

2007年ソロモン諸島沖の地震津波の現地被害調査と数値計算

Field Survey and Numerical Simulation on 2007 Solomon Islands Earthquake Tsunami

富田孝史¹・有川太郎²・辰巳大介³・本多和彦³

Takashi TOMITA, Taro ARIKAWA, Daisuke TATSUMI and Kazuhiko HONDA

The Solomon Islands Earthquake Tsunami was generated by a big earthquake of M8.1 on 2 April 2007, and caused severe damages particularly in western islands of the Solomon Islands, resulting in the death toll of 52. To understand tsunami characteristics and damages, a field survey was conducted. Measured tsunami inundation height was approximately 4-5 m at the north part of Simbo Island and at the south coast of Ghizo Island. Human losses were, however, mitigated by residents' evacuation to hills and high-floored houses soon after the earthquake occurrence and as soon as they watched the tsunami travelling in the offshore. Numerical simulations were also conducted to estimate and understand the tsunami. The effect of reefs in coastal areas was additionally investigated from the numerical simulations.

1. はじめに

2007年4月2日7時40分(現地時間)にソロモン諸島沖(南緯8.481°, 東経156.978°)(USGS, 2007)でM8.1の地震とそれに伴った津波が発生した。この地震と津波により、震源に近いソロモン諸島の西側の島々に大きな被害が発生した。ソロモン諸島政府の発表(2007年4月30日)によると死者は52名である。

津波の特性は、海底および陸上地形の影響を受けて変化し、津波被害は地形だけでなく、地域の社会的、経済的、文化的特性に影響される。したがって、津波やその被害に関するデータは、被災地域だけでなく他の地域における今後の津波防災に向けても貴重な資料になる。そこで、著者らは津波の特性や被害の特徴を把握するために、4月10～14日の間、現地調査を実施した。

本論文は、この現地調査の結果を取りまとめたものである。また、津波の概要を把握する目的で行った数値計算の結果についても示す。なお、ソロモン諸島では十分な精度の地形データを得ることができなかったので、海岸線までの津波を対象に計算を実施した。さらに、ソロモン諸島の島々の前面海域にあるリーフの効果も数値計算により検討した。

2. 現地調査の内容

現地調査を行ったのは、後出の図-1に示す、ギゾ島のティティアナ、ニューマンラ、マラケラバ、ギゾ、マリエ岬およびサエラギ、シンボ島のタブライおよびマロロ

モ、ベララベラ島のイリンギラ、レオナ、パラマタおよびボヌヌ、ラノンガ島のビエヌナ、並びにニュージョージア島のムンダである。

調査では、津波の浸水や遡上による痕跡の高さを、調査時の海面高度を基準として、レーザー距離計(Laser Technology製, Impulse 200)により測定した。また、津波来襲時刻、来襲波数、来襲状況、避難状況などを住民や行政の担当者からヒアリングした。

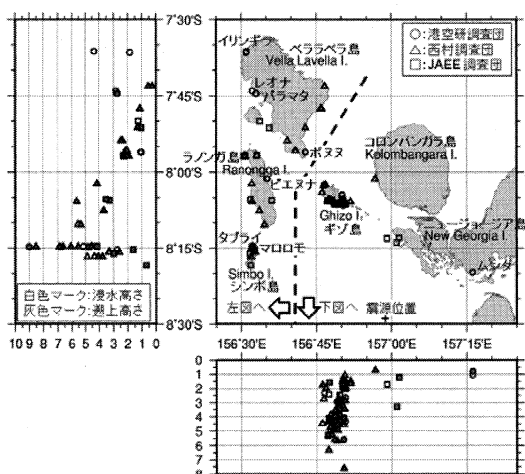
3. 津波の痕跡高さ

調査時の海面高度から測定した津波の浸水高や遡上高を、津波到達時の推定天文潮位(平均潮位上8cm)を基準にした高さに補正した。なお、この後に使用する高さや深さに関する用語は次のように定義した。浸水深は、地表面から建物の壁等に残る浸水の痕跡までの高さ。浸水高は、津波到達時の海水面高度から建物の壁等に残る浸水の痕跡までの高さ。遡上高は、津波到達時の海水面高度から斜面などに残る痕跡までの高さ。津波高は、津波到達時の海水面高度から最大津波の波峰までの高さ。

