

災害から学ぶ —2015年3月バヌアツ共和国を襲ったサイクロンパム—

Learning from Disasters - Cyclone Pam impacts on the Republic of Vanuatu, March 2015 -

西嶋一欽

Kazuyoshi NISHIJIMA

Synopsis

This report summarizes the findings on the local knowledge in the Republic of Vanuatu, especially in Tanna island, for cyclone disaster mitigation based on the two surveys after Cyclone Pam and the following study. The main findings are: (1) many of constructions built with materials locally available were reconstructed within a month after the cyclone event, whereas the reconstruction of constructions partially or totally built with industrial materials tends to be slower especially in remote areas including Tanna island; (2) people evacuated in the face of the approaching cyclone in accordance with early warning and evacuation messages transmitted through radio or SMS – without relying on advanced technology such as smart phones or internet; (3) there exist vernacular constructions, called Nimulaten, that are used as cyclone shelters in events of cyclone; and (4) the design of Nimulaten seems to have been improved based on past cyclone experiences, and Nimulatens with standard design may be capable to resist strong wind up to 20 m/s in terms of sustained wind speed at the height of their roofs. These findings lead to a conclusion that local disaster mitigation measures should not be underestimated and these should be more utilized and advanced to facilitate the realization of disaster risk reductions in economically developing countries.

キーワード: 在来防災技術, サイクロンシェルタ, ニマラタン, 耐風性能

Keywords: local disaster risk reduction measures, cyclone shelter, Nimulaten, wind-resistant performance.

1. はじめに

2015年3月8日南太平洋上で発生した熱帯低気圧は、3月9日にサイクロンパム（Pam）となり、勢力を強めながら南下した。現地時間12日午前11時にカテゴリー4、13日午前11時にはカテゴリー5まで発達し、首都ポートヴィラがあるエファテ島を直撃し、13日から14日にかけてバヌアツ共和国をほぼ北から南に縦断する形で進行した（Figure 1右）。JTWC Best Trackによると、最低中心気圧は91hPa、最大瞬間風速は約78m/s、また後述する現地調査の際の聞き取り調査

によって得られたタンナ島空港において地上観測されたタンナ島最接近時の中心気圧は919hPa、最大瞬間風速は62m/s以上であった。比較のため、過去のいくつかの強い熱帯低気圧の情報をTable 1に示す。

バヌアツはオーストラリアの東、南西太平洋中低緯度に位置し大小80以上の島々から構成される島しょ国である（Figure 1左）。また、2014年時点での人口は約26万人、一人当たりのGDPは約3,100USDである（World Bank）。サイクロン襲来地域に位置することから、過去にも繰り返しサイクロン被害を受けてきた。中でも、1987年にバヌアツを襲ったサイクロン

ウマ (Uma) による死者は48名、重傷者は28,000名にのぼった (National Disaster Co-ordinating Committee, Government of Vanuatu (1987))。

京都大学防災研究所は、2015年4月21日から30日にかけてバヌアツ気象地盤災害局 (Vanuatu Meteorology and Geo-Hazards Department, VMGD) と合同で被害調査を行なった。調査地域は、Figure 2に示したエファテ島とタンナ島の集落および沿岸部である。主な調査項目は (あ) サイクロン襲来時の気象状況, (い) サイクロン襲来時の被害および避難, 襲来後の復旧状況, (う) 強風による建物被害, (え) 高波による建物と自然環境への被害, (お) 浸水範囲と高さおよび海岸浸食, である。なお、本被害調査結果については京都大学防災研究所の被害調査報告書 (Nishijimaら, 2015) を参考にされたい。

また、著者は、2015年8月16日から21日にかけて、南太平洋大学の研究者と合同で、サイクロン襲来時にはシェルターとして利用されているニマラタン (Nimulaten, 現地語でタンナの家という意) と呼ばれるタンナ島における伝統的建物に関する調査を行なった。調査地点はFigure 2に示したとおりである。本稿は、これらの調査およびその後の研究によって得られた知見を、主に強風による建物被害の観点から取りまとめ報告するものである。

