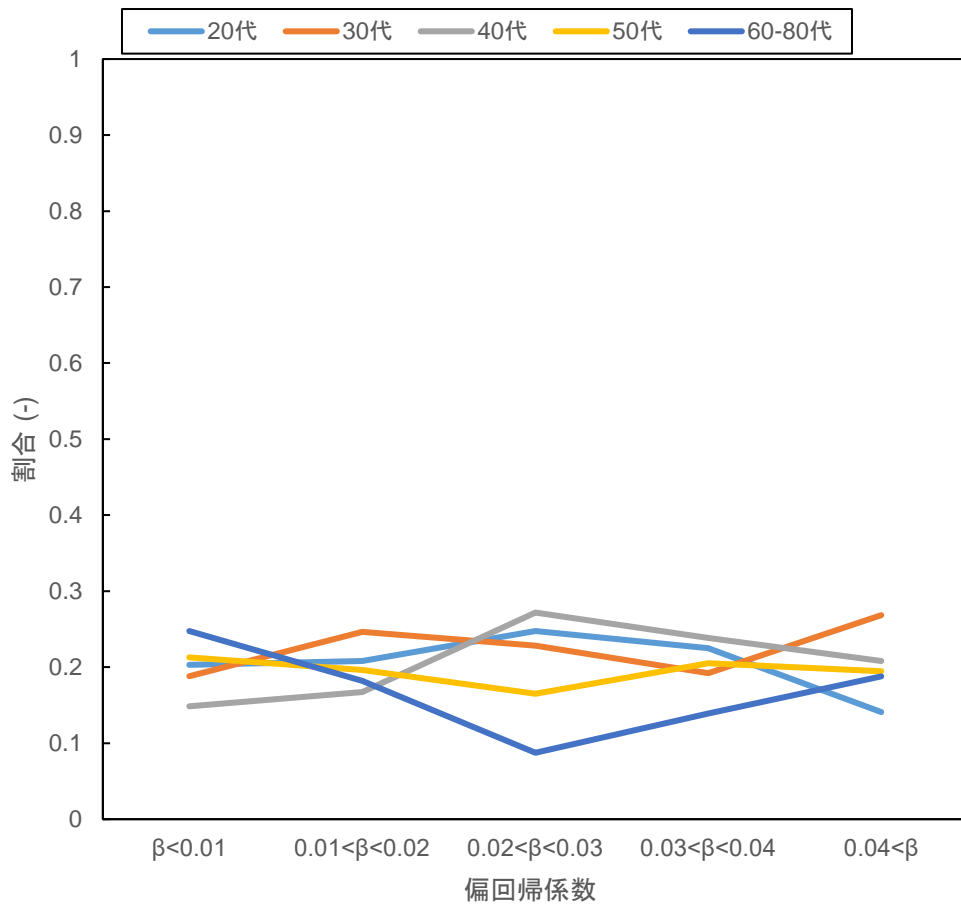


Figure 44 偏回帰係数ごとの各年代の割合（東京）

4.2.5.3 名古屋

偏回帰係数ごとの男女割合を Table 37 に示す。偏回帰係数の絶対値が大きいときに男性割合が大きく、絶対値が小さいときに男性割合は小さかった。この結果から男性が多いほど睡眠困難の割合が少ないという関係性がやや見られた。

Table 37 偏回帰係数ごとの男女割合（名古屋）

	$\beta < -0.04$	$-0.04 < \beta < -0.03$	$-0.03 < \beta < -0.02$	$-0.02 < \beta < -0.01$	$-0.01 < \beta < 0$	$0 < \beta$
男性	0.57	0.56	0.52	0.46	0.42	0.44
女性	0.43	0.44	0.48	0.54	0.58	0.56

また偏回帰係数ごとの各年代の割合を Figure 45 に示す。各年代の割合と偏回帰係数については明確な関係性は見られなかった。

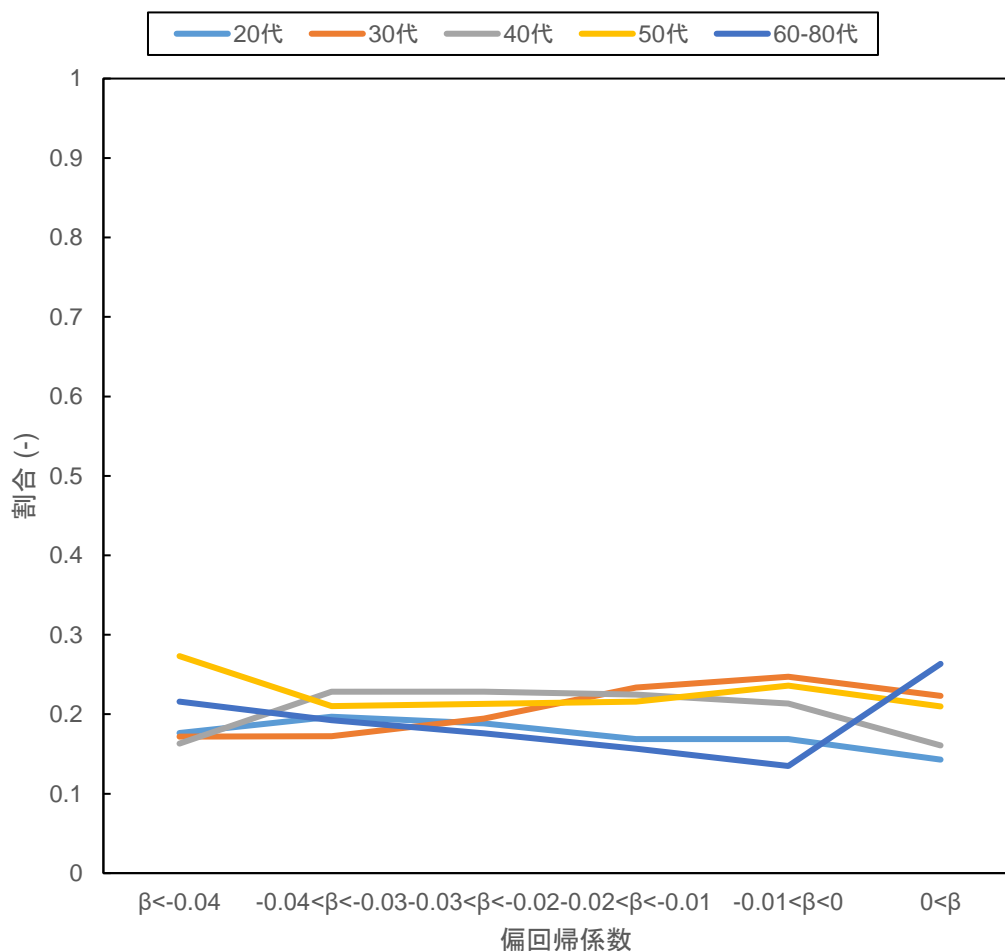


Figure 45 偏回帰係数ごとの各年代の割合（名古屋）

4.2.5.4 ジャカルタ

偏回帰係数ごとの男女割合を Table 38 に示す。男女割合と偏回帰係数に明確な関係性は見られなかった。

Table 38 偏回帰係数ごとの男女割合 (ジャカルタ)

	$\beta < -0.04$	$-0.04 < \beta < -0.03$	$-0.03 < \beta < -0.02$	$-0.02 < \beta < -0.01$	$-0.01 < \beta$
男性	0.51	0.45	0.63	0.27	0.53
女性	0.49	0.55	0.37	0.73	0.47

