

研究助成実施報告書

助成実施年度	2019 年度
研究課題 (タイトル)	インドネシアのカンポンにおける 住環境の暑熱による健康リスク軽減を目指したフィールド調査
研究者名※	萩島 理
所属組織※	九州大学大学院 総合理工学研究院 教授
研究種別	研究助成
研究分野	都市環境工学
助成金額	150 万円
発表論文等	Building and Environment, Vol. 184, p.107239 PloS one, Vol.16 (7), e0254460

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団2019年度研究助成実施報告書

所属機関名 九州大学 大学院総合理工学研究院

申請者氏名 萩島 理

研究課題	インドネシアのカンポンにおける住環境の暑熱による健康リスク軽減を目指したフィールド調査
------	---

(概要) ※最大10行まで

本研究がフィールドとするインドネシアは好調な経済成長を続ける一方、貧富の格差は大きく、貧困人口は2595万人に達する。特に、都心部ではカンポン（都市村落）と呼ばれる高密度で低品質の居住地域が無計画に増加し、そこに住む人々は、未整備の都市インフラや低品質の住居故に公衆衛生や健康上の様々なリスクに晒されている。また、熱帯気候故に、気候変動や都市ヒートアイランドによる高温化リスクの増加が強く危惧されている。これに対し本課題は、インドネシアのジャワ島中央部スラカルタ市のカンポンの多数のローコスト住宅を主な対象として、室内熱環境の特徴を実測調査に基づき把握するとともに、居住者の健康リスクに関するアンケート調査を行い、室内熱環境と疾病リスクの関係についての分析を行った。

1. 研究の目的

(注) 必要なページ数をご使用ください。

建築部門の省エネ低炭素化は世界的な課題であり、アジアの新興国も例外ではない。一方で、新興国の貧困層の多くは将来の気候変動に対し極めて脆弱な立場に置かれている。例えば、本研究がフィールドとするインドネシアは人口2.6億で好調な経済成長を続ける一方、貧富の格差は大きく、貧困人口は2595万人に達する。こうした貧困と急激な都市化、インフラ整備の遅れが相俟って、都心部では高密度で低品質の居住地域が無計画に増加を続けている。インドネシアのこうした urban informal settlement はカンポン（都市村落）と呼ばれる。カンポンに住む人々は、未整備の都市インフラや低品質の住居故に公衆衛生や健康上の様々なリスクに晒されている。特に、年間常に日最高気温が30℃を超える熱帯気候故に、気候変動や都市ヒートアイランドによる高温化リスクの激増が強く危惧されている。

低所得者世帯にはエアコンは無く建物だけが唯一厳しい外界の暑熱を和らげるシェルターであるが、雨露を凌ぐだけの簡素な建物が一般的であり、その性能は低い。これに対し本課題は、インドネシアのジャワ島中央部のスラカルタ市中心部に位置するカンポン（Pasar Kliwon District）を対象として、ここに位置する多数の住居の室内熱環境の大規模調査を行い、室内の暑熱リスクの実態を把握すると共に、室内熱環境に特に影響を与える因子を特定する事を目指す。加えて、カンポンのみならず様々な住居に住む人々を対象としたアンケート調査により、疾病リスクに及ぼす居住環境の影響についての実態を把握する事を目標とする。

2. 研究の経過

(注) 必要なページ数をご使用ください。

A. 実測調査に基づく Low cost 住宅の暑熱環境の実態把握

中央ジャワ州のスラカルタ市に位置するカンポン地区 (Kampung Sangkrah) を調査フィールドに選定した。この街区は約 2km 四方に約 4 千人が居住し、貧困率は約 20% とスラカルタ市の中でも特に高い。街区は河川に接し、低層の住宅が多数密集する中を狭い路地が走る。上下水道のインフラは未整備で、人々は街区内にある公共の井戸や公衆トイレを利用している。ここに密集する多数の戸建て住宅は総じて小規模で構造・間取りも簡素なものが多い。

本研究では地区内の住宅の中から規模、構造材料などが異なる住戸を 17 軒抽出し、居室の熱環境要素 (気温及び湿度) を約 6 週間の連続計測を行った。また、地区内空地にて、温湿度、日射量、雨量等の気象要素を計測する。加えて、実測対象住戸の建物詳細 (平面図、断面図、建物構造、材料等) や居住者の情報 (居住者数、年齢、職業、生活スケジュール、室内での産業活動の有無、その他) の実地調査を行った。対象街区の航空写真及び室内熱環境の計測を行った住宅の外観を図 1 に示す。加えて、実測を行った住戸の居住者及び同一街区に居住する人々を対象として、自宅の熱環境や居住環境全般に対する認識、生活スケジュール、暑熱緩和のための adaptation 行動、着衣量などに関するアンケート調査を実施し 102 人の回答を得た。