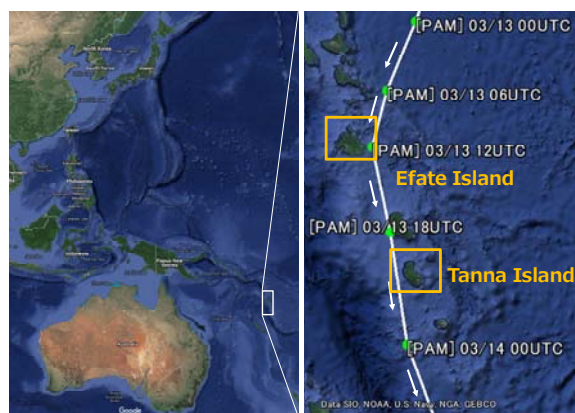


Figure 1. Location of the Republic of Vanuatu and track of Cyclone Pam.

Table 1. Comparison to historical tropical cyclones.

名称	年	主な被害地域	最低気圧(hPa)	最大瞬間風速(m/s)
宮古島台風	1959	日本	918	70
カトリーナ	2005	アメリカ	902	78
ハイヤン	2013	フィリピン	895	88
パム	2015	バヌアツ	911	78

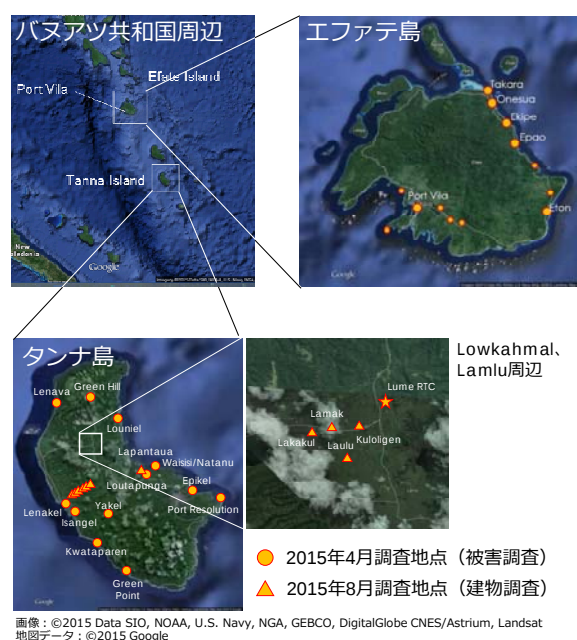


Figure 2. Locations of the first and second surveys.

2. サイクロンパムによる被害

2.1. 被害概要

サイクロンパムによる主な被害は暴風雨あるいは高波によるものに分類できる。本節では、強風による建物への被害に限定してその概要を述べるが、その前にその他の被害についても簡単に言及しておく。

まず、エファテ島周辺部およびタンナ島では、暴風雨による道路や水道の消失などのインフラストラクチャに対する被害が甚大であったことが確認された。また、島民への聞き取り調査により、農作物への被害も甚大であったことが知れた。イモ類などの畑作物被害の影響は、次回の収穫期までの比較的短期的なものであるが、果樹類の倒木などの被害は、果物が収穫できるようになるまで樹木を育てる必要があるため、その影響は長期的なものになるとのことであった。そのほか、高波によって住宅が流出・倒壊、漁のためボートが陸上に打ち上げられる、また海岸が浸食されるなど沿岸部で特徴的な被害も見られた。

2.2. 強風による建物被害

バヌアツの建物は、概ね以下のように分類できる。

- 規基準等や建設マニュアル等に基づいて設計・施工された建物,
- 建築材料として一部あるいは全部に、コンクリート, 鉄筋, トタン板, 釘などの工業製品を用いてはいるものの適切な設計・施工が行われてない建物,
- 建築材料として周辺で採取できる草木を用い

て建てられた建物。

首都ポートヴィラ中心部では (i) の建物が多くみられた。ポートヴィラ以外のエファテ島周辺部やタンナ島では (iii) の建物が多くみられた。また、発展途上国で多く見られる (ii) の建物はタンナ島においては少なかった。

