

平成 28 年度

修士論文

ジャカルタにおける暑熱に伴う軽度健康影響と
エアコン導入効果の定量評価

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

47-156665 草間 蓮

指導教員 井原 智彦 准教授

2017 年 2 月 21 日提出

修士論文目次

第1章 序論	7
1.1 都市の高温化と課題	7
1.1.1 地球温暖化問題	7
1.1.2 ヒートアイランド現象	10
1.1.3 都市の高温化によって生じる課題	13
1.1.4 急速に進む都市化	14
1.2 ジャカルタの都市化とヒートアイランド現象	17
1.3 気候変動に伴う健康影響	20
1.3.1 全球スケールにおける将来推計	20
1.3.1.1 IPCC の報告書	20
1.3.1.2 WHO の報告書	21
1.3.2 暑熱に伴う健康影響	22
第2章	23
2.1 既往研究とその課題	23
2.2 本研究の目的	23
第3章 研究手法	24
3.1 概要	24
3.1.1 評価項目	24
3.1.2 健康影響評価指標の選定	24
3.1.4 DALY の計算手法	27
3.1.5 回帰式の選定	29
3.2 熱中症の推計手法	29
3.2.1 熱中症とは	29
3.2.2 熱中症データ	30
3.2.3 日最高 WBGT による推定	30
3.3.2.1 WBGT の近似式	35
3.3.2.2 日照時間を用いた日射量の推定	35
3.3.4 日最高気温による推定	38
3.3.4.1 日最高気温と死亡数の関係	38
3.3.4.2 至適気温を用いたジャカルタへの適用	40
3.3 睡眠困難の推計手法	42
3.3.1 疫学調査概要	42
3.3.1.1 2016 年 2 月、10 月	43
3.3.2 睡眠困難の評価	44

3.3.2.1	日本語版ピッツバーグ睡眠質問票（PSQI-J）	44
3.3.2.2	毎日の睡眠に関する質問票（SQIDS）	45
3.3.4	睡眠困難被害関数の作成	46
3.3.5	適応策（エアコン）導入効果の評価手法	47
3.4	疲労の推計	47
3.4.1	疲労の評価手法	47
3.4.1.1	Chalder の疲労尺度	47
3.4.1.2	自覚症状	48
3.4.1.3	Numerical Rating Scale（NRS）	48
第4章	結果と考察	49
4.1	熱中症	49
4.2	睡眠困難	49
4.2.1	1回目疫学調査	49
4.2.1.1	PSQI 得点分布	49
4.2.1.2	PSQI 要素分析と罹患率	50
4.2.1.3	エアコン導入効果の評価（2月）	51
4.2.2	2回目疫学調査（2016年10,11月）	52
4.2.2.1	PSQI 得点分布	52
4.2.2.2	PSQI 要素分析と罹患率	54
4.2.2.3	エアコン導入効果の評価（10,11月）	55
4.2.3	1回目、2回目睡眠調査メタ解析：エアコン導入効果	57
4.3	疲労	58
4.3.1	1回目疫学調査	58
4.3.1.1	自覚症状	58
4.3.1.2	Numerical Rating Scale（NRS）	59
4.3.1.3	エアコン導入効果の評価	64
4.3.2	2回目疫学調査	65
4.3.2.1	自覚症状	65
4.3.2.2	Numerical Rating Scale（NRS）	66
4.3.2.3	Chalder の疲労尺度	66
4.3.2.4	エアコン導入効果の評価	72
4.3.3	1回目、2回目疫学調査メタ解析：エアコン導入効果	73
第5章	結論	75
5.1	本研究の結論	75
5.1.1	熱中症	75
5.1.2	睡眠困難	75

5.1.3 疲労	75
5.1.4 全体を通して.....	75
5.2 今後の展開	76
参考文献	77
付録.....	80
Jakarta における過去 1 か月の睡眠に関する疫学調査質問票.....	80
Jakarta における毎日の睡眠に関する疫学調査質問票.....	94

図表目次

Figure 1 RCP2.6~8.5 における 1950 年～2100 年までの推計：(a) 世界の平均気温変化 (b) 北極の 9 月の氷河面積 (c) 世界の海洋表面 pH	7
Figure 2 2013 年 8 月 11 日 05 時 (左図)、15 時 (右図) における関東地方の気温	10
Figure 3 関東地方における 2013 年 8 月の月平均気温の都市あり実験結果 (左図)、都市なし実験結果 (中央図)、都市化の影響による月平均気温の変化：「都市あり実験」と「都市なし実験」の差 (右図) (出典：文献[5])	12
Figure 4 都市における気候変動による環境影響.....	13
Figure 5 世界の主要な都市人口の年次推移	14
Figure 6 世界の都市人口	15
Figure 7 東京ー横浜とジャカルタの人口成長の予測.....	16
Figure 8 ジャカルタにおける都市人口の年次推移	17
Figure 9 ジャカルタの土地利用変化 (2001 年 9 月：左図、2014 年 9 月：右図)	18
Figure 10 日中の気温分布 (ジャカルタ市の断面 北-南)	19
Figure 11 日中の気温分布 (ジャカルタ市の断面 東-西)	19
Figure 12 気候変動に伴う追加死亡数の推計	21
Figure 13 気候変動に伴う熱ストレスの追加死亡数の推計	21
Figure 14 真夏に経験したことがある症状.....	22
Figure 15 LIME 開発の目的.....	25
Figure 16 LIME 概要.....	26
Figure 17 YLL と YLD の概念図.....	27
Figure 18 暑熱環境下の身体の様子.....	29
Figure 19 WBGT の測定装置 (左) と測定の様子 (右)	30

Figure 20	東京都昼間人口あたり搬送数	33
Figure 21	東京都昼間人口あたり死亡数	33
Figure 22	東京都夜間人口あたり搬送数	34
Figure 23	東京都夜間人口あたり死亡数	35
Figure 24	石垣島における日射量推定式	37
Figure 25	ジャカルタの 2015 年における日最高 WBGT の推定	37
Figure 26	日最高気温と熱中症死亡数の関係	38
Figure 27	日最高 WBGT と熱中症死亡数の関係	39
Figure 28	日最高気温と日別死亡数の関係	40
Figure 29	東京の被害関数のジャカルタへの適用	41
Figure 30	2016 年 2 月調査 過去 1 か月間の就寝時刻	46
Figure 31	2016 年 10,11 月調査 過去 1 か月間の就寝時刻	46
Figure 32	Numerical Rating Scale	48
Figure 33	1 回目疫学調査（初日）PSQI 得点分布	49
Figure 34	1 回目疫学調査（3 週目）PSQI 得点分布	50
Figure 35	エアコン使用有無別の睡眠困難被害関数(2 月)	51
Figure 36	2 回目疫学調査（初日）PSQI 得点分布	52
Figure 37	2 回目疫学調査（3 週目）PSQI 得点分布	53
Figure 38	エアコン使用有無別の睡眠困難被害関数（10,11 月）	55
Figure 39	疲労被害関数（2 月 + 10,11 月）	57
Figure 40	自覚症状と最高気温の関係	58
Figure 41	NRS と最高気温の関係	59
Figure 42	疲労	60
Figure 43	休養	60
Figure 44	始動時	60
Figure 45	眠気	61
Figure 46	継続	61
Figure 47	活力	61
Figure 48	筋力低下	62
Figure 49	弱体	62
Figure 50	集中	62
Figure 51	考え	63
Figure 52	滑舌	63
Figure 53	言葉	63
Figure 54	記憶力	64
Figure 55	興味喪失	64

Figure 56 疲労被害関数（2月）	65
Figure 57 自覚症状と最高気温の関係（10月）	65
Figure 58 NRS と最高気温の関係（10月）	66
Figure 59 疲労	67
Figure 60 休養	67
Figure 61 始動時.....	67
Figure 62 眠気	68
Figure 63 継続	68
Figure 64 活力	68
Figure 65 筋力低下	69
Figure 66 弱体	69
Figure 67 集中	69
Figure 68 考え	70
Figure 69 滑舌	70
Figure 70 言葉	70
Figure 71 記憶力.....	71
Figure 72 興味喪失.....	71
Figure 73 疲労被害関数（10,11月）	72
Figure 74 疲労被害関数（2月+10,11月）	73
Table 1 都市化データ	18
Table 2 日常生活に関する指針	32
Table 3 2016年2月調査	42
Table 4 2016年10,11月調査	43
Table 5 初日のアンケート質問内容(2016年2月)	43
Table 6 毎日のアンケート質問内容(2016年2月)	43
Table 7 初日のアンケート質問内容(2016年10月)	44
Table 8 毎日のアンケート質問内容(2016年10月)	44
Table 9 SQIDS の7項目（C1~C7）と質問.....	45
Table 10 Chalder の疲労質問票の質問	47
Table 11 Chalder の疲労質問票の回答.....	48
Table 12 PSQI の構成要素の平均得点と睡眠困難罹患率（2月）	50
Table 13 睡眠困難（2月）のエアコン導入効果	52
Table 14 PSQI の構成要素の平均得点と睡眠困難罹患率（10,11月）	54
Table 15 睡眠困難（10月）のエアコン導入効果	56
Table 16 疲労（2月+10,11月）のエアコン導入効果.....	74

第 1 章 序論

1.1 都市の高温化と課題

1.1.1 地球温暖化問題

地球環境問題の中でも、近年特に重要視されている問題が地球温暖化問題である。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って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様々な影響を引き起こす。そのほとんどが人間社会にとっては悪影響であり、具体的には、熱波・洪水・暴風雨・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・酸性化に脆弱な生態系の破壊、水資源・食料の不足、マラリア・デング熱・低栄養などの様々な被害や影響が懸念されている[1]。

実際、二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスの人為的な放出によって地球温暖化が進行し、全球の気温、海面 pH の上昇、北極の氷河面積が減少している (Figure 1) [1]。

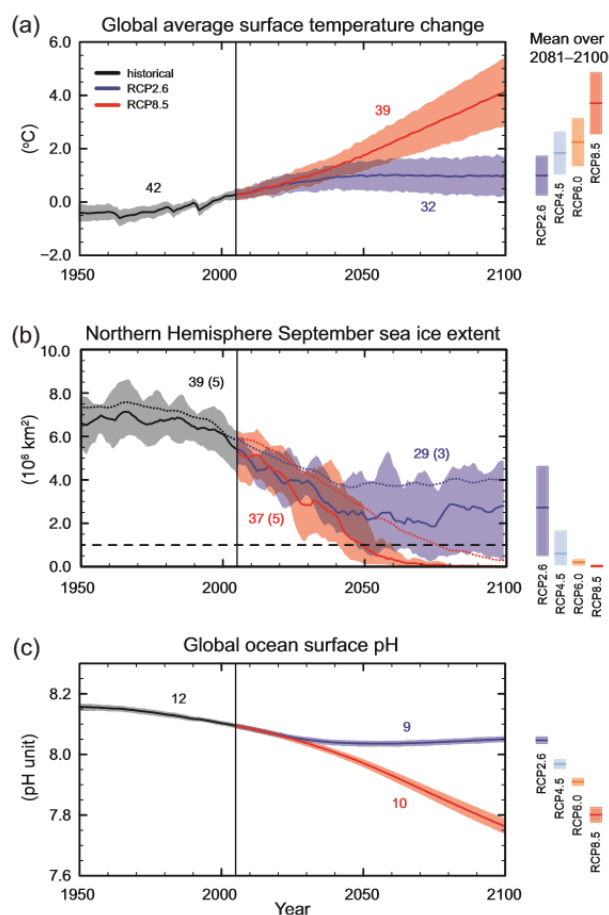


Figure 1 RCP2.6~8.5 における 1950 年～2100 年までの推計：(a) 世界の平均気温変化 (b) 北極の 9 月の氷河面積 (c) 世界の海洋表面 pH (出典：文献[1])

気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) が 2014 年に発表した第 5 次評価報告書[2]の内容を以下に簡潔にまとめる。

(1) 第 1 作業部会報告書 2013 年 9 月 23 日～26 日 スウェーデン・ストックホルム
気候システムの温暖化については疑う余地がなく、人間活動が 20 世紀半ば以降に観測された温暖化の主な要因であった可能性が極めて高い。二酸化炭素の累積排出量と世界平均地上気温の上昇量は、ほぼ比例関係にあるといえる。

(2) 第 2 作業部会報告書 2014 年 3 月 25 日～29 日 横浜市
ここ数十年、気候変動の影響が全大陸と海洋において自然生態系及び人間社会に影響を与えている。また、温暖化の程度が増大すると、深刻で、蔓延的で、不可逆的な影響が起こる可能性が高まる。適応については、地域や背景が特有であるため、全ての状況にわたって適切なリスク低減のアプローチは存在しない。

(3) 第 3 作業部会報告書 2014 年 4 月 7 日～11 日 ドイツ・ベルリン
温室効果ガスの排出を効果的に緩和し、その他の気候変動問題に対処するため、国際協力が必要である。気温上昇を 2℃未満に抑える緩和シナリオの特徴は、エネルギー効率が急速に改善され、低炭素エネルギーの供給比率が 2050 年までに 2010 年の 3～4 倍になることである。2030 年まで緩和の取り組みを遅延させた場合、産業革命前から気温上昇を 2℃未満に抑え続けるための選択肢の幅が狭まる。

このように、地球温暖化問題の課題の表面化は明らかであり、その解決には国際協力が不可欠となっている。そこで国連では気候変動枠組み条約を設定し、締結国会議

(Conference of the Parties, COP) を毎年開催することでこの課題に対処しようと試みている。2015 年 11 月 30 日から 12 月 13 日まで、フランス・パリにおいて、国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議 (COP21)、京都議定書第 11 回締約国会合 (Conference of the Parties serving the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol, CMP) 等が行われ、新たな法的枠組みとなる「パリ協定」を含む COP 決定が採択された。「パリ協定」においては、以下のような項目が示されている[3]。

- ・ 世界共通の長期目標として 2℃目標のみならず 1.5℃への言及
- ・ 主要排出国を含むすべての国が削減目標を 5 年ごとに提出・更新すること、共通かつ柔軟な方法でその実施状況を報告し、レビューを受けること
- ・ 二国間クレジット制度（Joint Crediting Mechanism, JCM）を含む市場メカニズムの活用が位置づけられたこと
- ・ 森林等の吸収源の保全・強化の重要性、途上国の森林減少・劣化からの排出を抑制する仕組み
- ・ 適応の長期目標の設定及び各国の適応計画プロセスと行動の実施
- ・ 先進国が引き続き資金を提供することと並んで途上国も自主的に資金を提供すること
- ・ イノベーションの重要性が位置づけられたこと
- ・ 5 年ごとに世界全体の状況を把握する仕組み
- ・ 協定の発効要件に国数及び排出量を用いるとしたこと
- ・ 「仙台防災枠組」への言及（COP 決定）

この中には日本の提案が盛り込まれたものも多い。今後も、長期的・戦略的な低炭素社会実現に向けた取り組みが求められる。

1.1.2 ヒートアイランド現象

ヒートアイランド (heat island=熱の島) 現象とは、郊外に比べて都心部の気温が局所的に高くなる現象のことである。気温分布を描くと、都心部を中心とした高温域が島のような形に分布することから、このように呼ばれている。2013 年の 8 月 15 日の関東地方の気温分布図を **Figure 2** に示す[4]。同日の早朝 (5 : 00)、日中 (15 : 00) の気温はともに郊外よりも都心の気温が高くなっていることがわかる。太陽からの熱を蓄積しやすく、人間活動に伴う人工排熱が増加した結果であると推測できる。

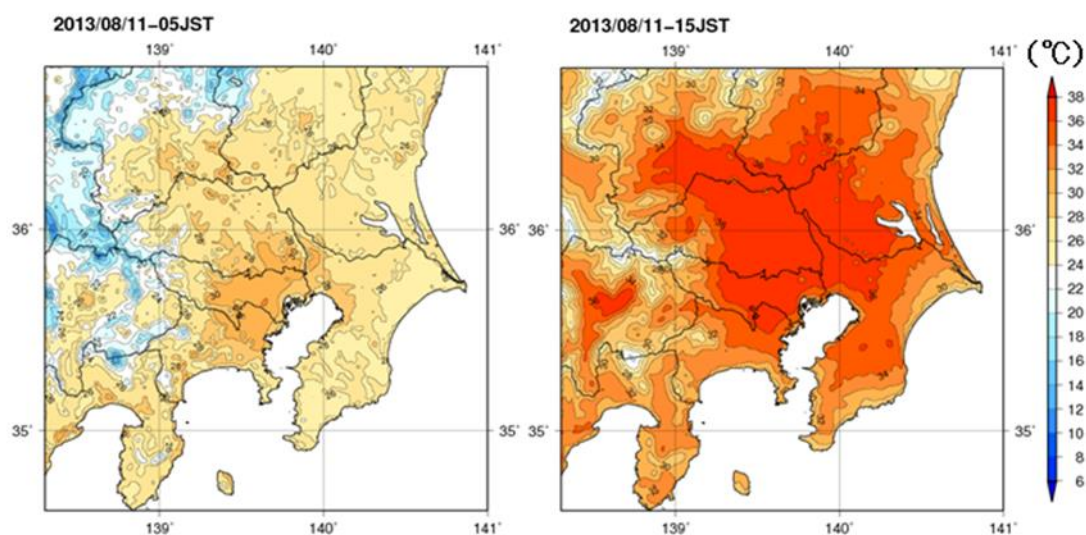


Figure 2 2013 年 8 月 11 日 05 時 (左図)、15 時 (右図) における関東地方の気温の分布図 (出典 : 文献[4])

ヒートアイランド現象の主な要因は、緑地や水面の減少やアスファルトやコンクリートによる地表面被覆の増加、自動車や建物から排出される人工排熱の増大、高層ビルの密集による風通しの悪化などが考えられている。

環境省の記述[5]を参考に、各種要因を整理すると大きく 3 つに分類できる。

(1) 土地利用の変化

日の出から日の入りまで、すなわち日中の主な要因であると考えられる。緑地や水面が豊富に存在している土地では太陽の日射熱を蒸発（顕熱）によって吸収・消費するため、地表面から大気中に放出される熱が減少し、気温の上昇が抑えられる。一方、都市部においては、アスファルトやコンクリートに覆われること水分の蒸発が起こりにくく、熱の消費が小さくなる。そのため、地表面から大気中に放出される熱が多くなり気温の上昇が大きくなる。

(2) 建物の影響

建物が高層化・高密度化している都市部においては、日射や地表面で反射された日射の一部と、地表面から大気に放出される赤外線の一部が建物に吸収・蓄積される。コンクリートは熱容量が高く、温まりにくく冷えにくい性質があるため、日中に蓄積していた熱が夜間に大気中へ放出される。その結果、気温が下がりにくくなる。また、天空率（天空の占める立体角投射率）が低下して地表面からの放射冷却が減少し、気温の低下が妨げられる。

(3) 人工排熱の影響

都心部の局地的な気温上昇の要因と考えられている。都市における人間の様々な活動によって熱が排出されている。自動車や建物の空調から主に排出される。人工排熱は直ちに大気中に放出され、特に、混合層が発達していない夜間の気温上昇に寄与しやすい。

気象庁では、これらヒートアイランド現象の要因（言い換えれば、都市化の影響）による都市での気温上昇量を見積もるために、「都市気候モデル」と呼ばれる数値モデルを利用している[5]。Figure 3のように、都市の地表面の状態人間活動に伴う排熱を考慮した場合のシミュレーション、また、都市の影響を考慮しない場合と（すなわち、都市域の地表面状態を自然な状態に置き換え、かつ、人工排熱を無しにすることで、建設する以前の状態に戻すということ）のシミュレーションを「都市なし実験」として、2つの実験を行い、「都市あり実験」の気温から「都市なし実験」の気温を引いたものを都市化の影響とみなしている。一般的には、その気温差をヒートアイランド強度と呼び、ヒートアイランドの程度を比較する際の指標に用いることが多い。

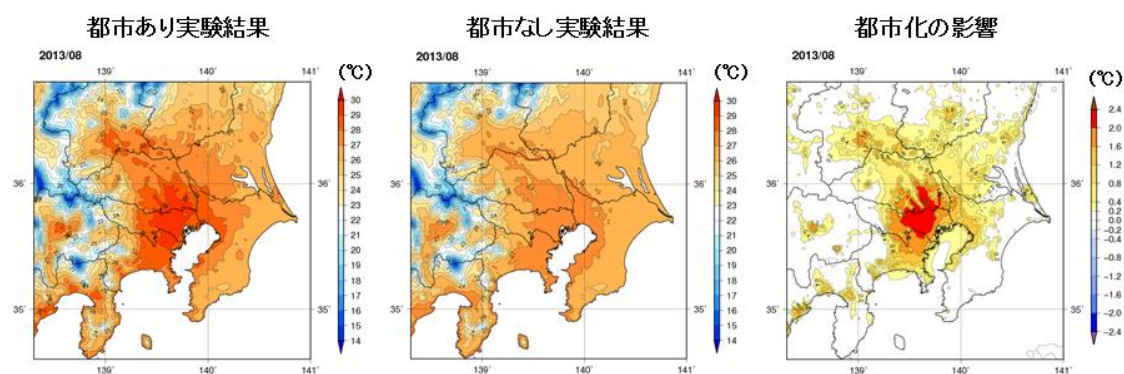


Figure 3 関東地方における 2013 年 8 月の月平均気温の都市あり実験結果（左図）、都市なし実験結果（中央図）、都市化の影響による月平均気温の変化：「都市あり実験」と「都市なし実験」の差（右図） （出典：文献[5]）

1.1.3 都市の高温化によって生じる課題

様々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（Life Cycle Impact Assessment, LCIA）がある。井原・玄地は都市が高温化した場合の被害を、LICA の手法を参考に統合化した[6]。結果を Figure 4 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およぼす。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 4 に示されるように、他の保護対象に比べて人間健康に多くの線が集まっていることがわかる。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必要がある。

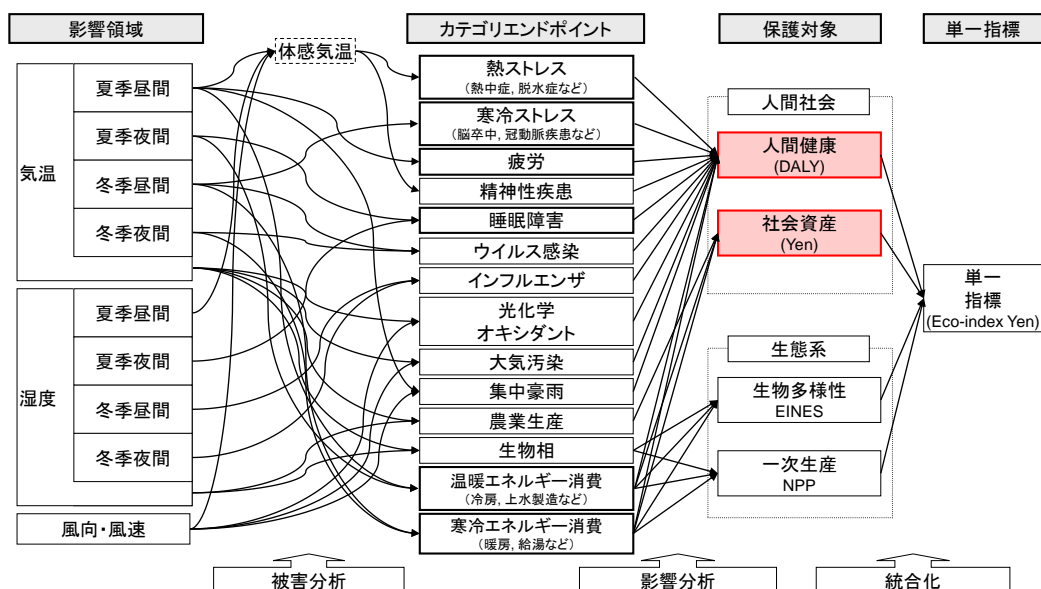


Figure 4 都市における気候変動による環境影響
(出典：文献[6])

1.1.4 急速に進む都市化

前項のように、ヒートアイランド現象の要因を整理すると、「都市化」による影響に集約することが出来る。「都市化」とは、ある地域の人口が都市に集中する過程を指す。同時に、都市化は都市部の用地拡張、および都市文化もしくは都市における生活様式・価値観が農村地域に広まる過程を意味する。国連が発表している報告書（World Urbanization Prospects 2014）[7]が発表している世界の都市人口の年次推移を Figure 5 に示す。都市人口は 1950 年より年々増加し、今後もその傾向が継続していくことがわかる。また、同報告書には、2014 世界人口の 53%が都市（Urban area）に集中していることも報告されており、都市化が進行していることがわかる。

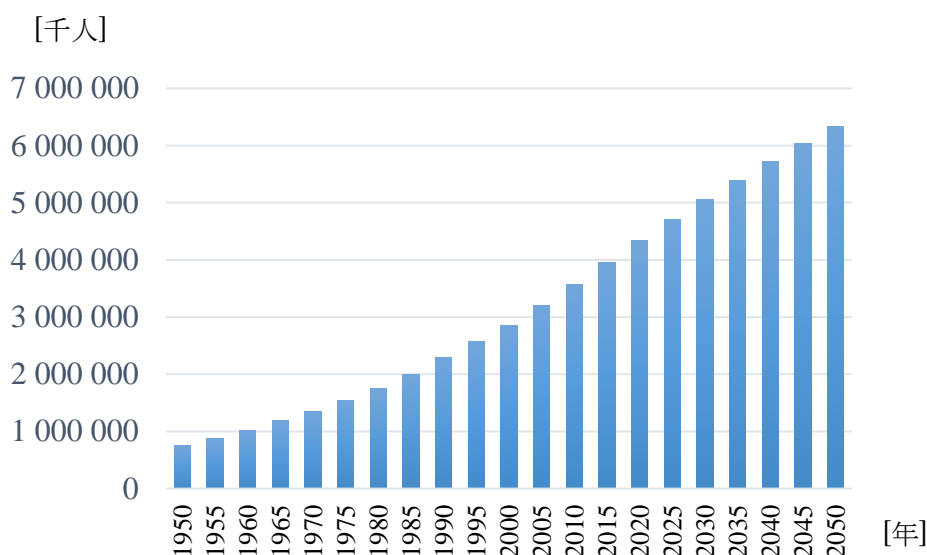


Figure 5 世界の主要な都市人口の年次推移
(出典：文献[7]より作成)

世界の主要都市の都市圏人口を Figure 6 に示す。1 位は東京、横浜（日本）であり、2 位はジャカルタ（インドネシア）、以下、ソウル、デリー、マニラと続く。アジアの新興国が上位に目立っていることがわかる[8]。

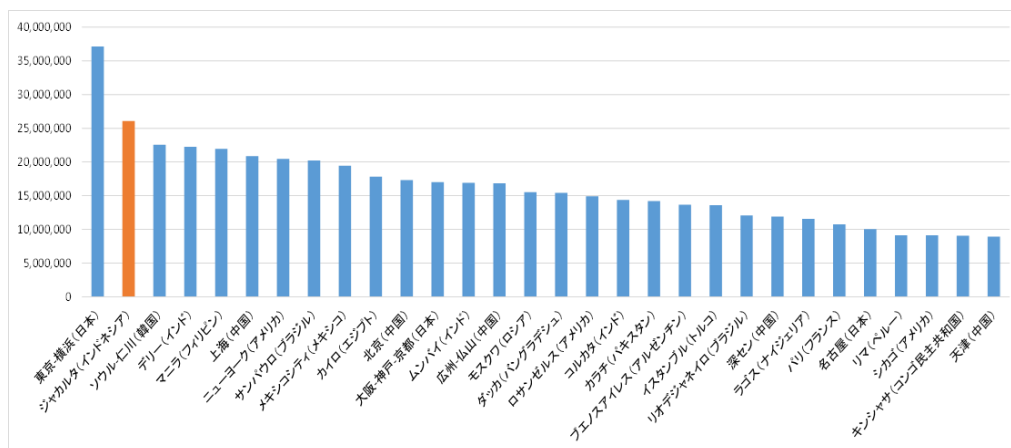


Figure 6 世界の都市人口
(出典：文献[8]より作成)

