

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

2017年3月修了 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

キーワード：地球温暖化、ヒートアイランド現象、障害調整生存年、適応策、熱ストレス

1. 序論

近年、地球温暖化に伴う気温上昇に加え、ヒートアイランド現象によって都市域の高温化が加速している。国連¹⁾は2014年時点で世界人口の54%が都市域で生活していると報告し、またアジアの新興国などは今後も都市人口が増加すると予測している。

予想される都市化はエネルギー需要の増加などの社会的な問題を数多く引き起こすと考えられる。特に、都市域を中心とする暑熱による健康影響が増大し、住民の健康上重要なリスクとなることが懸念される。暑熱健康影響の代表的なものとして、熱中症、睡眠困難、疲労などが挙げられる。しかし、睡眠困難や疲労などの軽度の暑熱健康影響は熱中症に比べて罹患総数が多いと推測されるものの、社会統計には記載されない。したがって、疫学調査を行っている高緯度の先進国では解析されているが^{2),3)}、低緯度の発展途上国で解析されていない。

そこで本研究は、低緯度に位置し、都市圏人口が世界第2位のインドネシアのジャカルタを対象に、軽度の暑熱健康影響である睡眠困難および疲労の被害および比較対象として熱中症による死亡の被害を定量化する。睡眠困難および疲労の罹患率は現地における疫学調査を基に求める。被害の定量化は、影響間比較やLIME⁴⁾による統合化が可能な障害調整生存年数 (disability adjusted life year, DALY) を用いる。さらに適応策の1つとしてエアコン導入効果を評価した。

2. データと調査概要

2.1. 気象データ

ジャカルタの気象データはOGIMET⁵⁾から日最高気温と3時間ごとの気温を入手した。3つの観測地点が利用可能であったため、ジャカルタ市内をそれぞれの観測地点に対応する3地域に分類した。

2.2 疫学調査概要

ジャカルタにおいて2016年2月(1回目)、10月・11月(2回目)の各連続3週間のうち火・水・木曜日に、睡眠および疲労に関する疫学調査を実施した。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、サンプル数はN=263(1回目)、N=264(2回目)、訪問留め置き調査にておこなった。

3. 熱中症、睡眠困難、疲労被害関数の作成

3.1 熱中症の被害関数の作成

ジャカルタでは解析に必要な疫学統計が公開されていないため、日本(東京)における被害関数(気象要素と健康影響との関係)を開発し、ジャカルタへと適用した。解析に用いる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。

熱中症被害関数における気象要素は日最高湿球黒球温度(wet-bulb globe temperature, WBGT)や日最高気温がよく用いられる。本研究では日最高気温と日最高WBGTをそれ

ぞれ用いた東京の熱中症被害関数を作成し、平均二乗誤差 (RMSE) を比較した。両者間の RMSE にほぼ差がなかったため、日最高気温を用いた東京の熱中症被害関数を開発した (図 1)。

本田ら⁶⁾は日本全国を対象とした日最高気温と死亡率との関係を解析し、死亡率が最低となる気温、至適気温 (optimum temperature, OT) を示した。OT は年間の日最高気温の 84 パーセンタイル値とほぼ一致することも知られており、過去 10 年の気象データからジャカルタと東京の OT を算出した。ジャカルタの熱中症被害関数はジャカルタと東京の OT の差分 (ジャカルタ - 東京) +4.4°C だけ東京の被害関数を水平移動させ、開発した (図 1)。

3.2 睡眠困難被害関数の作成

睡眠困難の評価は、睡眠研究で広く用いられる Buysse et al.⁶⁾が開発した過去 1 か月の睡眠に関する 18 項目の質問票 (Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI) を参考に、岡野ら³⁾が作成した毎日の睡眠に関する質問票 (Sleep Quality Index for Daily Sleep, SQIDS) を用いて実施した。PSQI 及び SQIDS は次の 7 つの構成要素に分類される。

- C1 睡眠の質、C2 入眠時間、C3 睡眠時間、
- C4 睡眠効率、C5 睡眠困難、C6 眠剤の使用
- C7 日中覚醒困難

構成要素を各 0-3 点の 4 段階で評価し、総合得点 (0-21 点) を算出する。総合得点が高いほど睡眠の質が悪いと評価される。Doi et al.⁷⁾は PSQI の結果が睡眠障害と相関すること、特に PSQI の総合得点 5.5 点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。そこで、本研究では SQIDS の得点 5.5 点を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。PSQI は初日 (火曜日) および 3 週間後 (火曜日) に実施した。本調査における PSQI の 7 つの要素と睡眠困難罹患者率を表 1 に示す。