図 1 室内熱環境実測の対象フィールドの概観

B. 人々の疾病・健康問題の発生頻度と居住環境の関係に関するアンケート調査の実施

インドネシアにおける人々の健康リスクと居住環境の関係理解する事を目的としたアンケート調査を行った。アンケートはジャワ島の 6 州 (Banten, Jakarta, West Java, Central Java, Yogyakarta, East Java) において 2019 年 12 月から 2020 年 1 月の間にオンラインで 306 サンプル、前述の実測調査を行ったカンポン地区においてはインタビューにより 137 サンプルを得た。回答者の内訳及び主な質問項目を表 1 及び表 2 に示す。アンケート調査票は、回答者の性別、居住地、年齢、世帯年収などの基本属性に加え、自宅の熱環境に関する質問、様々な疾病や健康問題の有無に関する質問から成る。得られたデータを用いて(1)式に表されるロジスティック回帰に基づき回答者の様々な属性が健康問題の発生頻度に及ぼす影響をオッズ比により評価した。

$$\text{Logit}(\theta) = \ln \frac{\theta(Y=1)}{\theta(Y=0)} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (1)$$

なお、 $\theta(Y=1)$ はある疾病の発生確率、 β_{0i} は定数、 x_j は予測変数、 β_j は予測変数に対する係数である。加えて、構造方程式モデリング(SEM)を用いて、特定の要因 (経済状況、熱的不快の経験、室内環境へ

の評価) と健康状態の関係を分析した。

表 1 アンケート回答者の内訳

Attributes	number	
Group of age		
<18 years old	63	14.2%
18 – 30 years old	228	51.5%
31 – 40 years old	87	19.6%
41 – 50 years old	29	6.5%
>50 years old	36	8.2%
Gender		
Male	178	40.2%
Female	265	59.8%
Locations		
Urban	169	38.2%
Rural	137	30.9%
Urban kampung	137	30.9%
Income level		
Lower	135	30.5%
Lower-middle	120	27.1%
Middle-upper	72	16.2%
High	116	26.2%

表 2 アンケートの主な質問内容

Personal factors		
<ul style="list-style-type: none"> • Age • Gender • Location • Economic level 		
Indoor environment conditions		
<ul style="list-style-type: none"> • Indoor air quality satisfaction • Subjective indoor thermal evaluation • General indoor environments satisfaction 		
Health problems		
<ul style="list-style-type: none"> <i>Respiratory</i> • Sinusitis • Bronchitis • Cough • Tuberculosis • Pneumonia • Asthma • Blown <i>Kidney and urinating</i> • Urinary hesitancy • Inflammation • Prostate inflammation • Urolithiasis <i>Neural</i> • Meningitis • Concussion • Polio • Epilepsy • Stroke • Migraine 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Digestive tract</i> • Typhoid • Puke • Constipation • Ulcer • Icterus • Cholelithiasis • Hemorrhoids • Diarrhea • Odynophagia <i>Gland</i> • Thyroid <i>Dermal</i> • Chicken pox • Tinea versicolor • Eczema <i>Heart and blood</i> • Tachycardia • Chest pain • Hypotension 	<ul style="list-style-type: none"> • Hypertension <i>Bodily pains</i> • Headache • Fainted • Tiredness • Rheumatism • Skin rash <i>Mental</i> • Insomnia • Fidgety <i>Other</i> • Severe dehydration • Medicine allergy • Food allergy • Tetanus • Cancer • Malaria • Diabetes • Measles • Hearing disorder

3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

A. Low cost 住宅の暑熱環境の実測調査の結果

図 2 に計測対象 17 戸の室内温度日変動のアンサンブル平均を示す。プロットは壁体材料により色分けされている。2km 四方の同一街区に位置しながら、17 戸の温度には大きな違いがある事が分かる。また、外気温度と比較すると夜間はいずれの住戸も室温は低いのに対し、日中は 1 戸の例外を除き室温は外気温度より低い。この結果から、外気温度変動に対する室温変動の低減率を表す **decrement factor** f を算出し、建物室容積当たりの熱容量 Q との関係性をプロットした (図 3)。両者は明快な負の相関を示すのに対し、壁体材料は f 値を説明するには有効ではない事が分かる。建物熱負荷計算の手法を使えば、建物の構造材料やデザイン、居住者の窓開閉などのライフスタイル等の多様な与条件に対し、室内熱環境や空調負荷を予測可能であり、そのための計算ソフトも近年は普及している。しかし、本研究が対象とするようなカンポン街区にある多数の簡素な住宅群の中から、高温リスクの高い住宅を抽出して対策を講じよう、といった状況を想定すると、従来の熱負荷計算に基づくアプローチは必要となる労力を考えると現実的ではない。これに対し、図 3 の結果は、算出が容易な Q 値によってある程度は室内熱環境を評価する事ができる事を示唆している。