また、今後の人口予測を示したものが **Figure 7** である。2010 年から 2025 年まではジャカルタの人口は東京、横浜に比べて急激に増加していることがわかる[8]。2025 年以降増加率が緩やかになるが増加していくことが予測されている。今後の増加を考慮すると、ジャカルタのような新興国都市域のヒートアイランド現象が顕著になっていくと考えられるが、ヒートアイランド現象に関する多くの研究が高緯度先進国にて行われており、低緯度の発展途上国では行われていない。

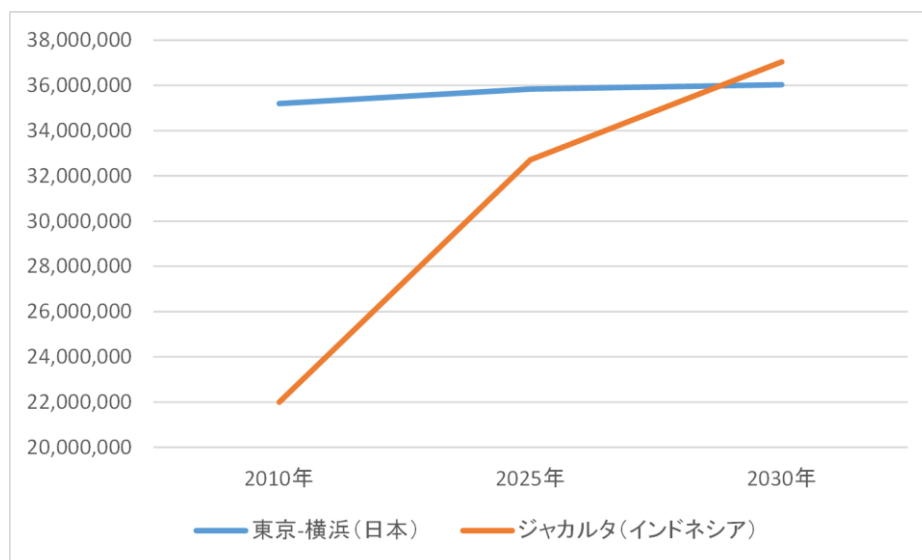


Figure 7 東京－横浜とジャカルタの人口成長の予測
(出典：文献[8]より作成)

1.2 ジャカルタの都市化とヒートアイランド現象

インドネシアのジャカルタに関する統計をまとめていく。Figure 8に1980年から2015年までの人口の年次推移を都市 (Urban) と郊外 (Rural) に分けて表示した[9]。右軸 (割合) からわかるように、ジャカルタの都市人口の割合は年々増加していることがわかる。都市人口が増加することで都市におけるエネルギーの消費が増大し、それに伴って人工排熱も増大する。排熱の増加によって気温が上昇し、エネルギー消費が加速するといった悪循環の発生も危惧される。

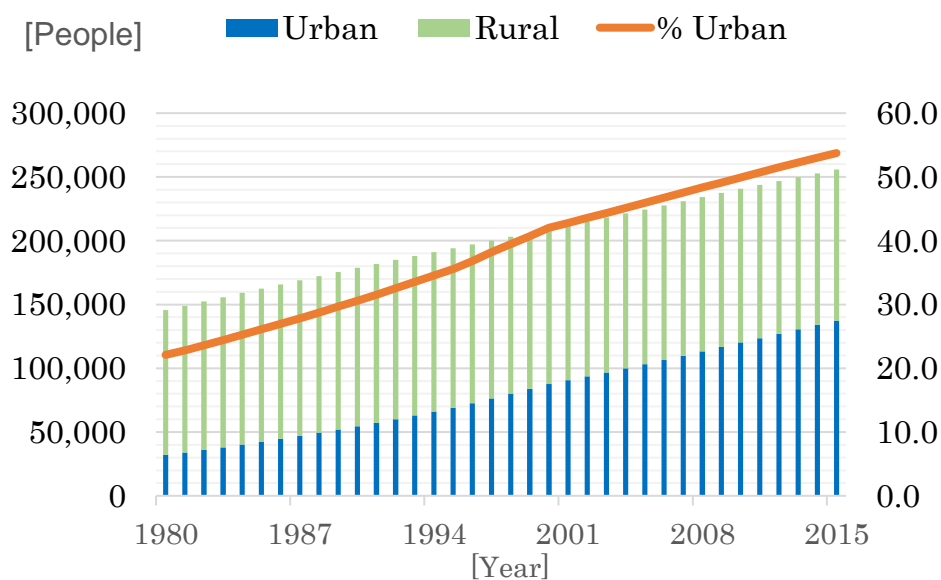


Figure 8 ジャカルタにおける都市人口の年次推移
(出典：文献[9]より作成)

ジャカルタの土地利用変化を可視化したものを Figure 9 に、都市化データを Table 1 に示す[10]。2011 年から 2014 年までの 14 年間で広範囲にわたって都市化が進んでいることがわかる。耕作地、草地、森林が減少しているため、高層ビルや道路舗装によって熱を蓄積しやすい都市に変化しているといえる。

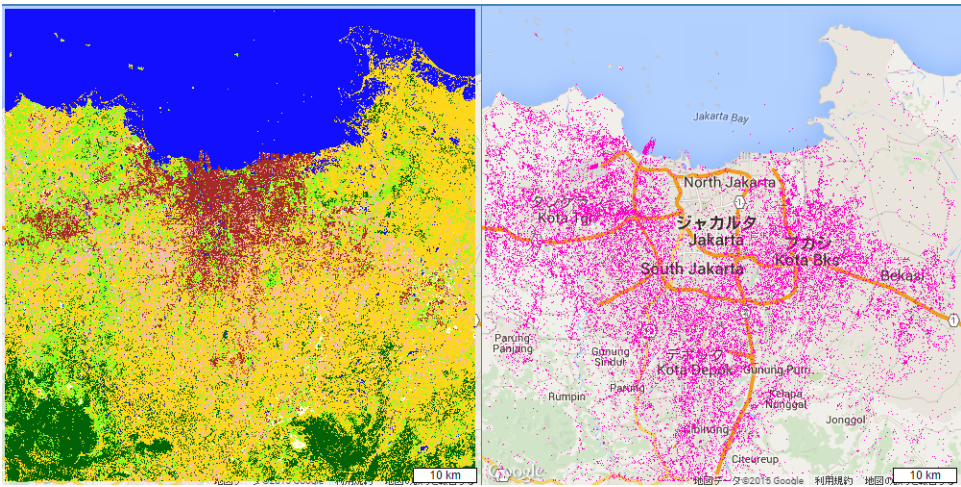


Figure 9 ジャカルタの土地利用変化（2001 年 9 月：左図、2014 年 9 月：右図）
（出典：文献[10]）

Table 1 都市化データ（出典文献[10]）

表示(左)	都市高密度		左: 37,865.16 ha. (6.73%)	都市高密度
プラットフォーム: Landsat 7	都市低密度		右: 79,120.89 ha. (14.05%)	
センサー: ETM+			左: 41,956.20 ha. (7.45%)	都市低密度
取得日: 17-SEPT-2001	裸地		右: 63,766.17 ha. (11.33%)	
スケール: 75 x 75 km			左: 5,969.07 ha. (1.06%)	裸地
空間解像度: 30 m	耕作地		右: 7,135.65 ha. (1.27%)	
データタイプ: Land Cover			左: 215,103.87 ha. (38.21%)	耕作地
都市: Jakarta (Indonesia)			右: 185,951.61 ha. (33.03%)	
表示(右)	草地		左: 64,491.93 ha. (11.46%)	草地
プラットフォーム: Landsat 8	森林		右: 39,220.20 ha. (6.97%)	
センサー: OLI/TIRS			左: 56,802.42 ha. (10.09%)	森林
取得日: 13-SEPT-2014	水域		右: 48,516.12 ha. (8.62%)	
スケール: 75 x 75 km			左: 140,761.44 ha. (25%)	水域
空間解像度: 30 m	その他		右: 139,239.45 ha. (24.73%)	
データタイプ: Land Cover			左: 0.00 ha. (0%)	その他
都市: Jakarta (Indonesia)			右: 0.00 ha. (0%)	

ジャカルタのヒートアイランド現象を観測したもの[11]を Figures 10, 11 に示す。東西、南北の 2 つ断面から、ジャカルタ市の気温分布を表している。郊外と都心の気温の差が約 3～4℃程度高温になっており、ジャカルタにおいてもヒートアイランド現象が進行していることが確認できる。

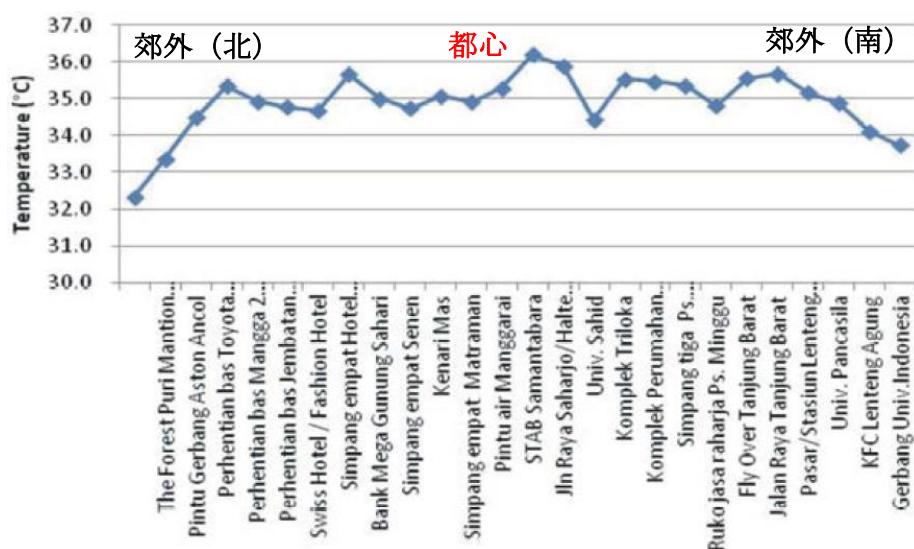


Figure 10 日中の気温分布（ジャカルタ市の断面 北-南）
（出典：文献[11]）

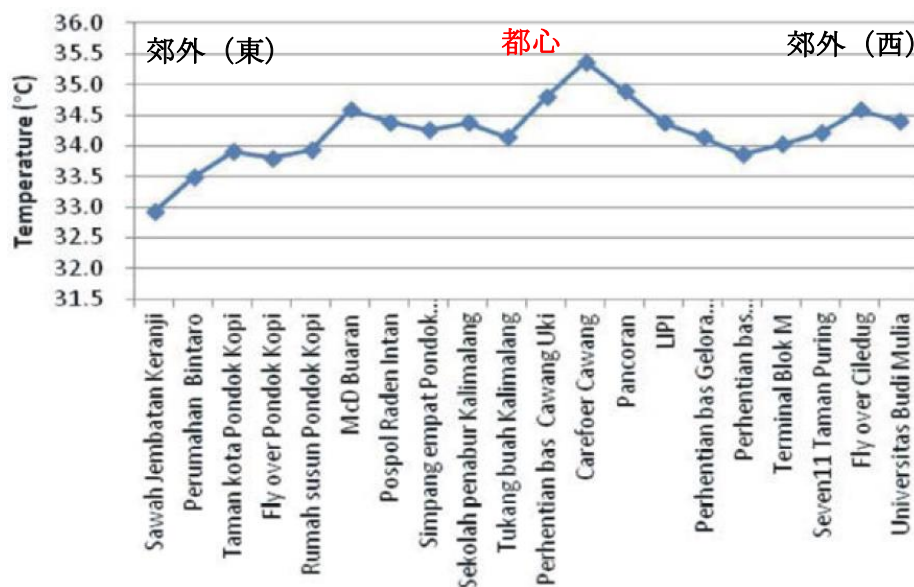


Figure 11 日中の気温分布（ジャカルタ市の断面 東-西）
（出典：文献[11]）

1.3 気候変動に伴う健康影響

1.3.1 全球スケールにおける将来推計

1.3.1.1 IPCC の報告書

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の、第 5 次評価報告書 第 2 作業部会報告書[2]には、気候変動に伴う影響、適応および脆弱性についてまとめられており、政策決定者向け要約において、人間健康に関して以下のような記述がある。

今世紀半ばまでに、予測される気候変動は主に既存の健康上の問題を悪化させることで人間の健康に影響を与えるだろう（確信度が非常に高い）。21 世紀を通じて、気候変動は、それがないベースラインと比較して、多くの地域、特に低所得の開発途上国において、健康被害の増大をもたらすと予想される（確信度が高い）例として、より強力な熱波や火災による障害、疾病および死亡の可能性がより増大すること（確信度が非常に高い）、貧困地域において減少する食料生産に起因する栄養不足の可能性が増大すること（確信度が高い）、脆弱な人々の労働能力の喪失や労働生産性低下により生じるリスク及び食物・水媒介感染症リスクの増大（確信度が非常に高い）や動物媒介感染症リスクの増大（確信度が中程度）が挙げられる。有益な影響として予想されるのは、一部の地域における極端な寒さの減少による寒さに関連する死亡率や罹患率の僅かな減少（確信度が低い）、食料生産の地理的移動（確信度が中程度）及び一部の疾病を媒介する生物の能力の減少などである。しかし、21 世紀にわたって世界的には、有害な影響の程度や深刻度が有益な影響をますます上回ると予測される。（確信度が高い）。近い将来における健康のための最も効果的な脆弱性低減策は、清潔な水や衛生施設の提供などの基本的な公衆衛生対策を実施及び改善し、予防接種や小児保健サービスなど不可欠な保険医療を確保し、災害に備え対応する能力を増強し、貧困を削減するプログラムである。（確信度が非常に高い）。高い排出シナリオ RCP8.5 では、2100 年までに一部の地域では年間のある時期に高温かつ多湿となることが、農作業や野外労働など通常の間活動の障害となると予測されている（確信度が高い）。

報告書では、直接の暑熱影響（熱中症、熱ストレスなど）と間接暑熱影響（感染症や低栄養など）の被害の増加が予測されている。しかし、適応策に関しては主に間接影響に対する言及のみであり、直接影響に対しては具体的な適応策が示されていない。

1.3.1.2 WHO の報告書

WHO が気候変動に伴う健康影響を将来にわたって推計した報告書の結果を基に健康影響種別にまとめたものを Figure 12 に示す[12]。低栄養やデング熱、マラリア、下痢症などの暑熱に伴う間接的な影響は、経済成長（GDP の増加など）に伴うインフラ設備の改善によって減少が見込まれるが、熱ストレスなどの直接暑熱影響は今後増加することが予測されている。特に、東南アジアは増加率が大きいと予測されており、緩和策、適応策の導入が望まれる。

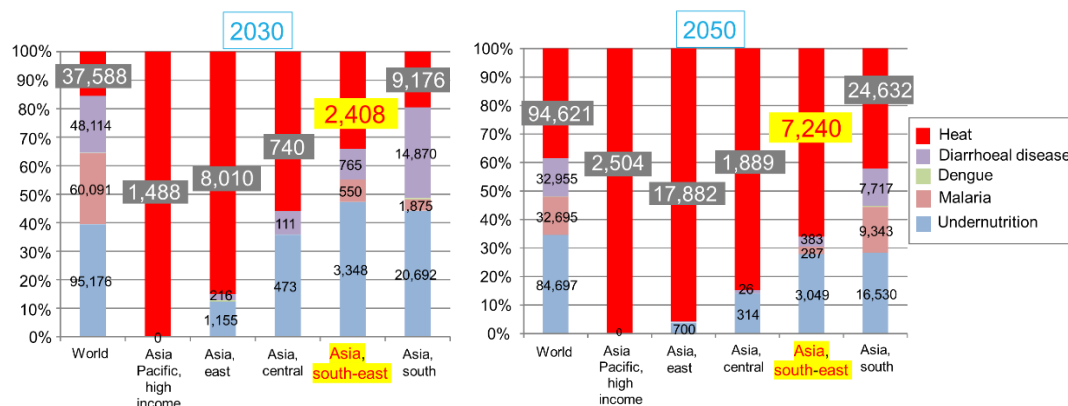


Figure 12 気候変動に伴う追加死亡数の推計

(出典：文献[12])

同報告書[12]より、気温の上昇に伴う熱ストレスの追加死亡数を全球スケールにおいて解析を行った結果を Figure 13 に示す。人口増加の著しいアジア諸国に被害が集中していることがわかる。また、ヨーロッパ諸国、北米などの高緯度な先進国においても都市部に集中して被害が生じることが予測されている。WHO の報告書では、全球スケールでの粗い推計（0.5° メッシュによる平均的な推計）を実施しているが、都市においてはヒートアイランド現象が発生しているため、過少評価している可能性がある。

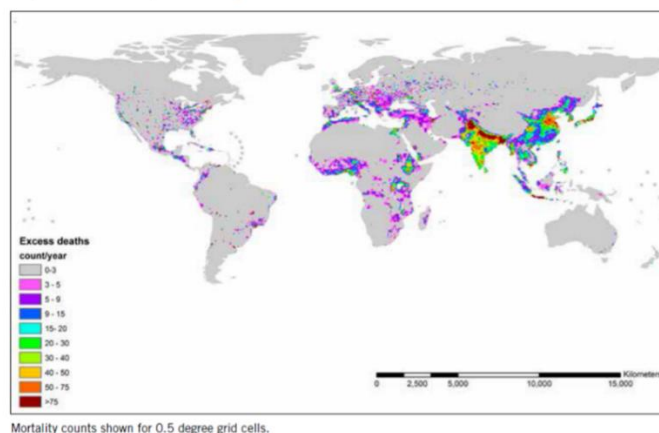


Figure 13 気候変動に伴う熱ストレスの追加死亡数の推計 (出典：文献[12])

1.3.2 暑熱に伴う健康影響

気温の上昇に伴い熱中症による救急搬送者数は増えており[13]、熱中症に関しては各地域の暑さ指数（黒球湿球温度）（wet-bulb globe temperature, WBGT）を提供する[14]ことによって地域住民に警戒を促すなどといった対策が導入されている。

しかし、国立環境研究所が平成 15 年に実施した温暖化に関するアンケート調査（Figure 14）[15]では、これまでに経験した夏季の熱ストレスによる心理生理的症状として、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（眠れない）は約 60%にまで及んでおり、気温上昇による疲労や睡眠困難をはじめとする軽度の健康被害も無視できない状況となっている[16]。一方で、睡眠困難や疲労は定量的な統計データがなく、かつ死に至るわけではないことから軽視されているのが現状である。

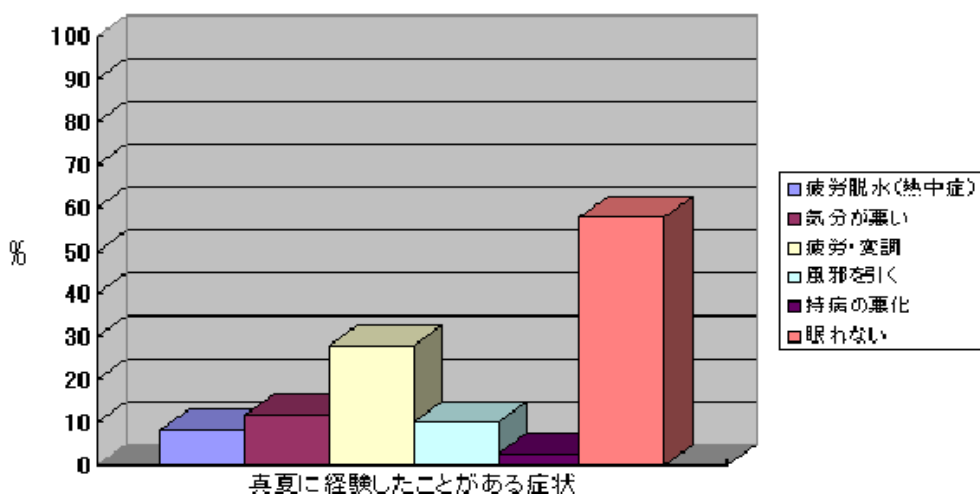


Figure 14 真夏に経験したことがある症状
(出典：文献 [15])

第 2 章

2.1 既往研究とその課題

直接の暑熱影響に伴う健康被害には主に熱中症、睡眠障害、疲労が挙げられる[5]。

熱中症は、人口動態調査や救急搬送数など統計を基にした多くの研究[17][18]から、日最高 WBGT と死亡数の関係が明らかになっているため、早死により失われた年数が分かれば障害調整生存年数 (Disability-Adjusted Life Year, DALY) [19]を用いた評価が可能となる。被害が大きいことがわかっている熱中症に関しては、暑さ指数の提供などの対策[20]が導入されている[21]。

一方、睡眠困難（障害）や疲労については、被害の実態が定量的に解析されておらず、対策の立案に至っていない。睡眠困難に関しては、近年、岡野ほか[22]によって夜間気温が 1℃ 上昇するごとに気温に關係する睡眠障害者の割合は 3.0%増加することが示されるなど、明らかにされてきており、重篤度[23]も定義されたため、被害の実態が把握されつつある。

また、疲労に関する研究について、気温と疲労の關係についての研究は、気温の上昇に伴って疲労を自覚症状として訴えるものの割合が増加するといった研究が多数されている（たとえば[24]）。しかし、既往研究のほとんどは、定量的な指標で評価されていなかったり、定量的な指標（Chalder の疲労尺度）を用いて気温と疲労の關係を評価しているもの（宮沢ほか[25]）であっても夏と秋の比較を用いたがために季節差を含む可能性があったりす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は、気温と死亡率の關係は季節によって変化すること、睡眠障害の割合が季節によって変化すること[24]が挙げられる。定量的な指標で、かつ季節差を考慮して評価されている研究はほぼないため、気温と罹患数の關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。

上記のように、直接の暑熱に伴う健康影響に関する研究は日本をはじめとする高緯度の先進国においてのみ実施されており、インドネシアなどの低緯度の発展途上国ではほとんど実施されていない。その原因としては、発展途上国では解析に必要な統計データの整備が進んでいないこと、また、睡眠や疲労といった軽度の健康影響に関する研究は疫学調査が必要であるため、資金力に乏しい発展途上国では実施しにくい環境にあるためだと推測できる。しかしながら、今後の発展を考慮すると、新興国をはじめとした発展途上国における直接暑熱に伴う健康影響は増加が見込まれており、適応策や緩和策の検討、実施が重要になってくるため、こういった研究は必要であると考えられる。

2.2 本研究の目的

適応策や緩和策を検討するには、被害の実態を把握し、影響を定量化することが必要である。そこで本研究は、低緯度に位置し、都市圏人口が東京に次ぐ世界第 2 位であるインドネシアのジャカルタを対象に、統計に記載されない軽度の暑熱健康影響として睡眠困難および疲労、また、代表的な暑熱健康影響である熱中症の被害を定量化することを目的とする。

適応策としてエアコンの導入効果を評価する。被害の定量化には、疾病間比較が可能でかつ、伊坪ら[26]が開発した日本版被害算定型影響評価手法（Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint modeling, LIME）による統合化も可能な障害調整生存年数（DALY）を用いる。

第3章 研究手法

3.1 概要

3.1.1 評価項目

評価項目として、暑熱に関する軽度健康影響として睡眠困難と疲労の2項目を選定した。また、代表的な暑熱健康影響として熱中症の推計も試みた。熱中症の特徴は、年間死亡者数が比較的少数であることが挙げられる。一方、睡眠困難や疲労は通年で発生しているため罹患患者数が多く、被害総数で比較すると熱中症よりも多くなっている。睡眠困難は気温上昇に伴い発生リスクが増大することが東京を対象とした既往研究[22]によって示されており、今後の気温上昇を加味すると被害は更に増大することが予測される。

3.1.2 健康影響評価指標の選定

健康影響の程度を表す基準には、主に被害者数、影響の継続期間、影響の重み（重篤度）が挙げられ、これらの基準を適切に含む指標として損失余命が利用されることが多い。損失余命とは、病気や事故などの要因によって、どの程度健康が損失したかを余命の損失年数で測ろうというものである。

具体的な損失余命の定義は、その要因がなかった場合に予想される寿命と実際に死亡した年齢の差分である。0歳の場合の寿命は平均寿命が使用され、実際に死亡した年齢は死亡要因によって異なる。損失余命が取り扱われる主な指標として、損失生存年数(years of life lost, YLL)、質調整生存年(quality-adjusted life year, QALY)、そして障害調整生存年(disability-adjusted life year, DALY)が挙げられる[27]。

YLLは死亡による損失余命を中心に評価するものである。一方、QALYとDALYは死亡に至らない障害による健康損失も含めて評価することができる指標である。QALYは特定の範囲（国やある特定の社会）での生活の質を独自に計測しているため、同じ要因であっても国や地域によってQALYの値は変動する可能性があるが、DALYは世界全体での健康損失を定量的に評価することを目的としているものである[27]。本研究では、今後、被害評価結果を地域別に比較することを見据え、DALYを評価指標に選定した。

DALY が LIME によってどのように用いられているのかを、LIME の概要を開発者書籍を参考に記述する[26]。LIME は LCIA 手法のひとつであり、社会への LCIA 手法の普及や、より精度の高い影響評価手法（環境影響物質がどの範囲にどの程度の影響を及ぼすのかを評価する手法）の開発を目指したものである。LIME の特長は、「特性化」・「被害評価」・「統合化」の 3 ステップを経ることによって、日本の環境条件や環境思想を反映した LCIA を実施できることである。また、「統合化」によって出力された結果を「日本円 (YEN)」で表示できるため、LCA のみならず、費用対効果分析や費用対便益分析、環境会計、環境効率、ファクターなどにも利用されている。LIME 開発の目的を Figure 15 に示す。

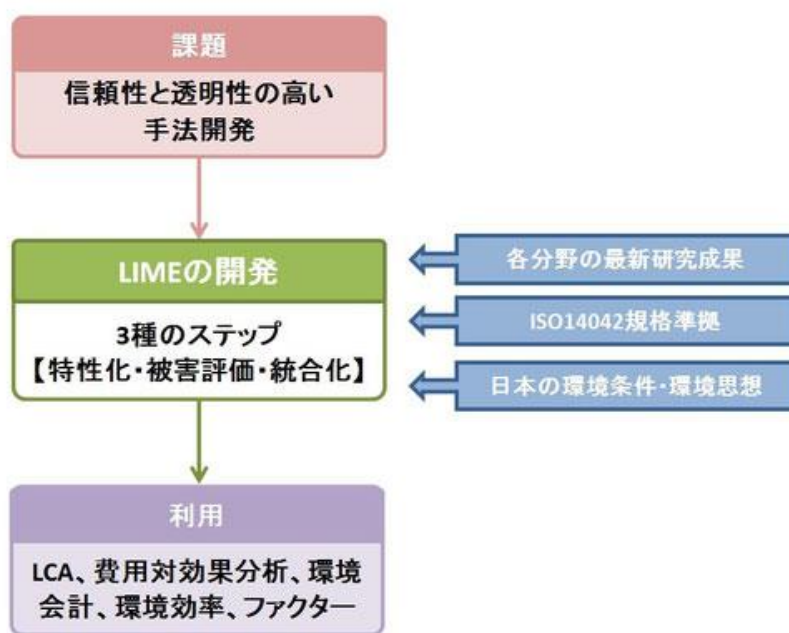


Figure 15 LIME 開発の目的
(出典：文献[26])

Figure 16 に示すように、LIME では4つの保護対象「人間健康」・「社会資産」・「生物多様性」・「一次生産」を設定している。DALY は「人間健康」の指標に該当する。統合化によって単一指標に変換することで、疾病間比較も可能となる。また、適応策や緩和策の費用便益分析に利用することもできるため、より適切な対策設計に寄与することが出来る。問題点として、LIME では統合化を行う際、日本人の平均的な価値観を加味しているためジャカルタに本手法を適用する際には日本人とインドネシア人の健康に関する価値観が同一であると仮定しなければならないことに留意する必要がある。



Figure 16 LIME 概要
(出典：文献[26])

3.1.4 DALY の計算手法

DALY は、「早死にすることによって失われた年数（YLL：The Years of Life Lost）」と、「障害を有することによって失われた年数」（YLD：The Years Lost due to Disability）」を足すことで算出される[19]。

DALY・YLL・YLD の計算式を式(1)～(3)にそれぞれ示す。また、概念図を Figure 17 に示す。

$$\text{DALY} = \text{YLL} + \text{YLD} \quad (1)$$

YLL：Years of Life Lost（早死により失われた年数）

YLD：Years Lost due to Disability（障害を有することで失われた年数）

$$\text{YLL} = N \times L \quad (2)$$

N：死亡数[人]

