

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1235 June 2011

2010年ムンタワイ地震津波に関する現地被害調査

富田 孝史
有川 太郎
熊谷兼太郎
辰巳 大介
廉 慶善

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 調査目的および内容	4
2.1 調査の目的	4
2.2 調査団および調査行程	5
2.3 調査の内容	5
3. 地震および津波の発生	6
3.1 地震の概要	6
3.2 津波の観測	7
3.3 津波警報等	9
4. 津波被害	9
4.1 津波の痕跡高の概要	9
4.2 各地の被害状況	9
5. 住民の避難	13
5.1 ヒアリング方法	13
5.2 ヒアリング結果および考察	13
5.3 各地区での避難事例	14
6. 津波の数値計算	15
6.1 計算モデルおよび計算条件	15
6.2 計算結果および考察	17
7. まとめ	21
8. あとがき	21
謝辞	21
参考文献	22
付録 津波痕跡高の測量結果	23

Field Survey on the 2010 Mentawai Tsunami Disaster

Takashi TOMITA*

Taro ARIKAWA**

Kentaro KUMAGAI***

Daisuke TATSUMI ****

Gyeong-Seon YEOM ****

Synopsis

An earthquake of Mw 7.7 occurred in the Indian Ocean off the southern part of Sumatra Island (3.5° S and 100.1° E) around 21:42 local time, and generated a tsunami, which hit in North and South Pagai Islands and Sipola Island of Mentawai Islands lying off the west coast of Sumatra Island. This is a report of a joint field survey on this tsunami disaster conducted by the Port and Airport Research Institute and National Institute for Land and Infrastructure Management together with the Ministry of Marine Affairs and Fisheries of Indonesia and other. In addition, results of numerical simulation on the tsunami are also indicated.

In the survey, tsunami inundation and runup heights were measured in North and South Pagai Islands. Interview investigation was also conducted to understand people's evacuation action in these islands. The major results of the survey are as follows:

- 1) Relatively large tsunami hit Pagai Islands comparing to the magnitude of earthquake. The tsunami height was about 6 m in these islands, and especially the 7 – 8 m tsunami attacked Malakopa, Sabeugungkung and Magoiru in North Pagai, resulting in losses of human lives and houses.
- 2) A person who heard the sound of tsunami approaching in night hours run to hill with transmitting the information of the tsunami coming to other residents, and therefore all residents in a coastal side of the village could evacuate to save their lives. Prompt tsunami detection and dissemination of its information led to reduction of human losses especially for local tsunamis.
- 3) There was a case that many people were left dead or missing in the area where a bridge crossing a small river was destroyed by the tsunami coming up in the river. This disaster indicates importance of plan and arrangement of save evacuation routes and sites.
- 4) Although the Indonesian were well known on tsunamis, almost of them failed to escape from the tsunami immediately after the ground motion due the earthquake, because they judged no tsunami based on weaker ground motion than the 2007 Bengkulu earthquake which generated no tsunami affecting in the Pagai Islands. From this fact, we should consider more careful education on tsunami disasters to avoid people's wrong decision.

Key Words: Tsunami, disaster, field survey, Mentawai, Pagai Islands, evacuation, tsunami height

* Research Director, Asia-Pacific Center for Coastal Disaster Research,

** Senior Researcher, Asia-Pacific Center for Coastal Disaster Research

*** Senior Researcher, Coastal and Marine Department, National Institute for Land and Infrastructure Management

**** Researcher, Asia-Pacific Center for Coastal Disaster Research

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5052 Fax : +81-46-844-1274 e-mail: tomita@pari.go.jp

2010年ムンタワイ地震津波に関する現地被害調査

富田 孝史*・有川 太郎**・熊谷 兼太郎***・辰巳 大介****・廉慶善****

要 旨

2010年10月25日21時42分頃（現地時間）、スマトラ島南部の西方沖（南緯3.5°，東経100.1°）でマグニチュード7.7の地震が発生した。この地震は大きな津波を発生させ、震源近くにあるムンタワイ諸島の南パガイ島、北パガイ島およびシボラ島に大きな被害を及ぼした。本報告は、同年11月6日から8日にかけて、港湾空港技術研究所と国土技術政策総合研究所の合同調査チームがインドネシア政府海洋水産省等と合同で行った津波被害に関する現地調査の結果および津波の数値計算の結果について報告するものである。

現地調査では、南パガイ島および北パガイ島を対象にして、津波の痕跡を測量することにより来襲した津波の高さを明らかにするとともに、住民からの聞き取りから津波の来襲状況や避難実態を把握した。

