

カンボジアの近代建築家ヴァン・モリヴァンの蒸暑気候に配慮した設計手法と建築要素に関する研究

Research on the architectural methods and elements against hot and humid climates of Vann Molyvann, Cambodian modern architect

九州大学 助教 岩元 真明

（研究計画ないし研究手法の概略）

本研究では、カンボジアの近代建築家ヴァン・モリヴァンの蒸暑気候に配慮した設計手法と建築要素に着目し作品分析を行った。①現地観察調査では、プノンペンに現存する作品群に焦点をあて、写真によって建築要素の細部を記録した。②文献調査では、設計図書（原図）と現地観察した細部をつきあわせることによって作品分析を行った。③同時代の建築との比較は、モリヴァンの建築作品の特徴を相対化するために、1960年代以降スリランカで活躍した建築家ジェフリー・バワの作品との比較を行った。④作品のモデル化とシミュレーションは、プノンペンに現存する作品「百の住宅」（1965年竣工）を対象として、風環境・温熱環境のシミュレーションによる分析を行った。

（実験調査によって得られた新しい知見）

1. 蒸暑気候に配慮した「屋根」

1.1 二重屋根（ダブルルーフ）

「屋根」という建築要素に着目すると、初期作品（1950年代後半～1960年代前半）においてはアンコール建築の「尖塔」や伝統木造建築の「切妻屋根」といった伝統要素のフォルマリスティックな引用が多く、後期作品（1964年以降）において蒸暑気候に配慮した二重屋根（ダブルルーフ）が多く見られることが確認された。特に、山形が連続する折板屋根（VVV屋根）を用いた二重屋根が多く見られ、1964年以降の作品の約4割に見いだされた（発表論文①）。伝統と近代の調停を図るといふモリヴァンの課題は、1964年に竣工した代表作「オリンピック・スタジアム」において一区切りつき、その後の彼の関心は気候風土への対応に移行したと考えられる。山形が連続する折板屋根（VVV屋根）の造形は、初期には伝統木造建築の切妻屋根を模倣する記号的側面が強いが、1964年以降の作品においては記号性よりも機能が重視される傾向がみられる。

1.2 換気塔

モリヴァンの作品群の「屋根」にみられる、もう一つの蒸暑気候に配慮した特徴は、温度差換気を利用した「換気塔」の存在である。原図の検証作業を通じて、換気塔は、最初期に設計されたチャトモック会議場（1957年設計、1961年竣工）において既に計画されていたことがわかった。ゆえに、カンボジアにおいて設計活動を開始する以前のパリ留学時（1946～56年）において、モリヴァンは蒸暑気候に配慮した設計手法を習得していたと推測される。新たに発見されたエコール・デ・ボザールにおける卒業設計「カンボジアの道場」はこの仮説を傍証するものであり、チャトモック会議場同様温度差換気を利用する換気塔が設けられていた。このような温度差換気の利用は、後期の作品にもあらわれており、1965年に竣工した住宅群「百の住宅」はその一例である。

1.3 同時代の近代建築との比較

同時代の近代建築と比較すると、スリランカのジェフリー・バワの作品群やインドネシアのフリードリッヒ・シラバンの作品群には、このように二重屋根を表現要素とした類例はみられない。但

し、ル・コルビュジエのチャンドイガールの作品群にはコンクリート造による二重屋根の表現が顕著にみられ、その設計協力者であったフライ&ドリユーの著作では二重屋根・換気塔の効果が理論化されている。これらの先例はモリヴァンがパリに留学していた期間に発表されているため、二重屋根・換気塔の表現はル・コルビュジエ経由で習得された可能性が高いと考えられる。

2. 蒸暑気候に配慮した「外壁」

2.1 開口部

「外壁」という建築要素に着目し、現地調査を行った21事例を分析した結果、モリヴァンの活動期間全体（1956～1971年）に渡って蒸暑気候に配慮した開口部の設計が行われていたことが把握された（発表論文②）。具体的には、図1に示す9つの開口部の類型が見いだされ、それぞれが防雨性・通気性・遮光性・透明性の必要性に応じて、適材適所に採用されている。