疫学調査より就寝時刻が 22 時台である被験者が最も多かったことから、22 時の外気温と睡眠困難罹患者率に基づきエアコン使用の有無別に睡眠困難被害関数を導出した (5 章参照) (図 2)。

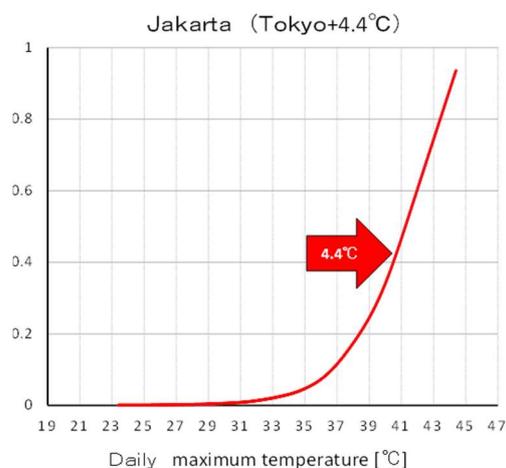


図 1 東京とジャカルタの熱中症被害関数

表 1 PSQI 構成要素別評価・睡眠困難罹患者率

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	罹患者率
ジャカルタ(2016/2)	0.65	0.76	0.84	0.00	0.78	0.01	0.30	14.0%
ジャカルタ(2016/10)	0.80	0.70	0.80	0.00	1.03	0.02	0.44	6.1%
東京(2007/??)	1.28	1.08	1.40	0.19	0.83	0.26	0.90	46.6%

3.3 疲労被害関数の作成

疲労の評価は、疲労研究で広く用いられる Chalder の疲労尺度⁸⁾を用いて実施した。Chalder の疲労尺度は 1993 年に Chalder により質問表が開発され、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。各項目は 3 点満点で計算され、計 42 点満点のうち 15 点以上であると疲労罹患と判断される⁸⁾。質問表の結果は医者による診断結果と対応できることが知られており、疲労尺度の結果より疲労罹患率を算出できると考えられる。疲労被害関数は日最高気温と疲労罹患率に基づき導出した(5章参照)(図3)

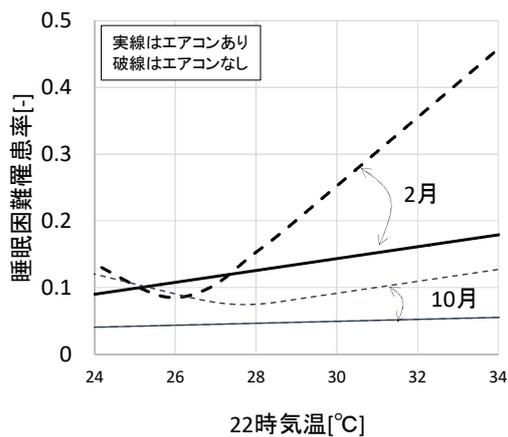


図2 ジャカルタの睡眠困難被害関数

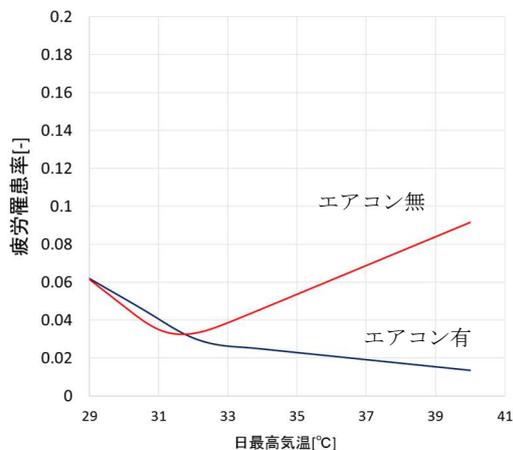


図3 ジャカルタの疲労被害関数

4. DALY を用いた健康影響の定量化

本研究では健康影響の定量化に DALY⁹⁾を用いた。DALY は次の式で計算される。

$$DALY = YLL + YLD$$

$$YLL = N \times L$$

$$YLD = I \times DW \times L$$

(DALY : 障害調整生存年数[年]、YLL : 損失生存年数[年]、YLD : 障害生存年数[年]、N : 死亡数[人]、L : 余命[年]、I : 障害発生数[人]、DW : 重篤度[-]、L : 罹患期間[年])