主な調査結果は次のようである。

- 1) 津波の規模は地震の規模に比べると大きく、北パガイ島や南パガイ島に来襲した津波は約6mであり、特に北パガイ島のマラコパ、セベグングンおよびマゴイルでは7～8mの津波が来襲した。この津波により人的被害や建物の破壊などの被害が発生した。
- 2) 津波来襲を察知して逃げた人が他の人にも危険性を伝えながら逃げることにより、海岸部の集落全員が助かるという事例が認められた。地震後数分で津波が来襲する近地地震では、瞬時に津波来襲を察知するための技術、その情報伝達について速やかに行うことが重要である。
- 3) 避難経路の途中にある橋が津波により流されたために、多くの人的被害が発生した地域があった。人的被害の軽減には安全な避難経路および避難場所の設定が重要である。
- 4) インドネシアの人々は津波に対する意識は高いが、前回の地震の2007年ブンクル地震と比べて今回の地震では揺れが小さかったことから津波来襲はないと考えて避難が遅れた事例が認められた。既往の経験が悪い方向に作用しないようによりきめ細かな防災教育を進める必要がある。

キーワード：津波，災害，現地調査，ムンタワイ，パガイ諸島，避難，津波高

* アジア・太平洋沿岸防災研究センター上席研究官
** アジア・太平洋沿岸防災研究センター主任研究官
*** 国土技術政策総合研究所沿岸海洋研究部主任研究官
**** アジア・太平洋沿岸防災研究センター研究官
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5052 Fax：046-844-1274 e-mail: tomita@pari.go.jp

1. まえがき

2010年10月25日21時42分頃（現地時間、日本時間では同日23:42頃）にインドネシアのスマトラ島南部の西方沖（南緯3.5°、東経100.1°）の海底下約20kmでマグニチュード7.7の地震が発生した。この地震は、2004年のマグニチュード9.1のスマトラ島西方沖地震と同様にインド・オーストラリアプレートがスダブレートの下に潜り込む海溝付近で発生したものであり、津波を発生させた。

この地震に対して、インドネシア共和国気象庁による津波警報に加えて、日本の気象庁や太平洋津波警報センターからもインドネシアに津波注意報が発表された。ただし、この時の推定マグニチュードは7.5であった。発生した津波は、スマトラ島にある検潮所において地震後45～90分の間に0.2～0.3 mの最大水位上昇を発生させた。

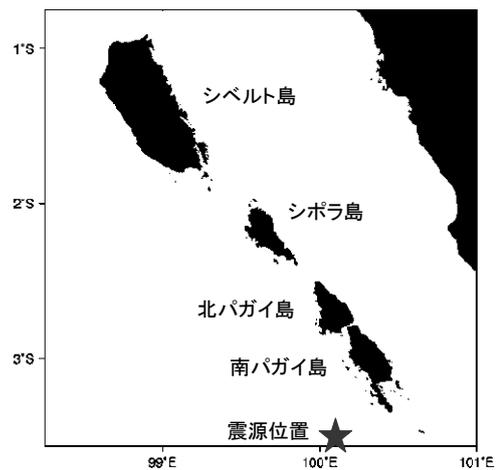
地震が夜に起こったために被害の全様はすぐには判明しなかったが、スマトラ島にあるバダンなどの都市で大きな被害が発生したとの報道は無かった。さらに、この地震の震源から南に約300 km 離れた海域で2007年に発生したマグニチュード8.4のブンクル地震の際にも、スマトラ島のバダンで同程度の津波が観測されて沿岸部で若干の浸水被害が発生したが、甚大な被害には至らなかった。この地震との比較からも2010年の地震津波による大きな被害は発生しなかったのではないかと推察された。しかし、夜が明けた翌日になって、スマトラ島の西側に連なるムンタワイ諸島の南部に位置する南パガイ島、北パガイ島およびシボラ島（図-1.1）に大きな津波被害が発生したことが明らかになった。2010年11月15日のインドネシア国家防災局の発表によると、死者454名、行方不明者43名である。

津波被害の報道が始まる頃までには地震マグニチュードは7.5から7.7に修正された。マグニチュード7.7の地震には1983年日本海中部地震や2006年インドネシア・ジャワ島南部沖地震がある。これらの地震はともに大津波を発生させた。前者は秋田県などに大きな被害を及ぼし、100名が津波の犠牲者となるとともに、秋田港では水面貯木場から原木約23,000本が流出する被害も発生した（谷本ら、1983）。また、後者はジャワ島において600名を超える死者・行方不明者となる被害を発生させた（辰巳ら、2006）。

