マレーシア・ジョホールバルにおけるテラスハウス内部の温熱環境の実態

THERMAL ENVIRONMENT OF TWO TERRACED HOUSES IN JAHOR BAHRU, MALAYSIA

辻原万規彦 —*1 久保田 徹 —*2
細井昭憲 —*3 安浪夕佳 —*4

Makihiko TSUJIHARA —*1 Tetsu KUBOTA —*2
Akinori HOSOI —*3 Yuka YASUNAMI —*4

キーワード：
現場実測, 温度分布, 窓の開閉, 自然通風, 放射

Keywords :
Field survey, Air temperature distribution, Natural ventilation, Radiation

This paper reports the results of a field survey on the indoor thermal environment in two terraced houses in Johor Bahru city, Malaysia. The survey was carried out in a single-story house and a two-story house. The results show that opening windows not only affects ventilation but also controls the influence of the outside thermal environment. Moreover, on the double-story house, the upper floor has the function of thermal insulation for the ground floor.

1. はじめに

地球温暖化問題を解決するためには、周知の通り、東南アジア諸国におけるエネルギー消費量の抑制を図ることも重要である。そのために、それぞれの地域における住宅を対象として自然エネルギーを有効に利用した省エネルギー化対策を講じることが考えられる。これまでに、インドネシアの住宅を対象とした宇野らの研究¹⁾や熱シンポジウムでの議論²⁾などがあるものの、現状では、省エネルギー化を念頭に置いた東南アジア諸国における住宅の温熱環境に関する資料が十分に蓄積されているとは言い難い^{注1)}。

東南アジア諸国の一つであるマレーシアにはテラスハウスと呼ばれる隣家と共通の界壁で連続したテラス付低層長屋建住宅が多い。テラスハウスは低コストでまとまった住戸数を確保出来るため、1980年代以降の都市化に伴う住宅不足の解消策として大量に造られた³⁾。2002年現在、マレーシアの住宅ストックの内、テラスハウスは57%を占め、低所得者の代表的住宅となっている³⁾。ジョホールバルにおけるテラスハウスを対象にした冷房の使用状況と窓の開閉に関する久保田らのアンケート調査³⁾によると、日中には開口部を開放し、夜間は防虫・防犯のために閉じてエアコンや扇風機を使用する居住者が多いことが指摘されている。テラスハウスは前方の道路に正面を向けており、特定の方角を考慮して建てられる訳ではないが、コンクリートや煉瓦を用いているため、夜間に蓄冷し、自然通風を利用すれば、エアコン使用の抑制に繋がる可能性がある。

そこで、住宅のエネルギー消費量削減に向けての基礎資料を得るために^{注2)}、マレーシアにおけるテラスハウス内部の温熱環境について実態調査を行った。その際、一般的な住宅形式であることから建

て替えや改築での解決ではなく、自然通風の利用を第一に考え、窓の開閉が室内の温熱環境に与える影響を検討した。

なお、日本国内の住宅を対象とした関連研究としては、住宅のエネルギー消費量と居住者の意識や住まい方の関連を検討した大和らの研究⁴⁾、自然通風が空調エネルギー消費に与える影響を検討した羽原らの研究⁵⁾、窓開閉と冷房使用の実態調査を行った浅輪らの研究⁶⁾などのように多数の研究がある。

2. 調査対象住宅の概要

調査対象住宅は、ほぼ赤道直下に位置するマレーシア・ジョホールバルに建つ平屋テラスハウス(写真1。以下、「平屋」と略す。)と2階建てテラスハウス(写真2。以下、「2階建」と略す。)の2軒で、平屋の玄関は東向き、2階建ての玄関は北向きである。平屋の居間の様子を写真3に、屋根裏の様子を写真4に示す^{注3)}。

住宅の熱的性能を把握するため、人間の活動や生活用品、民族性^{注4)}によるライフスタイルの差異などの影響を除けるように、空き家を対象として調査を行った。

マレーシアは熱帯雨林気候に属し、明瞭な乾季は無く⁷⁾、日常的にスコールが午後4時頃降る。1-2月は北東モンスーンが最も多量の降雨をもたらす、5-9月は南西モンスーンのためにスマトラ島の陰となり降雨が減少する⁸⁾、^{注5)}。