本研究での熱中症被害は死亡のみを考慮しているため、 $DALY = YLL$ とした。損失余命 L の算出は平成 22 年の国勢調査と都道府県別生命表を用いて、1 死亡あたりの損失余命は $L = 18.10$ とした。

睡眠困難の DALY は睡眠困難により死亡することは考慮せず、 $DALY = YLD$ とした。睡眠困難の YLD は障害発生数を睡眠困難発生数として算出した。重篤度は $DW = 0.1^{10)}$ 、罹患期間は $L = 1/365$ とした。

疲労の DALY も同様に $DALY = YLD$ とし、YLD は障害発生数を疲労発生数として算出した。重篤度は $DW = 0.099^{10)}$ 、罹患期間は $L = 1/365$ とした。睡眠困難発生数および疲労発生数は 2015 年のジャカルタの人口に罹患率を乗じて算出した。

5. エアコン導入効果の評価

5.1 睡眠困難におけるエアコン導入効果

疫学調査に基づき被験者が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、それぞれ被害関数を作成した(図1)。被害関数は 22 時外気温と睡眠困難罹患率を 3 次の平滑化スプライン回帰(GCV に 7 による最適化)によって導出

した。また、現状とエアコン使用率が増加した場合の損失 DALY を比較した (表 2)。

5.2 疲労におけるエアコン導入効果

疫学調査に基づき被験者が日中の滞在場所でエアコンを使用した場合とエアコン使用していなかった場合に分類し、それぞれ 5.1 節と同様に被害関数を作成し、現状とエアコン使用率が増加した場合の損失 DALY を比較した (表 2)

表 2 健康影響別損失 DALY

	損失 DALY[千年]	
	現状	使用増加
熱中症	1.54	
睡眠困難(2月)	138(40%)	127(80%)
睡眠困難(10月)	67.9(40%)	53.1(80%)
疲労	37.4(50%)	34.6(90%)

* カッコ内はエアコンの使用率を表す

6. 結果と考察

6.1 熱中症

2015 年のジャカルタにおける熱中症死者数は 85 人、損失 DALY は約 1542 年であった。健康影響間で損失 DALY を比較すると睡眠困難、疲労、熱中症の順に大きくなり、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。

6.2 睡眠困難

2 月、10 月ともにエアコンを使用した場合の被害関数は線形型となった (図 1)。エアコンを使用していなかった場合は、気温

が 26°C (2 月)、27.7°C (10 月) より低いもしくは高いときに罹患率が上昇する V 字型関数となった。エアコンを使用していなかった場合は気温に感応しやすく、気温が高いほど罹患率が増加することがわかった。疫学調査から得られた現状のエアコン使用率 40% から 80% に増加させると、損失 DALY は約 7.9%~20% 減少すると試算できた。

6.3 疲労

エアコン使用有無別の疲労被害関数は、エアコンを使用した場合は滑らかに減少する関数となり、使用していない場合は日最高気温が 31°C 付近より低いもしくは高いときに罹患率が上昇する V 字型関数となった。罹患率は最高気温の上昇に伴い著しく増大しており、日中のエアコン導入効果は睡眠困難に比べて大きいことが示された。疫学調査から得られた現状のエアコン使用率 50% から 90% に増加させると、損失 DALY は約 7.6% 減少すると試算できた。

7. 結論

インドネシアのジャカルタにおける睡眠困難および疲労被害関数を開発し、エアコンの導入効果を定量化した。今後は東京などの睡眠困難に関する疫学データのメタ解析より一般化し、被害関数を他都市へ適用する方法を探索する。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していく。

引用文献 [1] United Nations (2014): World Urbanization Prospects 2014. [2] 大橋ほか(2014): 環境情報科学 学術研究論文集, 28, 367-372. [3] 岡野ほか(2008): 日本ヒートアイランド学会論文集, 3, 22-33. [4] 伊坪・稲葉 編 (2005): ライフサイクル環境影響評価手法. [5] OGIMET.com, <http://www.ogimet.com/resynops.phtml.en> [6] 本田・高橋(2009): 地球環境, 14 (2),257-263. [7] Buysse et al.(1988): A New Instrument for Psychiatric Practice and Research, Psychiatry Research, 28, 193-213. [8] Chalder T (1993): Journal of Psychosomatic Research, 37(2),147-153. [9] Doi et al.(2000): Psychiatry Research, 97, 165-172. [10] 稲葉ほか(2005): ライフサイクル環境影響評価手法. [11] World health organization(WHO) http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/,(2016-12-20). [12] Fukuda et al. (2013): The International Journal of Life Cycle Assessment, 18(5), 1089-1097.