発生した津波の特性および津波被害の実態、さらに住民の避難行動を明らかにするために、港湾空港技術研究所（以下、PARIとする）では、国土交通省国土技術政策総合研究所（NILIM）と協力して合同調査チームを組織し、インドネシア共和国海洋水産省（MMAF）の調査チーム等とともに現地調査を行った。調査を実施した地域は、



(a) ムンタワイ諸島の位置



(b) 震源周辺のムンタワイ諸島の島々

図-1.1 ムンタワイ諸島の位置

大きな被害が発生した南パガイ島および北パガイ島である。

本資料は、現地調査から明らかになった、来襲津波や津波被害の実態、および住民の避難行動について取りまとめるとともに、現地調査と合わせて行った津波の数値計算の結果をとりまとめたものである。各章の内容は次のとおりである。第2章で調査の目的や内容を、第3章で発生した地震の概要、検潮所等で観測された津波および津波警報等の発表状況を概説する。第4章で現地調査から得られた来襲津波の特徴や被害状況を、第5章で住民へのインタビューから把握した住民の避難状況を取りまとめる。第6章には津波の数値計算の方法とその結果を示す。全体のとりまとめを第7章で行う。

2. 調査目的および内容

2.1 調査の目的

沿岸に来襲する津波は、伝播途中の海底地形や沿岸地形の変化によりその波向や高さが変化する。さらに、その津

波により発生する被害は沿岸を利用する人間の社会・経済活動や過去の被災文化にも依存する。このため、発生した津波の特性や被害実態を把握し、データを集積することは今後の津波防災において重要である。PARIではこれまでも津波災害の現地調査を被災後極力間をおかず実施してきた。

今回実施した調査でも、沿岸に来襲した津波の特性、特に津波痕跡高の空間分布、津波の到達時刻、さらに被害状況と住民の避難状況の把握を目的として行った。住民の避難については、避難の切掛け、避難方法に加えて、2007年に発生したブンクル地震が今回の地震津波からの避難に及ぼした影響の把握も目的とした。

2.2 調査団および調査行程

現地調査は、MMAFチームに加えて、科学技術振興機構と国際協力機構（JST/JICA）による地球規模課題対応国際科学技術協力事業において実施中の研究課題から参加したJST/JICAチームとも協力して調査を行った。調査団の構成を表-2.1に示す。

被災した南パガイ島、北パガイ島およびシポラ島に入るためには、スマトラ島から船で移動する必要がある。

表-2.1 調査団の構成

チーム	氏名
PARI/NILIM チーム	富田孝史 (PARI, リーダー) 有川太郎 (PARI) 熊谷兼太郎 (NILIM)
MMAF チーム	Subandono Diposaptono (海洋海岸離島部, リーダー) Enggar Sadtopo Giri Wilisandy Deki Rahmad S. Nelly Yulius Hadi
JST/JICA チーム	松富英夫 (秋田大学, リーダー) 原田賢治 (埼玉大学)

表-2.2 PARI/NILIMチームの調査行程

日程	調査地
11月5日 (金)	夜間中にスマトラ島パダンから北パガイ島シカカップに向けてMMAFの警備艇にて移動
11月6日 (土)	シカカップ到着 南パガイ島マラコパを調査
11月7日 (日)	北パガイ島ムンタイバルおよびサベグングンを調査
11月8日 (月)	南パガイ島スマングおよびバケを調査 シカカップ発 (夜間中にシカカップからパダンに向けてMMAFの警備艇にて移動)

この移動には、スマトラ島パダンから北パガイ島のシカカップ港まで4時間程度で移動できる高速ボートを使用する手段があったが、現地では雨期に入ってスマトラ島とムンタワイ諸島間の海では波浪が高いために、安全を考慮してパダンからシカカップまでMMAFが救援物資を送るためのMMAFの警備艇に同乗させてもらった。

被災地を短い時間で広く調査するために3チームが手分けして現地調査を実施した。著者らによるPARI/NILIMチームの調査地点を表-2.2に示す。現地調査の拠点を漁港があって被害をほとんど受けていないシカカップにとり、1日目は漁船、2および3日目は船外機付き高速船により被災地に上陸して調査を行った。とくに高速船は喫水の浅い小型船舶であり、安全な航行のために波が比較的穏やかになるのを待って調査に出かける必要があった。なお、大型船であれば比較的波が高くても出航可能であるが、津波により栈橋等が破壊した被災地に大型船は接岸することができないので、喫水が浅く海岸に上陸できる小型船を使用した。