類型	A) 開放	B) 庇 + ガラス面	C) 大型引戸	D) ガラリ窓	E) ジャロジ ー窓	F) 採風壁	G) 採風壁 + ガラス面	H) 採風壁 / ガラス面	I) 採風壁 + 開放 / ガラス面
ダイア グラム									
1) 防雨性	低	可変	可変	可変	高	高	高	高	高
2) 通気性	高	可変	可変	有	可変	高	高	可変	可変
3) 遮光性	低	低	可変	可変	低	高	高	高	高
4) 透明性	高	高	可変	可変	高	低	高	低	高
5) 密閉性	無	有	有	無	有	無	無	有	有
代表例									
	No. 9	No. 11	No. 8	No. 20	No. 17	No. 8	No. 20	No. 10	No. 15

図1 開口部の類型

2.2 二重壁

後期の作品であるモリヴァン自邸（1966年竣工）と高等師範学校（1971年竣工）では、外壁を二重とし、隙間を通気層とする二重壁が見られた。このような二重壁を採用する場合、モリヴァンは地場産のレンガを使用して最外部の外壁を構成し、他の外壁部と仕上げを変えている。ここでは、二重壁という、一般的には視覚化されない工夫にも表現を与えようとする意図が見いだされる。

2.3 同時代の近代建築との比較

モリヴァンが多用する採風壁（日射遮蔽と通風を両立する開口部）は、バワの初期作品ビショップズ・カレッジ（1963年竣工）等同時代のアジアに類例が多く見られる。このような採風壁もまた、ル・コルビュジエによって「ブリーズ・ソレイユ」と命名され、ドリユー&フライによって詳細に検討されていた。つまり、西欧のモダン・ムーヴメントにおいて先取りされていた建築言語が、アジアにおいて同時期に展開したものと考えられる。ただし、二重壁に表現を与える類例はなく、モリヴァンのテクトニックな趣味を強く示しており、独創的と言えるだろう。

3. 蒸暑気候に配慮した「ピロティ」

3.1 ピロティ

モリヴァンの作品にはピロティを採用した事例が多く見られる。ただし、車両交通の円滑化を目

的とするのではなく、日陰となる半屋外空間をつくり出すためにピロティが用いられている。特に住居において生活空間の延長としてピロティがデザインされているのが特徴と言えよう。

3.2 同時代の近代建築との比較

ピロティはル・コルビュジエが提唱した近代建築五原則のひとつであり、モリヴァンは、この言説の影響下にある。ただし、彼はカンボジアの伝統木造住居の「高床式」とル・コルビュジエの提唱するピロティとの間に類似点をみいだしている。生活空間の延長としてピロティがデザインされたのは、伝統木造住居とル・コルビュジエを二重に参照した結果と考えられる。ピロティは東アジア・東南アジアの同時代の建築の多くに見いだされる特徴であり、そこでも車両交通の円滑化というよりも生活空間の延長として設けられている場合が多い。バワの作品においても、ホテルや住居のプログラムのみならず、国会議事堂にもピロティが採用されており、蒸暑気候に配慮した建築要素としてピロティの有効性が認識されていた同時代性が看取される。

4. 「百の住宅」のシミュレーション

蒸暑気候に配慮した「屋根」「外壁」「ピロティ」を備えた例であるモリヴァン設計の「百の住宅」を対象とし、CFD解析（数値流体解析）を用いて、住戸の配置計画の違いによる屋外風環境に関する考察と、開口部の開口率の違いによる室内温熱環境に関する考察を行った。解析は高瀬幸造（東京理科大学助教）の協力を受けて行った。

4.1 分析対象

百の住宅の特徴としては1) ピロティ、2) スノコ状の二階床、3) ガラリが設けられた開口部、軒天に設けられた屋根通気口、4) 屋根塔頂部に設けられたスノコ状の高窓がある。屋外風環境解析では、1)ピロティの効果を検証し、室内温熱環境分析では2)～4)の効果を検証した。