L：余命[年]

$$\text{YLD} = I \times DW \times L \quad (3)$$

I：障害発生数[-]

DW：重篤度 [-]

L：罹患期間 [年]

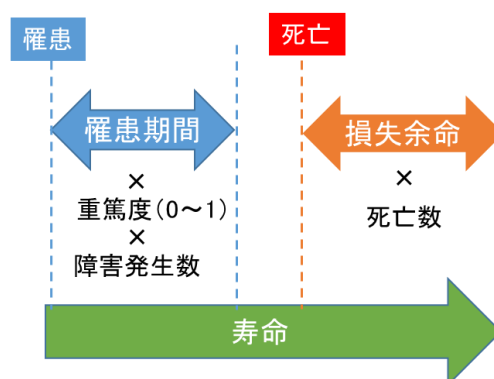


Figure 17 YLL と YLD の概念図

本研究の評価項目は 3.3.1 節で説明した熱中症と睡眠困難であり、死亡にいたる熱中症は式(4)、死亡に至らない睡眠困難、疲労は式(5)、(6)を用いて定量化した。

$$DALY=YLL=N(\text{熱中症死亡数}) \times L(18.10 \text{ 年}) \quad (4)$$

$$DALY=YLD=I(\text{睡眠困難発生数}) \times DW(0.1) \times L(1/365) \quad (5)$$

$$DALY=YLD=I(\text{疲労発生数}) \times DW(0.099) \times L(1/365) \quad (6)$$

YLL の算出に必要な、1 死亡あたりの損失余命は 18.10 年とした。算出には、平成 22 年の国勢調査[28]と都道府県別生命表[29]を用いた。本来、インドネシアの国勢調査・生命表を用いて算出すべきであるが詳細なデータを入手することが出来ないため、本研究では、日本の余命とインドネシアにおける損失余命が同一であると仮定して計算することになっている。睡眠困難の YLD の算出における重篤度は 0.1 [23]、疲労の重篤度は 0.099 [23]、罹患期間は睡眠困難、疲労ともに毎日の罹患であるとし、1/365 [年]とした。

3.1.5 回帰式の選定

熱ストレスと最高気温の関係式を予測する先行研究[12]を参考に、回帰関数としては3次の平滑化スプライン関数を選定した。最適化には、一般化クロスバリデーション (Generalized Cross-Validation, GCV)を用いた。平滑化スプライン関数による回帰はノンパラメトリック回帰とよばれ、簡単に記述すると、一般的な回帰式に比べて多くの回帰係数を用いる手法である。一般的には回帰係数を減らすことが良いとされているが、ノンパラメトリック回帰では係数をできる限り減らすということを考慮せずに予測式を解析していくものである。

3.2 熱中症の推計手法

3.2.1 熱中症とは

熱中症とは、暑熱環境において人体蓄積される熱が過剰になり、臓器障害（臓器の低温やけど）や虚血（臓器への血流供給の低下）を本態とする暑熱障害である[30]。

主に、暑熱環境下において①長時間の体温上昇に伴う脱水症状②血液量の低下によって心拍出量が減少③熱が放出できずに蓄積され続け、熱中症にいたる。体温が 40℃以上に達すると、酵素の変性が起き、41℃以上になるとミトコンドリア機能低下により酸化的リン酸化（エネルギー産生）の停止を招き、臓器障害がおこる。Figure 18 に暑熱環境下における身体の様子概念図を示す。

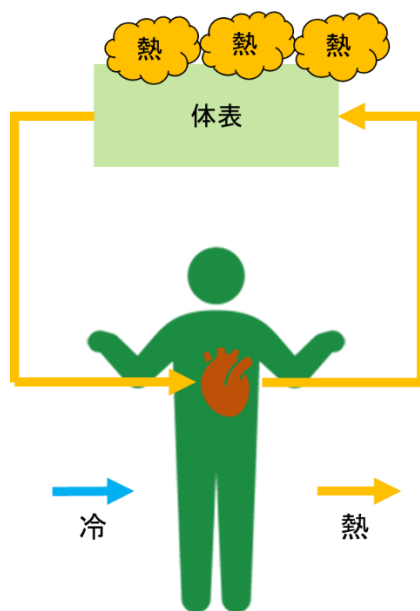


Figure 18 暑熱環境下の身体の様子

3.2.2 熱中症データ

日別の熱中症死亡数は、東京都消防庁の救急搬送データ、厚生労働省の人口動態統計を基に、年間の死亡数/搬送数を求め算出した。

3.2.3 日最高 WBGT による推定

まず、暑熱障害のリスクを示す指標として利用されることが多い湿球黒球温度(wet-bulb globe temperature, WBGT)と死亡数との関係を用いて推計した。以下、環境省の熱中症予防サイト[31]を参考に記述する。湿球黒球温度は暑さ指数とも呼ばれており、熱中症を予防することを目的に 1954 年にアメリカで提案された指標である[31]。単位は気温と同じセ氏温度[°C]である。また、人体と外気との熱収支に着目したもので、人体の熱収支に与える影響が大きい①日射・輻射熱などの周辺の熱環境、②湿度、③気温の 3 つの要素を取り入れた指標でもある。Figure 19 に測定装置と測定の様子を示す。

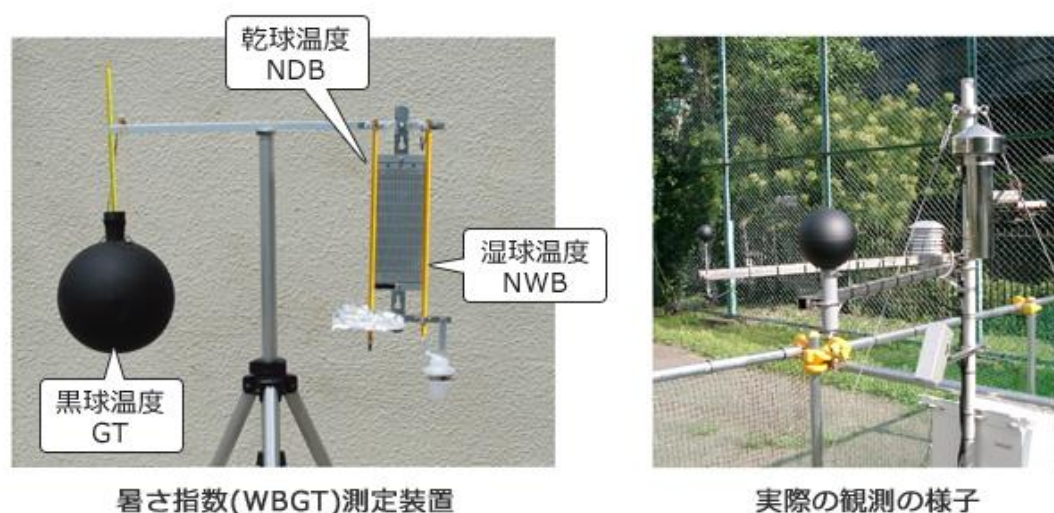


Figure 19 WBGT の測定装置（左）と測定の様子（右）
(出典：文献[31])

Figure 19 に示すように、WBGT は黒球温度、湿球温度、および乾球温度の 3 つを用いて算出する[31]。

●黒球温度 (globe Temperature, GT)

黒色の薄い銅板の球（中は空洞で、直径 15 cm）の中心に温度計を入れて測定を行う。黒球の表面はほとんど光を反射しない塗料が塗られている。この黒球温度は、直射日光にさらされた状態での球中の平衡温度を測定しており、弱風時に日なたにおける体感温度と高い相関がある。

●湿球温度 (Natural Wet Bulb temperature, NWB)

水で湿らせたガーゼを温度計の球部に巻いて測定を行う。温度計の表面にある水分が蒸発した時の冷却熱と平衡した時の温度で、空気が乾いたときほど、気温（乾球温度）との差が大きくなり、皮膚の汗が蒸発する時に感じる涼しさ度合いを表す。

●乾球温度 (Natural Dry Bulb temperature, NDB)

通常の温度計を用いて、そのまま気温を測定する。

WBGT の算出式は以下のように求められる。

屋外における算出式

$$\text{WBGT (}^{\circ}\text{C)} = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度} \quad (7)$$

屋内での算出式

$$\text{WBGT (}^{\circ}\text{C)} = 0.7 \times \text{湿球温度} + 0.3 \times \text{黒球温度} \quad (8)$$

※単位は摂氏度(°C)

WBGT は労働環境や運動環境の指針として有効であると認められており、ISO 等で国際的に規格化されている。たとえば、日本体育協会では「熱中症予防運動指針」、日本生気象学会では「日常生活に関する指針」を Table 2 のように公表している[32]。労働環境においては、世界的には ISO 7243 [33]、国内では JIS Z8504 [34]「WBGT（湿球黒球温度）指数に基づく作業者の熱ストレスの評価－暑熱環境」として規格化されている。

Table 2 日常生活に関する指針
(出典：文献[32])

温度基準 (WBGT)	注意すべき 生活活動の目安	注意事項
危険 (31℃以上)	すべての生活活動で おこる危険性	高齢者においては安静状態でも発生する危険性が大きい。外出はなるべく避け、涼しい室内に移動する。
厳重警戒 (28～31℃)		外出時は炎天下を避け、室内では室温の上昇に注意する。
警戒 (25～28℃)	中等度以上の生活活動で おこる危険性	運動や激しい作業をする際は定期的に充分に休息を取り入れる。
注意 (25℃未満)	強い生活活動で おこる危険性	一般に危険性は少ないが激しい運動や重労働時には発生する危険性がある。

また、東京都における日最高 WBGT と昼間人口あたり救急搬送数、死亡数の関係を Figure 20、Figure 21 に、夜間人口あたりの搬送数、死亡数との関係を Figure 22、Figure 23 に示す。図に示されるように、日最高 WBGT が 28℃付近 (Table 2 の警戒～厳重注意) から急激に上昇していることがわかる。熱中症は近年、屋内（主に住宅と高齢者施設）で発生することが多いと報告されているため、居住人口である夜間人口を基に被害関数を算出した。

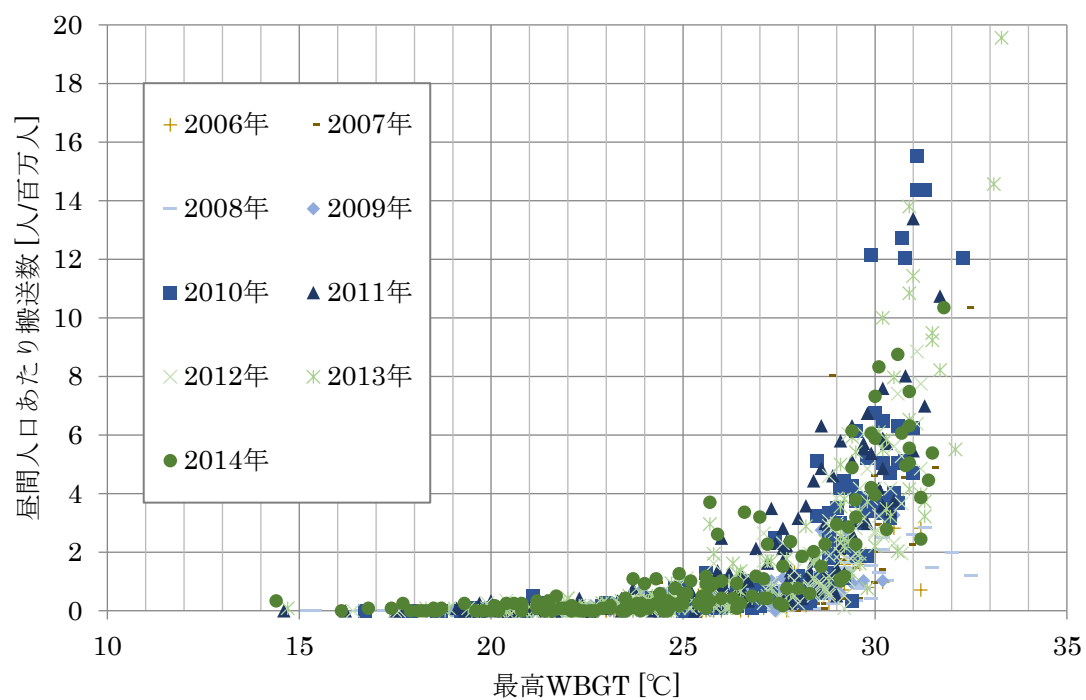


Figure 20 東京都昼間人口あたり搬送数

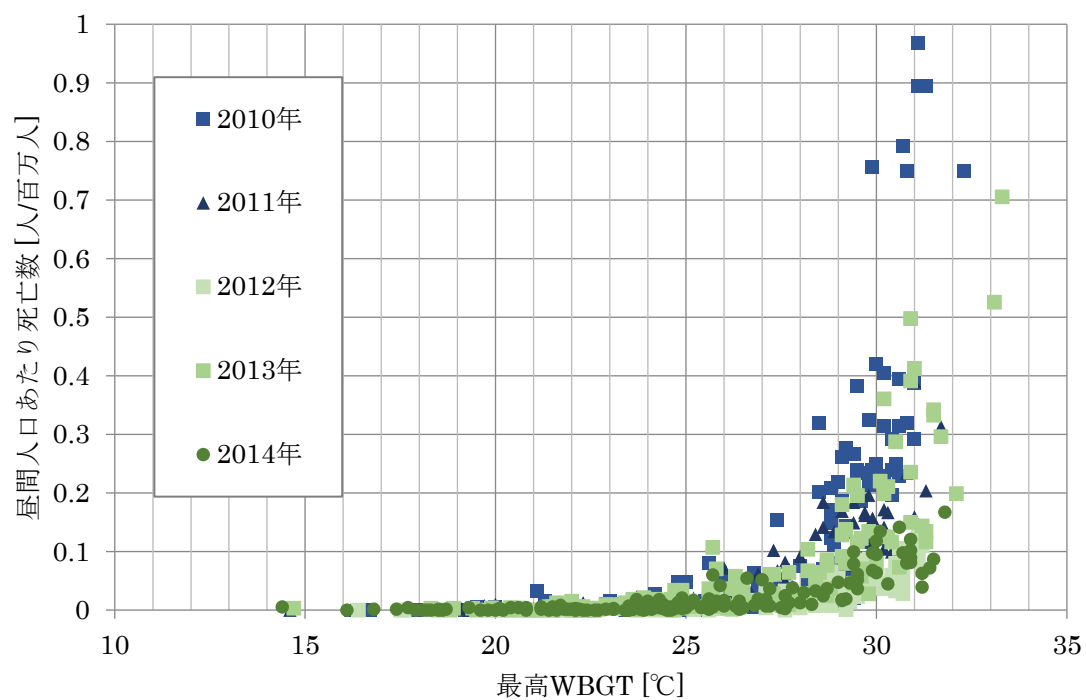


Figure 21 東京都昼間人口あたり死亡数

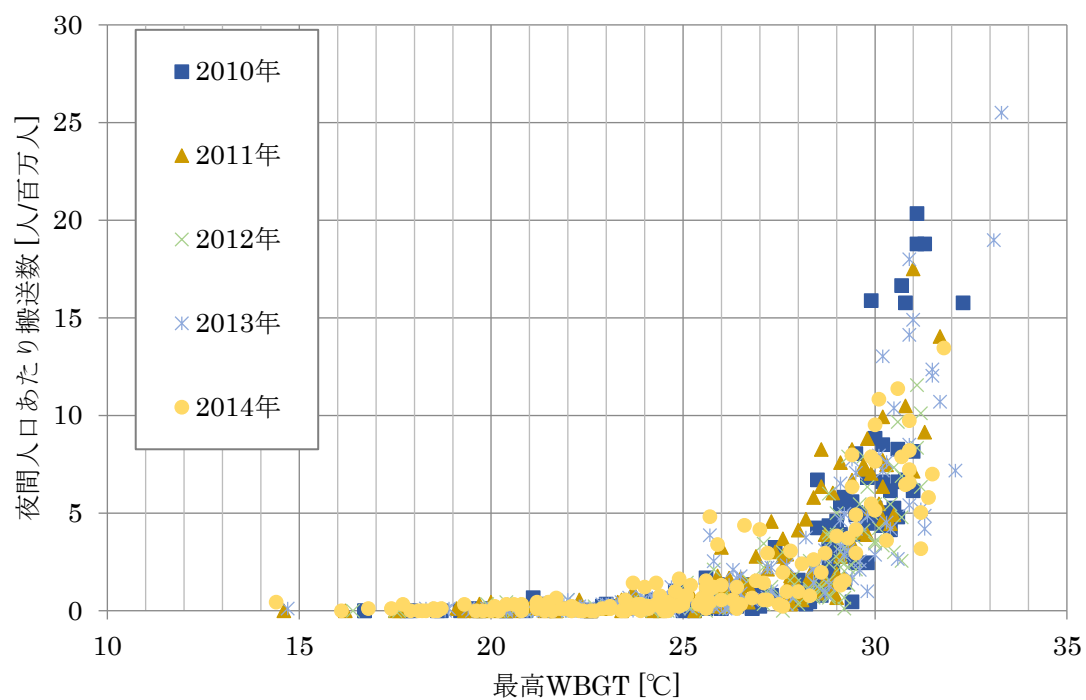


Figure 22 東京都夜間人口あたり搬送数

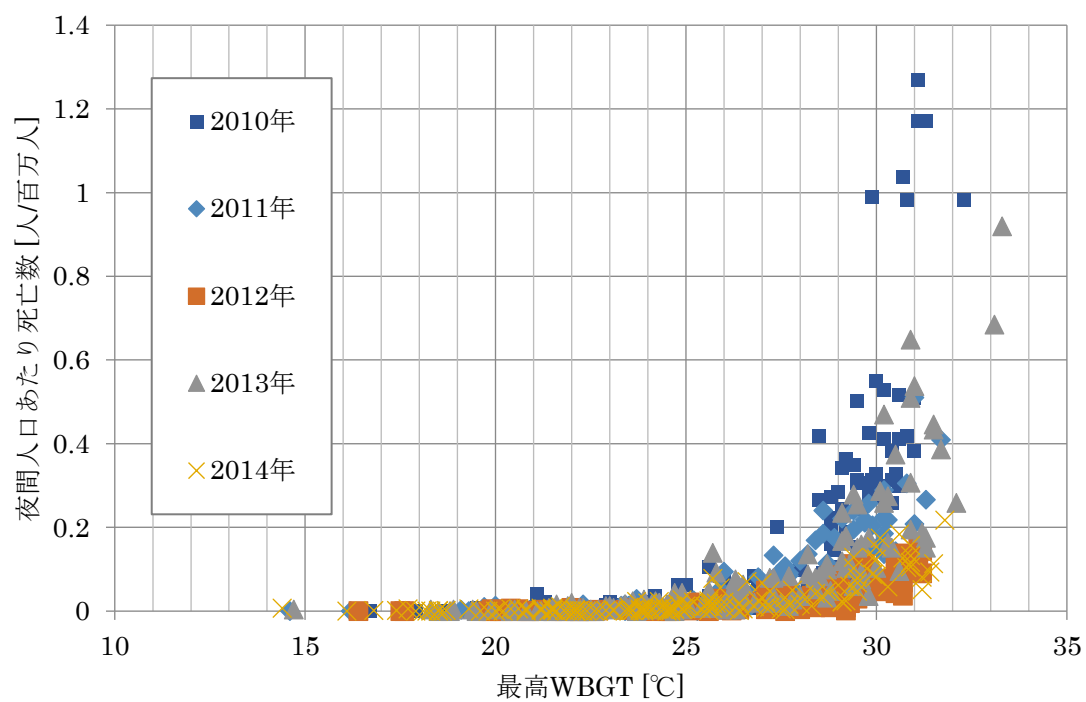


Figure 23 東京都夜間人口あたり死亡数

3.3.2.1 WBGT の近似式

WBGT は気温に加え、湿度や放射などを取り入れた熱中症予防を目的とし提案された指標である。しかし、一般には黒球温度を計測していないため、通常的气象要素を用いた以下の近似式 [35] (式 (9)) で算出する方法が考えられる。

$$WBGT = 0.735 \times Ta + 0.0374 \times RH + 0.00292 \times Ta \times RH + 7.619 \times SR - 4.557 \times SR^2 - 0.0572 \times WS - 4.06 \quad (9)$$

Ta : 乾球温度[°C]

RH : 相対湿度[%]

SR : 時刻別日射量 [kW/m²]

WS : 風速 [m/s]

3.3.2.2 日照時間を用いた日射量の推定

ジャカルタにおいて算出に必要な気象データは OGIMET [36] から日最高気温、3 時間ごとの気温、相対湿度、風速、日別日照時間が入手可能であるが、時刻別日射量は入手できないため、WBGT の近似式 (式(9)) を用いた推計には困難である。そこで、日別日照時間を用いて日射量の推定を行った。日照時間と日射量には相関があることは既往研究によって示されている[37]。日本の気象庁から得た 2004 年から 2014 年までの石垣島の全天日射量データ、日照時間データを用いて日照時間から日射量に変換する推計式を作成し、その推計式をジャカルタに適用した。本研究では、雲の影響を加味して、全天日射量/大気外水平面日射量 (時別値) と日照時間/可照時間 (日別値) との関係式を作成した。結果を Figure 23 に示す。また、可照時間と大気外水平面日射量の計算式を[38]を参考に、以下記述すると

大気上端の水平面日射量 Sd_0 (日平均) は、次式によって計算する。

$$Sd_0 = I_0 \pi / (d_0 / d)^2 (h \sin \phi \sin \delta + \sinh \cos \phi \cos \delta) \quad (10)$$

$$h = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (11)$$

$$(d_0/d)^2 = 1.00011+0.034221\cos\eta+0.00128\sin\eta \\ +0.000719\cos2\eta+0.000077\sin2\eta, \quad (12)$$

$$\delta = \sin^{-1}(0.398 \times \sin a_2) \quad (13)$$

$$a_2 = 4.871 + 0.033 \sin \eta \quad (14)$$

$$\eta = (2\pi/365) \times \text{DAY} \quad (15)$$

φ は観測地点の緯度 (rad), δ は太陽の赤緯 (rad)、 I_0 は太陽定数 ($=1367\text{Wm}^{-2}$
 $=118.1\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$)、 d と d_0 は太陽・地球間の距離とその平均値であり、DAY (日) は年
 間通算日数である。

可照時間 N_0 (h)は、次式によって計算できる。

$$N_0 = 2H/0.2618 \quad (16)$$

$$\sin(H/2) = [A/(\cos\varphi \cos\delta)]^{1/2} \quad (17)$$

$$A = \sin(\pi/4 + (\varphi - \delta + r)/2) \sin(\pi/4 - (\varphi - \delta - r)/2) \quad (18)$$

H (rad)は、地平大気差 r ($=0.01\text{rad}$)を考慮した日の出から南中までの時角である。

石垣島における日射量推定式を Figure 24 に示す。また、石垣島の日射量推定式を用いて
 ジャカルタにおける日最高 WBGT を推定した結果を Figure 25 に示す。4 月および 10 月
 が相対的に高くなっており、体感気温が高いため、熱中症のリスクが増大する可能性がある
 ことが分かった。

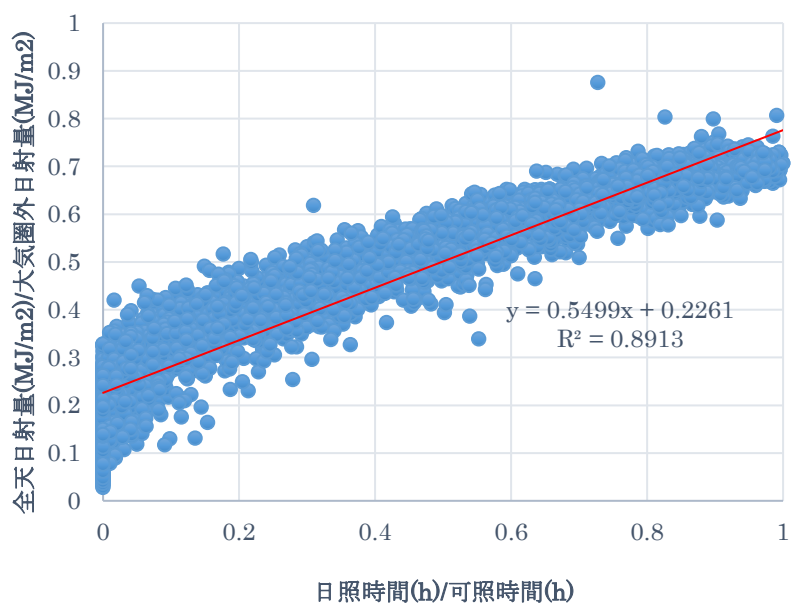


Figure 24 石垣島における日射量推定式

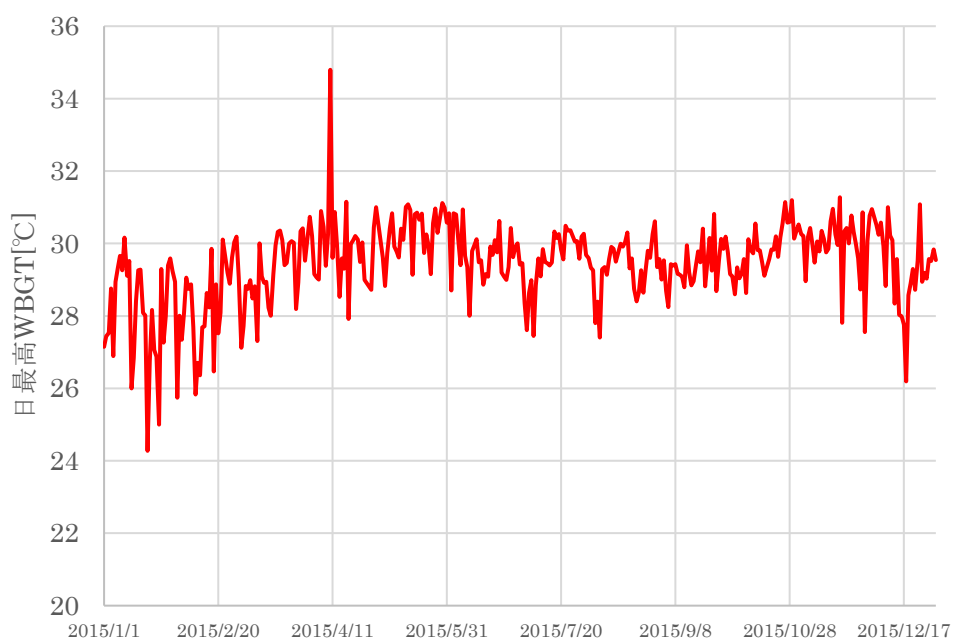


Figure 25 ジャカルタの 2015 年における日最高 WBGT の推定

3.3.4 日最高気温による推定

ジャカルタにおいて、日最高気温は入手可能であるため日最高気温と日別熱中症死亡数との関係を用いて推定する方法も検討した。3 次の平滑化スプライン関数を用いて回帰を行った。回帰の際、GCV にて最適化を実施した。

3.3.4.1 日最高気温と死亡数の関係

東京において WBGT を用いた推計式と日最高気温を用いた推計式の平均二乗誤差 (Root Mean Squared Error, RMSE) を計算し、2 つの推計式の精度を比較した。結果を Figure 26 と Figure 27 に示す。

