

## 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

準会員○中島咲紀<sup>\*1</sup> 正会員 辻原万規彦<sup>\*2</sup>  
正会員 久保田徹<sup>\*3</sup> 同 細井昭憲<sup>\*4</sup>

### 4. 環境工学-5. 熱 環境工学

温熱環境、現場実測、窓の開閉、自然通風、放射

#### 1. はじめに

##### 1.1 研究の背景

マレーシアは気候変動枠組条約を1994年に批准した<sup>1)</sup>。温室効果ガスの削減義務は無いが、今後の経済発展に伴い、エネルギー消費を見直す必要がある。また、CDM<sup>2)</sup>の国家承認体制を京都議定書批准から2年の間に整える<sup>2), 3)</sup>など、温暖化対策への関心は高い。

マレーシアにはテラスハウスと呼ばれる隣家と共通の壁で連続したテラス付低層長屋建住宅<sup>4), 5)</sup>が多い。久保田らはマレーシア・ジョホールバルのテラスハウスを対象に、冷房の使用状況と窓の開閉に関するアンケート調査を行った<sup>6)</sup>。その結果、開口部を日中には開放し、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明らかになった。元々、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<sup>6)</sup>。前方の道路に正面を向けており、特定の方角に向かって建てられる訳ではない。また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、低中所得者の代表的住宅となっている。熱容量が大きいコンクリートや煉瓦造であるため、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、本研究では住宅のエネルギー消費削減に向けてテラスハウスの今後の方向性を考えるため、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。また、一般的な住宅形式である事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。

##### 1.2 マレーシアの気候

熱帯雨林気候に属し、明瞭な乾季は無く<sup>7)</sup>、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し、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<sup>8)</sup>。

#### 2. 調査対象住宅

調査対象住宅はマレーシア・ジョホールバルに位置する平屋テラスハウス(以下、「平屋」と略す。)と2階建てテラスハウス(以下、「2階建」と略す。)の2軒で(写真1)、人間や生活用品、民族性<sup>9)</sup>の影響を除くために空き家とした。方位は平屋が東向き、2階建てが北向きであり、ジョホールバルの中でも数が多い平屋に主に焦点を当てる。



写真1 平屋テラスハウスと2階建てテラスハウス

#### 3. 測定方法

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、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階建てでは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。

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、平屋に限り居間の中心部、玄関側(以下、「前」と呼ぶ。)2カ

表1 測定期間と窓の開閉の組み合わせ

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	熱電対	ハンディ温度ロガー (THERMOCAC 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		
放射	グローブ温度計	ハンディ温度ロガー	マイクロロガー
風速	熱式風速計	ハンディ温度ロガー	×
日射	アルベドメーター	マイクロロガー	×

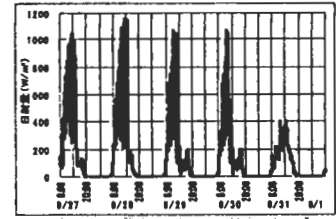


図2 測定期間中の全天日射量

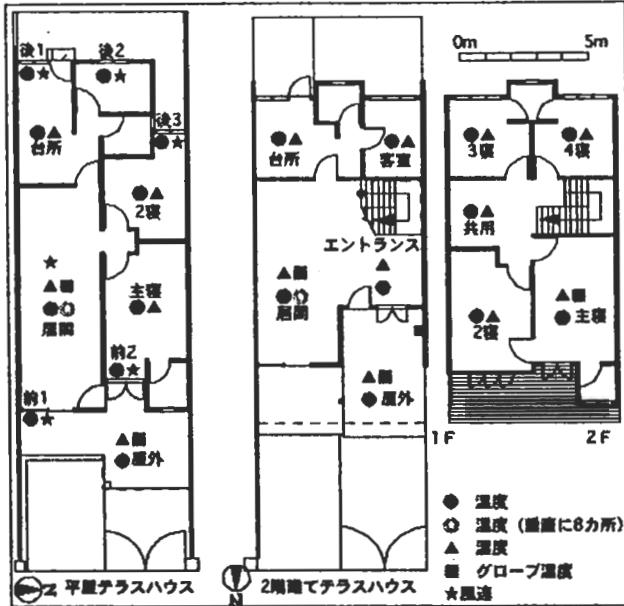


図1 調査対象住宅の平面図と測定点

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2、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。

#### 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を示す。図3に測定期間中の屋外の気温と湿度を示す。気温と湿度は、平屋と2階建での測定値の平均値であり、縦縞は降雨を確認した時間帯を表す。

8月27、28日は日中の気温が32℃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、30日は正午過ぎから雨や曇りとなり、気温が32℃まで上昇せず、前2日間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前2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℃までも上昇せず、前4日に比べて全天日射量が少なかった。