3. 測定の概要

測定は、2006年8月26日夜から9月1日朝にかけて行った。

表1に8時と20時に行った窓の開閉の組み合わせを示す(以下、

本稿の一部は、2006年度日本建築学会九州支部研究発表会で発表した³⁾。

*1 熊本県立大学環境共生学部 准教授・博士(工学)
(〒862-8502 熊本市月出3丁目1-100)

*2 マレーシア工科大学構築環境学部 講師・博士(工学)

*3 熊本県立大学環境共生学部 講師・博士(工学)

*4 熊本県立大学環境共生学部 助手・修士(環境共生学)

*1 Assoc. Prof., Prefectural University of Kumamoto, Dr. Eng.

*2 Lecturer, Universiti Teknologi Malaysia, Dr. Eng.

*3 Senior Lecturer, Prefectural University of Kumamoto, Dr. Eng.

*4 Assistant, Prefectural University of Kumamoto, M. ESS.

写真1 平屋テラスハウス

写真2 2階建てテラスハウス

写真3 平屋の居間

写真4 平屋の屋根裏

窓を開ける事を「開放」、窓を閉める事を「閉鎖」と略す。窓の開閉に関わらず室内の扉は開放し、収納や玄関、勝手口の扉は閉鎖した。また、2階建ではCとDパターンは行っていない。

表2に測定項目と使用機器、記録装置を示す。測定間隔は全て1分である。また、図1に調査対象住宅の平面図と測定点を示す。屋外、居間、主寝室(以下、「主寝」と略す。)の中心部の床上高さ1200mmで気温、湿度、グローブ温度を測定した。台所、客室、その他の寝室(以下、「第2寝室」は「2寝」などと略す。)では気温と湿度のみを床上高さ1200mmで測定した。居間の中心部では垂直に床上高さ0(床面)、350、700、1200、1400、2100、2450、2800(天井面)mmの計8カ所で温度を測定した。また、平屋の居間の中心部、玄関側(以下、「前」と呼ぶ。)2カ所と勝手口側(以下、「後」と呼ぶ。)3カ所の窓の中心部(図1中の前1、前2、後1～後3)で風速と気温を測定した。なお、「前1」のみ窓の屋外側にセンサーを設置した。全天日射量は調査対象住宅の近隣で周囲が充分開けた地点を選び、測定した。

なお、開口部の大きさと床面積に対する開口の比率については、以下の通りである。平屋は、図1中の前1から後3の順に、 $2.1 \times 2.3\text{m}$ 、 $1.5 \times 1.2\text{m}$ 、 $1.1 \times 1.2\text{m}$ 、 $1.2 \times 1.2\text{m}$ 、 $1.2 \times 1.2\text{m}$ 、比率が9.8%である。2階建では、平屋と同じ向きの順番に、1階部分の前側(図中の下側)の左から $2.1 \times 2.0\text{m}$ 、 $1.2 \times 1.2\text{m}$ 、後ろ側(図中の上側)が $1.3 \times 1.2\text{m}$ 、 $1.8 \times 1.1\text{m}$ 、比率が11.4%、2階部分の前側が $1.8 \times 1.2\text{m}$ 、 $1.2 \times 1.2\text{m}$ 、後ろ側が $1.8 \times 1.2\text{m}$ 、 $1.8 \times 1.2\text{m}$ 、比率が11.0%であり、1階と2階をあわせた床面積に対する開口の比率は11.2%である。

表1 窓の開閉の組み合わせと測定期間

開閉パターン	開閉組み合わせ		測定期間(2006年8月)	
	昼間 (8～20時)	夜間 (20～8時)	平屋	2階建
Aパターン	開放	閉鎖	27日	28・30・29日
Bパターン	閉鎖	開放	28・29日	31日
Cパターン	開放		30日	×
Dパターン	閉鎖		31日	×