(i) の建物被害では、一部の建物において屋根構造材に被害が見られたものの、大多数の建物においてはその被害は非構造部材に限られていた。Figure 3 はポートヴィラ中心部に位置し、商業施設として用いられていた中層RC建物の被害事例である。強い風圧によるものと思われる窓ガラスおよびサッシの損傷、建物内に強風が流入したことに起因すると思われる天井板の崩落、家具および内装の被害が見られた。

(ii) の建物被害では、屋根ふき材に用いられているトタン板が飛散するあるいは屋根構造材が被害を受ける事例と、コンクリートブロック造が倒壊する事例が多くみられた。Figure 4 の建物は、タンナ島中部に位置する学校校舎で屋根ふき材が飛散した事例である。被害校舎の後方に位置している同じ設計施工であると考えられる校舎の屋根はほぼ無被害であったことから、被害校舎の被害原因は設計施工によるものではなく、飛散物の衝突やそれによる開口部の存在などの個別の要因である可能性が高い。Figure 5 の建物は、タンナ島北部のグリーンヒル村の教会である。外国人によって建設されたということであった。比較的大きなスパンに比べ十分な構造材が配置されておらず、剛性が不足していたものと考えられる。また、配筋が十分でないコンクリートブロック造の壁も倒壊しており、部材レベルにおいても十分な強度を有していなかったものと考えられる。

タンナ島およびエファテ島周辺部では (iii) の建物が大多数を占めている。衛星写真を用いた解析ではタンナ島西部の建物の80%が完全に倒壊したと推測されている (Government of Vanuatu, 2015, p.37) 。また、タンナ島全体あるいはエファテ島周辺部でも甚大な建物被害が出たものと推察される。しかしながら、発災から約1か月後に実施した現地被害調査の際には、多くの建物がすでに再建されているあるいは再建中であった。

建築材料として工業製品を用いながらも全壊した建物は、解体に要する重機の入手・搬入および廃棄のための運搬・処分が困難であることが想像される。これらの被害建物は放置されたままである一方、草木などを用いた伝統的な建物が迅速に再建されている現状が明らかになった。ただし、伝統的な建物の材料として用いられている一部の草木が不足しているという事例もあった。



Figure 3. Damages to an office building in the capital, Port Vila.



Figure 4. Damages to a school building located in the middle of Tanna island.



Figure 5. Collapsed church building in Green Hill.

2.3. 人的被害

サイクロンパムによる死者は、報告によって異なるものの、11～16名の間である。一方、2013年11月にフィリピン中部を襲った台風ハイヤンによる死者は6,293名であった (NDRRMC, 2014) 。人口10万人当たりで比較すると、サイクロンパムによる死者は約4～6人、台風ハイヤンでは約6人である。台風ハイ

ヤンではフィリピン全土が影響を受けたわけではないこと、また高潮による死者が甚大であったことなどから、単純に比較することはできないが、影響を受けた人口当たりの死者数という視点からはサイクロンパムによる人的被害が特に少なかったというわけではない。しかしながら、タンナ島を中心に大多数の建物が全壊したという事実を考えると、サイクロンパムでは建物の被害数に比べて死者数が少なかったということはできる。

この理由の一つとして、現地調査により明らかになった、現地に根差した一連の減災行動規範が人的被害を効果的に低減したことが挙げられる。これについて次節で述べる。

3. 現地に根差した減災行動規範

3.1. 一連の減災行動規範

タンナ島での現地調査の結果、同島ではサイクロンに対する一連の減災行動規範が浸透していることが明らかになった。具体的には、(i) サイクロン襲来前にあっては、ラジオやSMS（携帯電話のショートメッセージサービスのことで、限られた文字数の文を送ることができる）を通じて配信されるサイクロン情報を紙媒体のマップに記入し、サイクロンの経路を把握、リアリティをもってサイクロン襲来に備える、(ii) サイクロン襲来時にはラジオやSMSで配信される避難情報に基づき、高い耐風性能を有すると考えられる建物へ避難する、(iii) サイクロン襲来後は、損傷した建物を現地で入手可能な建築材料を用いながら住民で協力しつつ迅速に再建する。3.2節から3.4節でそれぞれの概要を述べる。