4.2 気象分析（温湿度、風向・風速）

解析にあたって「百の住宅」に近いPochengtong International Airportの記録データを利用した。また、記録されていた時刻における全風向・風速データをもとに風配図を作成した。以降のCFD解析では計算負荷の都合上、年間の時々刻々の評価は困難なため、外気温および風向・風速の設定として、年平均値（外気温29.3℃、南風2.7m/s）を仮定した定常解析による検討を行った。

4.3 屋外風環境解析

屋外風環境解析にあたっては、ピロティの屋外風環境への影響を把握するために、Case A（ピロティ空間上の2階部分に居室を持つモデル＝設計された案）、Case B（総2階建てモデル）、Case C（平屋モデル）の3通りの計画を比較した（図2）。解析条件は、表1に示す通りとした。

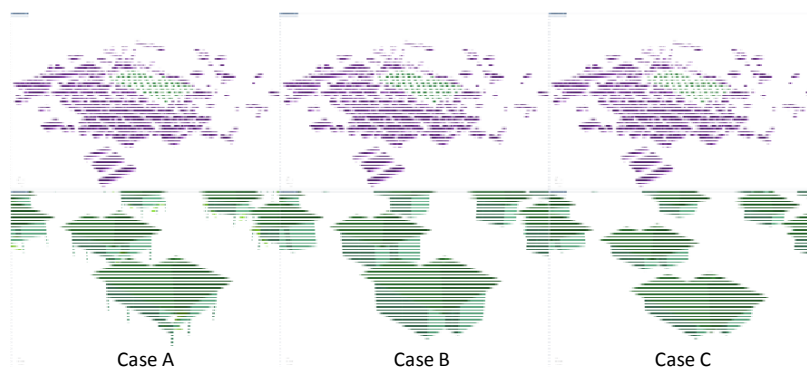


図2 解析に用いた3Dモデル（図中左下が南）

表1 屋外風解析における設定条件

使用ソフト	FlowDesigner 2017
乱流モデル	標準 $k-\epsilon$ モデル
解析内容	定常解析（等温解析）、収束判定基準 10^{-4}
メッシュ数	約800～1000万（敷地内では縦・横方向に1m分割、高さ方向には0.5m以下で分割。周辺は敷地から遠ざかるにしたがって、粗く分割したメッシュを採用）
外気条件	風向・風速：南風とし、基準高さ10mにおける風速2.7m/s（べき指数=0.2）