表2 測定項目・使用機器・記録装置

測定項目	使用機器	平屋記録装置	2階建記録装置
温度	T型熱電対	ハンディ温度ロガー (THERMODAC EF)	マイクロロガー (THERMIC 2100A)
湿度	温湿度センサー付電池式小型データ収集記録装置 TR-72S ／湿度・温度センサ 2119A		
グローブ温度	グローブサーモメーター	ハンディ温度ロガー	マイクロロガー
風速	Tr式微風速計 AM-10T	ハンディ温度ロガー	×
日射	アルベドメーター MR-22	マイクロロガー	×

図1 調査対象住宅の平面図と測定点

4. 測定結果と考察

4.1 屋外気温と湿度

図2に測定期間中の全天日射量と屋外の気温ならびに湿度を示す。ただし、気温と湿度は、平屋と2階建ての屋外での測定値の平均値で示した。

8月27日と28日は日中の気温が 32°C 以上に上昇した後、夕方はスコールが降り、熱帯の標準的な天候であったと言える。29日と30日は正午過ぎから雨や曇りとなり、気温が 32°C まで上昇せず、27日、28日とは異なる天候であった。それでも全天日射量の最大値は27日、28日と殆ど変わらず、午後のみ少なかった。また、31日は朝から曇りであり、気温が 29°C までも上昇せず、27日～30日までに比べて全天日射量が少なかった。

4.2 平屋テラスハウスの温熱環境

図3に平屋における開閉パターン別の屋外と居間の気温、「前1」と居間の風速ならびに居間のグローブ温度を示す。

(1) 昼間の温熱環境

Aパターンでは、居間の気温は屋外の気温に追従し、スコール時には屋外と居間共に気温が低下している。これは窓を開放したことで「前1」での風速が閉鎖時の2倍以上になり、熱損失が大きくなった結果だと考えられる。Bパターンでは、Aパターンほど午前中は居間の気温が上昇せず、午後は窓を開放するまで気温の低下が少なかった。これは閉鎖したことで熱取得と熱損失が小さくなった結果だと考えられる。Cパターンでは、Aパターンと同様の傾向が見られた。Dパターンでは、居間の気温の日較差が 1°C 程度であり、午前は屋

図2 測定期間中の全天日射量と屋外の気温ならびに湿度

外の気温よりも高い状態が続いた。調査対象住宅は、外壁だけでなく内壁も煉瓦であり、熱容量が大きく、蓄熱された熱が室内に放熱されている状態であったためであると考えられる。

(2) 夜間の温熱環境

A パターンでは、閉鎖してすぐに居間の気温とグローブ温度共に 1°C 程度上昇しており、グローブ温度と居間の気温がほぼ同じであった。また、屋外と居間の気温差は開放時よりも大きく、最大で 4°C 程度であった。これは閉鎖したことで、蓄熱された熱が室内に放熱されていた結果だと考えられる。B パターンでは、開放してすぐに

居間の気温とグローブ温度共に $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 程度低下し、「グローブ温度」>「居間気温」であった。これは風圧換気に加え、窓を開放したことによって一時的に比較的多量の温度差換気が行われた結果だと考えられる^{注6)}。また、20 時での居間の気温は閉鎖パターンや天候によって異なるものの、翌日 8 時までの居間の気温の低下は、開放時も閉鎖時も $1.2^{\circ}\text{C}\sim 1.4^{\circ}\text{C}$ 程度であった。C パターンでは、B パターンと同様の傾向が見られた。D パターンでは、屋外と居間の気温差は 3°C 程度と、同様に閉鎖していた A パターンより小さかった。これは雨や曇りの天候であったためだと考えられる。

(3) 窓の開閉と温熱環境

(1) と (2) から、窓の開閉は通風を得るだけでなく、熱取得もしくは熱損失を促進させる効果があることが推測される。床面や天井面、周壁への蓄熱の影響も調節し、その調節幅は $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 程度と考えられる。しかし、夜間における居間(室内)の気温の低下の割合は窓の開閉に係わらずほぼ同じであり、屋外の風速も昼間に比べて小さいことから、窓の開閉に係わらず夜間における熱損失は極めて小さいと考えられる。