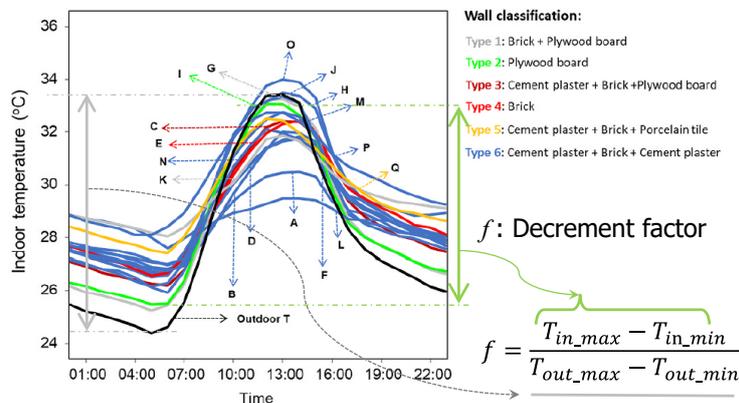


図 2 計測対象住戸の室温日変動のアンサンブル平均

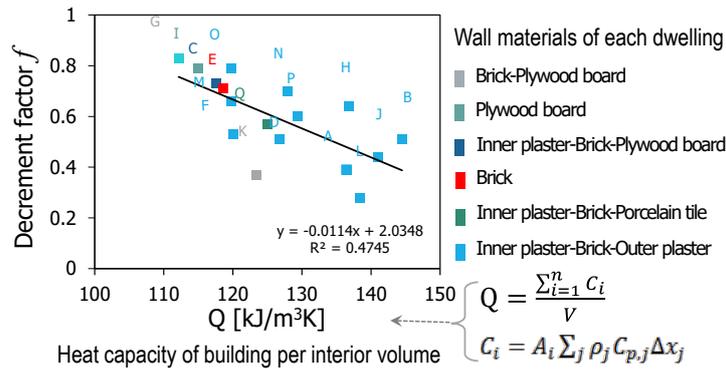


図3 温度低減率 f と室容積当たり建物熱容量 Q の関係

次に、17戸の住宅の室内温度のパーセンタイル値に対する建物・居住者に関する種々のパラメータの相関を分析した結果を表3に示す。室容積に対する床面積の比率（天井高さの逆数とほぼ同値）は75パーセンタイル値に対し有為に負の相関を示す一方、 Q 値は上位2.5%値に対し負の相関、下位2.5%、25%に対し正の相関を示している事が分かる。

表3 各住戸の室内温度のパーセンタイル値と建物条件に関する諸パラメータの相関係数

	2.5th: Tp2.5	25th: Tp25	50th: Tp50	75th: Tp75	97.5th: Tp97.5
Wall area per interior volume	0.03 (0.907)	-0.04 (0.877)	-0.14 (0.578)	-0.27 (0.290)	-0.30 (0.249)
Roof area per interior volume	-0.05 (0.840)	-0.25 (0.334)	-0.21 (0.415)	-0.40 (0.115)	-0.39 (0.119)
Window area per interior volume	-0.05 (0.847)	-0.04 (0.870)	-0.26 (0.312)	-0.39 (0.125)	-0.25 (0.330)
Floor area per interior volume	-0.02 (0.940)	-0.12 (0.651)	-0.26 (0.311)	-0.53 (0.027)	-0.42 (0.090)
Occupants per floor area	-0.06 (0.825)	-0.08 (0.771)	-0.09 (0.739)	0.11 (0.682)	0.27 (0.288)
Ceiling height from the ground	0.19 (0.460)	0.15 (0.558)	0.09 (0.719)	-0.24 (0.377)	-0.37 (0.139)
Heat capacity of building envelope per volume (Q)	0.64 (0.006)	0.59 (0.012)	-0.37 (0.142)	-0.38 (0.134)	-0.56 (0.018)

Marked values indicate statistically significant ($p < 0.05$).