3.2. サイクロン及び避難に関する情報

Figure 6 (左) に Vanuatu Meteorology Services (VMS)

が提供しているサイクロントラッキングマップを示す。このマップにはバヌアツおよびその周辺を含む領域が描かれている。また、領域はグリッドに分割されており、数字とアルファベットの組み合わせでグリッドを指定できる仕組みになっている。サイクロンがバヌアツに接近した際には、VMSはラジオやSMSを通じて当該サイクロンに関する情報（位置と強さ）を発信する。サイクロンの位置は上記の数字とアルファベットの組み合わせに加えてグリッド内での位置を表す単語（「右上」、「左下」等）によって周知することができる。避難が必要になった際には、避難情報を発令する。このように、テレビやインターネットなどの高度な技術がなくともサイクロンの情報を的確に周知し、リアリティをもって避難できる仕組みが確立されている。また、平常時にあってはVMSの職員がコミュニティに出向き、災害時の避難等に関するワークショップを開催しているということであった。現地での聞き取り調査でも、サイクロンパムの際にもこの仕組みを運用し、高い耐風性能を有すると考えられる建物へ避難したという証言が多く得られた。

3.3. サイクロンシェルター

サイクロンパム襲来時には、コミュニティ内にあ
る高い耐風性能を有すると考えられるRC造やコン
クリートブロック造の建物に避難したという証言の
ほか、ニマラタンと呼ばれる伝統的建物に避難し
サイクロン時の暴風をしのいだという証言が多く得
られた（Figure 6中央）。また、一旦コンクリートブ
ロック造の建物に避難したもの、建物が倒壊する危
険性があったためニマラタンへ避難したという事例
もあった（例えば、Figure 5の教会）。多くの工業製
品を用いた建物（2.2節の分類(ii)）が全壊する中、ニ
マラタンが強風に耐えたという証言が複数得られた。

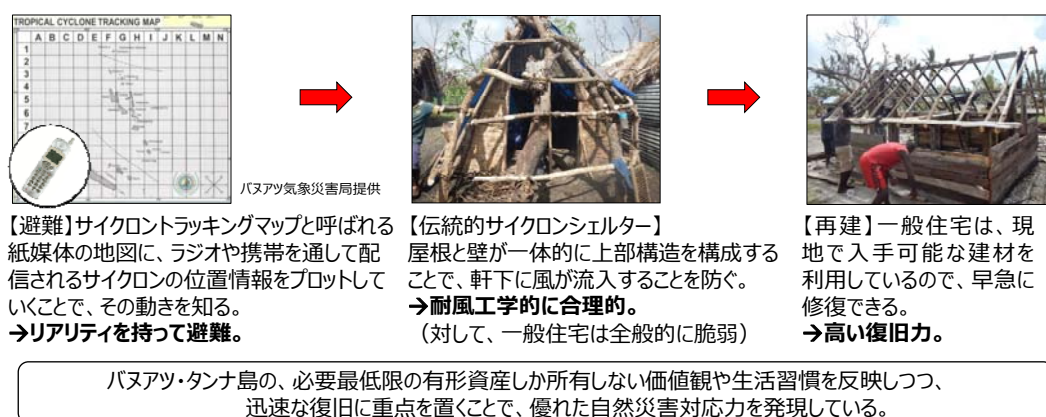


Figure 6. Observed local disaster risk reduction measures for cyclones in Tanna island.

なお、エファテ島およびタンナ島で行った現地調査の限りにおいては、サイクロンシェルターを目的として建設された建物はなく、平常時には別の用途で使われている相対的に耐風性能が高い建物が、サイクロン襲来時にはシェルターとして利用されるようであった。また、シェルターとして利用される建物は基本的に個人所有のものであった。

3. 4. 被害を受けた建物の再建

Figure 6 (右) は再建中の、エファテ島周辺部およびタンナ島で一般的な住宅例である。現地でのヒアリング調査によると、このような一般的な住宅の建設に要する人工（にんく）は概ね20人日であった。また、複数のコミュニティ構成員が協力して比較的短期間に再建するケースが多いとのことであった。