4.3 居間の垂直温度分布

図 4 に平屋と 2 階建の A パターン (8 時に開放, 20 時に閉鎖) について、それぞれ居間で測定した垂直方向の温度の日較差を示す。

平屋と 2 階建共に床面温度は、床上高さ $350\sim 2450\text{mm}$ の気温よりも最高温度が低い上に最低温度が高く、日較差も小さい。したがって、床表面温度よりも居間の気温が低い時には、窓の開放で床に蓄熱された熱を逃がすことを促進できると推測される。逆に、床面温度よりも居間の気温が高い時には、窓の閉鎖で、相対的に蓄冷された状態の床面の効果を持続できると推測される。

平屋では天井面温度の日較差が大きく、最高温度は屋外の気温よりも高い。これは平屋の屋根裏に断熱材が無いことから、屋根裏の熱

図3 平屋の気温・風速・グローブ温度の変化

が直接天井面に伝わった結果だと考えられる。一方、2階建では天井面温度の日較差は床面温度と同程度である。これは上部に2階部分が存在することで、屋根裏の熱が伝わり難かった結果だと考えられる。したがって、2階建の場合、1階部分に対して2階部分が断熱層の役割を担っていると推測できる。また、平屋や2階建ての2階部分の熱損失を促進させるためには、屋根裏換気が重要であると考えられる。

図5に平屋のAとBパターンについて、8, 12, 16, 20, 24, 4時からそれぞれ30分間の平均値による垂直温度分布の変化を示す。

人間の生活範囲である床上高さ0~2000mmにおいて、Aパターンで最高気温を記録した時間が12時、最低気温を記録した時間は8時であったのに対し、Bパターン(8時に閉鎖、20時に開放)では最高気温を記録した時間が16時、最低気温を記録した時間は4時であった。したがって、午前中に窓を開放すれば、屋外からの熱取得が促進され、早い時間から居間(室内)の気温が上がりやすいと考えられる。

また閉鎖時における夜間(20, 24, 4時)の垂直温度分布では、床上高さによる気温の違いが殆ど見られない。一方、開放時は床面と天井面を除いて、低い測定位置ほど気温が低い。したがって、夜間に窓を開放すれば、人間の生活範囲付近の居間(室内)の気温を下げる効果があると推測される。

4.4 住宅内の各部屋における気温の関係

表3に平屋と2階建について、一日(8時~翌日8時)の平均値による、屋外と居間の間の気温差に対する、屋外と各部屋の間の気温差の割合を示す。

平屋の気温では「居間」≧「主寝」>「台所」≧「2寝」の関係が見られ、2階建の1階部分の気温では「居間」≧「エントランス」>「台所」>「客室」の関係が見られた。どちらも共通して玄関側

の部屋の気温が勝手口側の部屋の気温より高く、平均して0.4℃程度の差があった。一方、2階建の2階部分ではその様な関係は見られず、共用空間や主寝室の気温が高い傾向にあった。この2部屋は開口部が無い、または小さく、そのことが気温の高さに関係している可能性があると考えられる。

ジョホールバルは北緯1°38'に位置し、測定期間中はほぼ真東から太陽が登り、真上を通過して真西に沈む。東向きである平屋では、屋根の形状や隣家の影を考慮すると、西側(勝手口側)よりも東側(玄関側)の屋根や室内が受ける日射量が多い。そのために東側(玄関側)の部屋の気温が高くなったと考えられる。また居間に設置した測定機器類からの少量の発熱による影響の可能性も考えられる。一方、北向きである2階建では、北側(玄関側)と南側(勝手口側)で受ける日射量の差は殆ど考えられないため、2階部分の玄関側と勝手口側の部屋の気温に明確な差が見られなかったと考えられる。なお、1階部分で気温差を生じさせる原因は、2階部分があるので日射量の差である可能性は低く、隣家の生活習慣や人から生じる発熱が影響している可能性が考えられる。台所などの勝手口側の部屋に比べて居間で過ごす時間の方が長いと考えれば、隣家による発熱の影響も台所より居間の方が大きいと推測される^(注7)。