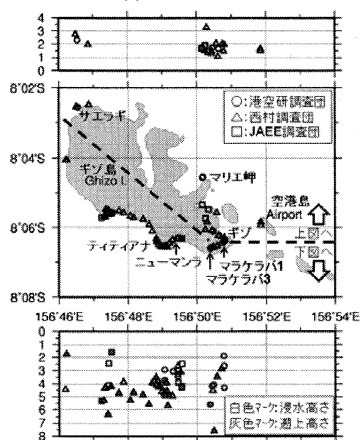
図-1は、測定した津波の浸水高や遡上高をまとめたものである。図には、著者らの調査結果(図中○印)だけでなく、北海道大学の西村裕一団長による調査団の結果(△印)及び日本地震工学会(JAEE)の調査団による結果(□印)も合わせて記載した。各印において、白抜き印が浸水高、グレーの印が遡上高である。なお、これらの結果はwebページ(藤間, 2008)に公開されている。

著者らの調査の中で最高の痕跡は、シンボ島北部のタブライにおける海に面した崖に残った植生の変色域であり、その遡上高は9.0mである。最高の浸水高もタブライにおいて測定された5.2mである。この他に浸水高が4mを超えた地点は、ギゾ島南岸のティティアナ(4.6m)、マラケラバ3(4.2m)およびマラケラバ1(4.3m)、ベララベラ島北端のイリンギラ(4.4m)である。一方、浸水高

1 正 会 員 博(工) (独法)港湾空港技術研究所 津波防災研究センター 上席研究官
2 正 会 員 博(工) (独法)港湾空港技術研究所 津波防災研究センター 主任研究官
3 正 会 員 修(工) (独法)港湾空港技術研究所 津波防災研究センター 研究官



(a) 全調査結果



(b) ギゾ島における調査結果

図-1 津波による浸水高さおよび遡上高さの調査結果

が2m未満の地点は、ニュージョージ島西部南岸のムンダ(1.1m)、ベララベラ島南岸のボヌヌ(1.1m)およびギゾ島北岸のマリエ岬(1.8m)である。これらの痕跡高から、相対的に高い津波が、シンボ島から北方にあるランonga島やベララベラ島の西側に広がる海域、およびギゾ島の南部に伝播したと推定される。

4. 津波被害状況と来襲津波

(1) ギゾ島

a) 南岸

ティティアナ、ニューマンラおよびマラケラバでは、遡上高は5mを超え、浸水高は4mを超えた。このことから、来襲した津波高は、局所的な変動はあるものの、平均的には4~5m程度あったと推定される。

この地域ではこの高い津波によって建物流失など甚大な被害が発生した。例えば、図-2は、被災したマラケラバ3の様子を示した写真である。この集落の概略的な



図-2 マラケラバ3における被災状況

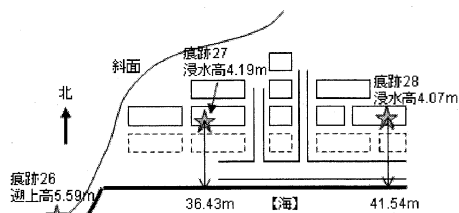


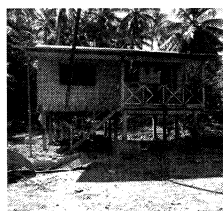
図-3 マラケラバ3の平面図

面図を図-3に示す。図中の☆印が痕跡を測定した場所であり、点線で示した範囲が流失した家屋のあった場所である。この地域では海岸線から35m程度以内にある建物のほとんどが、津波により全壊および流出した。集落内に散乱した建物等の残骸や残った建物等の様子から、破壊した建物は主に木造やトタン造であり、これらの建物は1.5m程度の浸水深の津波により押し流されたと推定される。