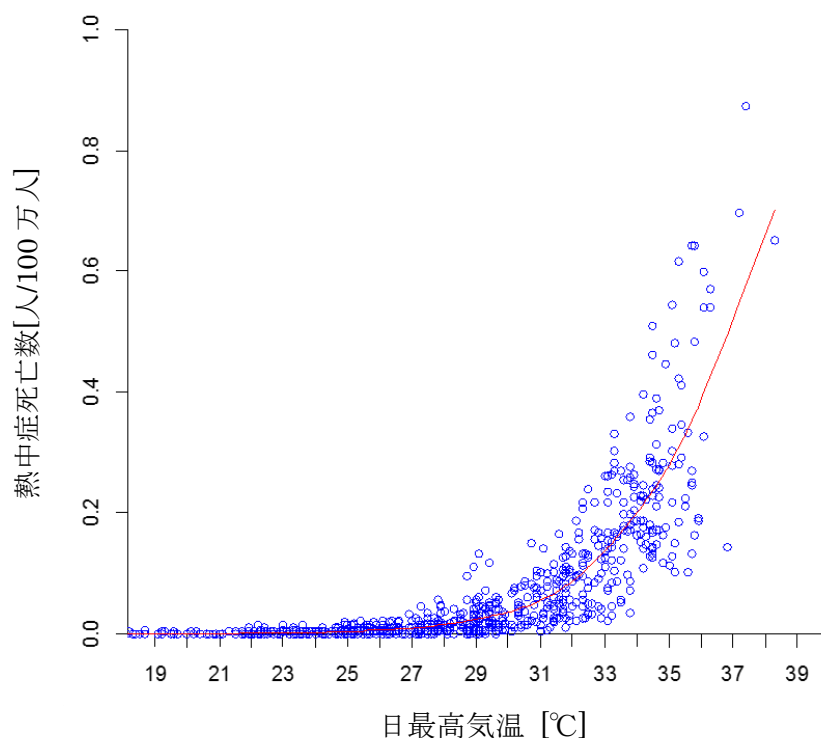


Figure 26 最高気温と熱中症死亡数の関係

日最高気温と熱中症死亡数の関係を平滑化スプライン回帰した結果、Figure26 のような関数を得た。RMSE は 0.064 であった。

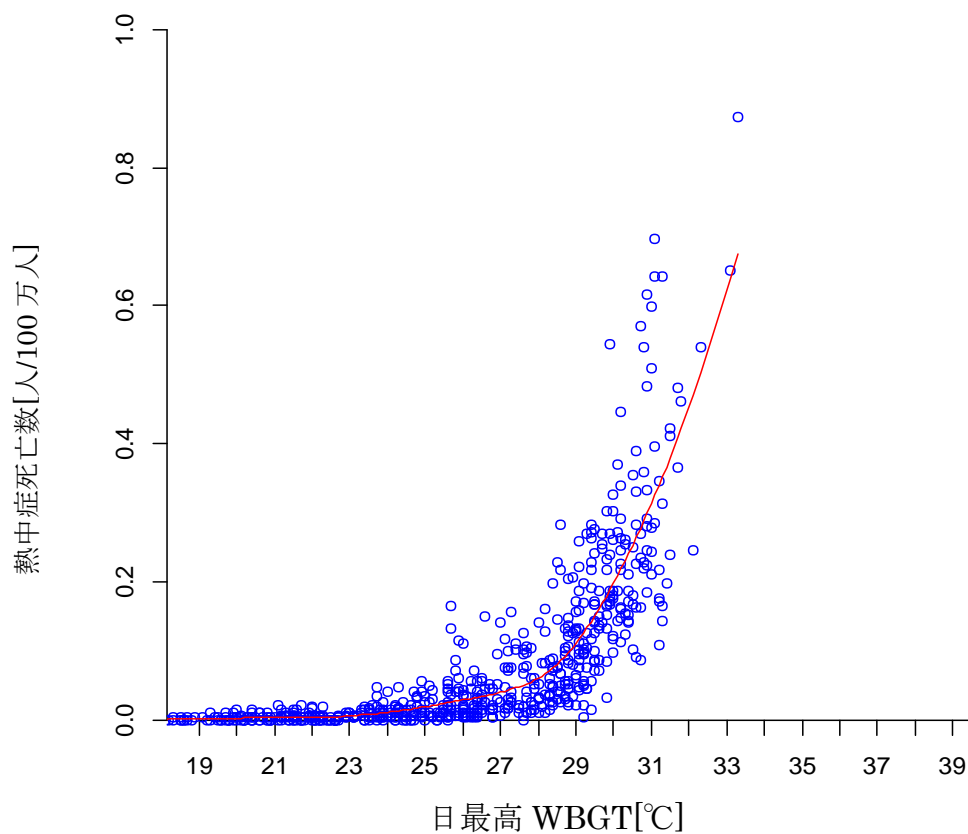


Figure 27 日最高 WBGT と熱中症死亡数の関係

日最高 WBGT と熱中症死亡数の関係を平滑化スプライン回帰した結果、Figure27 のような関数を得た。RMSE は 0.079 であった。日最高気温を用いた推計式の精度と比較し、大きな差がなかったため、利用可能な気象データが限られているジャカルタにおける熱中症の推計には温熱指標として日最高気温を用いることにした。

3.3.4.2 至適気温を用いたジャカルタへの適用

東京で作成した熱中症推定式をジャカルタに適用する際に、死亡と気温の関係を参考にした。本田・高橋[39]は日本全国を対象として日最高気温と死亡率との関係を見ると、死亡率が最低となる気温、すなわち至適気温 (optimum temperature, OT) が存在し、気温がそれより高くても低くても死亡率は高くなる V 字型となることを発見した。OT は年間最高気温の 84 パーセンタイル値とほぼ一致しており、WHO の報告書における熱関連死亡の推計[12]にも用いられている (Figure 28 参照)。

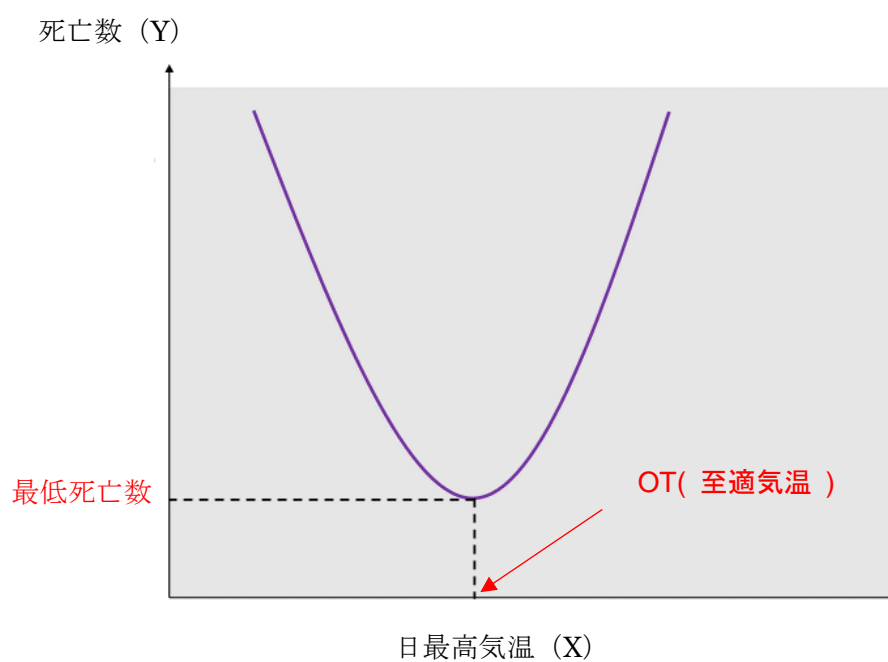


Figure 28 日最高気温と日別死亡数の関係

そこで、ジャカルタと東京の OT の差分+4.4℃（過去 10 年分解析）だけ東京の被害関数を水平移動させることでジャカルタへと適用させた。結果を Figure 29 に示す。

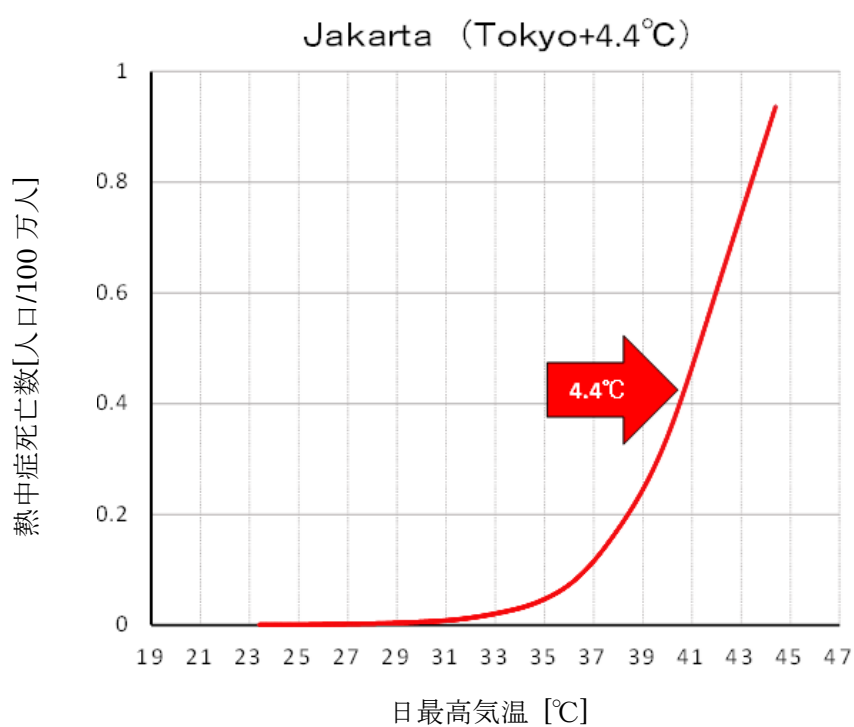


Figure 29 東京の被害関数のジャカルタへの適用

3.3 睡眠困難の推計手法

3.3.1 疫学調査概要

本研究では、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」の一環として行われた疫学調査のデータを解析した。調査は、株式会社インテージリサーチに依頼して実施した。

ジャカルタにおいて 2016 年 2 月（1 回目）、10 月、11 月（2 回目）の連続 3 週間のうち火・水・木曜日に睡眠に関する疫学調査を実施した。調査は訪問留め置き調査にて行い、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）を考慮して抽出した。サンプル数は 1 回目 N=263、2 回目 N=264 であった。以下、Tables 3,4 に被験者属性の概要を示す。

Table 3 2016 年 2 月調査

	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 歳以上	20	50.0	50.0
社会階級（収入） A1(6000001Rp 以上)	60	46.7	53.3
社会階級（収入） A2(Rp 4,000,001 - Rp 6,000,000)	50	46.0	54.0
社会階級（収入） B (Rp 2,500,001 - Rp 4,000,000)	79	51.9	48.1
社会階級（収入） C1(Rp 1,750,001 - Rp 2,500,000)	52	57.7	42.3
社会階級（収入） (Rp 1,250,001 - Rp 1,750,001)	22	50.0	50.0

Table 4 2016 年 10,11 月調査

	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
40-49 歳	86	52.3	47.7
社会階級 (収入) A1(6000001Rp 以上)	61	65.6	34.4
社会階級 (収入) A2(Rp 4,000,001 - Rp 6,000,000)	50	52.0	48.0
社会階級 (収入) B (Rp 2,500,001 - Rp 4,000,000)	80	48.8	51.3
社会階級 (収入) C1(Rp 1,750,001 - Rp 2,500,000)	52	40.4	59.6
社会階級 (収入) C2(Rp 1,250,001 - Rp 1,750,001)	21	42.9	57.1

3.3.1.1 2016 年 2 月、10 月

アンケートは性別・年齢などの基本事項や直近の生活や疲労・睡眠について初日に訊ね (Table5,7 参照), Chalder の疲労尺度の質問や自覚症状, 睡眠については毎日訊ねた (Tables 6,8 参照)。ピッツバーグの睡眠質問票に関しては、初日に加えて 3 週目 (火曜日) にも訊ねた。

Table 5 初日のアンケート質問内容(2016 年 2 月)

Question	Title
Q1～8	性別、年齢、郵便番号、職業、休日、夜勤有無、就業日数・時間
Q9～13	日中滞在場所・温度・空調、住居情報
Q14～21	Chalder の疲労質問票、ピッツバーグ睡眠質問票
Q22～26	現在の疾患、半年以内の手術歴、薬の服用、喫煙、妊娠、授乳、慢性的な疲労の症状

Table 6 毎日のアンケート質問内容(2016 年 2 月)

Question	Title
Q1～7(初日のみ)	【前日】ストレスの程度、体調、就業・屋外滞在時間、朝・昼食の有無、飲酒有無・程度
Q8～14	【当日】ストレスの程度、体調、就業・屋外滞在時間、朝・昼食の有無、飲酒有無・程度
Q15～26	Chalder の疲労質問票、主観的疲れ具合、毎日の睡眠を評価するための質問票
Q27～44	昼間・就寝時の空調使用について、就寝・起床時の室温・湿度、自覚症状、補足事項

Table 7 初日のアンケート質問内容(2016 年 10 月)

Question	Title
Q1～8	性別、年齢、郵便番号、職業、休日、夜勤有無、就業日数・時間
Q9～13	日中滞在場所・温度・空調、住居情報
Q14～21	Chalder の疲労質問票、ピッツバーグ睡眠質問票
Q22～26	現在の疾患、半年以内の手術歴、薬の服用、喫煙、妊娠、授乳、慢性的な疲労の症状

Table 8 毎日のアンケート質問内容(2016 年 10 月)

Question	Title
Q1～7(初日のみ)	【前日】ストレスの程度、体調、就業・屋外滞在時間、朝・昼食の有無、飲酒有無・程度
Q8～14	【当日】ストレスの程度、体調、就業・屋外滞在時間、朝・昼食の有無、飲酒有無・程度
Q15～26	Chalder の疲労質問票、主観的疲れ具合、毎日の睡眠を評価するための質問票
Q27～44	昼間・就寝時の空調使用について、就寝・起床時の室温・湿度、自覚症状、補足事項

3.3.2 睡眠困難の評価

3.3.2.1 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 (Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI) は、ピッツバーグ大学精神科学教授 Buysse ら[40]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[41]によって日本語版 (PSQI-J) が作成された。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を構成している 18 質問項目は、過去 1 か月間における睡眠に関する問いであり、以下に示されるような 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) 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[40,41]。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（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、全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。

3.3.2.2 毎日の睡眠に関する質問票（SQIDS）

PSQI-J は過去 1 か月の睡眠の質を評価するため、その評価の結果は、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、つまり、その集団のベース睡眠困難者であると推測される。一方、毎日の気温の変化に伴う睡眠の変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 を参考に岡野らが作成した、毎日の睡眠を評価する SQIDS [22] を評価指標に用いた。

本研究では PSQI-J のカットオフポイントである得点 5.5 点を SQIDS の睡眠困難のカットオフポイントとして定め、毎日の罹患者数を推計した。SQIDS の 7 項目（C1~C7）と質問の概要を Table 9 に示す。

Table 9 SQIDS の 7 項目（C1~C7）と質問

1(C1 睡眠の質)	熟睡できましたか
2(C1 睡眠の質)	起床時の目覚め感(すっきり度)はどうか
3(C2 入眠時間)	寝床についてから 30 分以内に眠ることが出来ましたか
4(C3 睡眠時間)	就寝時刻を教えてください
5(C3 睡眠時間)	起床時間を教えてください
6(C3 睡眠時間)	実際の睡眠時間を教えてください(実睡眠時間)
7(C4 睡眠効率)	睡眠効率 = 実睡眠時間 / 床内時間 × 100 (%)
8(C5 睡眠困難)	睡眠の途中に目が覚めましたか(中途覚醒)
9(C5 睡眠困難)	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
10(C6 眠剤の使用)	睡眠薬使用の頻度
11(C7 日中覚醒困難)	眠気無くすっきりと過ごせましたか

3.3.4 睡眠困難被害関数の作成

本調査の結果、最も多い就寝時刻は 22 時台であったため (Figure 30,31)、睡眠困難罹患率と 22 時外気温の関係を 3 次の平滑化スプライン回帰 (GCV による最適化) によって導出した。

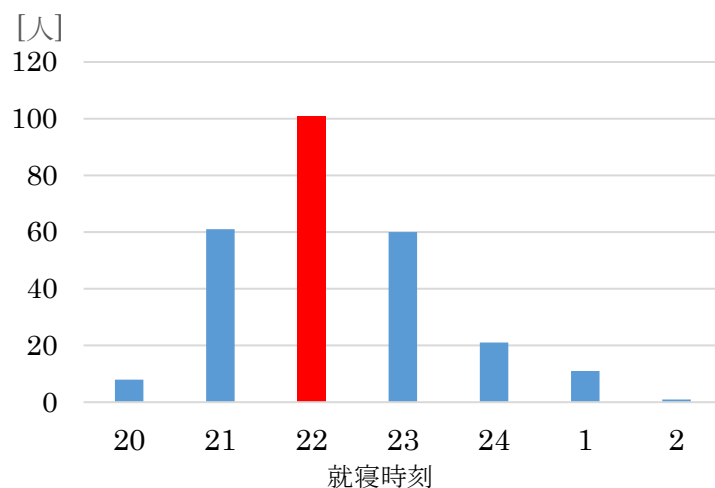


Figure 30 2016 年 2 月調査 過去 1 か月間の就寝時刻

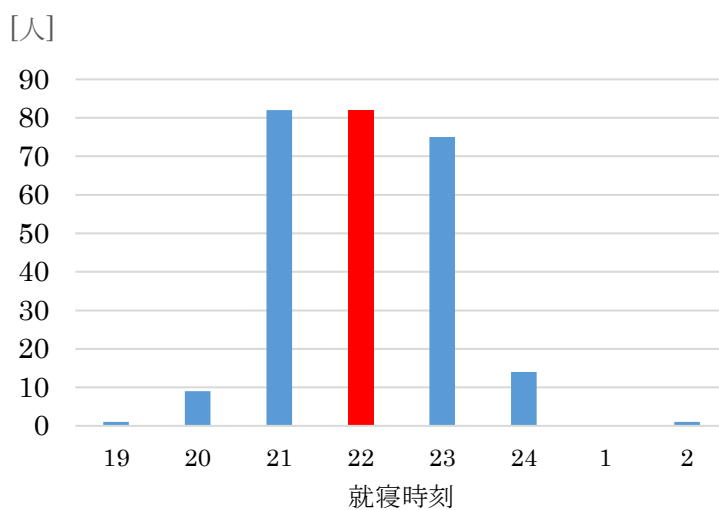


Figure 31 2016 年 10,11 月調査 過去 1 か月間の就寝時刻

3.3.5 適応策（エアコン）導入効果の評価手法

被験者を就寝時にエアコンを使用（冷房運転）した場合と、使用していない場合（除湿運転、扇風機を使用した場合を含む）に分類し解析を行った。被害関数を用いて、現状とエアコン使用率を増加させた場合の損 DALY[年]の比較を行った。

3.4 疲労の推計

3.4.1 疲労の評価手法

3.4.1.1 Chalder の疲労尺度

Chalder の疲労尺度とは、Chalder 疲労質問票から得ることのできる疲労の尺度のひとつである。Chalder 疲労質問票[42,43]は、1993 年に T. Chalder によって開発され、身体疲労と精神疲労の因子に大別される 14 項目の質問から構成される。Chalder の疲労尺度は成人の慢性疲労を評価するために開発されたとされており、各項目 3 点満点の計 42 点満点となる。今回は各項目に言及する際に分かりやすいように、CF C (項目番号) (Chalder Fatigue scale, component) といったように、略語を独自につけ、質問の内容についてもそれぞれに略語をつけた (Table 10 参照)。医者による疲労診断と対応させた結果、全 14 項目を採用した 14 項目版 Chalder の疲労尺度(CF-14)で 17 点以上、11 項目 (CF C1~4, 6~11, 13) を採用した 11 項目版 Chalder の疲労尺度(CF-11)で 15 点以上であると疲労罹患とみなせる[44]。Chalder の疲労尺度は、疲労医学界で用いられ、かつ医者による診断結果と質問票の結果を対応できる、すなわち医学的に確立された質問票であるため、この尺度を用いることで気温上昇と罹患率の関係を導出できると考えられる。

Table 10 Chalder の疲労質問票の質問

1(CF C1)	疲労(つかれた感じ)のためにこまることは(疲労)
2(CF C2)	もっと休みたいと思うことは(休養)
3(CF C3)	眠くなったり、ボーっとすることは(眠気)
4(CF C4)	何かを始めるのに問題があることは(始動時)
5(CF C5)	やり始めは問題ないのに続けるうちに気力がなくなっていくことは(継続)
6(CF C6)	活力がないと思うことは(活力)
7(CF C7)	筋力低下を感じることは(筋力低下)
8(CF C8)	自分のからだが弱々しいと感じることは(弱体)
9(CF C9)	なかなか集中できないことは(集中)
10(CF C10)	考えがうまくまとまらないことは(考え)
11(CF C11)	話そうとして、舌が回らなくなることは(滑舌)
12(CF C12)	話そうとして、適当な言葉が見つからないことは(言葉)

13(CF C13)	記憶力はどうか(記憶力)
14(CF C14)	今までやってきたことに興味を失ったことは(興味喪失)

Table 11 Chalder の疲労質問票の回答

CF C1～12		CF C13		CF 14	
ない	0 点	いつもより良い	0 点	ない	0 点
あまりない	1 点	いつもより悪い	2 点	ある	2 点
いつもより多い	2 点	いつもと変わらない	1 点	あまりない	1 点
非常に多い	3 点	いつもより非常に悪い	3 点	たびたびある	3 点

3.4.1.2 自覚症状

自覚症状の有無は主観的指標としての疲労の評価法として使用されることが多い。1992 年に旧厚生省研究班が作成した慢性疲労症候群の診断基準には自覚症状を問うものがほとんどであったが、現在は自覚症状だけではなく客観的に評価できるようになってきたため、疲労学会によって 2007 年に新しい診断指針が発表された[45]。このように自覚症状による疲労の評価法は医学的に確立されているわけではないため、罹患率にそのまま反映することはできないが、主観的に疲労を感じる割合の増加を知るためには有効な手段と言える。今回の疫学調査での質問項目は「だるさ・疲労感」、「めまい・たちくらみ」、「無気力」、「注意・集中力欠如」、「熱っぽい」、「食欲不振」、「下痢」、「寝苦しさ」、「その他」とした[23]。

3.4.1.3 Numerical Rating Scale (NRS)

Numerical Rating Scale (NRS) とは、主観的な痛みの強さの評価スケールとして、最もよく使用されている評価法で、0 から 10 までの 11 段階の数字を用いて、患者自身に痛みのレベルを数字で示してもらおう方法である[46] (Figure 32)。評価方法には、2 通りの方法があり、初診時または治療前の最大の痛みを 10 として、現在はどの程度になったかという pain relief score を用いる方法と、自分が今までに経験した最高の痛みを 10 として現在はいくつにあたるかを質問する方法がある。0 は痛みなし、1～3 は軽い痛み、4～6 は中等度の痛み、7～10 は強い痛みを表している。本疫学調査では、疲労の評価手法として後者を採用した。

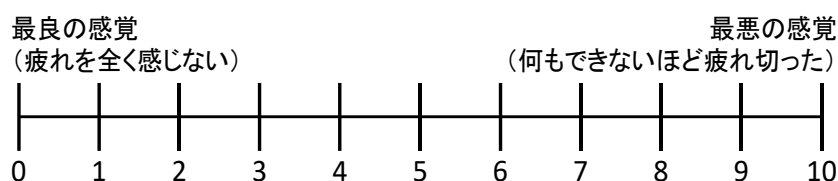


Figure 32 Numerical Rating Scale

第4章 結果と考察

4.1 熱中症

ジャカルタにおける 2015 年の熱中症死亡数は 85 人であり、熱中症の損失 DALY は 1541.71[年]であると推計された。WHO[12]が推計した、2030 年における東南アジア全体の熱関連死亡数は 6739 人であり、東南アジア全体の人口に占めるインドネシアの人口割合を考慮すると、妥当な推計であると考えられる。

4.2 睡眠困難

4.2.1 1 回目疫学調査

4.2.1.1 PSQI 得点分布

PSQI の得点分布を初日と三週間後それぞれ Figures 33,34 に示す。初日に比べて 3 週目の結果を見ると、5[pt]以上の人数が減少していた。特に、6[pt]以上すなわち睡眠困難罹患のカットオフポイント以上の割合が減少していた。

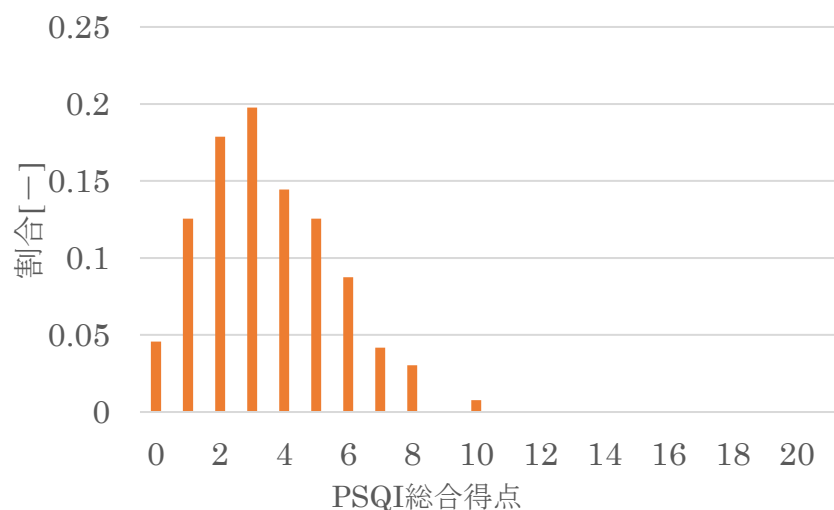


Figure 33 1 回目疫学調査（初日）PSQI 得点分布

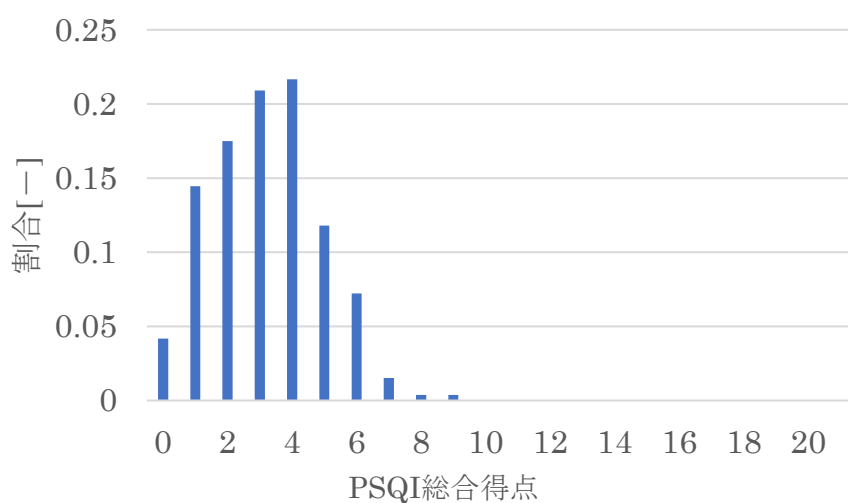


Figure 34 1回目疫学調査（3週目）PSQI 得点分布

4.2.1.2 PSQI 要素分析と罹患率

PSQI を構成する 7 つの要素と過去 1 か月における睡眠困難罹患率について解析を行った。1 回目調査（2 月）の初日は睡眠困難罹患率が 14% となっているが、3 週間後の睡眠困難罹患率は 9.4% と減少する結果となった。構成要素ごとの比較をすると、睡眠の質、睡眠効率、眠剤の使用、日中覚醒に関してはほぼ変化しなかった。入眠時間、睡眠時間、睡眠困難は比較的变化が見られ、特に入眠時間の変化が大きかった。

また、東京においてインターネットを通じて行った睡眠困難に関する研究結果[21]と比較すると、睡眠困難罹患率は 46.6% でジャカルタの罹患率（2 月）に比べて 3 倍以上多かった。構成要素別に見てみると、睡眠の質、睡眠時間、日中覚醒に大きな差が生じており、東京はジャカルタに比べて睡眠の質が悪いことが分かった。（Table 12 参照）

Table 12 PSQI の構成要素の平均得点と睡眠困難罹患率（2 月）

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	
	睡眠の質	入眠時間	睡眠時間	睡眠効率	睡眠困難	眠剤の使用	日中覚醒	睡眠困難
ジャカルタ 2016年2月 訪問留め置き(初日)	0.65	0.76	0.84	0.00	0.78	0.01	0.30	14.0%
ジャカルタ 2016年2月 訪問留め置き(3週目)	0.65	0.59	0.89	0.00	0.72	0.02	0.31	9.5%
東京 2007年, インターネット	1.28	1.08	1.40	0.19	0.83	0.26	0.90	46.6%