また偏回帰係数ごとの各年代の割合を Figure 46 に示す。50代、60-80代で偏回帰係数がかなり小さくなったが、これはジャカルタではそもそも50代、60-80代の被験者が非常に少なかったことが関係していると考えられる。

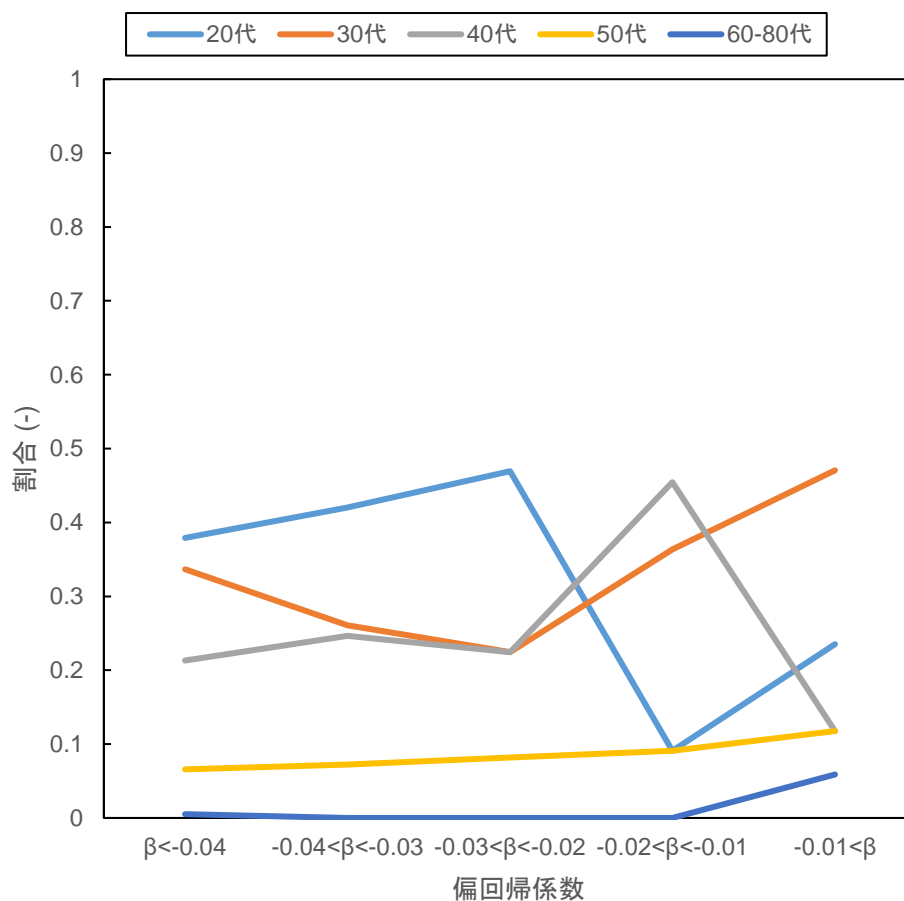


Figure 46 偏回帰係数ごとの各年代の割合 (ジャカルタ)

4.2.5.5 デリー

偏回帰係数ごとの男女割合を Table 39 に示す。男女割合と偏回帰係数に明確な関係性は見られなかった。

Table 39 偏回帰係数ごとの男女割合 (デリー)

	$\beta < -0.04$	$-0.04 < \beta < -0.03$	$-0.03 < \beta < -0.02$	$-0.02 < \beta < -0.01$	$-0.01 < \beta$
男性	0.53	0.50	0.35	0.60	0.20
女性	0.47	0.50	0.65	0.40	0.80

また偏回帰係数ごとの各年代の割合を Figure 47 に示す。デリーでは 60-80 代の被験者がほぼいなかったため、結果に含めていない。こちらでも各年代の割合と偏回帰係数については明確な関係性は見られなかった。

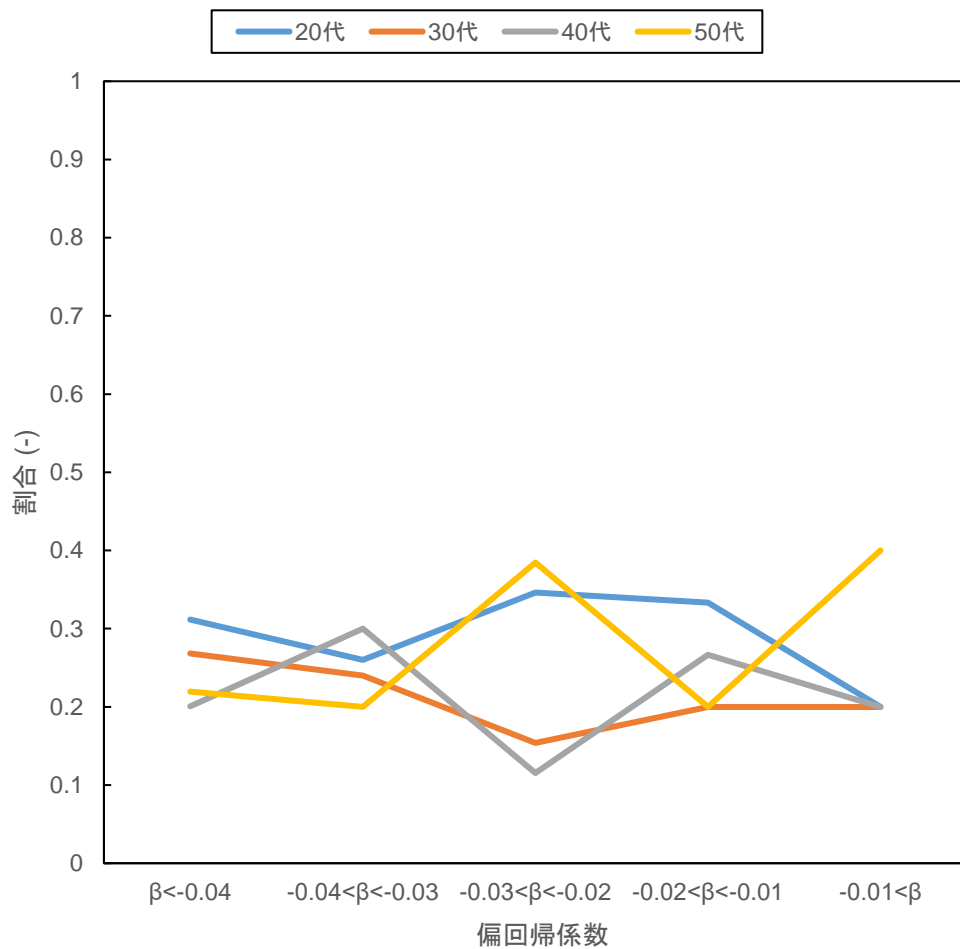


Figure 47 偏回帰係数ごとの各年代の割合 (デリー)

4.2.6 一般化加法モデル (GAM) を用いた分析

4.2.6.1 3次元での結果の図示

日最低気温と年齢を変数とし睡眠困難罹患率の関係を求めた結果を Figure 48 に示す。使用したデータはジャカルタとデリーの調査のものである。

少なくともジャカルタとデリーにおいては、日最低気温と年齢を変数とした場合、日最低気温の方が影響が大きいことが分かる。また、日最低気温が低いときと高いときに睡眠困難罹患率は高くなり、中間では睡眠困難罹患率は低いという結果になった。さらに、年齢の影響は日最低気温に比べると小さいが、高齢者の方が睡眠困難罹患率は高い傾向にある。