4. ニマラタンの耐風性能

4. 1. ニマラタンの形態的特徴

Figure 7にタンナ島における一般的な住宅（左）とニマラタン（右）の外観を示す。一般的な住宅は切妻屋根を有する平屋であり、ニマラタンは三角柱を横に倒したような形をしており、屋根と壁が一体的に建物構成していることが形態的な特徴である。これにより、軒下に風が吹き込むことで軒先および屋根が吹き上げられることを防ぐことができると考えられる。

ニマラタンの屋根勾配は、現地調査で実測した23棟ではFigure 8に示すように55~60°に多く分布していた。また、間口の広さは3m程度、奥行きは5m程度、高さは2.5m程度であった。実測した23棟の詳細な情報を付録に示した。

4. 2. ニマラタンの骨組および建築材料

実測したほぼすべてのニマラタンで、Figure 9に示す骨組を有していた。すなわち、柱（A）、棟木（B）、垂木（C）を主要構造とし、桁行方向に力を伝達し垂木を拘束する部材（D）、および屋根ふき材を取り付けるためと考えられる部材（E）によって構成される。なお、図中のC、D、Eの部材の本数はニマラタンによって異なる。それぞれの構造要素およびそれらの接合に用いられている草木蔦種も概ね統一されているようであった。付録に構造要素および接合に用いられている草木蔦種の現地での呼び名をカタカナ表記したものを示した。

屋根ふき材にはwild caneを用いることが一般的であるが、wild caneが手に入らない場合には耐久性は劣るがココヤシの葉を用いることもあるとのことであった。



Figure 7. Local house (left top) and Nimulaten (right top) and geometric characteristics of their vertical cross sections (bottom).

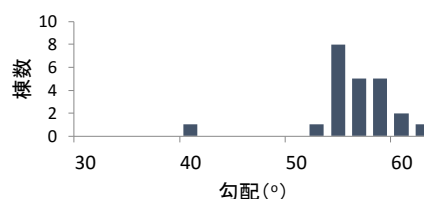


Figure 8. Frequencies of roof pitch angle of surveyed Nimulatens.

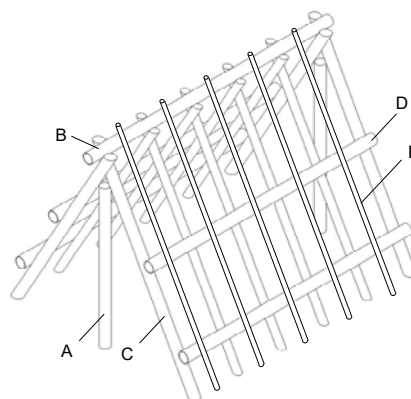


Figure 9. Structural frame elements of Nimulaten.

4. 3. 被害発現風速の推定

ニマラタンがサイクロンバムによる強風に耐えたという証言を受けて、ニマラタンの模型を用いた風洞実験を行いその空力特性を明らかにするとともに、被害発現風速の推定を行なった。その結果、部材そのものが破壊せず、浮き上がりや転倒などでの破壊を考えた場合、建物頂部での10分間平均風速で20 m/sの風速に耐えられるとの結果が得られた（詳細は岸田ら（2016）を参照されたい）。なお、ここで得られた結果は、杭と土との摩擦による抵抗力を考慮していない値であり、これを考慮すると被害発現風速は大きくなる。また、背の高い樹木群の中に配置された状態を想定した場合、標準的な状態に換算した被害発現風速はさらに大きくことが予想される。

本節で述べたことは、現地の自然環境や生活様式、価値観に適合しつつ、災害体験に基づき経験的に改良を加えられてきたと考えられる伝統的建築様式は、耐風工学的にも合理性を有している可能性があることを示唆している。

5. 在来知が有する自然災害対応力

前節ではニマラタンに着目し、在来建築様式が有している耐風合理性の可能性を指摘した。このような在来建築様式の耐風合理性は他にも知られている。例えば、沖縄県・先島諸島ではサンゴの石垣を高く築きかつ住宅の軒先を低くという在来建築様式が知られている。