4.2.1.3 エアコン導入効果の評価（2月）

エアコンの有無別に被害関数を作成した結果を Figure 35 に示す。エアコンを使用した場合は線形となり、エアコンを使用していない場合は 26℃付近よりも高い場合も低い場合も罹患率が上昇するような V 字形関数となった。これは、エアコン使用していない場合は使用している場合に比べて外気温に対する感応度が大きいからであると考えられる。

また、エアコンを使用していない場合は V 字形関数となったため、罹患率が最低になる気温、すなわち睡眠に関する至適温度が求められた。至適温度は 25.97℃で、最低の罹患率は 8.5%であった。この罹患率は 3 週目の PSQI から求められた睡眠困難罹患率 9.5%に近く、SQIDS によって PSQI から得られる睡眠困難罹患率を予測できる可能性が示された。(Table 11 参照)

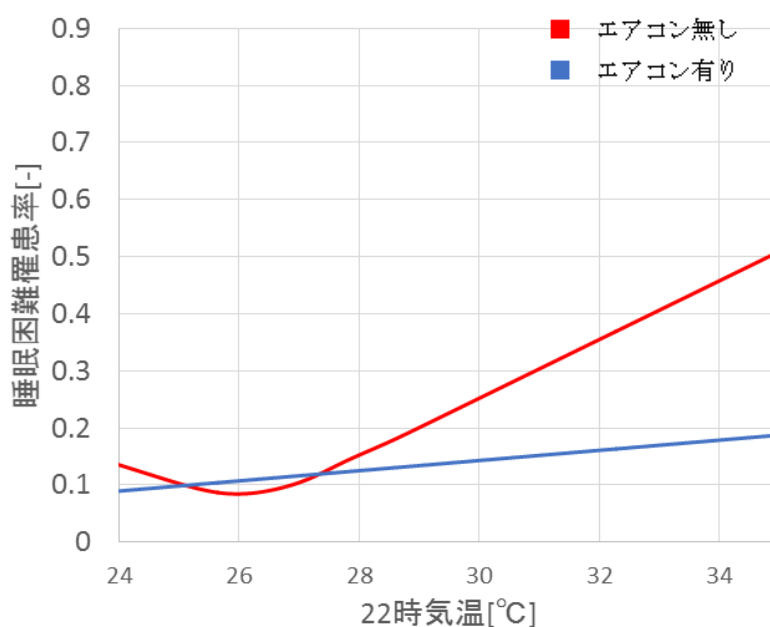


Figure 35 エアコン使用有無別の睡眠困難被害関数(2月)

また、被害関数を用いて、本調査から得られた現状（2月）のエアコン使用率が増加した場合の損失 DALY を算出した結果を Table 13 に示す。

Table 13 睡眠困難（2月）のエアコン導入効果

	エアコン使用 [率]		損失 DALY [千年]
	無し[-]	有り[-]	
現状（2月）	0.6	0.4	138.05
使用率増加	0.2	0.8	127.11

4.2.2 2回目疫学調査（2016年10,11月）

4.2.2.1 PSQI 得点分布

PSQI の得点分布を初日と三週間後それぞれ Figures 36,37 に示す。初日に比べて3週目の結果を見ると、4[pt]以上の人数が減少していた。特に、6[pt]以上すなわち睡眠困難罹患のカットオフポイント以上の割合が減少していた。1回目（2月）の結果と比べると、3[pt]の割合が3週目に著しく増加していた。

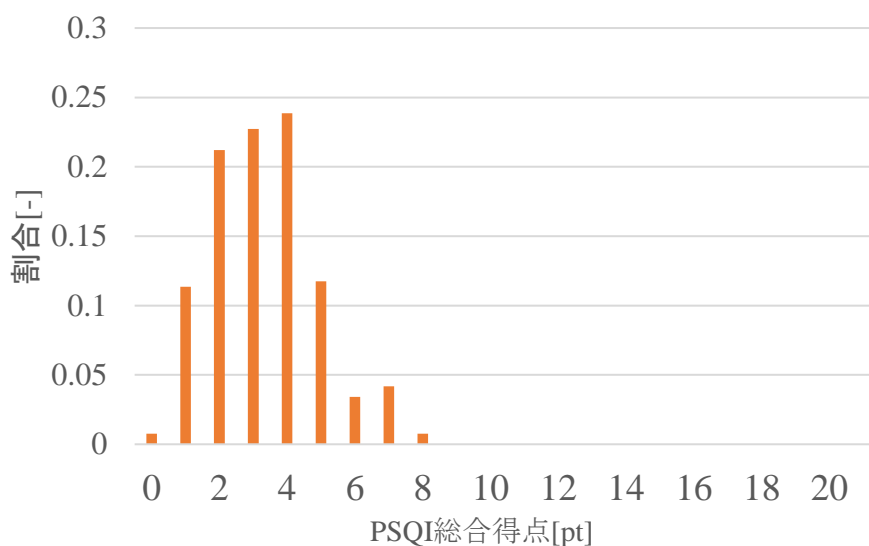


Figure 36 2回目疫学調査（初日）PSQI 得点分布

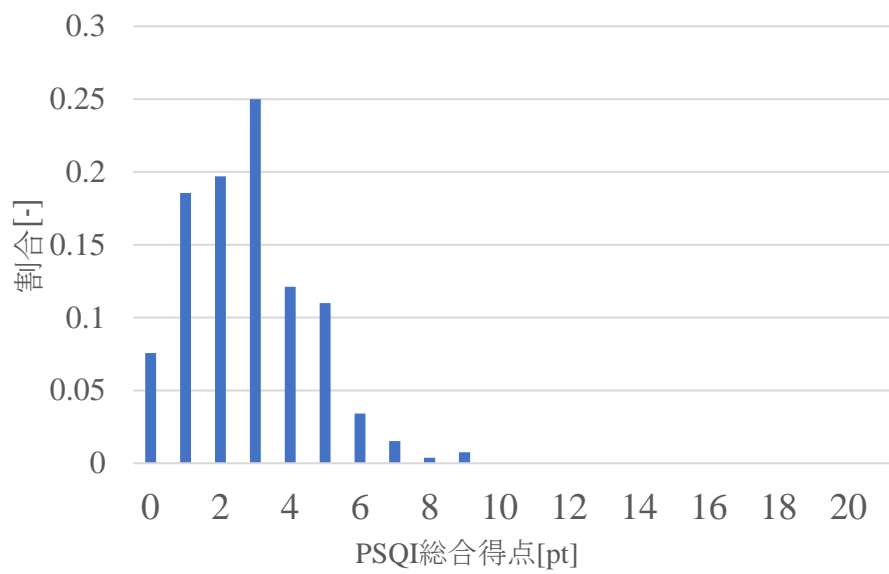


Figure 37 2回目疫学調査（3週目）PSQI 得点分布

4.2.2.2 PSQI 要素分析と罹患率

PSQI を構成する 7 つの要素と過去 1 か月における睡眠困難罹患率について 1 回目と同様に解析を行った。2 回目調査（10 月）の初日は睡眠困難罹患率は 6%となっているが、3 週間後の睡眠困難罹患率は 8.3%と 1 回目と異なり、増加する結果となった。構成要素ごとの比較をすると、睡眠の質、睡眠効率、眠剤の使用、睡眠困難、日中覚醒に関してはほぼ変化しなかった。入眠時間、睡眠時間、眠剤の使用は比較的变化が見られ、1 回目と同様に、特に入眠時間の変化が大きかった。

また、東京においてインターネットを通じて行った睡眠困難に関する研究結果[21]と比較すると、睡眠困難罹患率は 46.6%でジャカルタの罹患率（2 月）に比べて 5 倍以上多かった。構成要素別に見てみると、睡眠の質、入眠時間、睡眠時間、日中覚醒に大きな差が生じており、東京はジャカルタに比べて睡眠の質が悪いことが分かった。（Table 14 参照）

Table 14 PSQI の構成要素の平均得点と睡眠困難罹患率（10,11 月）

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	
	睡眠の質	入眠時間	睡眠時間	睡眠効率	睡眠困難	眠剤の使用	日中覚醒	睡眠困難
ジャカルタ 2016年10,11月 訪問留め置き(初日)	0.80	0.70	0.80	0.00	1.03	0.02	0.44	6.1%
ジャカルタ 2016年10,11月 訪問留め置き(3週目)	0.77	0.49	0.63	0.00	0.95	0.05	0.42	8.3%
東京 2007年, インターネット	1.28	1.08	1.40	0.19	0.83	0.26	0.90	46.6%

4.2.2.3 エアコン導入効果の評価（10,11 月）

1 回目同様、エアコンの有無別に被害関数を作成した結果を Figure 38 に示す。エアコンを使用した場合は線形となり、エアコンを使用していない場合は 27.7℃付近よりも高い場合も低い場合も罹患率が上昇するような V 字形関数となった。これは、エアコン使用していない場合は使用している場合に比べて外気温に対する感応度が大きいからであると考えられる。

また、エアコンを使用していない場合は V 字形関数となったため、罹患率が最低になる気温、すなわち睡眠に関する至適温度が求められた。至適温度は 27.7℃で、最低の罹患率は 7.4%であった。この罹患率は 3 週目の PSQI から求められた睡眠困難罹患率 8.3%(Table 13 参照) に近く、SQIDS によって PSQI から得られる睡眠困難罹患率を予測できる可能性が 1 回目同様、示された。

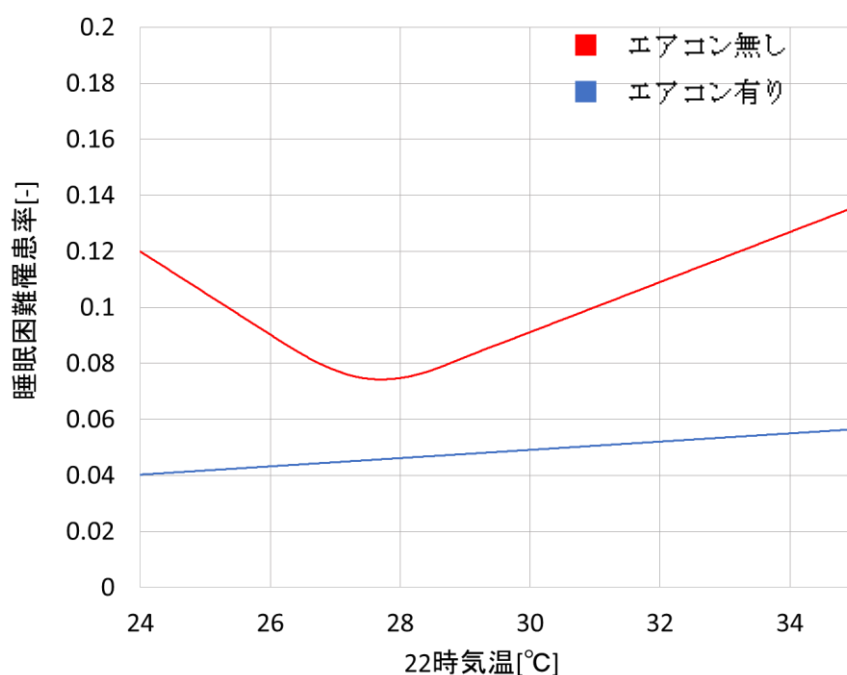


Figure 38 エアコン使用有無別の睡眠困難被害関数（10,11 月）

また、被害関数を用いて、本調査から得られた現状（2月）のエアコン使用率から使用率が増加した場合の損失 DALY を算出した結果を Table 15 に示す。エアコン使用率を 40% から 80%に増加させた場合、2 月の被害関数では年間約 7.9%の DALY 損失(10.9[千年]) を軽減できる試算となった。

Table 15 睡眠困難（10 月）のエアコン導入効果

	エアコン使用 [率]		損失 DALY [千年]
	無し[-]	有り[-]	
現状（10 月）	0.6	0.4	66.92
使用率増加	0.2	0.8	53.10

4.2.3 1回目、2回目睡眠調査メタ解析：エアコン導入効果

1回目および2回目の疫学調査の計2回のデータをメタ解析することで Figure 39 に示すような睡眠の被害関数を得た。エアコンを使用した場合は滑らかに減少する関数となった。また、使用していない場合は、極値を1つ持つようなV字形関数は得られず、罹患率が最低になる気温、すなわち疲労に関する至適最高気温が求められなかった。

これは、異なる OT、最低罹患率（ベース罹患率）を有する被害関数を同時に解析したことにより OT を1つに定まらなかったためだと考えられる。

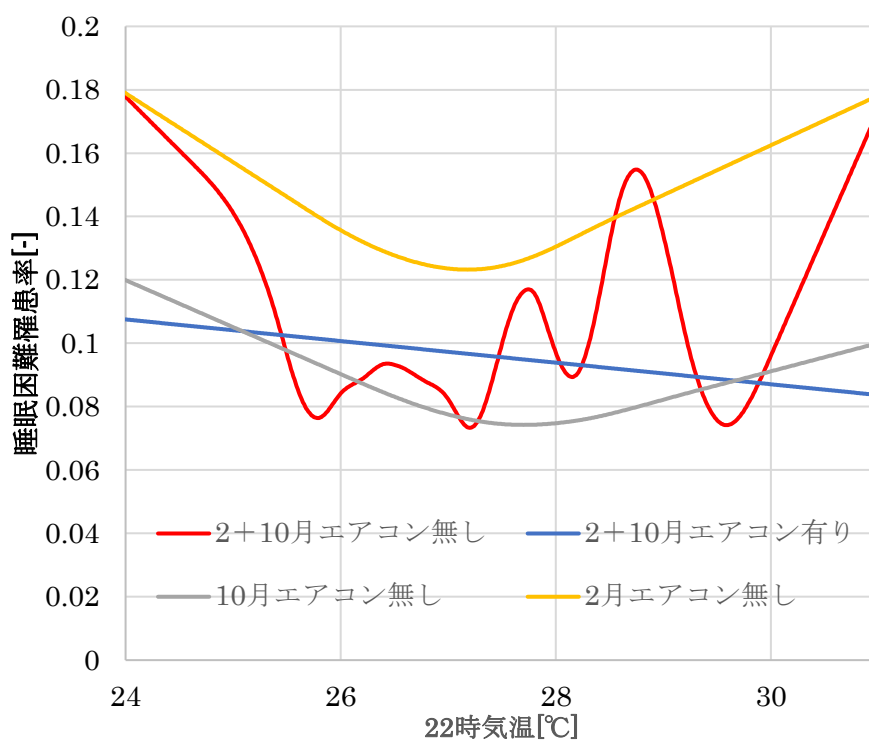


Figure39 疲労被害関数 (2月+10,11月)

4.3 疲労

4.3.1 1回目疫学調査

4.3.1.1 自覚症状

気温の変化が少なかったこともあり、最高気温と有意な相関が得られた項目は無かった。「だるさ・疲労感」を含む比較的多くの項目で最高気温に対して増加する関数を得たが、有意（95%有意水準）ではないため、利用できるデータとはならなかった。結果を Figure 40 に示す。

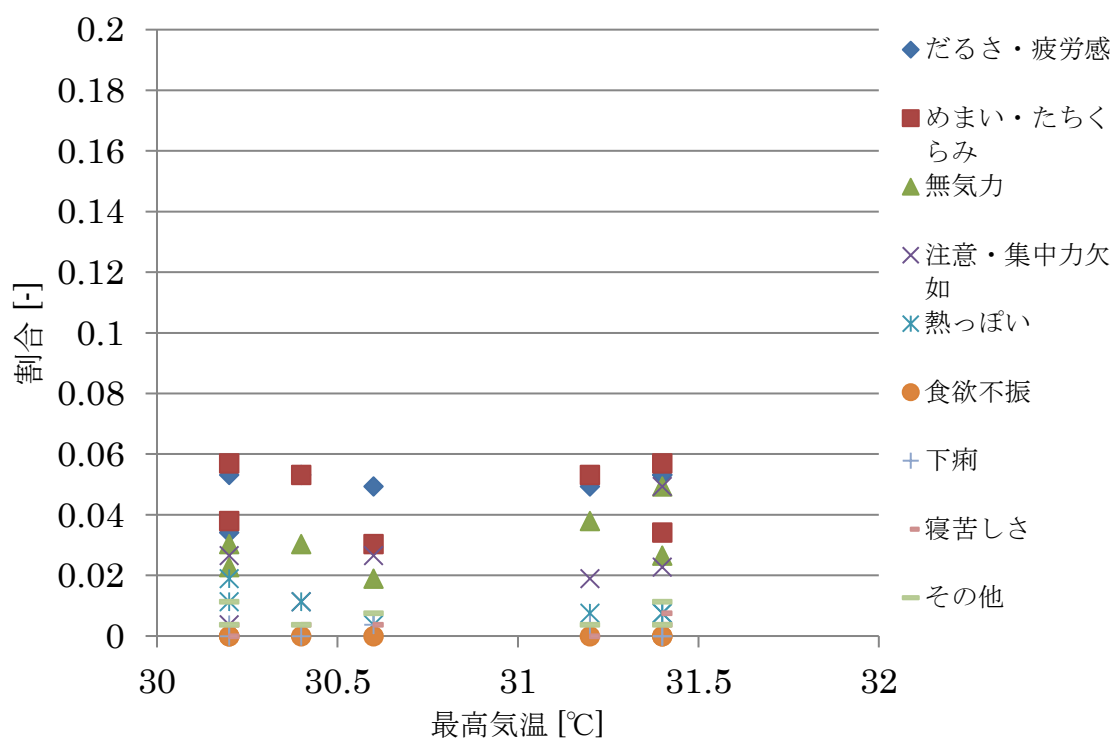


Figure 40 自覚症状と最高気温の関係

4.3.1.2 Numerical Rating Scale (NRS)

最高気温と NRS の平均値を線形回帰した結果を Figure 41 に示す。自覚症状の「だるさ・疲労感」と比べて、比較的有意水準に近い ($p = 0.09$) 関数を得た。しかし、気温に関して減少していく関数となった。

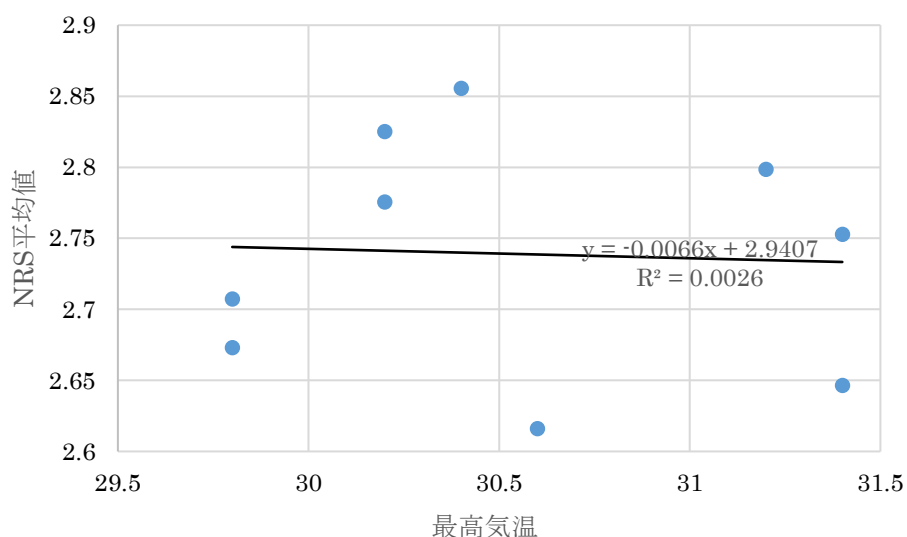


Figure 41 NRS と最高気温の関係

4.3.1.3 Chalder の疲労尺度

Chalder の疲労尺度の 14 項目について、X 軸を最高気温、Y 軸をその項目の平均得点として線形回帰分析を行った。結果を Figures 42～55 に示す。

$$y = -0.0241x + 1.2569 \quad (\text{始動時})$$

$$R^2 = 0.4904$$

$$y = -0.0277x + 1.3128 \quad (\text{筋力低下})$$

$$R^2 = 0.4534$$

$$y = -0.0186x + 1.0337 \quad (\text{弱体})$$

$$R^2 = 0.451$$

上記 3 項目に関して傾きの p 値はそれぞれ、 $p = 0.036$ 、 $p = 0.047$ 、 $p = 0.048$ となり、95% 水準で有意となった。しかし、いずれも減少関数であった。