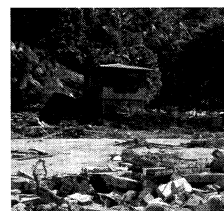
ティティアナでは、5m程度の高さの津波が来襲し、海岸から約100m離れた山裾に植生の変色域として痕跡を残した。この津波により、海岸から続く低平地にあったほとんど全ての建物は津波により押し流された。しかし、図-4(a)に示す山裾(地盤高2.9m)の高床式住居や図-4(b)に示す平地部にあるが1.8m程度の長い脚部のある高床式住居は、津波の流れにも耐えて残った。

家屋等の破壊だけでなく、ニューマンラでは侵食も発生した。2か所で侵食の深さを測ったところ、0.7mおよび1.1mであった。

b) 東岸、北岸および西岸



(a) 山裾の家屋



(b) 長い脚の家屋

図-4 ティティアナで津波後も残った高床式住居

ギゾ島東端のギゾ、北岸のマリエ岬および西端のサエラギでは、南岸に比べると浸水高は低く、それぞれ、1.8m、1.8mおよび2.3mであった。東端と西端を比べると西端の方が高い。ギゾでは浸水深は1.2mであり、家屋破壊等の大きな浸水被害は発生しなかった。一方、サエラギでは、43軒の家屋に被害が発生し、高床式住居の上部建物部に津波が作用した家屋では、全壊したものや上部建物が押し流されたものなどがあつた。漂流した建物には47m移動したものもあつた。

(2) シンボ島

浸水高5.2mを測定したシンボ島北端のタブライでも、ギゾ島南岸と同様に、海岸に続く低平地に大きな被害が発生し、百軒以上あつた家屋が全て流失した。しかし、地盤高3m程度の山裾にある高床式住居は、脚部を津波が流れたため残存した。

(3) ベララベラ島

ベララベラ島北端のイリンギラには、同島の他の集落よりも高い津波が押し寄せ、浸水高は4.4m（浸水深2.9m）であつた。ここには、後述するように前面海域にある複雑な形状のリーフにより特徴的な津波が押し寄せた結果、高い津波が局所的に来襲したと推察される。

ベララベラ島の西側では、レオナとパラマタのそれぞれにおいて2.8m程度の浸水高を測定した。浸水高は同じであるが、浸水深はレオナでは1.8m、パラマタでは1.1mであつた。地盤高が0.7m低いレオナでは、建物が漂流するなど被害の程度はパラマタよりも大きかった。

ベララベラ島南端のボヌヌでは、浸水高は1.0~1.1mであつた。地盤高が0.3m程度しかない低平地の集落であるが、来襲した津波の高さも低かつたので、大きな被害には至らなかつた。津波が低かつたのは、図-5に示すように集落の沖合に発達したリーフが天然の防波堤のような役割を果たしたためであると思われる。

(4) その他の調査地点

a) ニュージーア島ムンダ

ムンダでは浸水高1.1m（浸水深0.5m）を得た。ムンダもボヌヌと同様に沖合にリーフが発達しており、これにより津波の来襲が妨げられたことが一因となつて、海岸に到達した津波は低かつたと推定される。

b) ラノング島ピエヌナ

ラノング島中央部東岸のピエヌナでは、地震により地盤が2.2m隆起したため、津波は陸上遡上しなかつた。この隆起によりサンゴ礁が海面上に露出し、島の各所では地震による斜面崩壊が生じた。