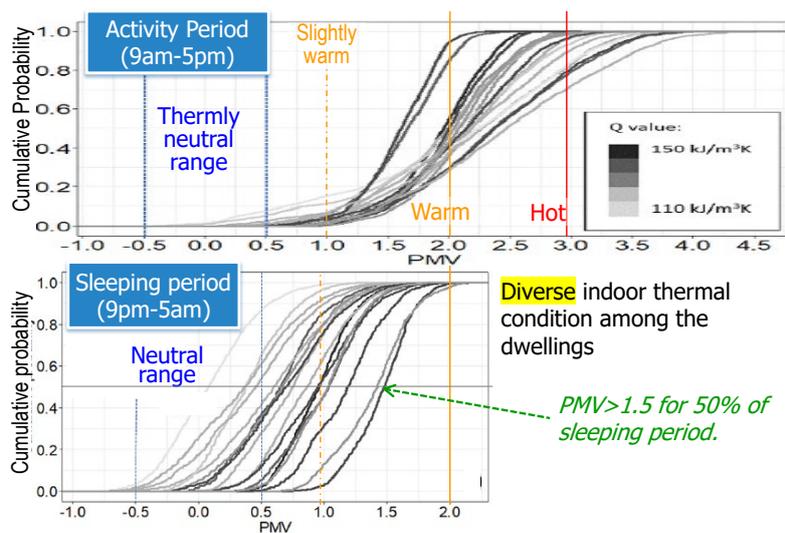


図4 計測対象住戸の PMV の累積確率分布

次に測定した各住戸の室内温度の累積確率分布を図4に示す。日中はいずれの住戸も熱的中立となる $-0.5 < PMV < 0.5$ の範囲を殆どの時間で外れている事が分かる。夜間は、総じてQ値の小さな熱容量が小さい簡素な建物において、熱的中立となる時間帯が長い一方で、PMVが1を超える時間帯が50%を超える住戸も多く存在している。これは、コンクリート・レンガ造の比較的しっかりした建物に比べ、壁が薄い木板のみで構成された安価な建物の熱環境が、夜間については寧ろ良好である事、屋根などの日射遮蔽を簡易なシェーディングなどで実施できれば終日比較的良好な室内環境が維持できる可能性を示唆している。

B. 人々の疾病・健康問題の発生頻度と居住環境の関係に関するアンケート調査の分析結果

疾病及び健康問題の発生頻度に対するロジスティック回帰分析の結果の中でも所得水準及び居住地に関して統計的に有意となった項目について抜粋し表4,5に示す。高所得世帯に比べると低所得者世帯では咽喉炎、嘔吐、不眠、下痢、咳、皮膚炎等様々な疾病の発生確率が3~6倍高い事が確認できる。また、都市域のカンプンの居住者はそれ以外の都市居住者に比べると、咽喉炎、下痢、頭痛、咳などの発生確率が5~6.7倍高い。

表4 健康問題発生頻度に関するロジスティック回帰分析の結果（高所得に対する低所得のオッズ比）

Health problems	Estimate	p-value	Standard error	OR
Fidgeting	1.80	0.0003 ***	0.376	6.04
Odynophagia	1.64	0.00348 **	0.562	5.16
Puke	1.54	0.0004 ***	0.344	4.66
Insomnia	1.53	0.0004 ***	0.328	4.63
Skin rash	1.39	0.01461 *	0.571	4.03
Headache	1.36	0.0003 ***	0.268	3.91
Muscle cramp	1.13	0.00002 ***	0.264	3.11
Rheumatism	1.11	0.00221 **	0.363	3.03
Diarrhoea	0.93	0.00148 **	0.292	2.53
Cough	0.80	0.00206 **	0.260	2.23
Fatigue	0.66	0.01026 *	0.259	1.94
Sinusitis	-1.24	0.0129 *	0.497	0.29

*p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001 by using Chi-squared test.

表5 健康問題発生頻度に関するロジスティック回帰分析の結果（カンポン街区以外の都市域居住者に対するカンポン居住者のオッズ比）

Health problems	Estimate	p-value	Standard error	OR
Odynophagia	1.64	0.0004 ***	0.44	5.17
Diarrhoea	1.37	0.00013 ***	0.26	3.94
Headache	1.29	0.0001 ***	0.25	3.64
Fidgeting	1.24	0.00002 ***	0.28	3.47
Muscle cramps	1.21	0.0001 ***	0.24	3.35
Insomnia	1.14	0.00002 ***	0.27	3.14
Cough	0.83	0.0003 ***	0.24	2.30
Tachycardia	0.83	0.025 *	0.37	2.30
Rheumatism	0.82	0.00396 **	0.28	2.27
Fatigue	0.76	0.00209 **	0.25	2.13
Migraine	-0.64	0.0195 *	0.27	0.53
Hypotension	-1.17	0.0009 ***	0.35	0.31
Sinusitis	-1.52	0.00255 **	0.50	0.22
Haemorrhoids	-1.64	0.0337 *	0.77	0.19

*p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001 by using Chi-squared test.