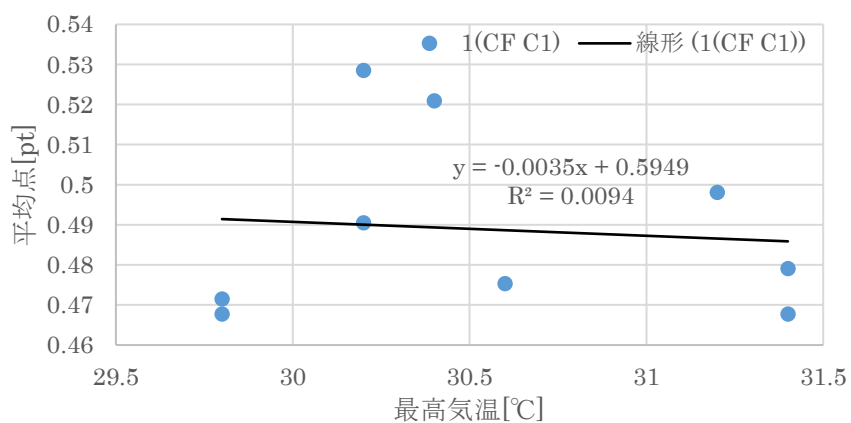


Figure 42 疲労

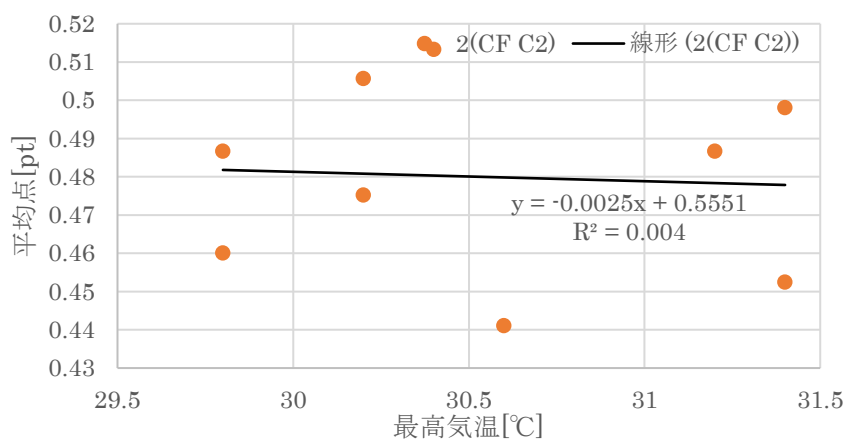


Figure 43 休養

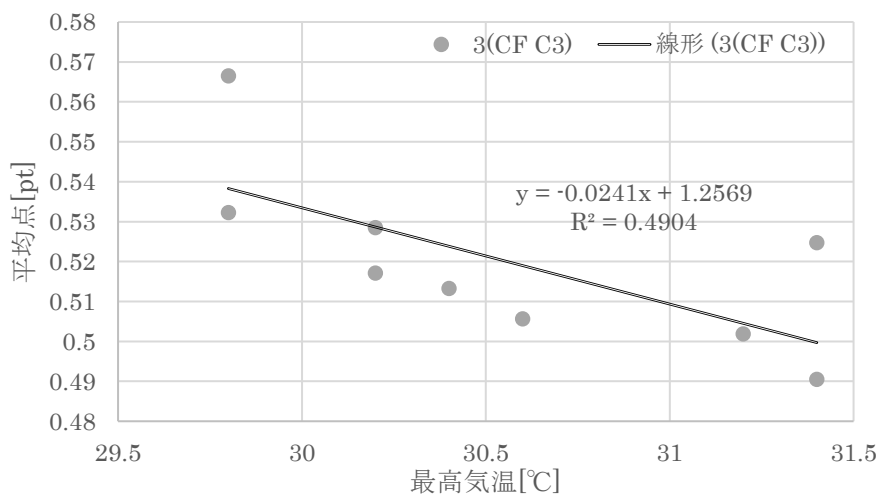


Figure 44 始動時

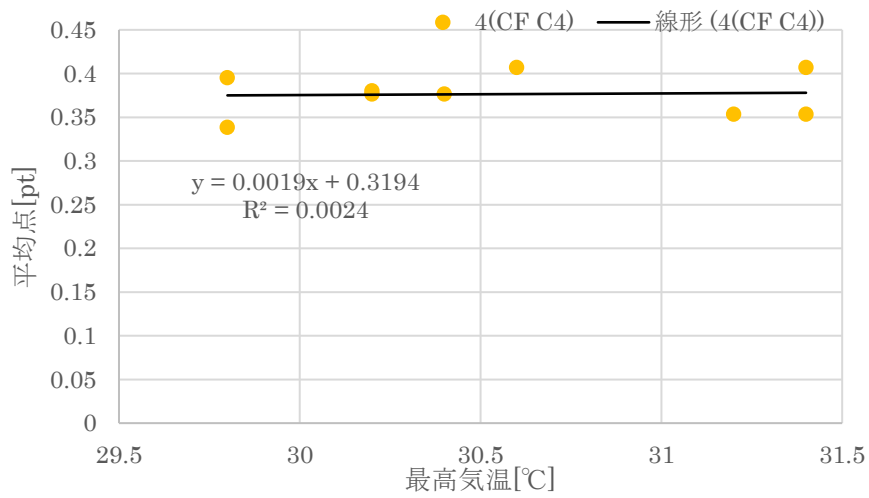


Figure 45 眠気

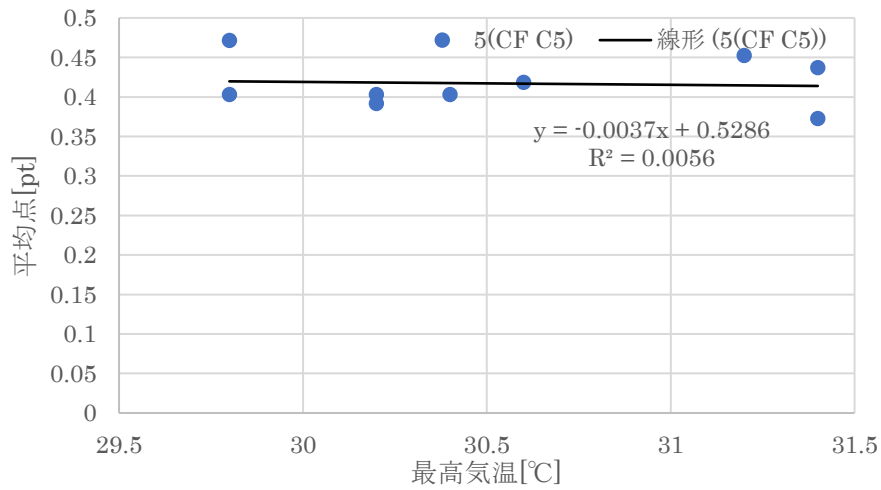


Figure 46 継続

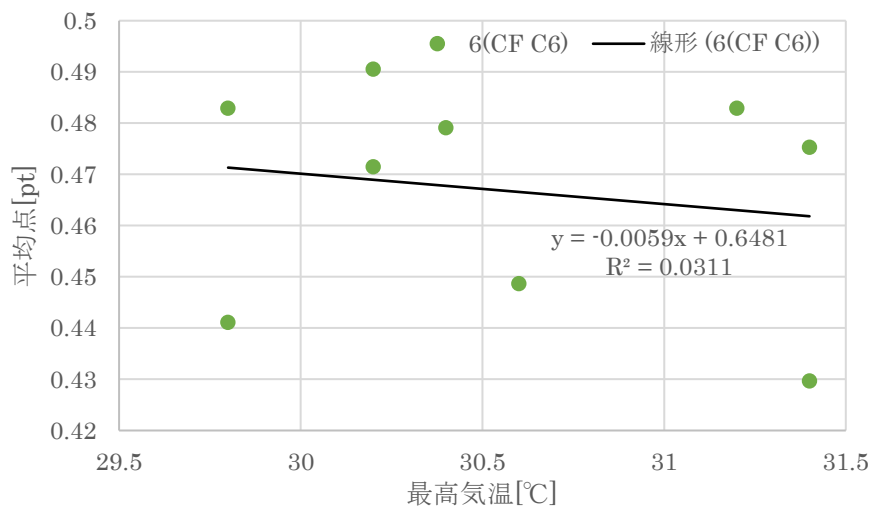


Figure47 活力

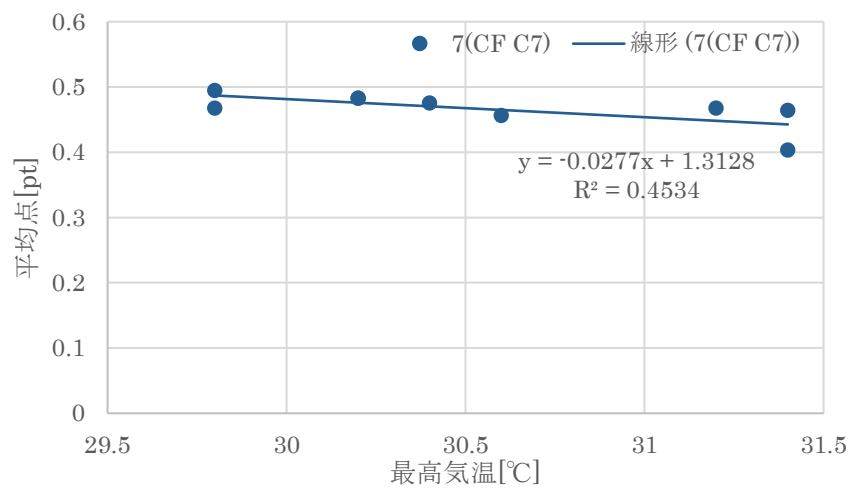


Figure 48 筋力低下

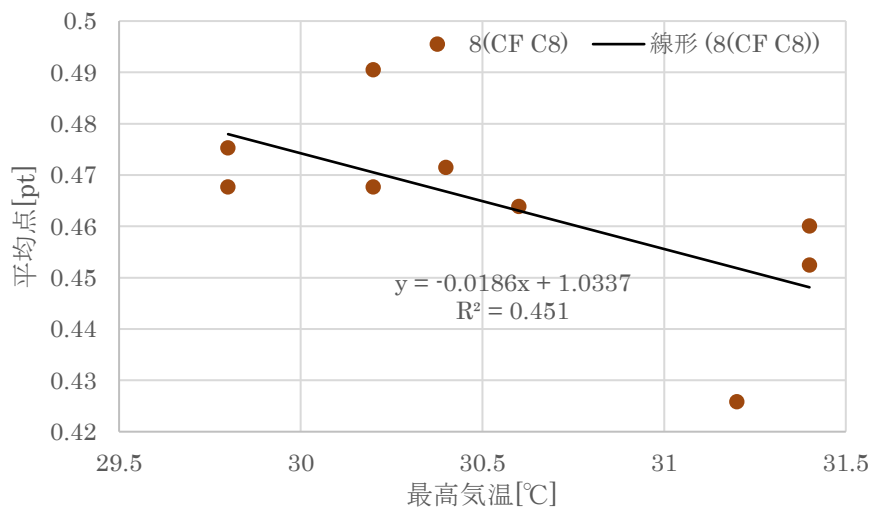


Figure 49 弱体

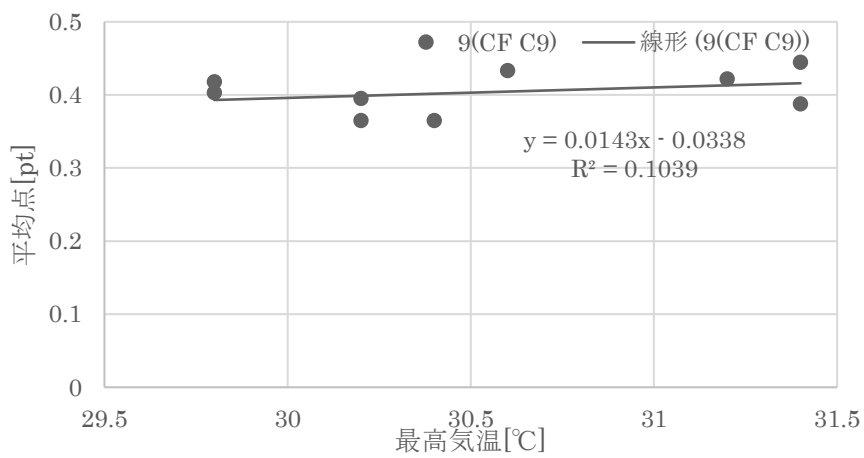


Figure 50 集中

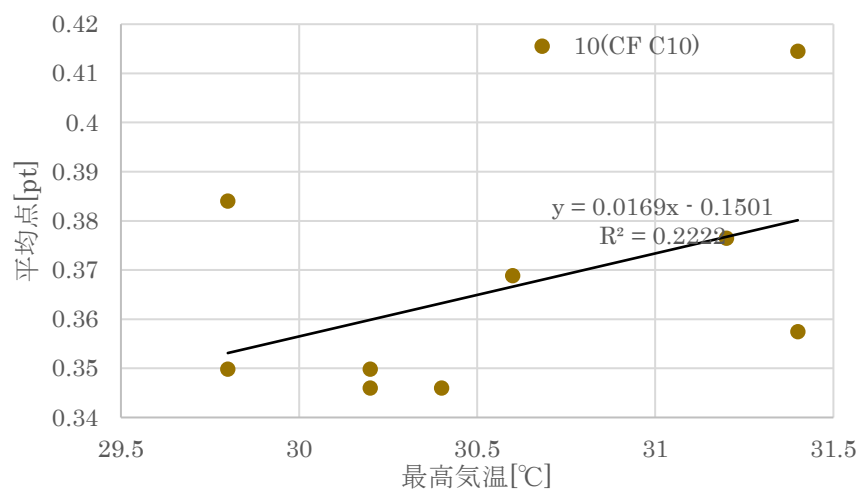


Figure 51 考え

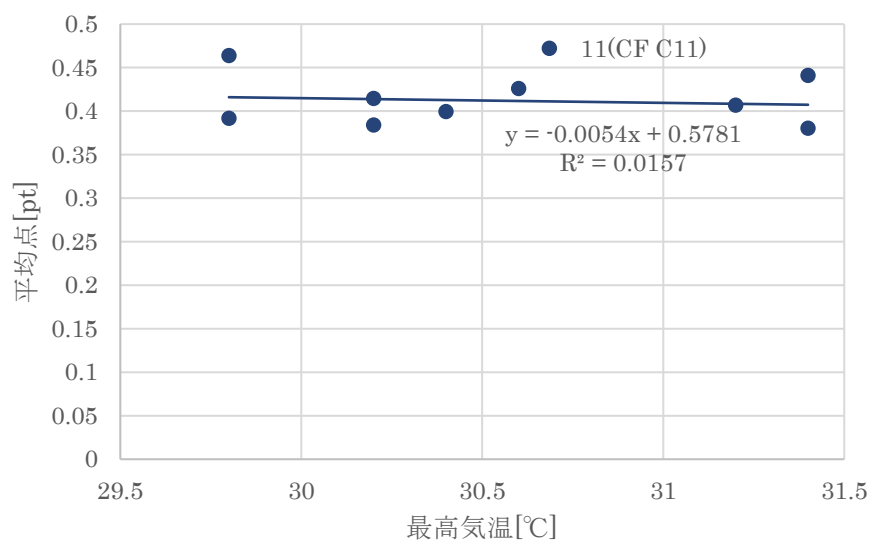


Figure 52 滑舌

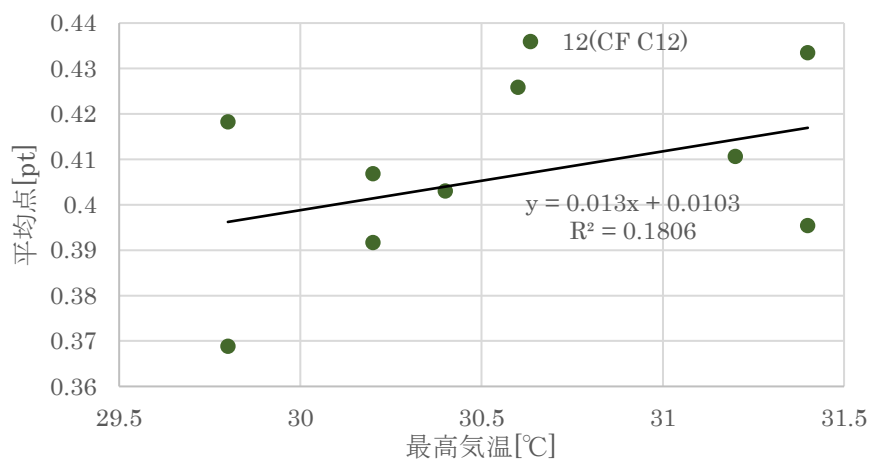


Figure 53 言葉

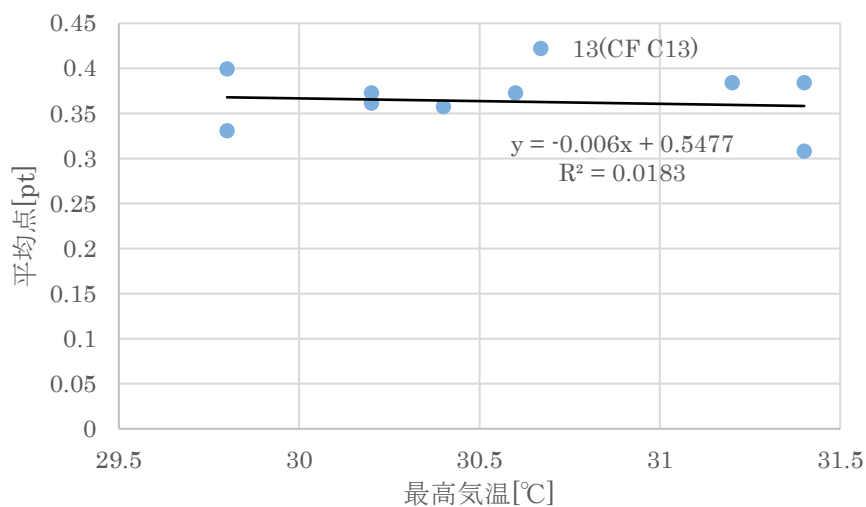


Figure 54 記憶力

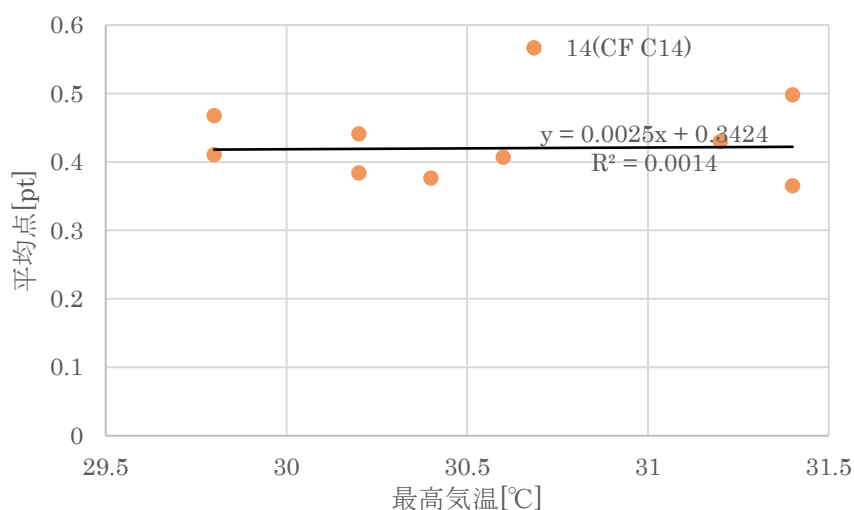


Figure 55 興味喪失

4.3.1.3 エアコン導入効果の評価

エアコンを使用した場合と全被験者における疲労被害関数を解析した結果を Figure 56 に示す。エアコンを使用しなかった場合の解析はうまく回帰式が得られなかった。エアコンを使用していないと回答した被験者が少なかったため、温度の幅が十分でなかったことが原因であると考えられる。

エアコンを使用した場合の被害関数は上に凸の関数になり、32°C付近から上昇しても低下しても罹患率が減少する関数となった。全被験者の被害関数は、線形の関数となり、最高気温の上昇と共に緩やかに上昇する結果となった。

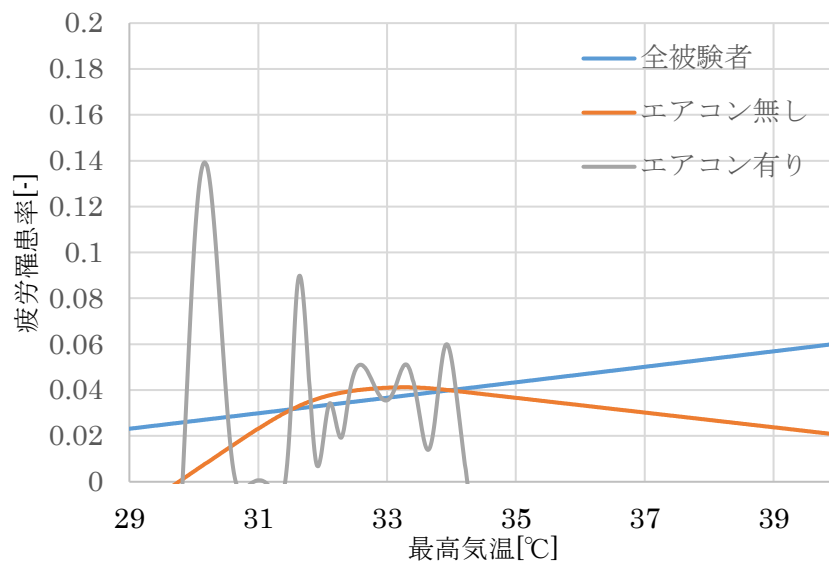


Figure 56 疲労被害関数（2月）

4.3.2 2回目疫学調査

4.3.2.1 自覚症状

最高気温の上昇に伴って自覚症状を訴える人の割合が明らかに増加するのは、「めまい、たちくらみ」の項目のみであった。また、線形回帰した結果、有意 ($p < 0.05$) になった項目は無かった (Figure 57 参照)。

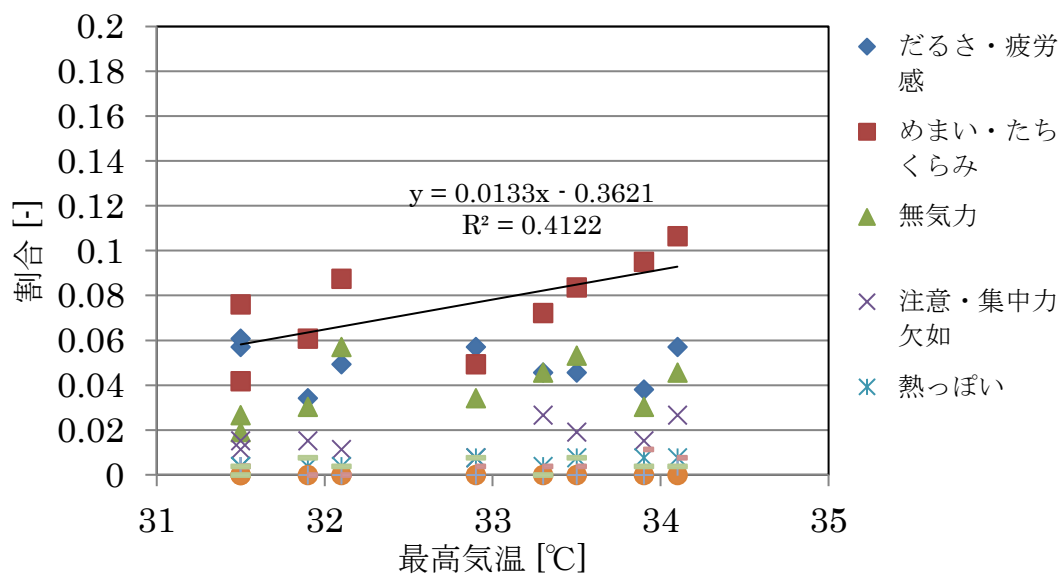


Figure 57 自覚症状と最高気温の関係（10月）

4.3.2.2 Numerical Rating Scale (NRS)

最高気温と線形回帰した結果を Figure 58 に示す。傾き、切片ともに有意 ($p < 0.05$) にはならなかった。

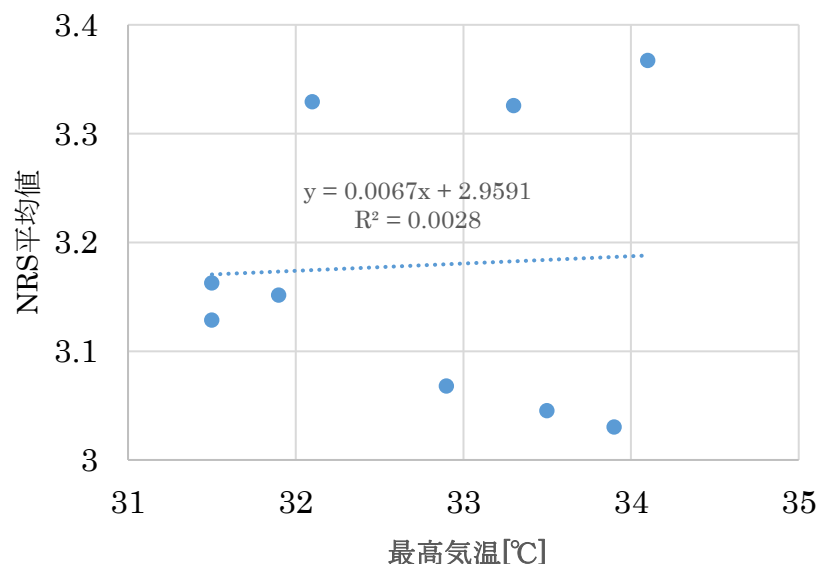


Figure 58 NRS と最高気温の関係 (10 月)

4.3.2.3 Chalder の疲労尺度

Chalder の疲労尺度の 14 項目について、X 軸を最高気温、Y 軸をその項目の平均得点として線形回帰分析を行った。結果を Figures 59～71 に示す。

$$y = 0.0111x + 0.1596 \text{ (始動時)}$$

$$R^2 = 0.472$$

$$y = 0.0195x - 0.2019 \text{ (筋力低下)}$$

$$R^2 = 0.4499$$

$$y = 0.0231x - 0.3899 \text{ (考え)}$$

$$R^2 = 0.7031$$

上記 3 項目に関して傾きの p 値はそれぞれ、 $p=0.041$ 、 $p=0.048$ 、 $p=0.005$ となり、95% 水準で有意となった。1 回目の疫学調査と異なり、いずれも増加関数となった。