(5) 津波の来襲状況

住人等からのヒアリングによると、調査したほとんどの場所で、来襲した津波は引きで始まり、3波まで確認され、それぞれの波は数分の間隔で来襲した。ただし、

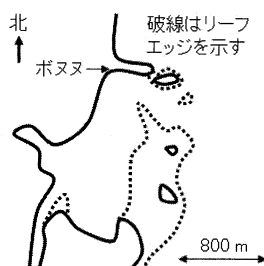


図-5 ボヌヌの海岸線とリーフエッジの概略図

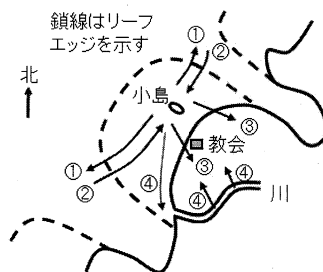


図-6 イリンギラにおける津波の来襲状況

マリエ岬では4波、サエラギでは1波のみが確認された。

最大波の出現波数は場所により異なつた。ベララベラ島の西側および北端では第1波目が、シンボ島北部、ギゾ島南岸では第3波目が最大であつた。

津波の来襲の様子は、ほとんど全ての調査地点において、波のようではなく、潮位のように上昇した。そのため、マラケラバ3やイリンギラでは津波の流れの中を逃げて助かった人がいた。また、マリエ岬では、カヌーが流されないようにカヌーに繋いだロープを手で持っていたが、第2波の引き波でカヌーが流されたというように、人が流されるような速さの流れではなかつたようである。

イリンギラでは、図-6に示すような図を描いて来襲津波の様子を次のように説明した住民がいた。①最初に集落前面の小島回りから海が左右（北東と南西方向）に分かれるように海面が引いた。②次に、左右から津波が来襲し小島の沖合で合体し、津波は小島の左右から陸地に来襲した。③教会周辺の津波は低かつたが、その北側では津波は陸上を遡上するときに巻き波のように碎波した。④集落の南側では、津波は河川を遡上し、集落の背後で氾濫した。これは、前面海域の局所的な水深変化により津波が影響を受けている良い事例である。

5. 数値計算

(1) 計算の概要

水深方向に多層に分割することができ、各層では静水圧近似を適用するSTOC-ML（富田ら，2005）を使用して計算を行った。ただし、今回の計算では層数は1とした。また、陸上遡上の計算は行わないので、海岸線では

完全反射を仮定した。

全計算領域は東経147°~163°と南緯2°~13°の範囲であり、基準経度を東経157°とするUTM座標系を使用した。この計算領域を、ギゾ島南岸において詳細な津波計算ができるように、計算格子サイズがそれぞれ1,800m, 600m, 200m, 40m, 20mおよび10mの6つの計算領域に分割し、順次接続した。水深データは、計算格子サイズが600m以上の第1と2領域では、GEBCOの1分間隔の水深データから補間して作成した。計算格子サイズが200m以下の第3~6領域では、GEBCOの水深データとギゾ島南東部の海図（スケール1/25,000、1980年製）から読み取った水深を補間して作成した。なお、リーフ上の水深は海図にも記されていないので、現地調査時の水深等を参考に0.5mとした。また、海図の精度に比べて詳細な計算格子サイズを今回適用したのは、海岸線やリーフの効果を極力計算に反映させるためである。

全計算時間は、地震発生から3時間後までとし、時間ステップは0.1秒である。

また、リーフが津波に及ぼす影響を比較検討するため、リーフを含む水深10m以浅の海域を全て10mにしたリーフなしの計算も行った。

(2) 断層パラメータ

断層モデルとして、名古屋大学の山中モデル（山中, 2007）、東北大学の越村モデル（越村, 2007）、北海道大学の谷岡モデル、米国地質調査所の160個の小断層に分けたモデル（USGS, 2007）を取り上げて事前検討した結果、谷岡モデルが津波の現地調査結果をよく再現したのでこれを使用した。この断層モデルは、西村調査団およびJAEE調査団が測定した地盤変動量に合うように断層パラメータ（表-1）を定めたものである。

表-1 谷岡による断層モデル

位置	157.002°E, 8.655°S		長さ	深さ	すべり量
長さ	100km	幅	35km	すべり角	7.0m
走向	315°	傾斜角	35°	すべり角	90°