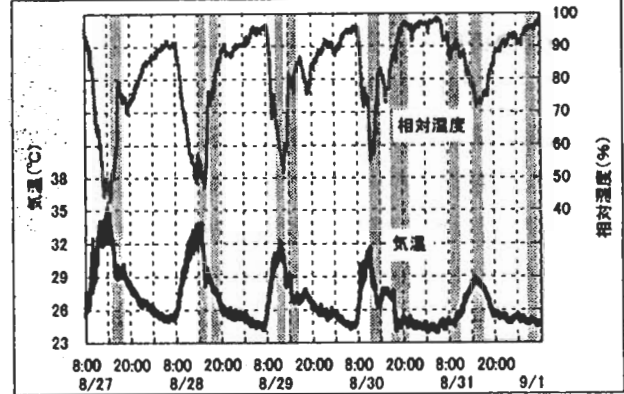


図3 測定期間中の屋外気温と湿度

##### 4.2 平屋テラスハウスの温熱環境

図4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、居間気温は屋外気温に追従し、スクロール時には屋外、居間共に気温が低下している。これは開放したことで屋外環境の影響を受けた結果だと考えられる。Bパターンでは、Aパターンほど午前は居間気温が上昇せず、午後は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屋外環境とスクロールの影響を遮断し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パターンでの居間気温は一日の変動幅が1℃程度であり、午前は屋外気温よりも高い状態が続いた。そのため、温放射(部屋を暖める効果を持つ、床面や天井面からの熱放射を「温放射」と呼ぶ。)による熱が屋外へ逃げない状態であったと考えられる。

###### (2) 夜間の温熱環境

Aパターンでは、閉鎖してすぐに居間気温、グローブ温度共に1℃程度上昇しており、グローブ温度は居間気温であった。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℃程度であった。これは閉鎖したことで温放射による熱が屋外へ逃げなかった結果

だと考えられる。B パターンでは、開放してすぐに居間気温、グローブ温度共に1~2℃程度低下し、グローブ温度>居間気温であった。これは開放したことで温放射による熱が屋外へ逃げた結果だと考えられる。また、20時での居間気温は開閉パターンや天候によって異なるものの、翌日8時までの居間気温の低下は、開放時も閉鎖時も1.2℃~1.4℃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℃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、屋外環境の影響を取り込む、または遮断する効果があることが推測される。床面や天井面からの放射の影響も調節し、その調節幅は1~2℃程度と考えられる。また、夜間における室内気温の低下と風速の大小との関係性は薄いと考えられるが、夜間の開放は温放射による熱を屋外へ逃がす可能性が大きいと考えられる。

### 4.3 居間の垂直温度分布

図5に平屋と2階建のAパターンについて、それぞれ居間で測定した垂直方向の温度変動幅を示す。

平屋と2階建共に床面温度は、床上高さ350~2450mmの気温よりも最高温度が低い上に最低温度が高く、変動幅も小さい。従って、居間気温が低い時には、窓の開放で温放射の効果を低減できると推測される。逆に、居間気温が高いときには、窓の閉鎖で床面からの冷放射(部屋を冷却する効果を持つ、床面や天井面からの熱放射を「冷放射」と呼ぶ。)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変動幅が大きく、最高温度は屋外気温より高い。これは平屋の屋根裏に断熱材が無い事から、屋根裏の熱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変動幅は床面と同程度である。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。従って、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。

図6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パターンでは最高気温が16時、最低気温は4時であった。これにより、午前中の開放は、屋外環境の影響を受けて、室内気温が早い時間から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。従って、夜間の開放は人間の生活範囲付近の室内気温を下げる効果が推測される。