次に、特に発生頻度が高かった 16 の疾病・健康問題の発生状況を対象として、経済水準、自宅の室内環境の質や熱的不快感の経験を媒介変数とするモデルを作成し、SEM によりその相互関係を分析した結果を図 5 に示す。回答者の経済水準と熱的不快感の経験の程度は疾病・健康問題の発生確率に有意な直接的効果がある事が分かる。即ち、経済水準が高いほど発生確率は低い一方、高温環境による入眠困難が頻繁なほど、健康上も問題が発生する確率が高い。また、回答者による自宅の熱的快適性に対する評価と健康の関係は統計的には有意とはならないが、室内における熱的不快感の経験頻度との関係は有意となっている。これは、入眠困難の頻度を尋ねる質問に比べ、室内環境の質に関する主観的な評価を問う場合は回答者個々の受け止め方にバラツキがより多い事が一因であろう。

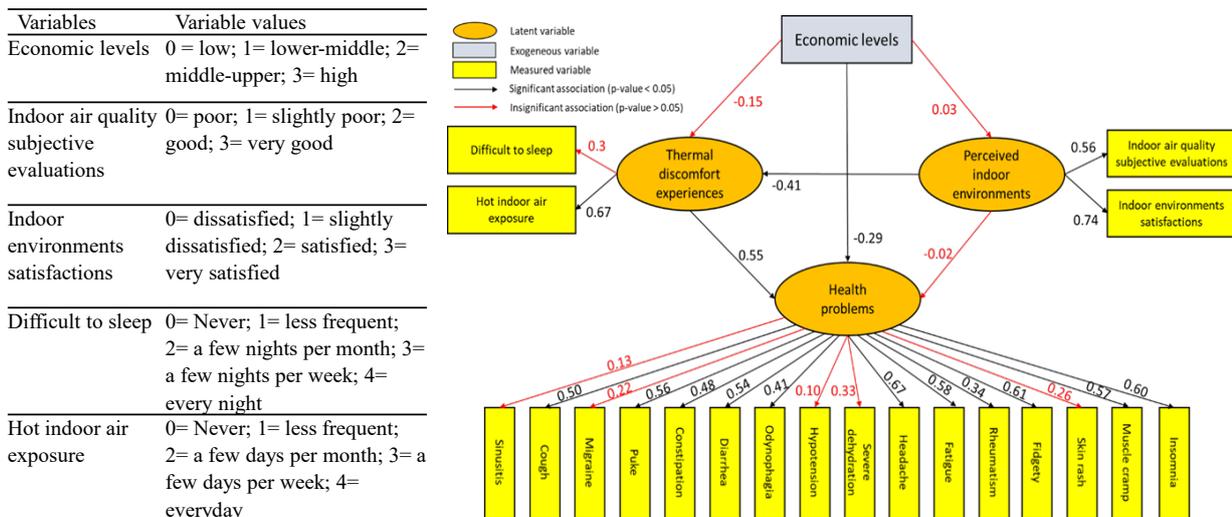


図 5 人々の疾病・症状と居住環境の関係についての SEM によるモデル化

なお、上記の研究成果は以下の通り査読付き論文として報告している。

- 1) Solli Murtyas, Aya Hagishima, NH Kusumaningdyah (2020) On-site measurement and evaluations of indoor thermal environment in low-cost dwellings of urban Kampung district, *Building and Environment*, Vol. 184, p.107239 <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107239>
- 2) Solli Murtyas, Nishat T Toosty, Aya Hagishima, NH Kusumaningdyah (2021) Relation between occupants' health problems, demographic and indoor environment subjective evaluations: A cross-sectional questionnaire survey study in Java Island, Indonesia, *PloS one*, Vol.16 (7), e0254460 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254460>

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

本研究では、インドネシアにおける urban informal settlements における室内熱環境の熱的リスク及び人々の健康への影響について、実測調査及びアンケートによりその実態を多面的に調査分析したものである。カンポン街区に住む人々が、様々な疾病・健康問題の発生確率が有意に高い事が示された事は、今後のカンポンにおける居住環境の改善の必要性を強く示唆するものである。一方で、健康リスクを増加させうる居住環境の因子を特定できた訳では無い。健康リスク軽減のための具体的方策を模索するためには、室内熱環境のほかに、空気質、飲用水の水質に関する包括的な調査が望まれる。