(3) 最大水位分布

図-7に第3領域における最大水位分布を示す。津波のエネルギーは、断層の短軸方向（北東-南西方向）に主に伝播し、津波エネルギーの一部は、震源に近いシンボ島、ベララベラ島、ラノンガ島、ギゾ島およびそれら周辺の島嶼に捕捉され、これらでは高い津波となった。さらに、これらの島々を抜けて遠方まで津波は伝播し、南西方向は大きな島がないため震源から500km離れたバプア・ニューギニアに0.5~1mの高さの津波が伝播した。北東方向へは、ギゾ島により津波の一部が捕捉されるので、ギゾ島背後のベララベラ島とコロンバンガラ島の間

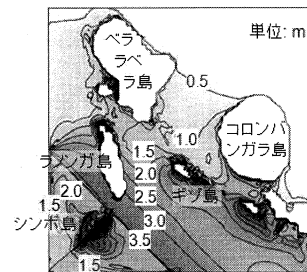


図-7 最大水位分布の計算結果（第3領域）

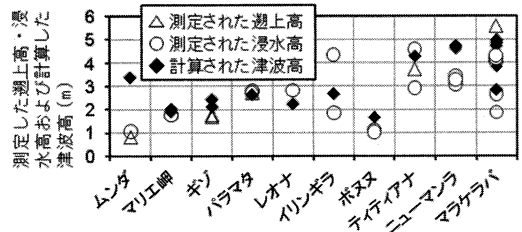


図-8 現地調査による痕跡高と数値計算による津波高の比較

を抜ける津波よりも、ベララベラ島の西側を伝播する津波の方が大きい。これは、図-1に示したように、ベララベラ島やラノンガ島の西岸における痕跡高が、ベララベラ島東岸やコロンバンガラ島における痕跡高よりも高いことに一致している。

(4) 津波痕跡高との比較

現地調査による浸水高や遡上高と数値計算による津波高の比較を図-8に示す。この計算結果にはイリンガラで3波目が終了する地震後40分までのデータを使用した。ムンダ、イリンガラ及びニューマンラ以外の場所では、計算値は測定値と概ね一致している。特に、ギゾ島北岸のマリエ岬や東端のギゾ、ベララベラ島西岸のパラマタとレオナでの一致度は良い。これらの地域ではリーフが大きく発達していないので計算が比較的合いやすかったと考えられる。逆に、ムンダでは沖合に発達したリーフが計算の水深データに十分に反映されていないために、計算では過大評価したと考えられる。また、イリンガラでは実際には複雑な形状をしたリーフ等により局所的に高くなった津波を計算では再現できていない。ニューマンラでは、痕跡の測定場所の海側にあった植生が、計算では考慮できない津波低減を引き起こした可能性がある。

(5) リーフの効果

図-9は、リーフがありとなしの計算から得られた津波高を比較したものである。リーフがあると浅水変形により、ギゾ島南岸のマラケラバでは津波高が増大する一方、ギゾ島東岸のギゾや北岸のマリエ岬では逆に低減している。これは、図-10に示すように、ギゾ島の南東部からその東側沖合にあるリーフや小さな島嶼による浅瀬がギ

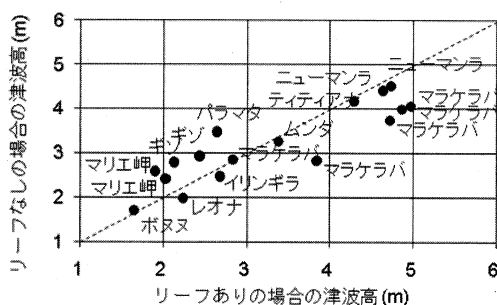
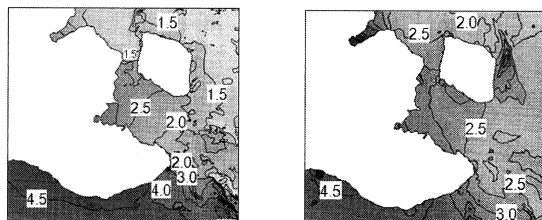