表3 屋外と居間の気温差に対する屋外と各部屋の気温差の割合

平屋(%)	屋外と居間の気温差(℃)	居間	台所	2寝	主寝
Aパターン 8月27日	1.8	100	78	78	100
Bパターン 8月28日	1.5	100	67	67	100
Bパターン 8月29日	1.4	100	64	64	107
Cパターン 8月30日	1.1	100	55	55	109
Dパターン 8月31日	1.6	100	75	75	100
平均	1.5	100	69	69	103

(各部屋気温-屋外気温)
(居間気温-屋外気温) × 100

*「エン」とは、エントランスを示す。

2階建(%)	屋外と居間の気温差(℃)	居間	台所	客室	エン*	2寝	共用	3寝	4寝	主寝
Aパターン 8月28日	1.1	100	45	18	73	91	118	100	91	118
Aパターン 8月29日	1.1	100	73	64	100	118	127	109	109	136
Aパターン 8月30日	1.3	100	77	69	108	100	108	92	85	123
Bパターン 8月31日	1.1	100	73	55	109	91	100	82	82	100
平均	1.2	100	67	52	98	100	113	96	91	120

5. まとめ

マレーシア・ジョホールバルにおけるテラスハウスの温熱環境の実態を把握するため、平屋テラスハウスと2階建てテラスハウスを対象に調査を行った。その結果、以下のようなことが指摘できる。

①窓の開閉には通風を得る効果のほかに、熱取得もしくは熱損失を促進させる効果があることが推測された。また、今回の測定では、夜間における居間(室内)の気温の低下の割合は窓の開閉に係わらずほぼ同じと考えられ、屋外の風速も昼間に比べて小さいことから、どちらの場合も夜間における熱損失は小さいと考えられる。

②テラスハウスの床面からは、床表面温度より室内の気温が低い時には蓄熱の影響を受け、高い時には相対的に蓄冷の影響を受けると推測された。また、2階建の2階部分は1階部分からみれば、断熱層としての役割があると推測された。

③室内の気温には部屋によって差が見られた。その原因には、住宅の向きに伴う日射量の差や、測定機器からの発熱、もしくは隣家の生活による発熱の影響が考えられた。

今後の課題として、さらに多様な地域で多様な住宅のデータを収集すると共に、本研究の結果などを踏まえて、実際に望ましい時間での窓の開閉を実施したり、屋根裏に断熱材を入れるなどして、実際の効果を確かめる必要があると考えられる。また、部屋によって

図4 居間の垂直方向の温度変動幅

図5 居間の垂直温度分布の変化

室内の気温に差がある原因を明確にする必要があると考えられる。

追記

本稿は、熊本県立大学環境共生学部居住環境学専攻4年生(当時)の中島咲紀さんの卒業研究として行われたものを取り纏めたものである。

また、現地での調査の遂行にあたっては、マレーシア工科大学構築環境学部・学部長の Supian bin AHMAD 先生、同・スタッフの Halimah binti YAHYA 氏にご協力頂いた。記して深謝する。

注

注 1) 本稿に関連する研究の海外での状況については、久保田らの論文³⁾における文献レビューに詳しい。なお、本稿の投稿後、同じようなマレーシアのテラスハウスを対象とした研究⁷⁾が発表された。この研究ではテラスハウス内の温熱環境の実測結果と数値シミュレーションの整合性を検討することが主眼であり、本稿で着目した窓の開閉が室内の温熱環境に与える影響については扱っていない。

注 2) 今回の調査では、夜間の冷房によるエネルギー消費量を測定できておらず、マレーシアのテラスハウスにおける具体的なエネルギー削減目標値の検討などは、今後の課題である。