### 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。

平屋では居間≧主寝>台所≧2寝の関係性が見られ、2階建の1階部分では居間≧エントランス>台所>客

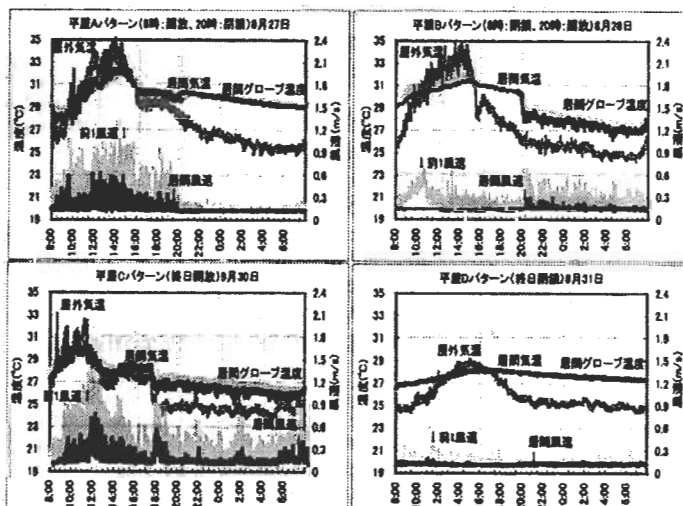


図4 平屋の気温・風速・グローブ温度

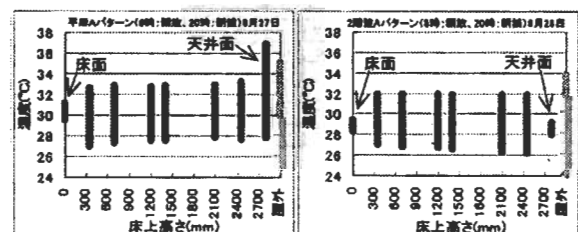


図5 居間の垂直方向の温度変動幅

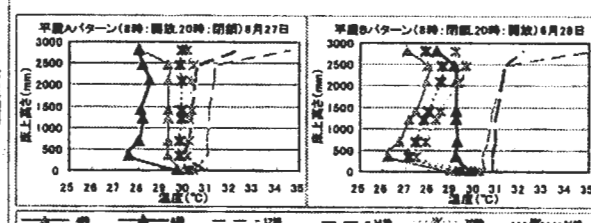


図6 居間の垂直温度分布の変化

室の関係性が見られた。どちらも共通して、玄関側の部屋の室内気温が勝手口側の部屋の室内気温より高く、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、それが気温の高さに関係している可能性もある。

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室内気温に明確な差が見られなかったと考えられる。なお、1階部分において気温差を生じさせる原因は、2階部分があるため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<sup>注3)</sup>。

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(℃)	玄関	台所	2夜	主夜	(各部屋気温-屋外気温) (居間気温-屋外気温) × 100
△/ターン 8月27日	1.8	100	78	78	100	
△/ターン 8月28日	1.5	100	87	87	100	
△/ターン 8月29日	1.4	100	84	84	107	
△/ターン 8月30日	1.1	100	55	55	109	
△/ターン 8月31日	1.6	100	75	75	100	
平均	1.5	100	89	89	103	

\*「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(℃)	玄関	台所	書室	エン	2夜	共用	3夜	4夜	主夜
△/ターン 8月28日	1.1	100	45	18	73	91	118	100	91	118
△/ターン 8月29日	1.1	100	73	84	100	118	127	109	108	136
△/ターン 8月30日	1.3	100	77	89	106	100	108	82	85	123
△/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	86	100	113	96	91	120

## 5. まとめ

本研究ではマレーシア・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分かった。

- \* 1 熊本県立大学 環境共生学部
- \* 2 熊本県立大学 環境共生学部 助教授・博士(工学)
- \* 3 マレーシア工科大学 構築環境学部 講師・博士(工学)
- \* 4 熊本県立大学 環境共生学部 講師・博士(工学)

① 窓の開閉には通風を得る効果のほかに、屋外環境の影響を取り込む、または遮断する効果があると推測される。また、夜間における室内気温の低下と風速の大小との関連性は薄いと考えられるが、夜間の開放は、床面や天井面から室内への「温放射」の効果を低減させるために有効であると推測される。

② テラスハウスの床面は、室内気温が低い時には「温放射」を行い、高い時には「冷放射」を行うと推測される。また、2階建の2階部分は1階部分から見ると断熱層としての役割があると推測される。

③ 室内気温には部屋によって差が見られる。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、隣家の生活による発熱の影響が考えられる。

今後は本研究の結果から、望ましい時間での窓の開閉を実施し、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。また、部屋によって室内気温に差がある原因を明確にする必要がある。

## 【謝辞】

本研究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 Supian bin AHMAD 先生、同・スタッフ Halimah binti YAHYA 氏、熊本県立大学環境共生学部・助手 安浪夕佳先生にご協力頂いた。記して深謝する。

## 【注・参考文献・URL】

- 注1) 「CDM (Clean Development Mechanism, クリーン開発メカニズム)」とは、先進国と途上国とが協力して温室効果ガス削減のプロジェクトを行い、途上国での削減分を排出権として先進国が獲得でき、売買が出来る制度である。
- 注2) 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、就業、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<sup>9)</sup>。
- 注3) 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<sup>10)</sup>。
- 1) 京都メカニズム情報プラットフォーム、国別ポートフォリオ、マレーシア <<http://www.kyomecha.org/pf/malaysia.htm>> (2006年12月現在)
- 2) マレーシアの京都議定書とCDMをめぐる動き(1/2)、NEDO海外レポート、No. 937、2004. 8
- 3) マレーシアの京都議定書とCDMをめぐる状況(2/2)、NEDO海外レポート、No. 938、2004. 8
- 4) 日本建築学会編：建築用語辞典第2版、岩波書店、1999. 9
- 5) 建築用語辞典編集委員会編：建築用語辞典第2版、技報堂出版、1999. 2
- 6) 久保田徹、Supian AHMAD：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
- 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) 宇高雄志、東樋口環：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
- 10) 宇野朋子、鉾井修一、Sri NASIH、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

Prefectural University of Kumamoto  
 Assoc. Prof., Prefectural University of Kumamoto, Dr. Eng.  
 Lecturer, Universiti Teknologi Malaysia, Dr. Eng  
 Senior Lecturer, Prefectural University of Kumamoto, Dr. Eng.