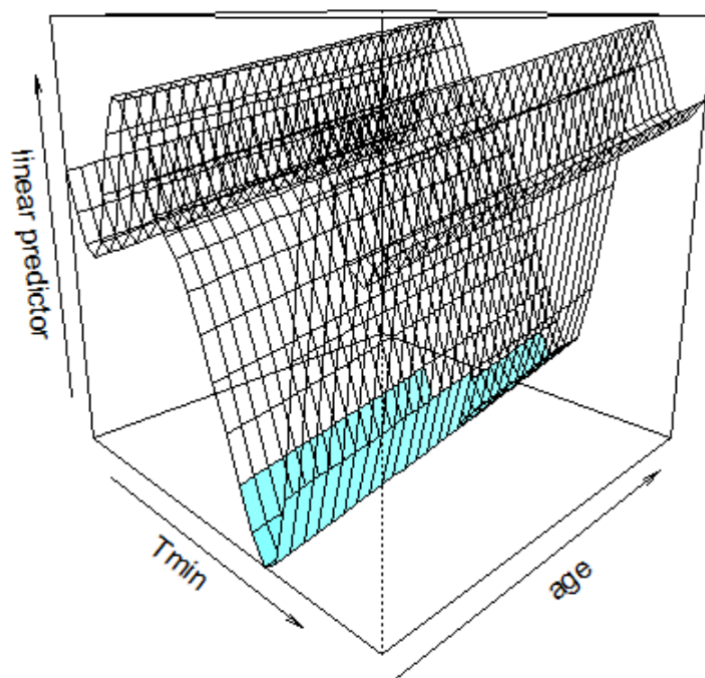


Figure 48 ジャカルタとデリーにおける日最低気温・年齢と睡眠困難罹患率の関係

また、Table 4 に示した全調査の中で質問された複数のパラメータと睡眠困難罹患率の関係についても GAM を用いて求めた。使用したパラメータを Table 40 に示す。また、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=木造という条件にし地域別に解析したものを Figure 49 に示す。

Table 40 GAM に用いた変数

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
性別	男性	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
気温	日最低気温(°C)	連続変数
エアコン有無	エアコン有	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

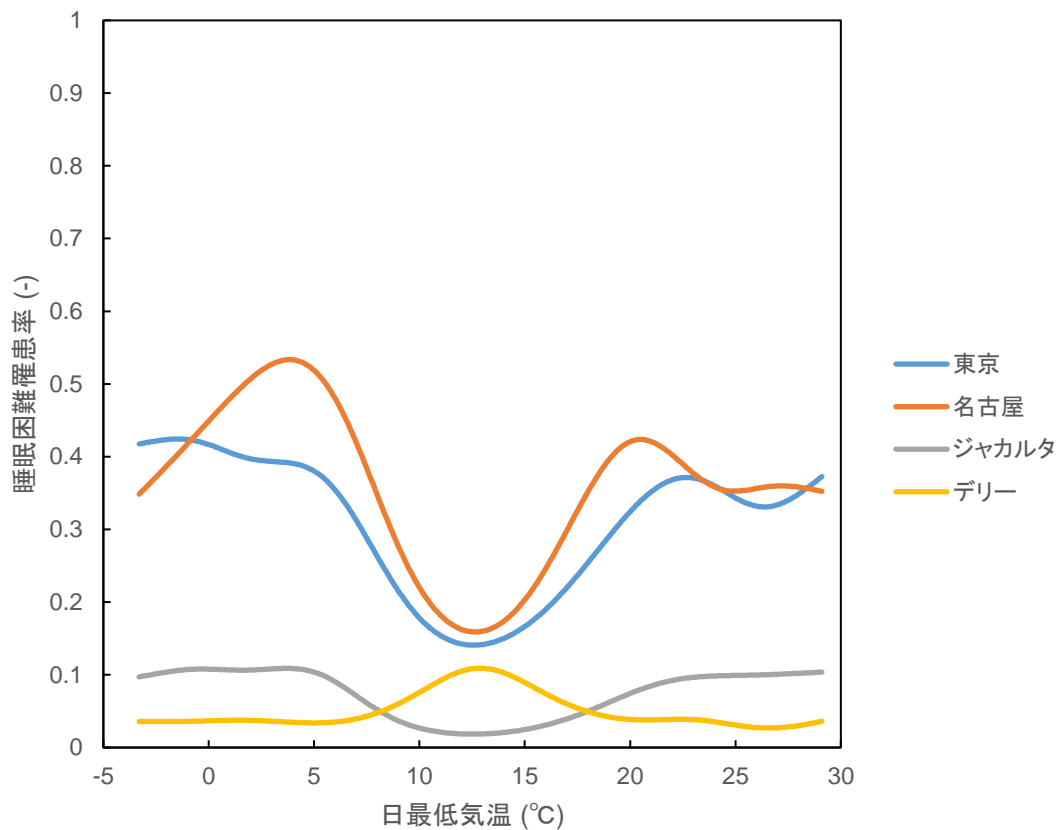


Figure 49 さまざまな変数と睡眠困難罹患率の関係

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[36]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、不快感を抱きやすいためだと考えられる。

5 結論と今後の展望

5.1 結論

本研究では、世界的な人口増加や都市化の進行に伴い今後も地球温暖化やヒートアイランド現象が進行し、人間健康に対する影響が増加する可能性があることに着目した。そこで、既往研究がおこなわれてきた日本の東京、名古屋、インドネシアのジャカルタ、インドのデリーにおける調査結果を統合し分析をおこなうことで、季節差や地域差の影響を評価した。

PSQI について各地域の点数を比較すると、東京や名古屋の方がジャカルタやデリーに比べて睡眠困難罹患率が高いことが分かった。次に **SQIDS** の結果に関して睡眠困難の有無を説明変数、その他さまざまな条件を目的として重回帰分析をおこなったところ、今回解析した中では地域差の影響が最も大きく、それ以外にも性別、年齢、気温などが比較的影響の大きな要因であることが分かった。日最低気温と睡眠困難罹患率の関係を、さまざまな条件ごとに求めたところ、年代による差は明確には見られなかった。また、男女別での比較では女性の方が睡眠困難罹患率がやや高いという結果になった。住居の条件別の分析については、住居種類別では明確な差は見られなかったが、住宅構造別では木造、鉄骨造で睡眠困難罹患率がやや高くなった。エアコン有無別の分析では、エアコンを使用している方が睡眠困難罹患率が高いという結果になった。パネルデータ分析では、睡眠困難の有無を目的変数、各被験者を説明変数として重回帰分析をおこない男女割合・各年代の割合と偏回帰係数の関係をグラフ化したが、これらに関係性は見られなかった。最後に **GAM** の使用によって条件を指定することで睡眠困難罹患率を特定できることを示した。

5.2 本研究の課題と今後の展望

本研究の課題を以下に挙げる。

- ① ジャカルタとデリーの被験者数が不足していることにより、結果に誤差が生まれやすかったと考えられる。
- ② 地域により年代構成など被験者の条件が異なるために、地域差による影響とそのほかの影響を切り離して考察できていない。
- ③ 既往の調査で聞かれていない項目については検証ができておらず、睡眠に影響を与えると考えられる項目を仮説建て、新たに調査をおこなう必要がある。
- ④ 今までに調査がおこなわれていない地域については実態が分かっていない。