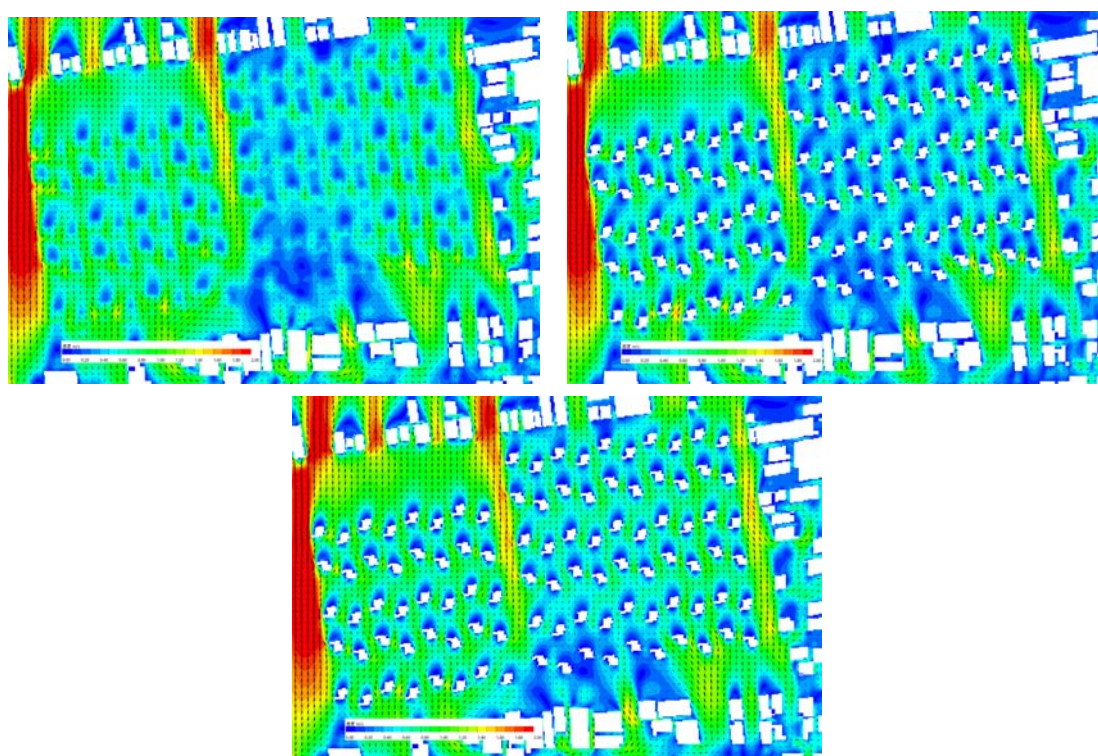


図3 屋外風速解析結果 （上左）Case A 高さ1.1m・卓越風向：南
（上右）Case B 高さ1.1m・卓越風向：南 （下）Case C 高さ1.1m・卓越風向：南

結果を図3に示す。総2階のCase2に比べ、ピロティをもつCase Aでは住戸周辺の地面レベルで風速が大きい範囲が広がっており、ピロティが風速増加に寄与していることが確認された。Case AとCase Cの比較においては、Case Cの場合に地面レベルでの住戸間の風速が若干大きい傾向がある。

4.4 屋内温熱環境評価

屋内温熱環境評価用モデルを用いたCFD解析により平均の室温、SET*（標準有効温度）、PMV（予測平均温冷感申告）、PPD（予測不満足率）を解析した。CFD解析では、温度・放射・気流による熱移動のみを対象とし、湿度は70%と仮定した。また、人体側の要素として着衣量clo値と代謝量met値を設定する必要があるが、今回の解析ではclo=0.5、met=1を仮定した。検討は居室（リビング部分）を対象とし、居室窓・軒天・屋根頂部開口・床の開口率を変化させた際の室内温熱環境を解析した。解析ケースは表2、設定条件は表3に示す通りとした。

表2 室内温熱環境解析における検討ケース

開口条件	屋根頂部 開口率	居室 開口率	軒天 開口率	床 開口率	天井有無
Case 1	30%	30%	100%	0%	あり
Case 2			0%		
Case 3	0%	0%			
Case 4	100%				
Case 5	30%	30%	100%	10%	なし
Case 6	0%		0%		
Case 7	30%		100%	0%	
Case 8	0%		0%		
Case 9	30%	100%	100%	10%	あり

表3 室内温熱環境解析における設定条件

使用ソフト	FlowDesigner 2017
乱流モデル	標準 $k-\epsilon$ モデル
解析内容	定常解析 (対流・放射連成)、収束判定基準 10^{-3}
メッシュ数	約260万
外気条件	外気温：30℃ 風向・風速：南風とし、基準高さ10mにおける風速1m/s (ベキ指数=0.2) 水平面全天日射量：1000W/m ² (2017年6月22日12:00において晴天として仮定)
部位ごとの熱物性	屋根：木材15mm 壁：木材25.5mm 床：木材24mm 天井：木材9mm 間仕切壁：木材24mm *木材は、熱伝導率0.12W/m ² K、長波吸収率：0.9、日射吸収率：0.4とした
開口部 (窓・軒天・頂部換気窓・床)	各解析ケースにおいて、開口率を設定

条件	温度 [°C]	速度 [m/s]	SET* [°C]	PMV	PPD [%]	
Case1	29.7	0.11	31.1	1.69	61.1	軒天の開口の影響・小
Case2	29.8	0.10	31.5	1.79	66.5	
Case3	32.0	0.01	34.3	26.1	95.3	居室の開口がないと圧倒的に不快
Case4	29.6	0.34	28.8	1.35	43.2	室内風速が大きく最も涼感を得られる
Case5	29.5	0.08	31.1	1.69	60.9	床の隙間を作ってもCase1とほぼ変わらず
Case6	29.8	0.10	31.3	1.75	64.4	Case2とほぼ変わらず
Case7	29.7	0.12	31.6	1.88	71.0	屋根からの熱の影響でより不快側になる (温度はそこまで上がらないが放射の影響でSET*上昇)
Case8	30.4	0.10	32.5	2.16	82.9	Case7よりさらに厳しい環境になる
Case9	29.4	0.20	29.8	1.44	47.7	屋根開口があるもののCase4よりリビング風速が小さく快適性では若干劣る