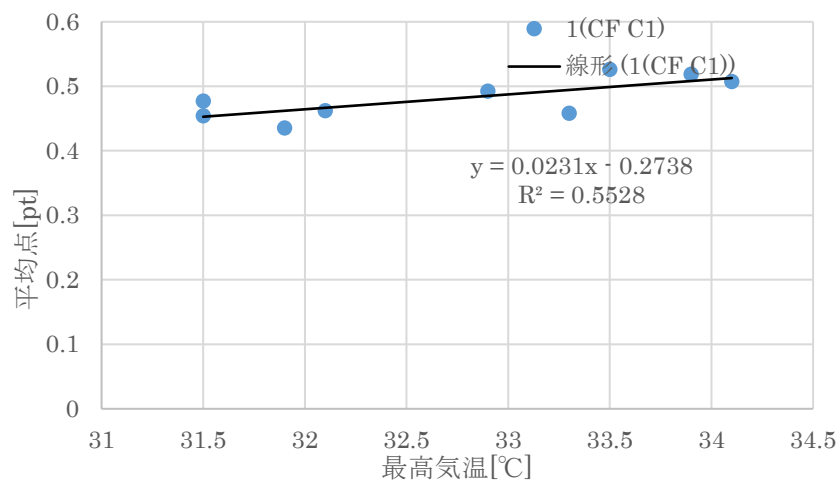


Figure 59 疲労

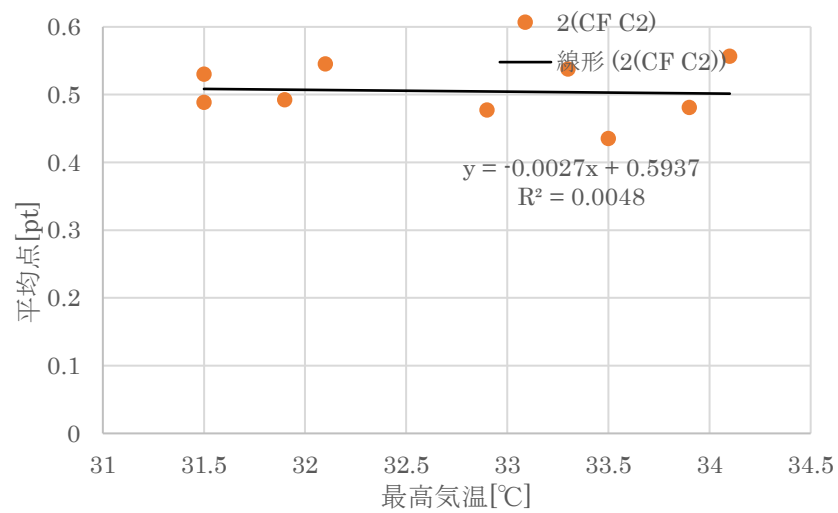


Figure60 休養

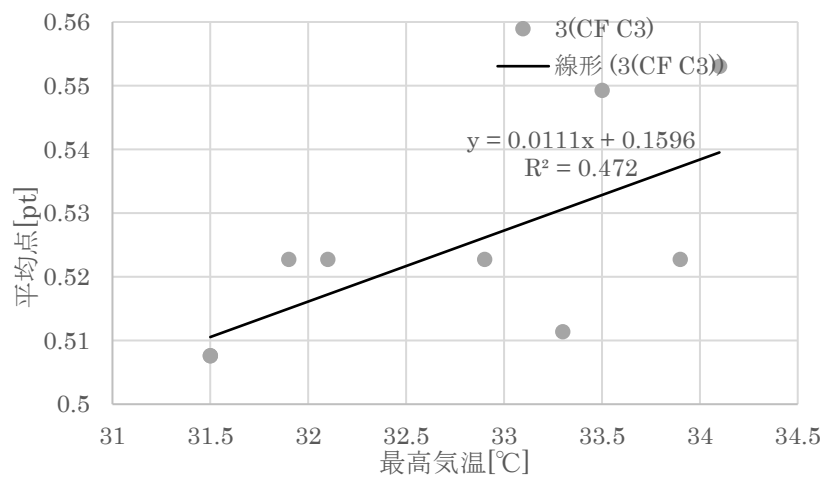


Figure 61 始動時

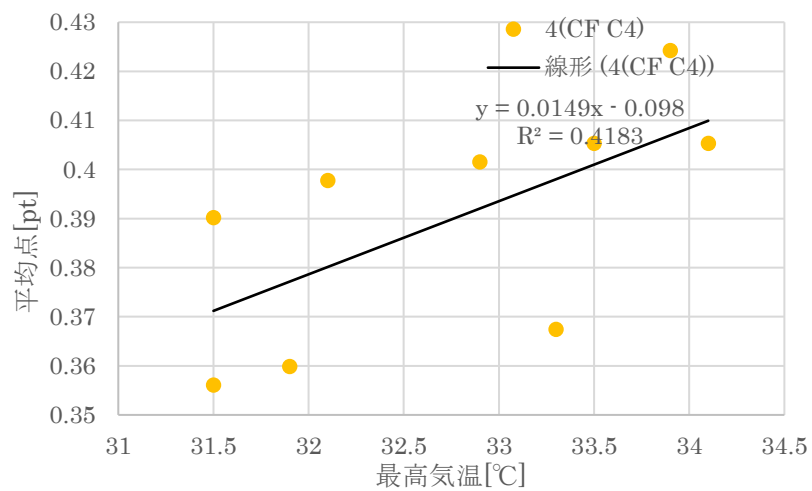


Figure 62 眠気

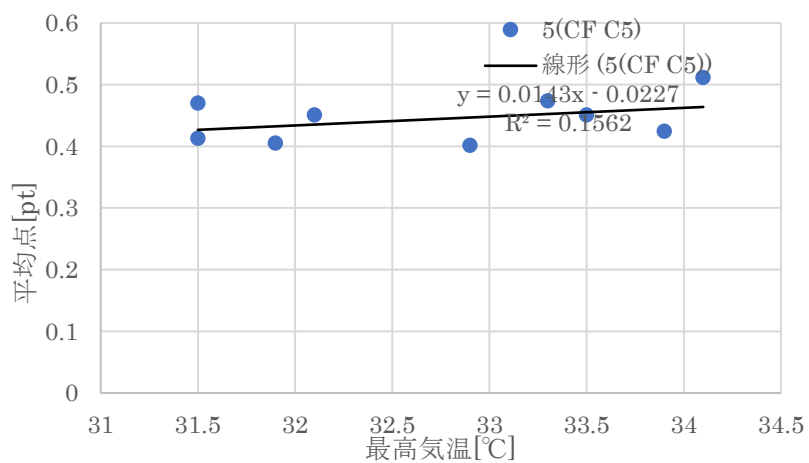


Figure 63 継続

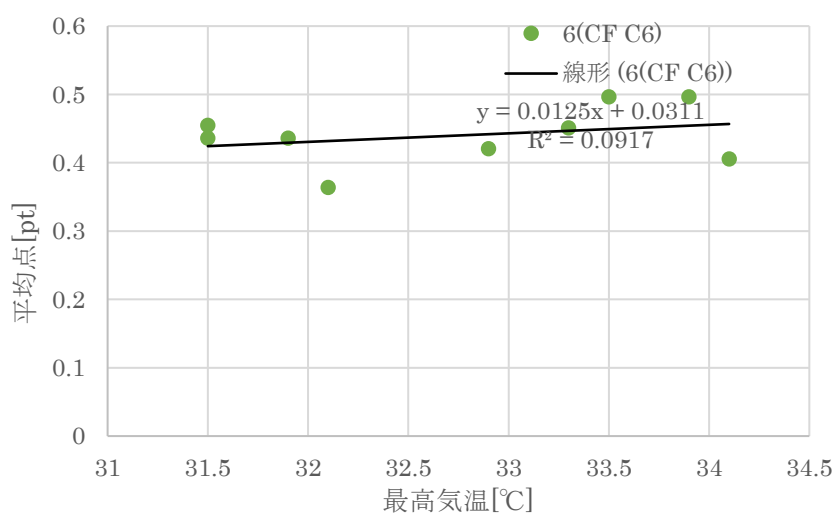


Figure 64 活力

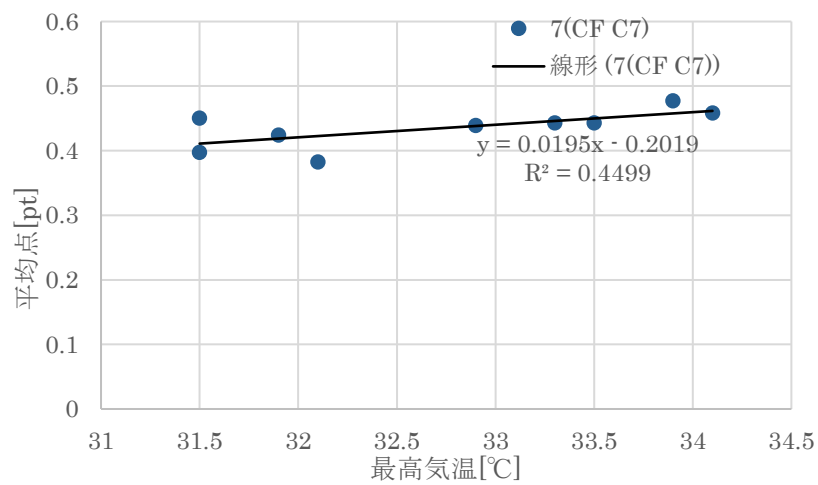


Figure 65 筋力低下

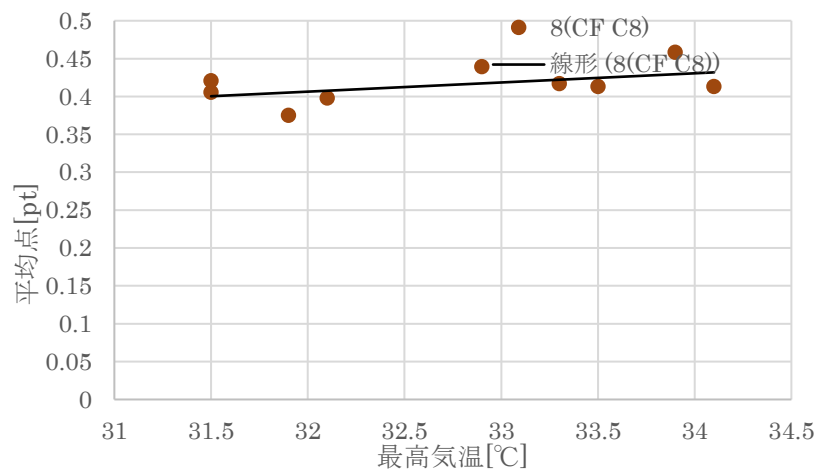


Figure 66 弱体

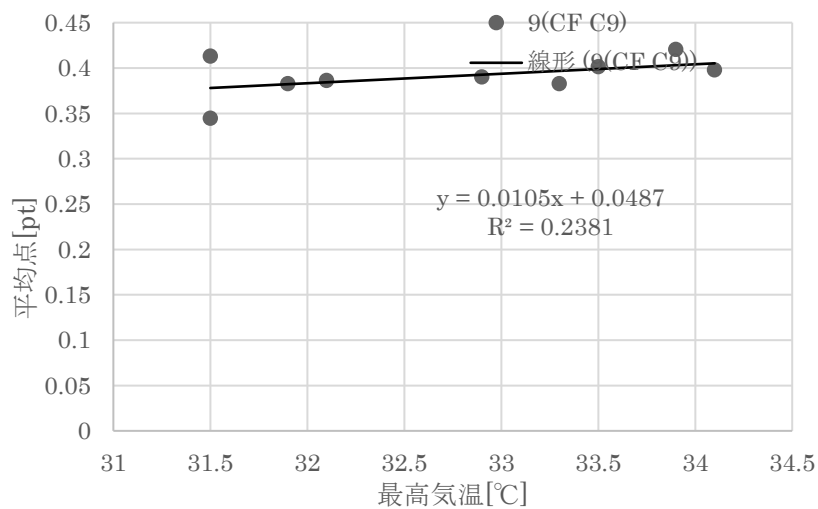


Figure 67 集中

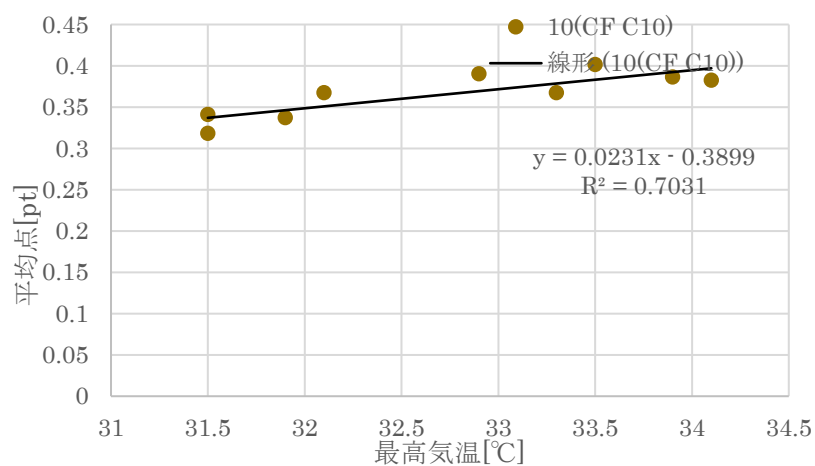


Figure 68 考え

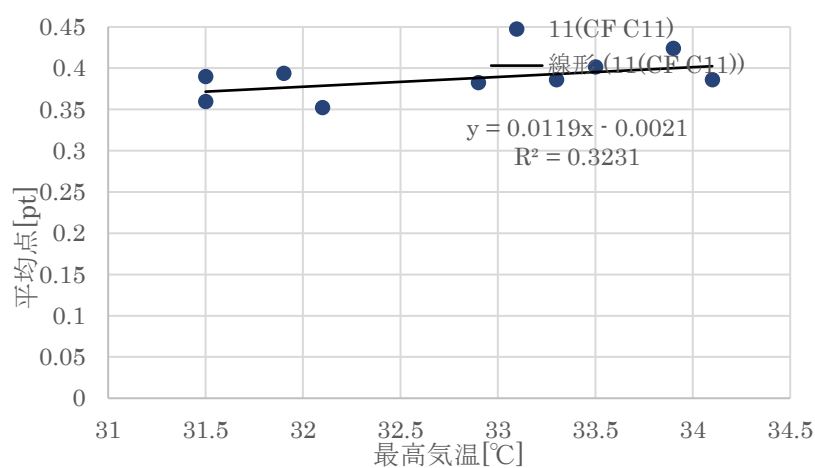


Figure 69 滑舌

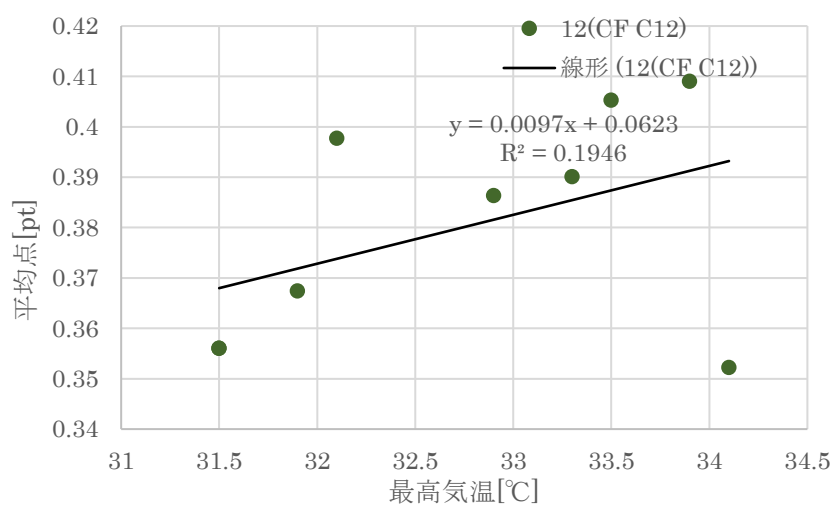


Figure 70 言葉

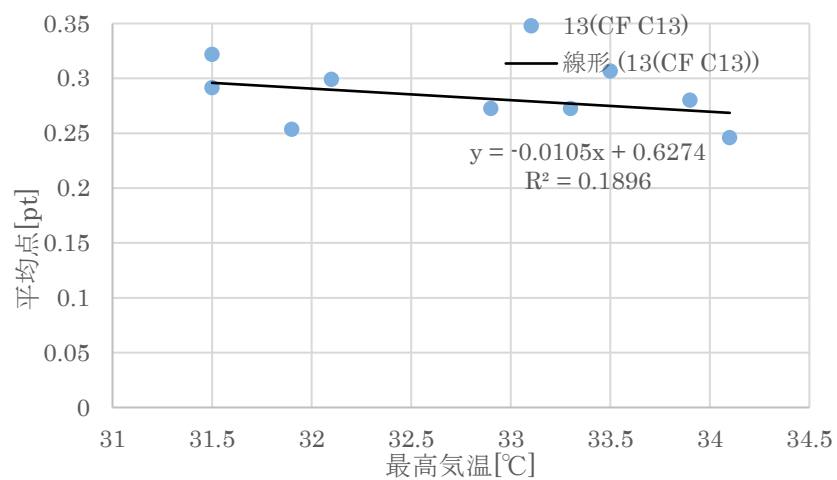


Figure 71 記憶力

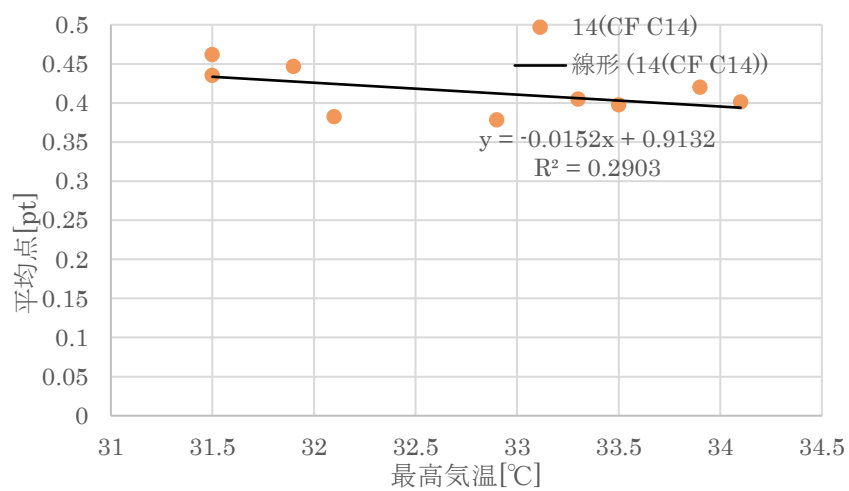


Figure 72 興味喪失

4.3.2.4 エアコン導入効果の評価

エアコンを使用しない場合と全被験者における疲労被害関数を解析した結果を Figure 73 に示す。エアコンを使用した場合の解析はうまく回帰式が得られなかった。2 月調査と同様に、エアコンを使用していないと回答した被験者が少なかったため、温度の幅が十分でなかったことが原因であると考えられる。

睡眠と同様に、エアコンを使用していない場合は外気温に対する感応度が大きいいため、V 字形関数かつ傾きが急になると予想したが、線形型の関数となった。一方、全被験者では V 字形関数となった。エアコンを使用しない場合は最高気温が 32℃付近を超えると全被験者に比べて疲労罹患率が多くなる結果となった。

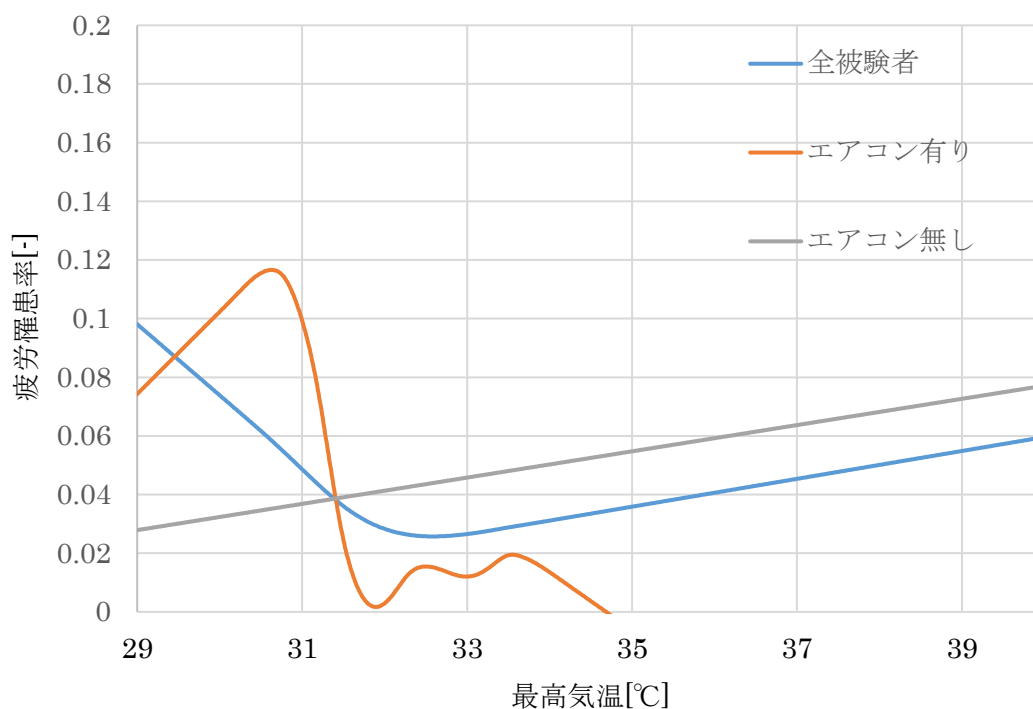


Figure 73 疲労被害関数 (10,11 月)

4.3.3 1回目、2回目疫学調査メタ解析：エアコン導入効果

1回目および2回目の疫学調査それぞれにおいてエアコン使用有無に関する解析を行ったが、エアコンを使用した場合と使用していない場合に関する被害関数を同時に得ることはできなかった。そこで、計2回の疫学調査のデータをメタ解析することで Figure 74 に示すような疲労の被害関数を得た。エアコンを使用した場合は滑らかに減少する関数となった。また、使用していない場合は日最高気温が 31℃付近よりも低い場合も高い場合も罹患率が上昇する V 字形の関数となったため、罹患率が最低になる気温、すなわち疲労に関する至適最高気温が求められた。

最高気温の上昇に伴い被害の差が著しく増大しており、日中のエアコンの導入効果は睡眠困難に比べて大きいということが示された。

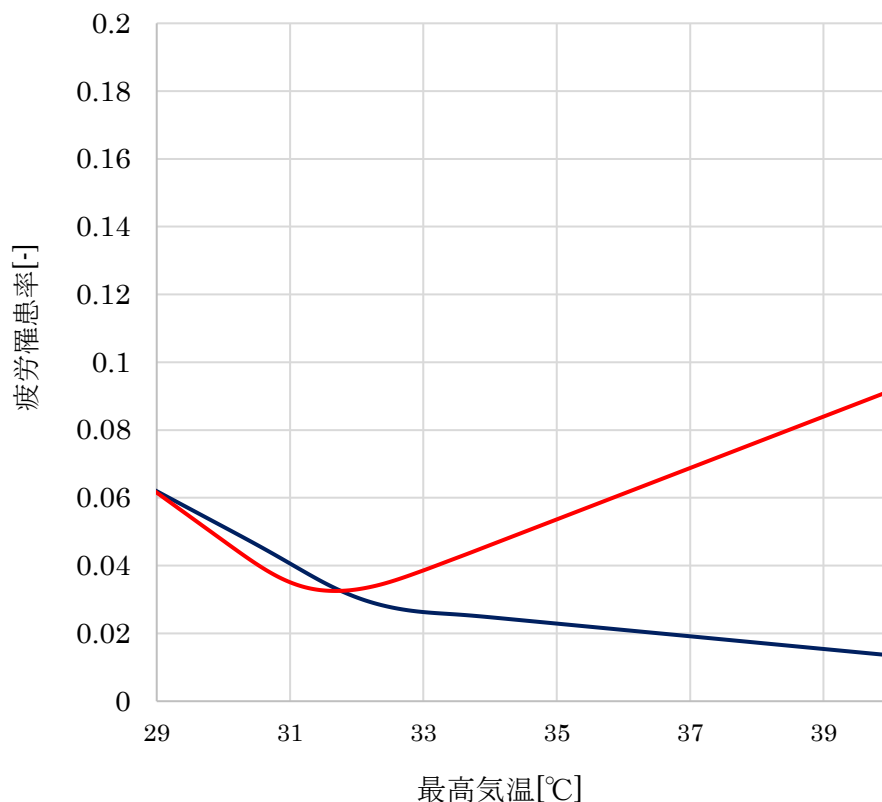


Figure 74 疲労被害関数 (2月+10,11月)

また、被害関数を用いて、本調査から得られた現状（2月+10,11月）のエアコン使用率から使用率が増加した場合の損失 DALY を算出した結果を Table 16 に示す。エアコン使用率を 50%から 90%に増加させた場合、2月+10,11月の被害関数では年間約 7.6%の DALY 損失(2.87[千年])を軽減できる試算となった。

Table 16 疲労（2月+10,11月）のエアコン導入効果

	エアコン使用 [率]		損失 DALY [千年]
	無し[-]	有り[-]	
現状（2+10月）	0.5	0.5	37.43
使用率増加	0.2	0.8	34.56

第5章 結論

5.1 本研究の結論

5.1.1 熱中症

東京の被害関数をジャカルタへ適用させることで被害推計を実施した。2015年のジャカルタにおいて、熱中症の死亡者数は85人、被害量（DALY損失）は約1542年であると推計した。熱中症の統計がジャカルタにおいて利用できないため、正確な推計であるかを検証できなかった。また、DALYの算出に用いた損失余命は日本の値を用いており、年齢構成や平均寿命が異なるジャカルタにそのまま適用しているため、過大評価している可能性がある。

5.1.2 睡眠困難

エアコン使用有無による睡眠困難罹患率の被害関数を導出した。2月、10月ともにエアコンを使用した場合、線形型の関数となった。また、使用していない場合は気温が2月は26℃、10月は27.7℃よりも低い場合も高い場合も罹患率が上昇するV字型の関数となった。エアコンを使用しない場合は気温に感応しやすく、気温が高くなるほど罹患率の増加も著しくなる傾向となった。本調査から得られた現状のエアコン使用率を40%から80%に増加させた場合、2月の被害関数では年間約7.9%のDALY損失(10.9[千年])、また、10月の被害関数では年間約20%のDALY損失(13.8[千年])を軽減できる試算となった。

5.1.3 疲労

2月、10月の計2回分をメタ解析し、エアコン使用有無による疲労罹患率の被害関数を導出した。エアコンを使用した場合は滑らかに減少する関数となった。また、使用していない場合は日最高気温が31℃付近よりも低い場合も高い場合も罹患率が上昇するV字型の関数となった。最高気温の上昇に伴い被害の差が著しく増大しており、日中のエアコンの導入効果は睡眠困難に比べて大きいということが示された。本調査から得られた現状のエアコン使用率を50%から90%に増加させた場合、年間約7.6%のDALY損失(2.87[千年])を軽減できる試算となった。

5.1.4 全体を通して

DALY損失を疾病間比較すると、睡眠困難>疲労>熱中症の順となり、統計には表れない軽度暑熱健康影響の重要性が明らかとなった。また、適応策の1つとしてエアコンを導入することで、暑熱健康影響がどの程度改善するのかを定量化することが出来た。

5.2 今後の展開

インドネシアのジャカルタにおける睡眠困難の被害関数を開発し、エアコンの導入効果を定量化した。今後は、東京や名古屋の睡眠困難に関する疫学データのメタ解析を進めることで一般化し、被害関数を他都市へ適用する方法も探索する。また、年齢構成や社会階級別の解析を行うことで、将来予測に必要なパラメータの整備も検討する必要がある。

熱中症の推計に関しては、ジャカルタの疫学データの入手によってより現実に近い被害関数の開発が進む可能性がある。睡眠、疲労の推計に関しては、疫学調査を継続することでデータ数が増加し、条件ごとに解析しやすくなる可能性がある。

最後に、この研究結果がエアコン以外の適応策、緩和策の対策評価に利用され、今後の適切な対策検討の一助になると幸いである。

参考文献

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) : Fifth Assessment Report(AR5) Climate Change(2013)
- [2] 環境省：気候変動 2014 IPCC 第 5 次評価報告書 政策決定者向け要約・技術要約
- [3] 環境省：国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）及び京都議定書第 11 回締約国会合（COP/MOP11）の結果について
- [4] 気象庁：ヒートアイランド現象：ヒートアイランド現象とはどのようなものですか？
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr_faq/01/qa.html> 2017/2/16 閲覧
- [5] 気象庁：ヒートアイランド現象：ヒートアイランド現象の要因は何ですか？
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr_faq/01/qa.html> 2017/2/16 閲覧
- [6] 井原智彦・玄地裕. 日本建築学会環境系論文集, Vo.73, No.634, pp.1407-1415, 2008.
- [7] United Nations : World Urbanization Prospects(2014)
- [8] Demographia: World Urban Areas Population Projections (2010)
- [9] United Nations : United Nations Population Division(2012)
- [10] 筑波大学空間情報科学分野：都市化を空間可視化する
<http://land.geo.tsukuba.ac.jp/geovisualization/Default_jpn.aspx>
2017/2/16 閲覧
- [11] Maru, R. and Ahmad, S. : Daytime Temperature Trend Analysis in the City of Jakarta, Indonesia, World Applied Sciences Journal, 32 (9), pp1808-1813, 2014
- [12] World Health Organization : Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s(2014)
- [13] 環境省 (2011): 「平成 22 年度熱中症とヒートアイランド現象の関係解析業務」調査結果概要.
- [14] 環境省: 熱中症予防情報.< <http://www.wbgt.env.go.jp/>> 2017/2/16 閲覧
- [15] 国立環境研究所: 地球温暖化と健康.
<<http://www.nies.go.jp/archiv-impact/index.html>> 2017/2/16 閲覧
- [16] 環境情報科学センター (2009): 平成 20 年度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.
- [17] 三宅康史, 有賀徹, 井上健一郎, 奥寺敬, 北原孝雄, 島崎修次, 鶴田良介, 横田裕行 (2008): 本邦における熱中症の実態. 日本救急医学会雑誌, Vol.21, No.5, pp.230-244.
- [18] 星秋夫, 稲葉裕 (2002): 人口動態統計を利用した発生場所からみた暑熱生涯の死亡率. 日本生気象学会雑誌, Vol.39, pp.37-46
- [19] World Health Organization: Health statistics and information systems
<http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/>
2017/2/16 閲覧

- [20] 伊藤武彦, 三村由香里, 鈴木久雄 (2009): 熱中症予防対策のための湿球黒球温度の簡便な自動測定記録装置. 岡山大学大学院教育研究科研究集録, No.140, pp.7-11
- [21] 環境情報科学センター (2011): 熱中症とヒートアイランド現象の関係解析調査業務報告書.
- [22] 岡野泰久, 井原智彦, 玄地裕 (2008): 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. 日本ヒートアイランド学会論文集, Vol.3, pp.22-33
- [23] Fukuda S, Ihara T, Genchi Y, Narumi D (2013): Japanese sleep disturbance and fatigue disability weights in evaluating the effects of increasing temperatures on health by a life cycle approach. The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol.18, No.5, pp.1089-1097
- [24] 井原智彦, 日下博幸, 原政之, 松橋隆治, 吉田好邦 (2011): 問題比較型影響評価手法を用いた都市気温上昇に伴う軽度の健康影響の推定. 日本建築学会環境系論文集, Vol.76, No.662, pp.459-467
- [25] 宮沢和貴, 玄地裕, 成海大典, 下田吉之, 井原智彦 (2010): 居住環境における健康維持増進に関する研究: その 24 ヒートアイランドが疲労発生に及ぼす影響. 日本建築学会 2010 年度大会 (北陸) 学術講演梗概集 D-1, pp.1119-1120
- [26] 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.
- [27] 池田俊也, 田畑航也: わが国における障害調整生存念 (DALY) 一簡便法による推計の試みー
- [28] 総務省統計局: 平成 22 年国勢調査
<<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/>> 2017/2/16 閲覧
- [29] 厚生労働省: 平成 22 年都道府県別生命表の概況
<<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/tdfk10/>> 2017/2/16 閲覧
- [30] 澤田晋一編著: 熱中症の現状と予防, 杏林書院, pp 21-24
- [31] 環境省: 熱中症予防サイト
<http://www.wbgt.env.go.jp/doc_observation.php> 2017/2/16 閲覧
- [32] 日本生気象学会: 日常生活における熱中症予防指針 Ver.3 (2013)
- [33] International Organization for Standardization: ISO 7243
- [34] 日本工業標準調査会: JIS リスト: 人間工学-WBGT (湿球黒球温度) 指数に基づく作業者の熱ストレスの評価ー暑熱環境
- [35] 小野雅司, 登内道彦: 通常観測気象要素を用いた WBGT (湿球黒球温度) の推定. 日本生気象学会雑誌 Vol50,No4, pp147-157, 2014
- [36] OGIMET
<<http://www.ogimet.com/home.phtml.en>> 2017/2/16 閲覧
- [37] 赤坂裕, 二宮秀典: AMeDAS データを用いた時刻別日射量の推定法. 鹿児島大学工学

- 部研究報告,vol 28, pp99-116
- [38] 桑形恒男：気象データ収録値の解説（日別値）
 - [39] 本田靖, 高橋潔(2009)：熱ストレスの健康影響, 地球環境 Vol.14 No.2, pp.257-26
 - [40] Buysse DJ, Reynolds CF 3rd, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ (1989): The Pittsburgh sleep quality index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, Vol.28, No.2, pp.193-213.
 - [41] 土井由利子, 蓑輪眞澄, 内山真, 大川匡子 (1998): ピッツバーグ睡眠質問票日本語版の作成. *精神科治療学*, Vol.13, No.6, pp.755-763
 - [42] Chalder T (1993): Development of a fatigue scale. *Journal of Psychosomatic Research*, Vol.37, No.2, pp.147-153
 - [43] 花輪治子, 中野弘一, 筒井末春, 蓑輪眞澄, 土井由利子 (2002): チャルダー疲労質問票日本語版の作成について. 第7回慢性疲労症候群(CFS)研究会講演要旨集, pp.38
 - [44] 稲葉雅章, 福田早苗, 中富康仁, 山口浩二 (2011): データセンターの現状と新疲労評価スケールの作成について. 自律神経機能異常を伴い慢性的な疲労を訴える患者に対する客観的な疲労診断法の確立と慢性疲労診断指針の作成, No.4, pp.19-22
 - [45] 倉恒弘彦 (2008): 慢性疲労症候群診断基準の改定に向けて. *日本疲労学会雑誌*, Vol.3, No.2, pp.1-40
 - [46] 日本緩和医療学会：がん疼痛の薬物療法に関するガイドライン（2010年版）

付録

Jakarta における過去 1 か月の睡眠に関する疫学調査質問票

※初日（2 月 2 日）→以下の全ての項目（Q1～Q21）を質問

※3 週目火曜日（2 月 16 日）→Q9～Q17 を質問

回答方法

- （回答は 1 つ） 複数個のボタン（○）から、1 個だけチェックする（◎）
（回答はいくつでも） 複数個のボックス（□）から、1 個以上チェックする（☑）
（回答は記入） （ ）に記入する

2 月 2 日（火）

Q1 あなたは 1 週間のうち何日働いていますか。

（回答は数字で記入）

※1 週間に 1 日未満の場合は、「0」とお答えください。

1 週間に（ ）日働いている

Q2 また働いている日は平均何時間くらい働いていますか。（家事を除く。パートタイム労働は含む。）

（回答は数字で記入）

働いている日は（ ）時間くらい働いている

Q3 あなたは平日の昼間は、主にどの地域にいますか。郵便番号で答えてください。

（回答は記入）

（ ）

Q4 あなたは平日の昼間は、主にどこにいたことが多いですか。

（回答は 1 つ）

- ☐ 自宅（在宅勤務・SOHO の場合も含む）
- ☐ 職場の建物内（オフィス等）
- ☐ 車内（自動車等）
- ☐ 屋外

- その他 具体的に：()

Q5 平日の昼間を過ごしている場所のおおよその温度を教えてください。

(回答は1つ)

- ()℃ (※1℃単位で数字で記入)
- わからない

Q6	Q5 で答えた場所のおおよその空調の設定温度を教えてください。
----	---------------------------------

(回答は1つ)

- 空調は使わない
○ ()℃ (※1℃単位で数字で記入)
○ わからない

Q7	あなたのお住まいについてあてはまるものを選んでください。
----	------------------------------

(回答は1つ)

- 戸建て住宅（一戸建て）
- 集合住宅（マンションや団地、アパートなど）

Q8 あなたの住まいの構造についてあてはまるものを選んでください。

(回答は1つ)

- 木造
- 鉄骨造
- RC（鉄筋コンクリート）造
- わからない

過去1週間（2016年1月26日～2月1日）の「疲労の状態」についておたずねします。

Q9 次にあげる項目についてあてはまるものを選んでください。

(回答は横の行ごとに1つずつ)

【全般】

	ない	あまりない	いつもより多い	非常に多い
疲労（つかれた感じ）のために困ることは	○	○	○	○
もっと休みたいと思うことは	○	○	○	○
眠くなったり、ボーっとすることは	○	○	○	○
何かを始めるのに問題があることは	○	○	○	○
やり始めは問題ないのに続けるうちに気力がなくなっていくことは	○	○	○	○
活力がないと思うことは	○	○	○	○
筋力低下を感じることは	○	○	○	○
自分のからだが弱々しいと感じることは	○	○	○	○
なかなか集中できないことは	○	○	○	○
考えがうまくまとまらないことは	○	○	○	○
話そうとして、舌が回らなくなることは	○	○	○	○
話そうとして、適当な言葉が見つからないことは	○	○	○	○