今後の展望としては、調査項目や被験者数を増やしたり地域ごとに年代構成に大きな差が出ないように工夫した追加調査をおこなうことで、各条件による睡眠困難への影響をより正確に把握できる可能性がある。また、調査がおこなわれていない地域についても調査をおこなうことで地域ごとの傾向なども明らかにできる可能性がある。

参考文献

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : AR5 Climate Change 2013 : The Physical Science Basis — IPCC, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (参照 2020 年 9 月 2 日) .
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : AR5 Synthesis Report : Climate Change 2014 — IPCC, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (参照 2020 年 9 月 2 日) .
- [3] 外務省 : 2020 年以降の枠組み : パリ協定」, https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000119.html (参照 1 月 07, 2021).
- [4] 環境省 : 環境省_地球温暖化対策計画, <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/taisaku.html> (2020 年 12 月 30 日).
- [5] 環境省 : 環境省_ヒートアイランド対策ガイドライン平成 24 年度版, https://www.env.go.jp/air/life/heat_island/guideline/h24.html (参照 2020 年 9 月 10 日).
- [6] 環境省 : 平成 15 年度 ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査検討業務報告書, <https://www.env.go.jp/air/report/h16-04/index.html> (参照 2020 年 9 月 10 日).
- [7] 石田哲也, PRI Rev., 2018, 68, 88–93.
- [8] United Nations : World Population Prospects - Population Division - United Nations, <https://population.un.org/wpp/Graphs/DemographicProfiles/Line/900> (参照 2020 年 12 月 13 日).
- [9] Demographia : Demographia World Urban Areas, 2020.
- [10] International Monetary Fund : International Monetary Fund - Homepage, <https://www.imf.org/external/index.htm> (参照 2020 年 12 月 13 日)
- [11] United Nations : World Urbanization Prospects - Population Division - United Nations, <https://population.un.org/wup/> (参照 2020 年 12 月 30 日).
- [12] U. Nations : DESA, <https://www.un.org/en/desa> (参照 12 月 30, 2020).
- [13] 井原智彦ほか, 日本建築学会環境系論文集, 2008, 73, (634), 1407–1415.
- [14] 三宅康史ほか, 日本救急医学会雑誌, 2010, 21, (5), 230–244.
- [15] 星秋夫, 稲葉裕, 日本生気象学会雑誌, 2002, 39, (1), 37–46.
- [16] 伊藤武彦ほか, 岡山大学大学院教育学研究科研究集録, 2009, 140, 7–11.
- [17] 井原智彦ほか, 日本建築学会環境系論文集, 2011, 76, (662), 459–467.
- [18] 宮沢和貴ほか, 日本建築学会全国大会学術講演梗概集, 2010, 1119–1120.
- [19] 梁瀬度子, Ann. Physiol. Anthropol. 1985, 4, (4), 331–333.
- [20] 岡野泰久, 井原智彦, 玄地裕, 日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, 2007, 50–50.
- [21] 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.
- [22] 草間蓮, 東京大学大学院修士論文, 2017.
- [23] M. R. Carnethon, et al., Sleep Med., 2016, 18, 50–55.
- [24] T. Lallukka, et al., Sleep Med., 2012, 13, (6), 680–685.

- [25] M. A. Short, et al., *Health Educ. Behav.*, 2013, 40 (3), 323–330.
- [26] Buysse, et al., *Psychiatry Res.* 1989, 28, (2), 193–213.
- [27] Curcio, G. et al., *Neurol. Sci.* 2013, 34, (4), 511–519.
- [28] Sohn, S. I. et al., *Sleep Breath.* 2012, 16, (3), 803–812.
- [29] 土井由利子, *精神科治療学*, 1998, 13, 755–763.
- [30] OGIMET : Ogimet home page, <https://www.ogimet.com/home.phtml.en> (参照 2020年9月2日).
- [31] Koh Mizuno, et al., *Sleep*, 1999, 22, (6), 767–773.
- [32] M. Hashizaki, et al., *Chronobiol. Int.*, 35, (7), 933–945.
- [33] M. Hall et al., *Biol. Psychol.*, 2008, 77, (2), 217–222.
- [34] S. Karjalainen, *Build. Environ.* 2007, 42, (4), 1594–1603.
- [35] 本田靖, 高橋潔, *地球環境* 2009, 14, 2–257.
- [36] 「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 3月01, 2021).

付録 A 前日最高気温と睡眠困難罹患率の関係

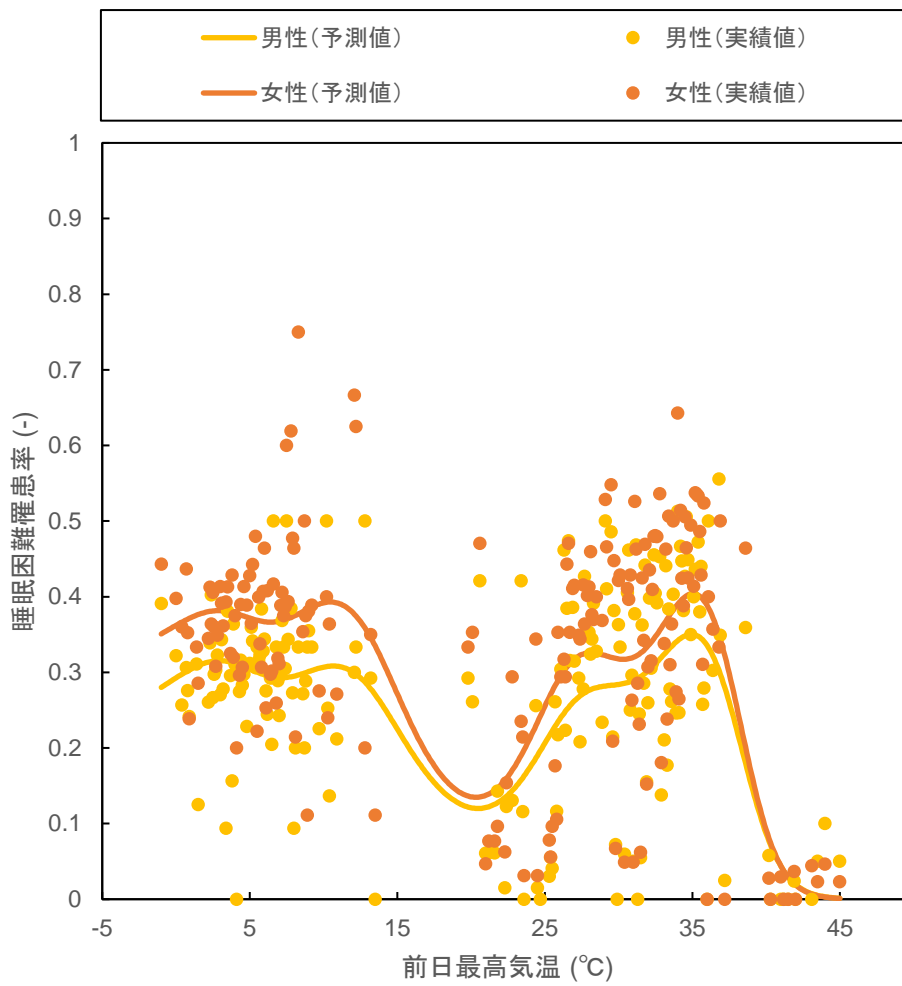


Figure 50 前日最高気温と睡眠困難罹患率の関係 (男女別)