図4 各ケースの解析結果

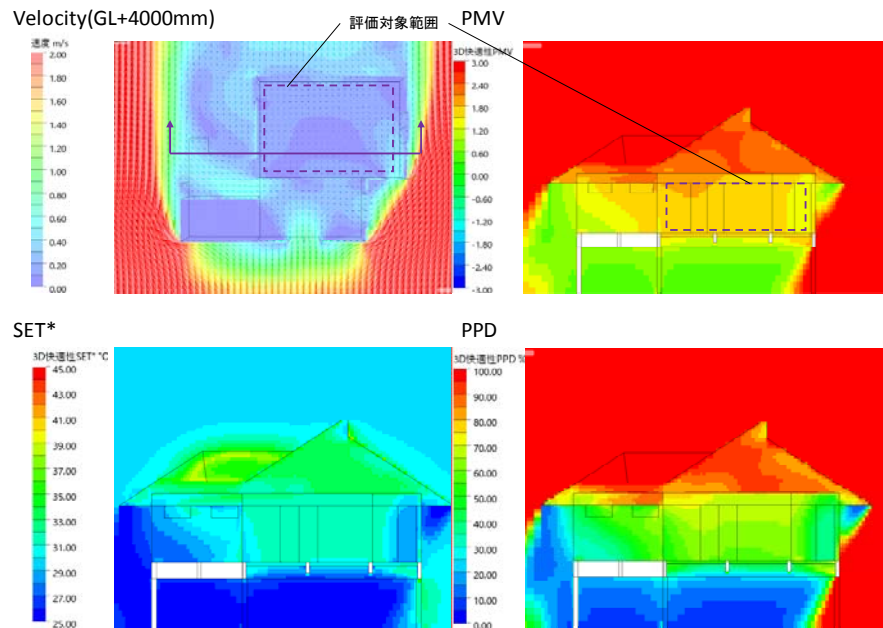


図5 屋外風速解析結果 (Case A 高さ1.1m・卓越風向：南)

図4に全ケースの結果まとめを示す。図5に計算結果コンター図の一例を示す (Case1)。屋外においては、軒下やピロティ部分に日陰を作り、そこに風が通ることによって快適な環境が形成されていることがわかる。Case4と9の比較においては、屋根頂部や軒天の開口部を設けたCase9のほうが南側の個室部分の風速は大きくなるものの、リビング空間においてはCase4のほうが風速が大きくなったために、リビングの快適性はCase4が最も高い結果となった。ゆえに、温度差換気を想定して設計された屋根塔頂部の換気窓の効果を実シミュレーションによって確認することはできなかった。一方、天井がないCase7とCase8では、日射を受けた屋根を通じて室内への放射・対流熱伝達による影響が見られた。ここから、小屋裏換気層の有効性は検証されたと言えよう。さらに、開口部の格子戸の仕様を居室開口率に反映させたCase1, 2, 5, 6では、少なからず室内への通風効果が確認された。Case1とCase5の比較は、スノコ状の床による通風効果が低いことを示している。

以上のように、CFD解析を用いることによって、部分的にはあるが蒸暑気候に配慮した建築要素の設計意図が逆及的に確認され、視覚的に表現された。

(発表論文)

- ① 岩元真明、ヴァン・モリヴァンの建築作品における屋根の造形に関する研究 伝統と近代の間での葛藤とその統合、日本建築学会計画系論文集734号、p. 1079、2017年4月
- ② (今後発表の予定) 岩元真明、ヴァン・モリヴァンの建築作品の多様な開口部 通気性と透明性に着目して、平成29年度日本建築学会大会学術講演会 (予定)