【記憶力】

	いつもより良い	いつもと変わらない	いつもより悪い	いつもより非常に悪い
記憶力はどうか	○	○	○	○

【興味】

	ない	あまりない	ある	たびたびある
今までやってきたことに興味を失ったことは	○	○	○	○

過去 1 か月間（2016 年 1 月 2 日～2 月 1 日）の「ストレスの状態」についておたずねします。

Q10 次にあげる項目についてあてはまるものを選んでください。

（回答は横の行ごとに 1 つずつ）

	ほとんどなかった	ときどきあった	しばしばあった	ほとんどいつもあった
ひどく疲れた	○	○	○	○
へとへとだ	○	○	○	○
だるい	○	○	○	○
気がはりつめている	○	○	○	○
不安だ	○	○	○	○
落ち着かない	○	○	○	○
ゆううつだ	○	○	○	○
何をするのも面倒だ	○	○	○	○
気分が晴れない	○	○	○	○

過去 1 か月間（2016 年 1 月 2 日～2 月 1 日）におけるあなたの通常の睡眠の習慣についておたずねします。

過去 1 か月間（2016 年 1 月 2 日～2 月 1 日）について大部分の日の昼と夜を考えて、以下のすべての質問項目にできる限り正確にお答えください。

Q11 過去 1 か月間において、通常何時ごろ寢床につきましたか。

（回答は 15 分単位で数字で記入）

※就寝時刻

▼ （○午前 ○午後）（ ）時（ ）分

Q12 過去 1 か月間において、寢床についてから眠るまでにどれくらい時間を要しましたか。

（回答は 1 つ）

※入眠時間

- ☐ 15 分以下
- ☐ 16 分～30 分以内
- ☐ 31 分～60 分以内
- ☐ 60 分超

Q13 過去 1 か月間において、通常何時ごろ起床しましたか。

（回答は 15 分単位で数字で記入）

※起床時刻

▼ （○午前 ○午後）（ ）時（ ）分

Q14 過去 1 か月間において、実際の睡眠時間は何時間ぐらいでしたか。（これはあなたが寢床にいた時間とは異なるかもしれません。）

（回答は 15 分単位で数字で記入）

※実睡眠時間 1 日平均 約

▼ （ ）時間（ ）分

引き続き、過去 1 か月間（2016 年 1 月 2 日～2 月 1 日）におけるあなたの通常の睡眠の習慣についておたずねします。

Q15 過去 1 か月間において、どの程度の頻度で以下の理由のために睡眠が困難でしたか。
最もあてはまるものをお選びください。

(回答は横の行ごとに 1 つずつ)

	なし	1 週間に 1 回未 満	1 週間に 1 ～ 2 回	1 週間に 3 回以 上
寝床についてから 30 分以内に眠ることができなかったから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
夜間または早朝に目が覚めたから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
トイレに起きたから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
息苦しかったから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
咳が出たり、大きないびきをかい たから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ひどく寒く感じたから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ひどく暑く感じたから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
悪い夢をみたから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
痛みがあったから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
その他 ※具体的にご記入くだ さい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> ()	<input type="radio"/> ()	<input type="radio"/> ()

Q16 過去 1 か月間において、ご自分の睡眠の質を全体として、どのように評価しますか。

(回答は 1 つ)

- ☐ 非常によい
- ☐ まあよい
- ☐ まあ悪い
- ☐ 非常に悪い

(回答は横の行ごとに1つずつ)

	なし	1週間に1回未満	1週間に1～2回	1週間に3回以上
眠るために薬を服用した(医師から処方された薬あるいは薬屋で買った薬)	○	○	○	○
車の運転中や食事中や社会活動中など眠ってはいけない時に、おきていられなくなり困ったこと	○	○	○	○
物事をやり遂げるのに必要な意欲を持続するうえで、問題となったこと	○	○	○	○

本調査は不眠や疲労を含めた健康状態の実態を把握し、気温との関係を研究することを目的としております。分析のため、現在かかっている疾患などについておたずねします。これらの設問の回答は任意になります。「答えたくない、わからない」といった選択肢を用意しておりますので、ご回答いただけない場合にはそちらをお選びください。

ご回答内容は、すべて統計的な数字として処理し、あなた様個人の回答内容が公表されることは一切ありません。

また、結果は調査の上記目的のみに利用し、個人の方に対する営業行為など目的以外の用途に転用されることは決してございません。

(回答は1つ)

- ある お差し支えなければ理由を教えてください：()
- ない
- 答えたくない、わからない

Q19 以下の質問にお答えください。

(回答は横の行ごとに1つずつ)

	はい	いいえ	答えたくない・わからない
睡眠薬もしくは向精神薬を服用している	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
普段タバコを吸う	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q20 「慢性的（6か月以上続く）もしくは、再発を繰り返す疲労があり、それによって、過去6か月間日常生活に著しい問題が続いており、労作後（作業や仕事の後）の疲労、認知機能の問題（短期記憶・集中力の低下）があり、かつ医師により、他の疾患の診断がついていない状態」ですか。

(回答は1つ)

※次のような場合は「いいえ」にチェックをつけてください。

- ・ ここ1週間疲れているなど、日数が足りない場合
- ・ 最近集中力が低下しているなど、上記の1つの項目だけあてはまる場合
- ・ 6か月間、疲労しているが、日常生活に問題がない場合

- ☐ はい
- ☐ いいえ
- ☐ 答えたくない、わからない

「はい」と答えた人におうかがいします。

Q21 前記の症状に加えて、次のような状況がありますか。

(回答は1つ)

- 日々のコミュニケーション、動いたりする機能、といった自己のケアを行う際に、その全てあるいは時々、他人の助けや介護が必要な状態
- 日々の仕事や作業（日常生活）を一人で行うことが難しい状態だが、辛うじて、他人の助けや介護は必要でない
- 日々の仕事や作業（日常生活）で一部出来ないことがあるが、仕事や作業（日常生活）をすることは可能である状態。機能的制限（足が動かみにくいなど）はあるが、障害はない状態。他人の助けや介護は必要ではない
- あてはまる状況はない
- 答えたくない、わからない

2月2日（火）ここまで

2 月 16 日(火)

過去 1 週間（2016 年 2 月 9 日～2 月 15 日）の「疲労の状態」についておたずねします。

Q9 次にあげる項目についてあてはまるものを選んでください。

（回答は横の行ごとに 1 つずつ）

【全般】

	ない	あまりない	いつもより多い	非常に多い
疲労（つかれた感じ）のために困ることは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
もっと休みたいと思うことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
眠くなったり、ボーっとすることは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
何かを始めるのに問題があることは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
やり始めは問題ないのに続けるうちに気力がなくなっていくことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
活力がないと思うことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
筋力低下を感じることは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
自分のからだが弱々しいと感じることは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
なかなか集中できないことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
考えがうまくまとまらないことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
話そうとして、舌が回らなくなることは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
話そうとして、適当な言葉が見つからないことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

【記憶力】

	いつもより良い	いつもと変わらない	いつもより悪い	いつもより非常に悪い
記憶力はどうですか	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

【興味】

	ない	あまりない	ある	たびたびある
今までやってきたことに興味を失ったことは	○	○	○	○

過去 1 か月間（2016 年 1 月 16 日～2 月 15 日）の「ストレスの状態」についておたずねします。

Q10 次にあげる項目についてあてはまるものを選んでください。

（回答は横の行ごとに 1 つずつ）

	ほとんどなかった	ときどきあった	しばしばあった	ほとんどいつもあった
ひどく疲れた	○	○	○	○
へとへとだ	○	○	○	○
だるい	○	○	○	○
気がはりつめている	○	○	○	○
不安だ	○	○	○	○
落ち着かない	○	○	○	○
ゆううつだ	○	○	○	○
何をするのも面倒だ	○	○	○	○
気分が晴れない	○	○	○	○

過去 1 か月間（2016 年 1 月 16 日～2 月 15 日）におけるあなたの通常の睡眠の習慣についておたずねします。

過去 1 か月間（2016 年 1 月 16 日～2 月 15 日）について大部分の日の昼と夜を考えて、以下のすべての質問項目にできる限り正確にお答えください。

Q11 過去 1 か月間において、通常何時ごろ寢床につきましたか。

(回答は 15 分単位で数字で記入)

※就寝時刻

▼ (○午前 ○午後) () 時 () 分

Q12 過去 1 か月間において、寢床についてから眠るまでにどれくらい時間を要しましたか。

(回答は 1 つ)

※入眠時間

- ☐ 15 分以下
- ☐ 16 分～30 分以内
- ☐ 31 分～60 分以内
- ☐ 60 分超

Q13 過去 1 か月間において、通常何時ごろ起床しましたか。

(回答は 15 分単位で数字で記入)

※起床時刻

▼ (○午前 ○午後) () 時 () 分

Q14 過去 1 か月間において、実際の睡眠時間は何時間ぐらいでしたか。

(回答は 15 分単位で数字で記入)

※これはあなたが寢床にいた時間とは異なるかもしれません。

※実睡眠時間 1 日平均 約

▼ () 時間 () 分

引き続き、過去 1 か月間 (2016 年 1 月 16 日～2 月 15 日) におけるあなたの通常の睡眠の習慣についておたずねします。

Q15 過去 1 か月間において、どの程度の頻度で以下の理由のために睡眠が困難でしたか。
最もあてはまるものをお選びください。

(回答は横の行ごとに 1 つずつ)

	なし	1 週間に 1 回未 満	1 週間に 1 ～ 2 回	1 週間に 3 回以 上
寝床についてから 30 分以内に眠ることができなかったから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
夜間または早朝に目が覚めたから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
トイレに起きたから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
息苦しかったから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
咳が出たり、大きないびきをかい たから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ひどく寒く感じたから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ひどく暑く感じたから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
悪い夢をみたから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
痛みがあったから	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
その他 ※具体的にご記入くだ さい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/> ()	<input type="radio"/> ()	<input type="radio"/> ()

Q16 過去 1 か月間において、ご自分の睡眠の質を全体として、どのように評価しますか。

(回答は 1 つ)

- ☐ 非常によい
- ☐ まあよい
- ☐ まあ悪い
- ☐ 非常に悪い

Q17 過去 1 か月間における以下の事柄の頻度としてあてはまるものをお選びください。

(回答は横の行ごとに 1 つずつ)

	なし	1 週間に 1 回未満	1 週間に 1 ～ 2 回	1 週間に 3 回以上
眠るために薬を服用した(医師から処方された薬あるいは薬屋で買った薬)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
車の運転中や食事中や社会活動中など眠ってはいけない時に、おきていられなくなり困ったこと	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
物事をやり遂げるのに必要な意欲を持続するうえで、問題となったこと	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2 月 16 日 (火) ここまで

Jakarta における毎日の睡眠に関する疫学調査質問票

※Q1～Q6 は、初日（2月2日）・2週目火曜日（2月9日）・3週目火曜日（2月16日）にそれぞれ前日の状態について質問

※Q45 は、最終日に質問

回答方法

- （回答は1つ） 複数個のボタン（○）から、1個だけチェックする（◎）
（回答はいくつでも） 複数個のボックス（□）から、1個以上チェックする（☑）
（回答は記入） （ ）に記入する

2月2日(火)

Q0 回答を開始する、現在の日時を記入してください。

（回答は1分単位で数字で記入）

※回答開始時刻

▼ （○午前 ○午後）（ ）時（ ）分

■Q1～Q6 については、2月2日の前日である【2月1日】の過ごし方に関してうかがいます。

Q1 2月1日の生活においてストレスを感じましたか。

（回答は1つ）

- ☐ 感じなかった
- ☐ あまり感じなかった
- ☐ 感じた
- ☐ 大変感じた

Q2 2月1日の体調はどうでしたか。

（回答は1つ）

- ☐ 体調は良好であり、普段通りの生活を送っていた
- ☐ 体調は良くなかったが、普段通りの生活を送っていた
- ☐ 体調が悪く、普段通りの生活を行うのがしんどかった
- ☐ 体調が悪く、普段通りの生活を行わずに寝込んでいた

Q3	(2月1日) 今日一日の滞在場所を時間帯ごとに選んでください。(屋外の職場、および車や電車での移動中も「屋外」に含む)
----	---

	自宅		職場		自宅・職場 以外の建物内		屋外	
	空調 あり	空調 なし	空調 あり	空調 なし	空調 あり	空調 なし	空調 あり	空調 なし
午前								
0:00								
0:30								
1:00								
1:30								
2:00								
2:30								
3:00								
3:30								
4:00								
4:30								
5:00								
5:30								
6:00								
6:30								
7:00								
7:30								
8:00								
8:30								
9:00								
9:30								
10:00								
10:30								
11:00								
11:30								
12:00								

午後	自宅		職場		自宅・職場 以外の建物内		屋外	
	空調 あり	空調 なし	空調 あり	空調 なし	空調 あり	空調 なし	空調 あり	空調 なし
0:00								
0:30								
1:00								
1:30								
2:00								
2:30								
3:00								
3:30								
4:00								
4:30								
5:00								
5:30								
6:00								
6:30								
7:00								
7:30								
8:00								
8:30								
9:00								
9:30								
10:00								
10:30								
11:00								
11:30								
12:00								

Q4 **2月1日**は、朝食や昼食をきちんと食べましたか。

(回答は1つ)

- ☐ 朝食、昼食ともにきちんと食べた
- ☐ 朝食はきちんと食べたが、昼食は十分に（もしくは全く）食べなかった
- ☐ 朝食は十分に（もしくは全く）食べなかったが、昼食はきちんと食べた
- ☐ 朝食、昼食ともに十分に（もしくは全く）食べなかった

Q5 **2月1日**、夕食の時あるいは就寝前にお酒を飲みましたか。

(回答は1つ)

- ☐ 飲まなかった
- ☐ 飲んだ

夕食時あるいは就寝前にお酒を飲んだと答えた方にお尋ねします。

Q6 **2月1日**はどれぐらい飲みましたか。

(回答は1つ)

- ☐ 気分が通常とかわらない程度
- ☐ 気分が爽やかになり活発になる程度
- ☐ ほろ酔い気分で、脈拍数や呼吸数が増えたり、話はなめらかになるが、自己抑制はとれる程度
- ☐ 気が大きくなり、たてば少しふらつくが、自己抑制はとれる程度
- ☐ それ以上

■今日の過ごし方に関してうかがいます。

Q7 **(2月2日)** 今日の生活においてストレスを感じましたか。

(回答は1つ)

- ☐ 感じなかった
- ☐ あまり感じなかった
- ☐ 感じた
- ☐ 大変感じた

Q8	(2月2日) 今日の体調はどうでしたか。
----	----------------------

(回答は1つ)

- ☐ 体調は良好であり、普段通りの生活を送っていた
- ☐ 体調は良くなかったが、普段通りの生活を送っていた
- ☐ 体調が悪く、普段通りの生活を行うのがしんどかった
- ☐ 体調が悪く、普段通りの生活を行わずに寝込んでいた

Q9 (2月2日) 今日一日の滞在場所を時間帯ごとに選んでください。(屋外の職場、および車や電車での移動中も「屋外」に含む)

	自宅		職場		自宅・職場 以外の建物内		屋外	
	空調 あり	空調 なし	空調 あり	空調 なし	空調 あり	空調 なし	空調 あり	空調 なし
午前 0:00								
0:30								
1:00								
1:30								
2:00								
2:30								
3:00								
3:30								
4:00								
4:30								
5:00								
5:30								
6:00								
6:30								
7:00								
7:30								
8:00								
8:30								
9:00								
9:30								
10:00								
10:30								
11:00								
11:30								
12:00								

午後	自宅		職場		自宅・職場 以外の建物内		屋外	
	空調 あり	空調 なし	空調 あり	空調 なし	空調 あり	空調 なし	空調 あり	空調 なし
0:00								
0:30								
1:00								
1:30								
2:00								
2:30								
3:00								
3:30								
4:00								
4:30								
5:00								
5:30								
6:00								
6:30								
7:00								
7:30								
8:00								
8:30								
9:00								
9:30								
10:00								
10:30								
11:00								
11:30								
12:00								

Q10 (2月2日) 今日、朝食や昼食をきちんと食べましたか。

(回答は1つ)

- ☐ 朝食、昼食ともにきちんと食べた
- ☐ 朝食はきちんと食べたが、昼食は十分に（もしくは全く）食べなかった
- ☐ 朝食は十分に（もしくは全く）食べなかったが、昼食はきちんと食べた
- ☐ 朝食、昼食ともに十分に（もしくは全く）食べなかった

Q11 (2月2日) 今日、夕食の時あるいは就寝前にお酒を飲みましたか（飲みますか）。

(回答は1つ)

- ☐ 朝食、昼食ともにきちんと食べた
- ☐ 飲まなかった（飲まない予定）
- ☐ 飲んだ（飲む予定）

夕食時あるいは就寝前にお酒を飲んだ（飲む予定）と答えた方にお尋ねします。

Q12 (2月2日) 今日どれくらい飲みましたか（飲みますか）。

(回答は1つ)

- ☐ 気分が通常とかわらない程度
- ☐ 気分が爽やかになり活発になる程度
- ☐ ほろ酔い気分で、脈拍数や呼吸数のはやくなり、話はなめらかになるが、自己抑制はとれる程度
- ☐ 気が大きくなり、たてば少しふらつくが、自己抑制はとれる程度
- ☐ それ以上

■健康状態についてうかがいます。

Q13	(2月2日) 今日一日を振り返り、次にあげる項目についてあてはまるものを選んでください。
-----	--

(回答は横の行ごとに1つずつ)

【全般】

	ない	あまりない	いつもより多い	非常に多い
疲労（つかれた感じ）のために困ることは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
もっと休みたいと思うことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
眠くなったり、ボーっとすることは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
何かを始めるのに問題があることは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
やり始めは問題ないのに続けるうちに気力がなくなっていくことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
活力がないと思うことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
筋力低下を感じることは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
自分のからだが弱々しいと感じることは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
なかなか集中できないことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
考えがうまくまとまらないことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
話そうとして、舌が回らなくなることは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
話そうとして、適当な言葉が見つからないことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

【記憶力】

	いつもより良い	いつもと変わらない	いつもより悪い	いつもより非常に悪い
記憶力はどうですか	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

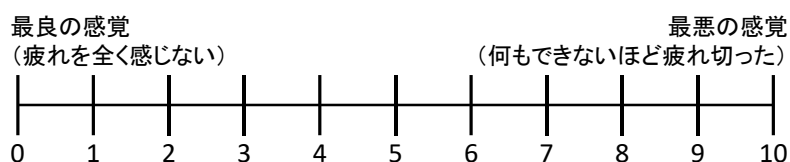
【興味】

	ない	あまりない	ある	たびたびある
今までやってきたことに興味を失ったことは	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q14 (2月2日) あなたが、今、感じている疲労感を、直線の左右両端に示した感覚を参考に、直線上に×で示して下さい。(線や枠の外に×を付けることはできません)

直線の左端：これまで経験したことのないような、疲れを全く感じない最良の感覚

直線の右端：これまで経験したことのないような、何もできないほど疲れ切った最悪の感覚



 昨日の睡眠（今朝 (2月2日) 起きた睡眠）を振り返り、以下の項目についてお答えください。

Q15 昨日は何時に寝床につきましたか。

（回答は 15 分単位で数字で記入）

※就寝時刻

▼ （○午前 ○午後）（ ）時（ ）分

Q16 昨日は寝床についてから眠るまでにどれくらい時間を要しましたか。

（回答は 1 つ）

※入眠時間

- ☐ 15 分以下
- ☐ 16 分～30 分以内
- ☐ 31 分～60 分以内
- ☐ 60 分超

Q17 今朝は何時に起床しましたか。

(回答は 15 分単位で数字で記入)

※起床時刻

▼ (○午前 ○午後) () 時 () 分

Q18 実際の睡眠時間は何時間ぐらいでしたか。

※これはあなたが寝床にいた時間とは異なるかもしれません。

(回答は 15 分単位で数字で記入)

▼ () 時間 () 分

Q19 睡眠の途中目が覚めましたか。

(回答は 1 つ)

- ☐ はい
- ☐ いいえ

「睡眠途中で目が覚めた」と答えた人におうかがいします。

Q20 途中で目覚めた回数を教えてください。

(回答は 1 つ)

- ☐ 1 回
- ☐ 2 回
- ☐ 3 回
- ☐ 4 回
- ☐ 5 回以上

Q21 目が覚めたあと 30 分以内に眠ることができましたか。

(回答は 1 つ)

※Q21 で 1 回だけ目が覚めた方は、「毎回できた」または「毎回できなかった」のいずれかをお答えください。

- ☐ 毎回できた
- ☐ できた時とできなかった時がある
- ☐ 毎回できなかった

昨日の睡眠（今朝（2 月 2 日）起きた睡眠）を振り返り、以下の項目についてお答えください。

Q22 熟睡できましたか。

(回答は 1 つ)

- ☐ 熟睡できた
- ☐ 眠れた
- ☐ あまり眠れなかった
- ☐ 眠れなかった

Q23 起床時の目覚め感はどうですか。

(回答は 1 つ)

- ☐ 大変よい
- ☐ まあよい
- ☐ あまりよくない
- ☐ 悪い

Q24 昨日、眠るために薬を服用しましたか (医師から処方された薬あるいは薬屋で買った薬)。

(回答は 1 つ)

- ☐ はい
- ☐ いいえ

Q25 今日は眠気なくすっきり過ごせましたか。

(回答は 1 つ)

- ☐ すっきりしていた
- ☐ まあ、すっきりしていた
- ☐ 少し眠たかった
- ☐ とても眠たかった

冷房の使用状況を振り返り、以下の項目それぞれについてあなたに当てはまるものをお答えください。

Q26 (2月2日) あなたが今日の昼間に使用していた空調の方法で、主に当てはまるもの

をお選びください。自宅外に居た人は主に過ごした場所での空調の方法をお答えください。

(回答は1つ)

- ☐ 窓を閉めて、エアコンや扇風機などの冷房器具を使っていた
- ☐ 窓を開けて、エアコンや扇風機などの冷房器具を使っていた
- ☐ エアコンや扇風機などの冷房器具を使わずに、窓を開けていた
- ☐ エアコンや扇風機などの冷房器具を使わずに、窓も閉めていた
- ☐ その他 具体的に：()

「冷房器具を使っていた」とお答えの方におうかがいします。

Q27 (2月2日) 今日の昼間に使用した冷房器具の種類はどれですか。

(回答はいくつでも)

- ☐ エアコン (冷房運転)
- ☐ エアコン (除湿運転)
- ☐ 扇風機
- ☐ 冷風扇
- ☐ その他 具体的に：()

Q28 (2月2日) 今日の昼間に使用した冷房器具は、あなたが制御(温度や風量などの設定)しましたか？

(回答は1つ)

- ☐ 主に自分で制御した
- ☐ 主に他人が制御した、あるいはコンピューターなどによって制御が管理されていた。

Q29 (2月2日) あなたが昨日の夜の就寝時に使用していた空調の方法で、あてはまるものをお選びください。

(回答は1つ)

- ☐ 窓を閉めて、エアコンや扇風機などの冷房器具を使っていた
- ☐ 窓を開けて、エアコンや扇風機などの冷房器具を使っていた
- ☐ エアコンや扇風機などの冷房器具を使わずに、窓を開けていた
- ☐ エアコンや扇風機などの冷房器具を使わずに、窓も閉めていた
- ☐ その他 具体的に：()

昨日の夜に「冷房器具を使っていた」とお答えの方におうかがいします。

Q30 (2月2日) 昨日の夜の就寝時に使用した冷房器具の種類はどれですか。

(回答はいくつでも)

- ☐ エアコン (冷房運転)
- ☐ エアコン (除湿運転)
- ☐ 扇風機
- ☐ 冷風扇
- ☐ その他 具体的に : ()

Q31 (2月2日) 昨日の夜の就寝時に使用した冷房器具は、あなたが制御 (温度や風量などの設定) しましたか？

(回答は1つ)

- ☐ 主に自分で制御した
- ☐ 主に他人が制御した、あるいはコンピューターなどによって制御が管理されていた。

「エアコン (冷房や除湿)」を使っていた方におうかがいします。

Q32 (2月2日) 昨日の就寝時のエアコン (冷房や除湿) の設定はどのようにされましたか。

(回答はいくつでも)

- ☐ 寝床につく前にエアコンで部屋を冷ましておき、就寝時にはエアコンを切った
- ☐ 寝床についてからエアコンを作動させ、エアコンの切タイマーを設定した
- ☐ 起床する前にエアコンが作動するように入タイマーを設定した
- ☐ 寝床についてから起床するまで、エアコンを作動させたままにしておいた
- ☐ その他 具体的に : ()

「寝床につく前にエアコンで部屋を冷ましておき、就寝時にはエアコンを切った」とお答えの方におうかがいます。

Q33 (2月2日) エアコン (冷房や除湿) の設定温度 (°C) を教えてください。

(回答は 1 つ)

- ☐ ()℃ (※1℃単位で数字で記入)
- ☐ 温度設定はない

Q34	(2 月 2 日) 寝床につくどのくらい前にエアコン (冷房や除湿) を作動させましたか。
------------	--

(回答は 15 分単位で数字で記入)

- ▼ () 分
前から作動させた

「寝床についてからエアコンを作動させ、エアコンの切タイマーを設定した」とお答えの方にお聞きします。

Q35	(2 月 2 日) エアコン (冷房や除湿) の設定温度 (℃) を教えてください。
------------	---

(回答は 1 つ)

- ☐ ()℃ (※1℃単位で数字で記入)
- ☐ 温度設定はない

Q36	(2 月 2 日) エアコン (冷房や除湿) のタイマー設定時間 (分) を教えてください。
------------	---

(回答は 15 分単位で数字で記入)

- ▼ () 分
分後に切れるように設定した

「起床する前にエアコンが作動するように入タイマーを設定した」とお答えの方にお聞きします。

Q37	(2 月 2 日) エアコン (冷房や除湿) の設定温度 (℃) を教えてください。
------------	---

(回答は 1 つ)

- ☐ ()℃ (※1℃単位で数字で記入)
- ☐ 温度設定はない

Q38	(2 月 2 日) エアコン (冷房や除湿) のタイマー設定時間 (分) を教えてください。
------------	---

(回答は 15 分単位で数字で記入)

- ▼ () 分
前に作動するように設定した

「寝床についてから起床するまで、エアコンを作動させたままにしておいた」とお答えの方にお聞きします。

Q39 (2月2日) エアコン(冷房や除湿)の設定温度(℃)を教えてください。

(回答は1つ)

- ☐ ()℃ (※1℃単位で数字で記入)
- ☐ 温度設定はない

Q40 (2月2日) 就寝時の室温は何℃でしたか。

(回答は1つ)

- ☐ ()℃ (※1℃単位で数字で記入)
- ☐ わからない

Q41 (2月2日) 就寝時の湿度は何%でしたか。

(回答は1つ)

- ☐ ()% (※5%単位で数字で記入)
- ☐ わからない

Q42 (2月2日) 起床時の室温は何℃でしたか。

(回答は1つ)

- ☐ ()℃ (※1℃単位で数字で記入)
- ☐ わからない

Q43 (2月2日) 起床時の湿度は何%でしたか。

(回答は1つ)

- ☐ ()% (※5%単位で数字で記入)
- ☐ わからない

今日一日(2月2日)を振り返り、夏の暑さによる症状(冷房利用が原因によるものも含む)についてあなたに当てはまるものをお答えください。

謝辞

本研究を遂行し、修士論文を書き上げるにあたり、多くのご支援とご指導を頂きました井原智彦准教授に深く感謝致します。また、副査の飯本武志准教授には面談を通じて、環境システム学情報学の吉田好邦教授には合同ゼミを通して、大変有意義な助言をいただきました。ここに記して感謝いたします。

また環境社会システム学研究室に在籍する皆様と環境システム情報学研究室に在籍する皆様には、研究のアドバイスだけではなく、充実した修士2年間を過ごさせていただきました。共に切磋琢磨し、研究に打ち込んだ修士課程2年生、ゼミやイベントを企画運営してくれた修士課程1年生、博士課程の先輩には大変お世話になりました。深く感謝しております。

最後に、新潟から温かく見守りそして辛抱強く支援してくださった両親に対して深い感謝の意を表します。