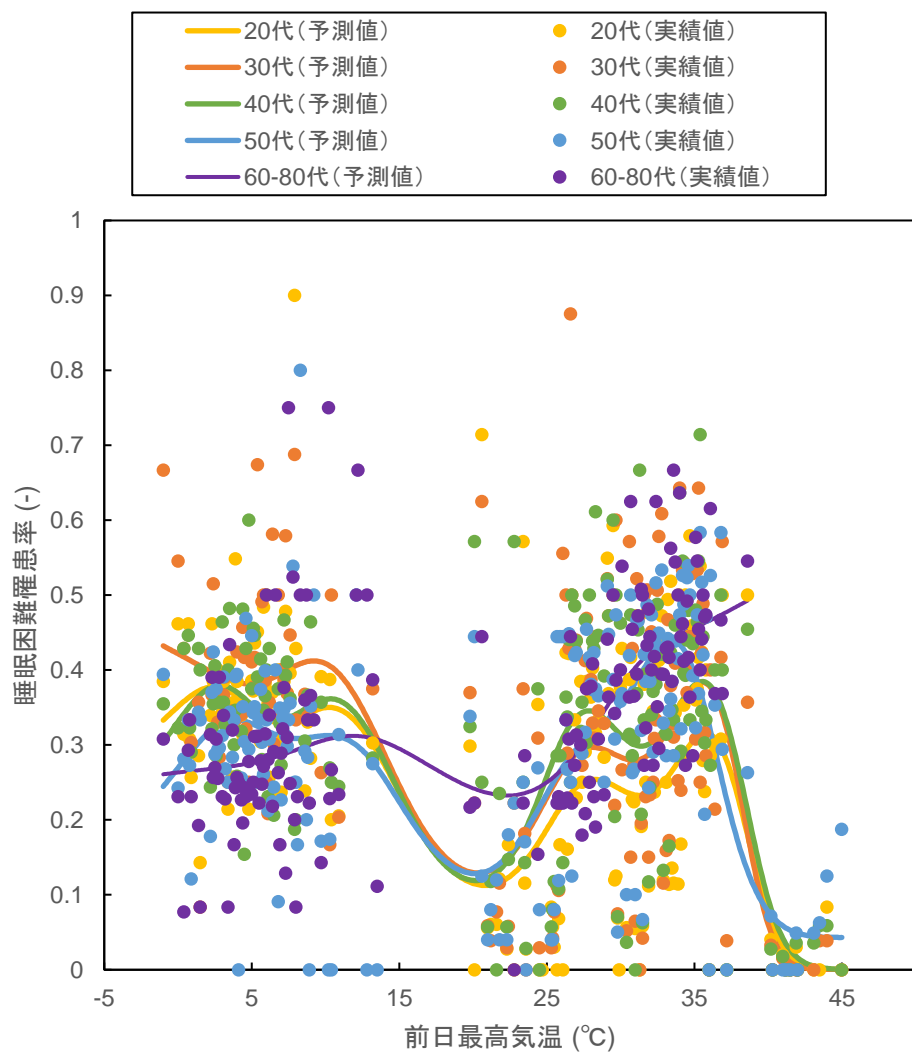


Figure 51 前日最高気温と睡眠困難罹患率の関係 (年代別)

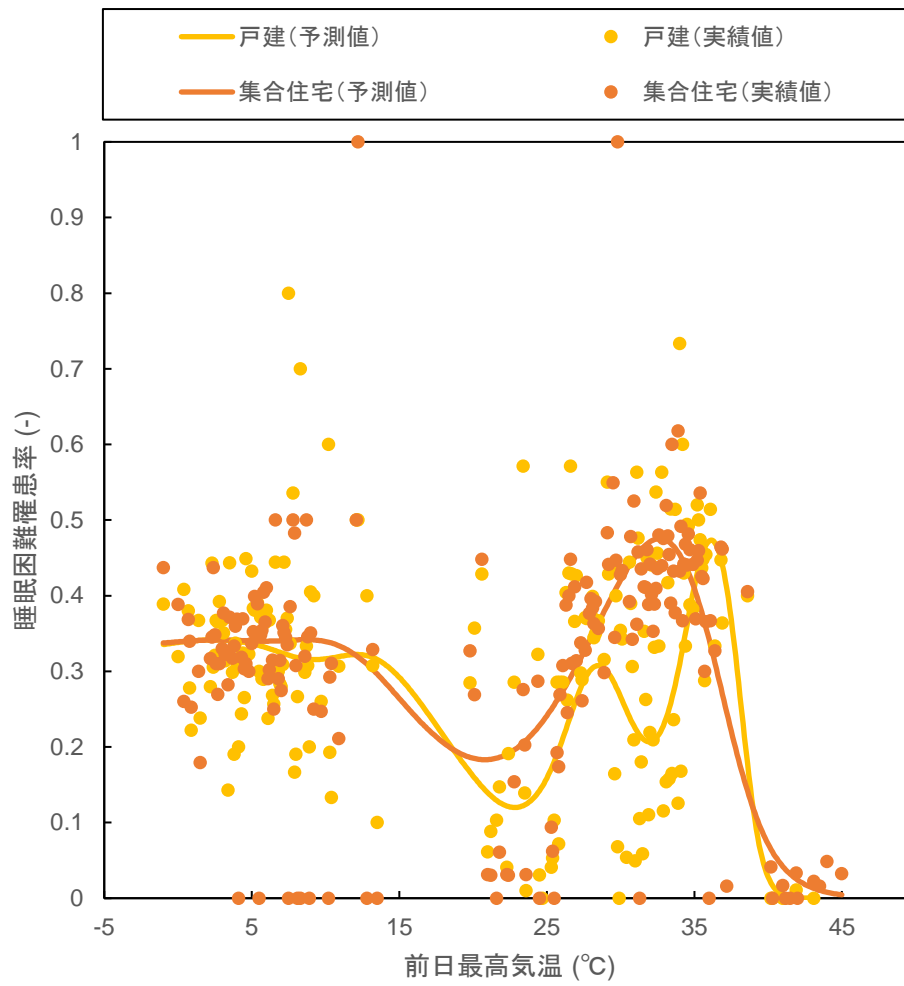


Figure 52 前日最高気温と睡眠困難罹患率の関係 (住宅種類別)