図-9 リーフありとなしの場合の津波高の比較



(a) リーフあり

(b) リーフなし

図-10 リーフありとなしの場合の津波高の平面的な比較

ゾ島の北部へ伝達する津波を妨げるからである。

津波の第1波目のピークが到達する時刻には、今回の計算ではリーフの存在はギゾ島南岸にはほとんど影響しなかった。ただし、マラケラバの東端とマリエ岬ではリーフがあることにより津波の到達が2.8分遅れたので、ギゾ島東端から東部の北岸にかけては南岸のリーフ等によって津波到達時間が遅れた可能性がある。

6. これからの津波防災に向けて

今回の津波では、ギゾ島やシンボ島には4~5m程度の津波高となり、ソロモン諸島全体で52名の死者数となった。一方、2004年のインド洋津波の際、同程度の津波が押し寄せたインドのナガパティナムでは6,000名超える犠牲者が発生した(原田ら, 2006)。この差には、海岸部の利用方法や人口密度の要因も大きい。住民の避難行動も影響を及ぼしている。

ソロモン諸島津波の際には、「海面が異常に引いたら丘へ逃げろ」という伝承やインド洋津波の教訓に基づいて地震後直ぐに逃げた人が多かった。また、沖合に津波を視認して丘陵地へ逃げたというように、短時間で高い所に逃げ込めたので助かった人も多い。すなわち、住民が津波を知っていること、および避難できる高所が直ぐ近くにあることの2点が防災上重要であると指摘できる。

避難に関しては、丘陵地だけでなく、高床式住居も避

難に役立った事例が認められた。浸水深よりも長い脚部を持つ家屋の場合には、津波は脚部を流れて住居部はほとんど無傷であった。このことから、ソロモン諸島では、今後の起こりうる津波に対する浸水推定を行った上で、極力高い標高のところに高床式住居を建てるのが、津波防災の進展につながる。また、我が国等では、特に避難に使える時間が少ない地域において、津波避難所の適切な配置が重要である。なお、強い地震動が想定される地域では、高床式住居を含む津波避難所の耐震性に留意する必要がある。

7. おわりに

本論文では、2007年ソロモン諸島沖の地震津波について行った現地調査結果と数値計算の結果を取りまとめた。震源に近いシンボ島やギゾ島では4~5mの津波が来襲したが、住民の迅速な避難により人的被害は少なく抑えられた。また、谷岡による断層モデルを使って計算した津波は、測定された津波痕跡高さをよく説明した。ただし、リーフなどを再現していない場所では、計算値と測定値との間に差異が認められた。

最後に、現地調査でご協力頂いた外務省、在ソロモン諸島日本大使館、国土交通省港湾局、ソロモン諸島政府関係機関、Yoshiyuki SATO氏およびYukio SATO氏、現地調査の結果を使用させて頂いた西村調査団およびJAEE調査団の皆様、並びに断層パラメータをご教示頂いた谷岡勇一郎先生に、感謝の意を表します。さらに、今回の地震津波の被災者に哀悼の意を表します。

参考文献

- 越村俊一 (2007): The Tsunami Disaster of 01 April 2007 in the Vicinity of Solomon Sea (オンライン), http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai2/disaster/07_Solomon/event.html, 参照2007-10-01.
- 富田孝史・柿沼太郎 (2005): 海水流動の3次元性を考慮した高潮・津波数値シミュレートSTOCの開発と津波解析への適用, 港湾空港技術研究所報告, 第44巻, 第2号, pp.83-98.
- 原田賢治・沖村孝・鳥居宣之 (2006): インド南東部におけるスマトラ沖地震津波の被災調査, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.296-300.
- 藤間功司 (2008): Tsunami Measurement Data Compiled by IUGG Tsunami Commission, Table Data of 2007 Solomon Tsunami (オンライン), <http://www.nda.ac.jp/~fujima/TMD/index.html>, 参照2008-05-07.
- 山中佳子 (2007): NGY地震学ノート, 4月1日ソロモンの地震 (M8.1) (オンライン), http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2007/RSVD1.html, 参照2007-10-01.
- U. S. Geological Survey (USGS): Magnitude 8.1 - Solomon Islands (オンライン), <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2007/us2007aqbk/>, 参照2007-06-01.