一方、多くの開発途上地域では、伝統建築がトタン板やコンクリートブロックなどの工業製品を用いた建築に置き換えられている。ただし、それらは必ずしも耐災害性能向上には結びついておらず、むしろ施工不良などが原因で耐災害性能が低下していると思われる事態も発生している (Figure 10)。例えば、2013年11月にフィリピン中部のレイテ島などを襲った台風ハイアンでは、トタン板やコンクリートブロックなどの工業製品を使用した住宅を中心に甚大な被害が発生した。レイテ島東岸の漁村や農村部では、このような住宅は居住者や周辺の住民が自ら建設することも多く、施工品質に問題がある住宅が多くみられた。また、被災後に、再建に必要な道具や建材の入手が困難になり再建が著しく遅れる事例が多くみられた (京都大学防災研究所チームによる現地被害調査)。また、これまでに繰り返し竜巻による被害を受けてきたバングラデシュ人民共和国・ダッカ近郊では、住宅の屋根や壁にトタン板が多用されている。これらが竜巻により飛散し、住民の人命が失われる、あるいは重傷を負うという事例が報告されている。またこれらの地域では、住宅様式の変化が生活様式の変化を誘導し、地域固有の文化が失われるという連鎖が発生している。

一方、Figure 6に示したように、タンナ島に根付いている一連の在来防災技術は「建物は壊れるものである」との考えの下、迅速な復旧に重点を置くことで全体として優れた自然災害対応力を発揮している。

これらの事実を踏まえて、開発途上国の減災への手法の一つとして、従来の外来技術による置換を基本とした手法はなく、在来防災技術を起点とした高度化手法を提案する (Figure 10のグレーの矢印参照)。この手法によれば、開発途上地域において社会状況や風土に合致したサステナブルな防災対策を立案することが可能になると期待される。

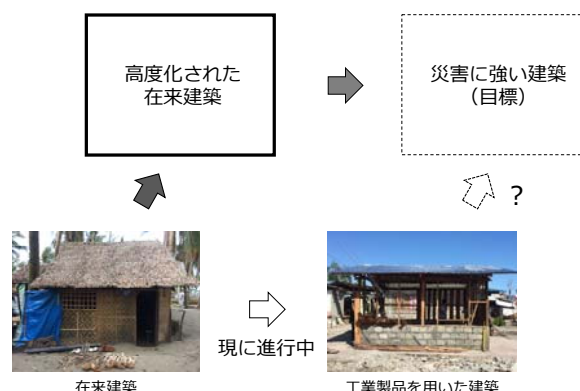


Figure 10. Advancement of local construction technology.

6. まとめ

バヌアツを襲ったサイクロンパムによる被害調査及び現地調査結果を取りまとめた。在来防災技術が有する自然災害対応力を指摘し、開発途上地域の減災に活用することの有用性を指摘した。

謝 辞

本研究の一部はJSPS科研費16H05905 (若手研究 (A): 強風災害にみる、在来知が有する自然災害対応力の工学的再評価) の助成を受けたものである。

参考文献

- 岸田夏葵, 西嶋一欽, 西村宏昭, (2016): 形状に着目したバヌアツ共和国タンナ島における伝統的サイクロンシェルターの空気力学特性, 第24回風工学シンポジウム論文集 (投稿中)。
- Government of Vanuatu (2015): Post-Disaster Needs Assessment: Tropical Cyclone Pam.
- Joint Typhoon Warning Center (JTWC): Southern Hemisphere Best Track Data, https://metoc.ndbc.noaa.gov/web/guest/jtwc/best_tracks/southern-hemisphere (2016年7月3日時点).
- National Disaster Co-ordinating Committee, Government of Vanuatu (1987): Report on Cyclone Uma.
- NDRRMC(2014): SitRep No.108 Effects of Typhoon “YOLANDA” (HAIYAN).
- Nishijima, K., Mori, Y., Yasuda, T., Shimura, T., Gogon, J.T., Gibson, D., Jockley, F. (2015): DPRI-V MGD joint survey for Cyclone Pam damages, http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/news_en/4745/.
- World Bank: <http://data.worldbank.org/country/vanuatu>.

Figure A1. Size and construction materials (woods and plants in local names) of surveyed Nimulaters.