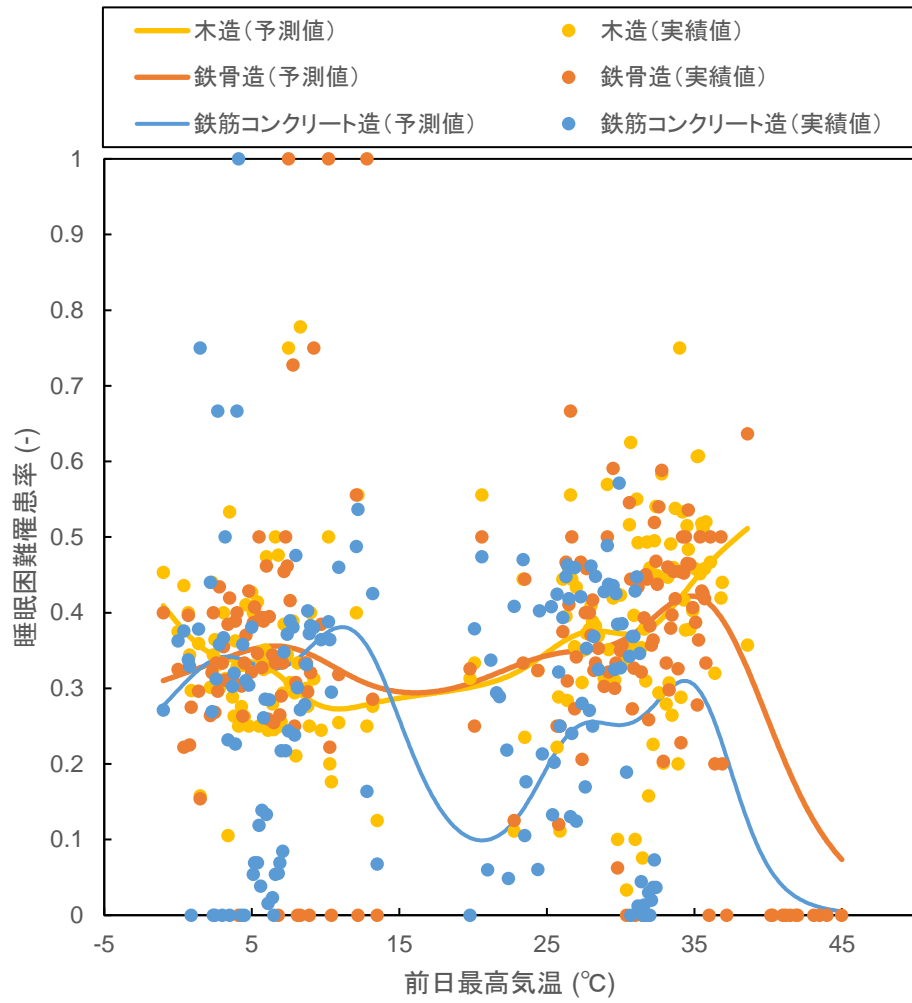


Figure 53 前日最高気温と睡眠困難罹患率の関係 (住宅構造別)

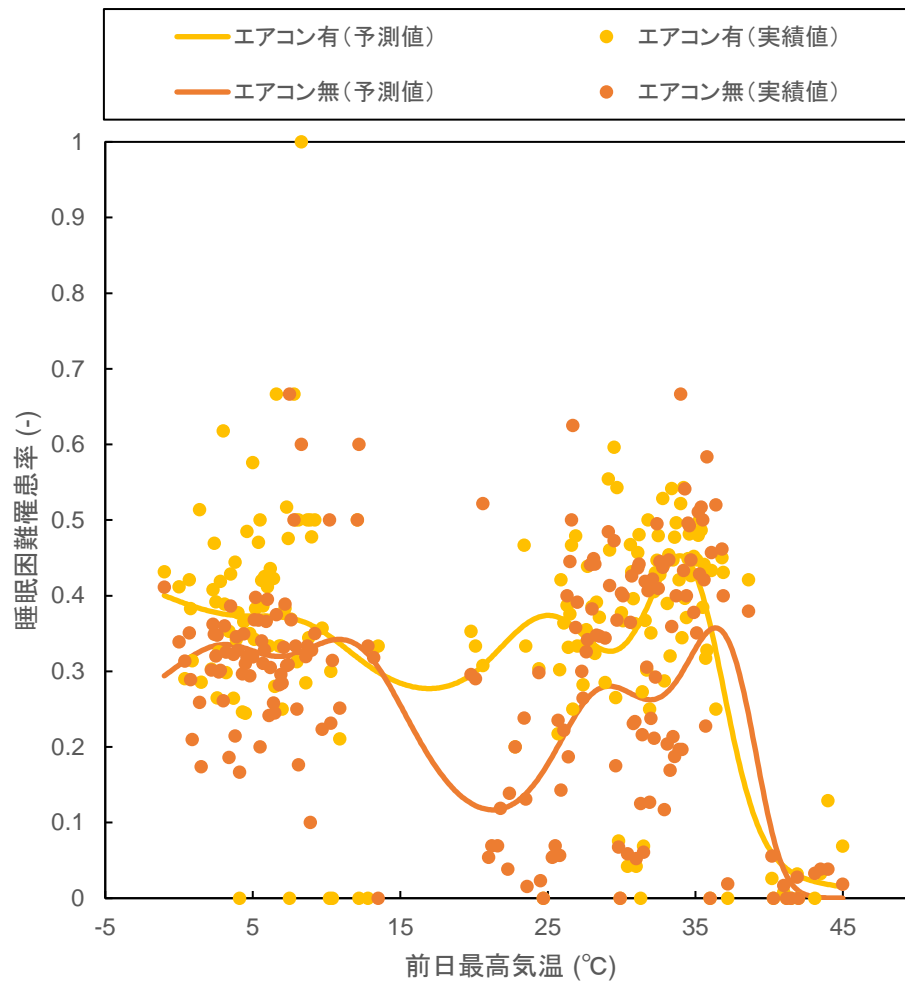


Figure 54 前日最高気温と睡眠困難罹患率の関係 (エアコン有無別)

付録 B 就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係

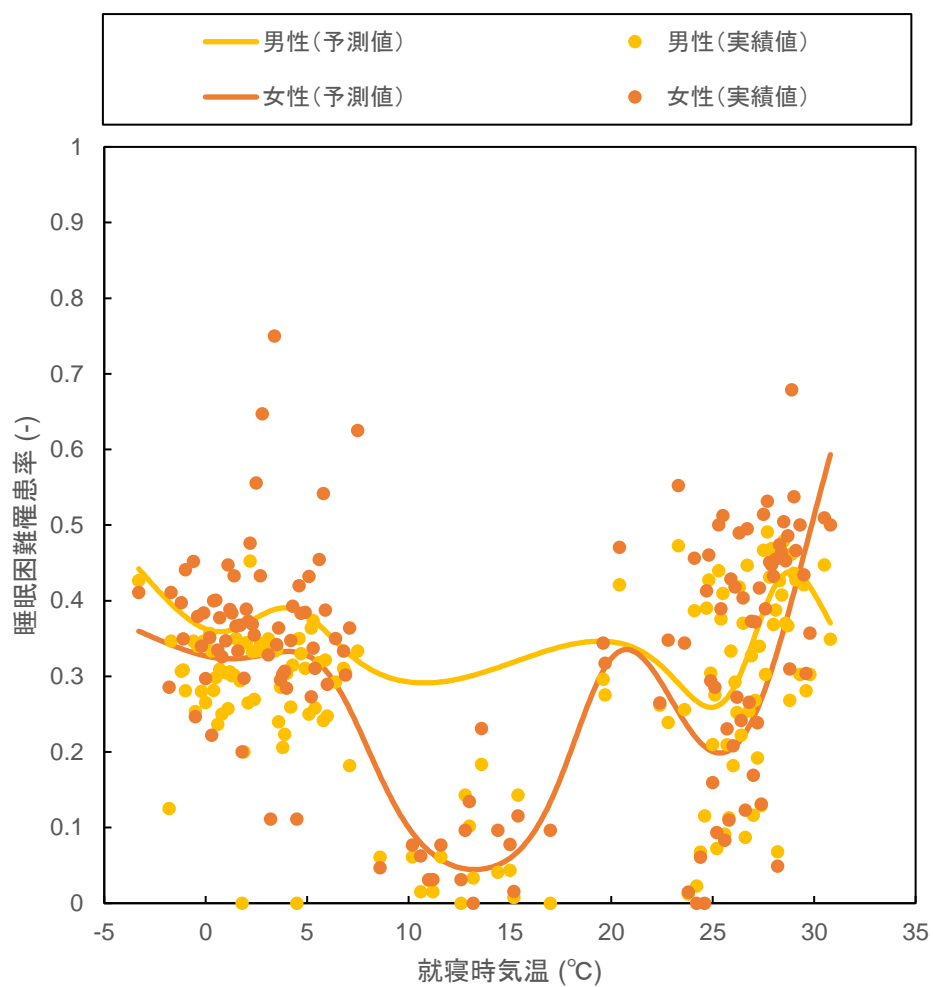


Figure 55 就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係 (男女別)