注 3) 調査対象住宅の建設時の図面などは入手できなかったため、屋根、壁、床の詳細な仕様は不明だが、近隣で見られた同様のテラスハウスの建設現場での観察や調査対象住宅の屋根裏からの観察から、屋根は瓦葺き、壁は煉瓦(長手積み)モルタル仕上げ、床はコンクリート床タイル張りであると推測される。

注 4) 宇高らはマレーシア・ジョホールバル郊外の画一的住宅団地を対象に、就寝、信仰、調理・食事の3項目に見られる民族性を調査し、マレー系・中国系・インド系の違いを明らかにしている¹⁰⁾。

注 5) マレーシアでの気象観測ネットワークは、Malaysian Meteorological Department のホームページ¹¹⁾によれば、国内にある34の principal meteorological station, 199の climatological station, 130の rain station で構成されており、ホームページ上からダウンロードできる気象データもある。

注 6) 調査対象住宅の屋根は、野地板がなく、小屋組の上に直接瓦をのせており、空隙が大きい。

注 7) 宇野らによるインドネシア・スラバヤにおける住宅の実態調査¹⁾においても、同様に部屋によって気温差が表れている。しかし、その原因について明確には述べられていない。

本稿に関する既発表論文

- a) 中島咲紀, 辻原万規彦, 久保田徹, 細井昭憲: マレーシア・ジョホールバルのテラスハウスにおける温熱環境の実態, 日本建築学会九州支部研究報告, 第46号・2〔環境系〕, pp.305-308, 2007.3

参考文献・URL

- 1) 宇野朋子, 鉾井修一, Sri NASTITI, 布野修司: インドネシア・スラバヤにおける住宅の室内温熱環境に関する実態調査, 日本建築学会計画系論文集, 第564号, pp.9-15, 2003.2
- 2) 日本建築学会環境工学委員会熱環境運営委員会: 第36回熱シンポジウム「温暖・蒸暑地域から学ぶバイオフィリックデザインの未来」- 持続可能な社会における建築の技術・デザインとライフスタイル-, 日本建築学会, 2006.11
- 3) 久保田徹, スビアン・アーマッド: ジョホールバル市のテラスハウス住宅地における冷房の使用状況と窓の開閉状況に関する実態調査, 日本建築学会環境系論文集, 第608号, pp.81-87, 2006.10
- 4) 大和義昭, 松原斎樹, 蔵澄美仁: 京都市および近郊の住宅におけるエネルギー消費量と居住者の意識・住まい方に関する調査研究, 日本建築学会環境系論文集, 第586号, pp.17-23, 2004.12
- 5) 羽原宏美, 鳴海大典, 小林誠治, 下田吉之, 水野稔: 自然通風を行う住宅の室内熱環境および空調エネルギー消費予測手法の開発, 日本建築学会環境系論文集, 第582号, pp.107-114, 2004.8
- 6) 浅輪貴史, 梅干野晃, 武澤秀幸, 清水敬示: 戸建住宅における窓開閉・冷房使用の行動特性と影響要因解析 屋外空間の微気候と居住者の開放的な住まい方の関わりに関する研究 その2, 日本建築学会環境系論文集, 第593号, pp.87-94, 2005.7
- 7) 渡辺弘之: 東南アジアの森林と暮らし, 人文書院, 1989.7
- 8) 綾部恒雄, 永積昭: もっと知りたいマレーシア, 弘文堂, 1983.1
- 9) Nugroho, A.M., Hamdam, A.M. and Dilshan, R.O.: A Preliminary Study of Thermal Comfort in Malaysia's Single Storey Terraced Houses, JAABE, Vol.6, No.1, pp.175-182, 2005
- 10) 宇高雄志, 東樋口護: 多民族社会の住宅団地での画一的住戸空間に見る民族性 マレーシアの多民族居住と居住空間計画に関する研究 その1, 日本建築学会計画系論文集, 第489号, pp.89-96, 1996.11
- 11) Malaysian Meteorological Department < <http://www.met.gov.my/> > (2007.8現在)

[2007年4月20日原稿受理 2007年7月26日採用決定]