Figure A1. Size and construction materials (woods and plants in local names) of surveyed Nimulatens.												
番号	サイズ(cm)		部材					結束材				
	幅	高さ	A	B	C	D	E	B同士	CとD	DとE	Eと屋根葺材	
1	340	230	550	ナラウ、ナデム	ナヴァンカ、ナラウ	ブラウ	デルキット	ニギハブン、ネデイトウ	フス	ヌルケル	フス	ニバルバ
2	320	210	440									
3	560	230	530	ドウワイ	ナヴァ、ナヴァ	ブラウ	ナヴァ、ドウワイ	ニキヤブン	ナムタル	ナムタル	ナムタル	ローブ
4	360	240	460	ナラウ	ナヴァ、ドウワイ	ブラウ	ニキヤブン	ニキヤブン、ナクノフ	ローブ	ローブ	ナヴァイル	
5	330	260	500	ナラウ	ナヴァ、ナヴァ	ナウラ	ナヴァ	ニキアブン	ナムタル	ウス	ウス	ナヴァイル
6	350	260	600	ナマル	ナファ、ナファ	ヌオ、ナミロ	カウラウル	テクノヴェ、ノクノフ、ナルル	ウス	ウス	ウス	ナヴァイル、ワウリヤオ
7	330	240	540	ナウラ、マンヌン	ナヴァ、ナウラ	ブラウ	ナウラ、ナマル	ナルル、ナクノフ	ウス	ウス	釘	ナヴァイル
8	320	220	600	ナマル	ヌクパット、竹	ブラウ	ナミール	ナル、ナクノフ	ウス	ウス	ウス	ナヴァイル
9	260	210	480	ナウラ	ナミアウル、ナミアウル	ブラウ	ナルル	ナウラ、ナミール	ウス	ウス	ウス	ナヴァイル
10	340	240	510	ナマル	ナヴァ、ナミロウ	ナマル	ナファ、ナマル	ドウマイ、コーヒ	ウス	ワウリヤオ	釘	ナヴァイル
11	240	210	400	ナマル	ナヴァ、ヌクパット	ブラウ	ニキアブン	ナクナフ	(なし)	ウス	ウス	ナヴァイル
12	270	200	520	ナマル	ナヴァ、ニキアブン	ナマル	ニキアブン	ナクナフ	ウス	ヌルキル	ウス	ナヴァイル
13	250	210	450	ナマル	ナファ、ナファ	ブラウ	ニキドゥ、ニキアブン	ナクナフ	ウス	釘	釘	ナバル
14	370	230	660	ブラウ	ナファ、ナウリ	ブラウ	ナファ	ナウリ	釘	釘	釘	ナヴァイル
15※	370	240	580	ニエル	ナファ	ナマリ	ナマリ	ナタファ				
16	350	240	560	ブラウ	ナファ、ナウリ	ブラウ	ナファ	ナクナファ	ナラウスオケ	ナラウスオケ	ナヴァイル	マニウイウ
17	270	190	440	ナミロ、リーリス	ヌクルプエ	ナマル、ニキアブン						
18	350	230	640	ナミロ	シーダ	ヌーオ	シーダ	ニキアブン、ノクノフ	釘	ヌルケル	ロラウリル	釘
19	300	200	570	ナマンベ	ナヴァ、ナウラ	ネミュー、ザブロン	ナヴァ	ノクノフ	釘	釘	ヌルケル	釘、バンダナス
20	300	240	530	ナマル	ニエル、ナウラ	ナミロ	ナヌン	ニキアブン	釘	釘		
21	350	260	540	ドウワイ	ナヴァ	ブラウ	ナヴァイル	ノクノフ	釘	釘	釘	釘
22	320	230	610	ナメル	ナヴァ	ナヴァ	ナヌミイェン、ナルル	ナルル				
23	280	220	530	ナマル	ナファ	ナウラ(半分だけ)	ナクナフ	ナクナフ	ノアウヒヤオ		ナヴァイル	
※ドーム形状になっていて、前に160、奥に100出ている。												

※ドーム形状になっていて、前に160、奥に100出ている。

(論文受理日：2016年7月04日)