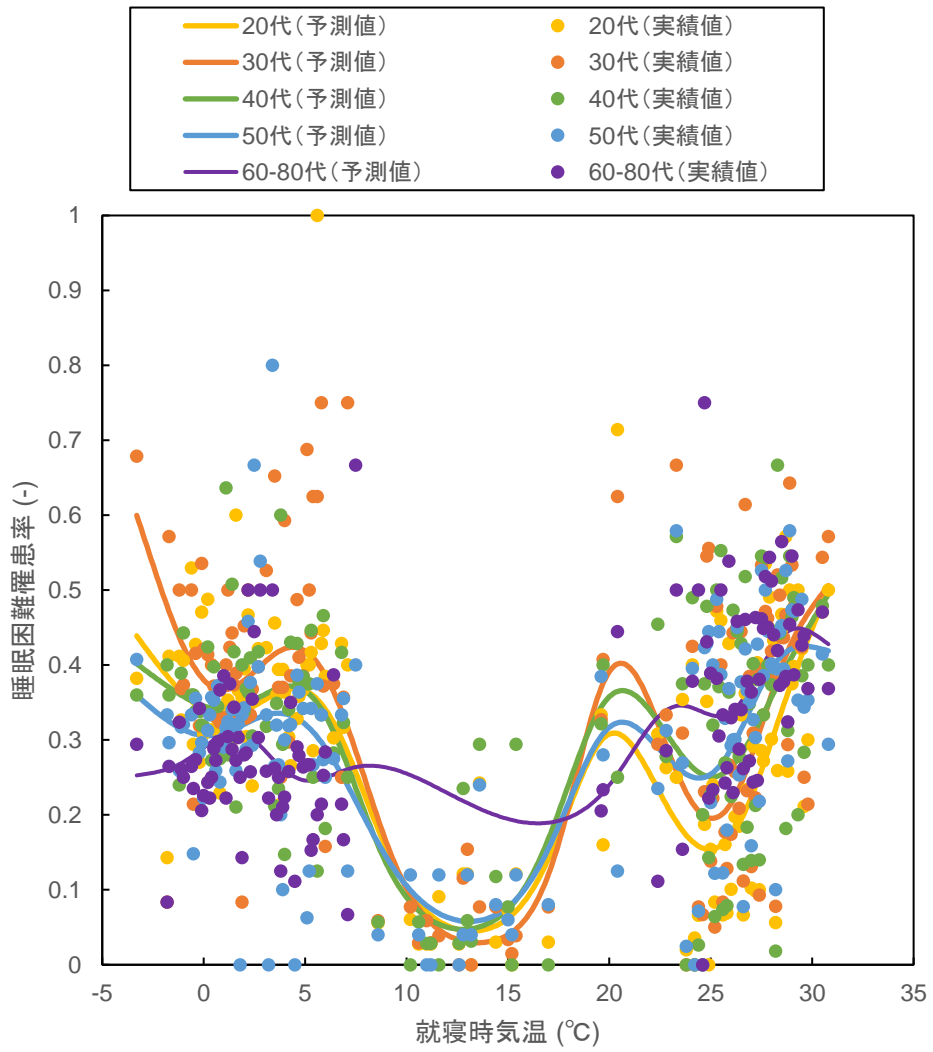


Figure 56 就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係 (年代別)

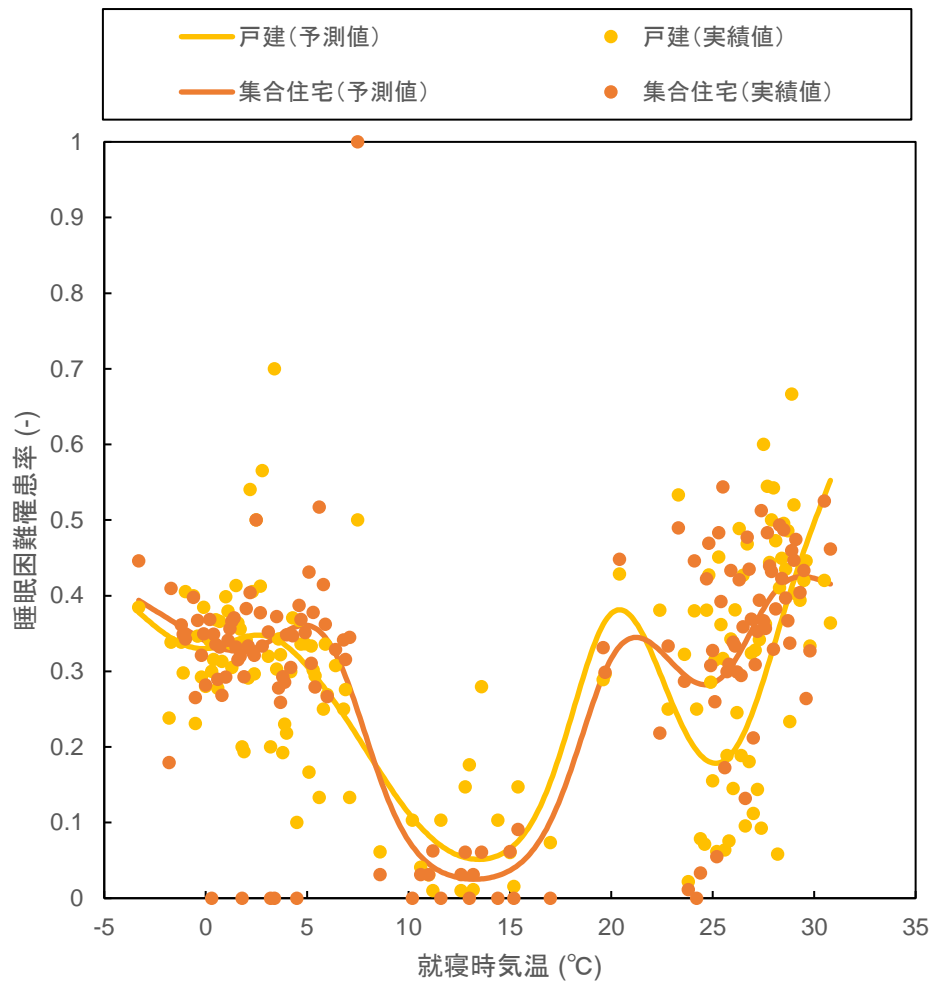


Figure 57 就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係 (住宅種類別)

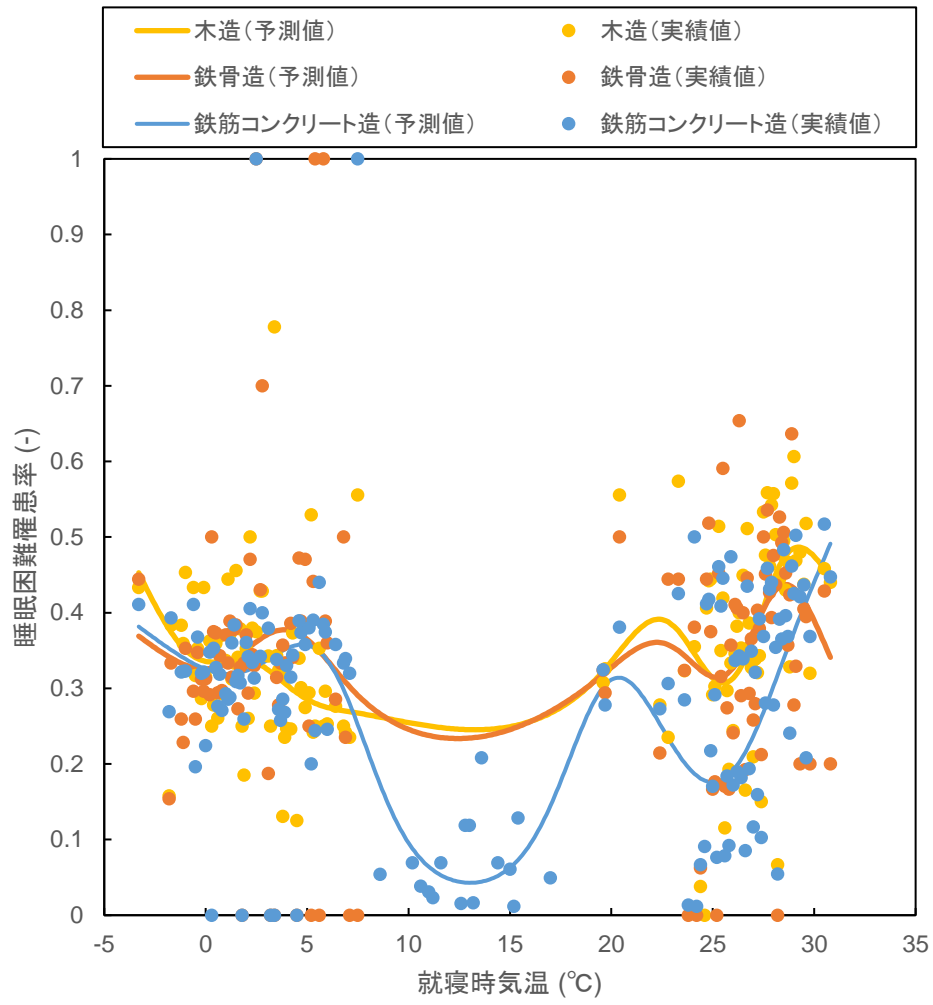


Figure 58 就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係 (住宅構造別)

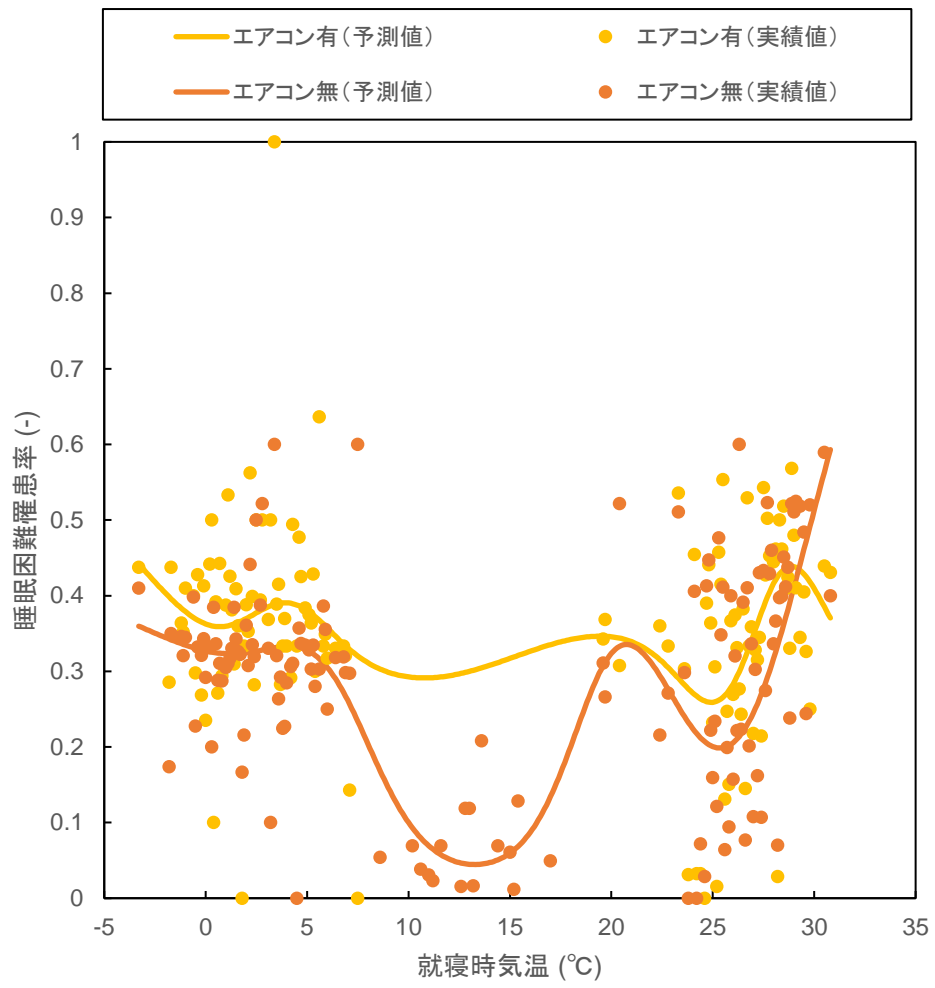


Figure 59 就寝時気温と睡眠困難罹患率の関係 (エアコン有無別)

謝辞

本研究は2019年4月から2021年3月までの約2年間にわたり、東京大学大学院新領域創成科学研究科環境システム学専攻井原研究室において行われたものです。本研究を行うにあたり、多くの方々にご指導、ご助言を頂きました。この場をお借りして皆様に感謝の意を申し上げます。

本研究の機会を与えてくださった井原智彦准教授に感謝申し上げます。この2年間、先生から毎週の面談やゼミなどを通しさまざまなサポートをしていただきました。また、副査の大友順一郎准教授には、副査面談を通じて全体の構成作りなど大変有益なご助言をいただきましたことを感謝申し上げます。

井原研究室に在籍していた先輩、同輩、後輩には、研究に行き詰まった際のアドバイスや多くの刺激をいただき、研究の上での励みになりました。皆様に深く感謝いたします。

秘書の久保さんに感謝いたします。事務手続きなどのサポートをしてくださったおかげで快適に研究室生活を過ごすことが出来ました。

最後に温かく見守ってくれた家族に感謝いたします。