2.3 調査の内容

各調査地点で津波の痕跡高を測定するために、調査時刻の海面を基準高さとした水準測量を実施した。使用した機材は、傾斜計内蔵のレーザー距離計（レーザーテクノロジー社製、Impulse LR200）、スタッフ（長さ5m）および携帯用GPS受信機である。レーザー距離計を使って実施する水準測量の精度を向上するために、レーザー反射体（プリズム）を使用した。GPS受信機は津波痕跡の平面的な位置を把握するために使用した。

津波の痕跡としては、津波の浸水状況を克明に示す家屋内の壁に残る水跡を採用することを基本とした。しかし、調査を実施した地点の多くは津波により家屋が破壊されて残っていない状況であり、そのような場所では津波の水流により折れた樹木の枝、枝に残った漂流物などを痕跡としてその高さを測定した。

住民の避難状況については、調査した各村の代表的な人にインタビューを行った。インドネシア語を話す住民と会話するために、MMAF職員による通訳を介した。ただし、会話はICレコーダーにも記録した。インタビューでは、津波の来襲状況や避難状況に加えて、2007年の地震と今回の地震との感じ方の違いやそれによる今回の津波来襲に対する意識についても聞き取りを行った。

3. 地震および津波の発生

3.1 地震の概要

2010年10月25日21時42分22秒（現地時間，日本時間では同日23時42分22秒，世界標準時（UTC）では同日14時42分22秒）に，インドネシアのスマトラ島西方沖でマグニチュード7.7の地震が発生した．震源の位置は南緯3.484°，東経100.114°，深さは20.6 kmと推定されている（米国地質調査所（USGS）の発表¹）．

USGSによると，図-3.1に示すように，南パガイ島および北パガイ島における地震の揺れの強さは最大で修正メルカリ震度階級7程度であった．ここに，修正メルカリ震度階級とは，地震の影響を示す指標であり，被害の小さい1から被害の大きい12まで12階級に区分されていて，人の感覚や被害状況によって階級が判定される．階級7の被害は，「適切に設計・建設された建造物はごくわずかの被害，適切に建設された通常の建造物の被害は軽度から中程度の被害，不適切に設計・建設された建造物は相当な被害，煙突の一部が損傷する」との定義である．さらに，階級8の被害は，「特別に設計された建造物は軽度の被害，通常の堅牢な建造物は部分的に倒壊し相当な被害，不適切に建設された建造物は大きな被害，煙突，工場の排気塔，柱，記念碑及び壁の倒壊，重い家具の転倒」と定義されている（USGSによる資料²）．わが国で用いられている気象庁震度階級は，計測震度の数学的処理によって算出されているため，修正メルカリ震度階級との単純な比較は難しい．ただし，震度階級関連解説表（気象庁による資料³）において，震度5強は鉄筋コンクリート造建造物の壁，梁，柱等の部材にひび割れ・

亀裂が入ることがあり，震度6弱はそのひび割れ・亀裂が多くなると解説されている．これを踏まえると，修正メルカリ震度階級7～8は気象庁震度階級の震度5強～6弱に相当すると考えられる．

スマトラ島西方沖では，インド・オーストラリアプレートがスダンプレートの下に潜り込んでいるために，これまでも繰り返し地震が発生している．表-3.1および図-3.2は，過去の地震発生状況について米国海洋大気局（NOAA）のSignificant Earthquake Database⁴で検索した結果である．2001年以降にインドネシアで発生したマグニチュード7.0以上の地震という条件で検索して得られ

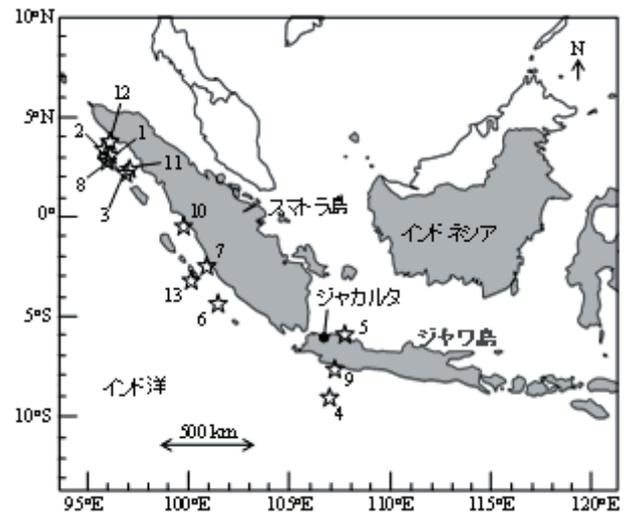


図-3.2 インドネシア周辺において2001年から現在までに発生したM7.0以上の地震の震源（図中の数字は表-3.1のNo.に対応する）

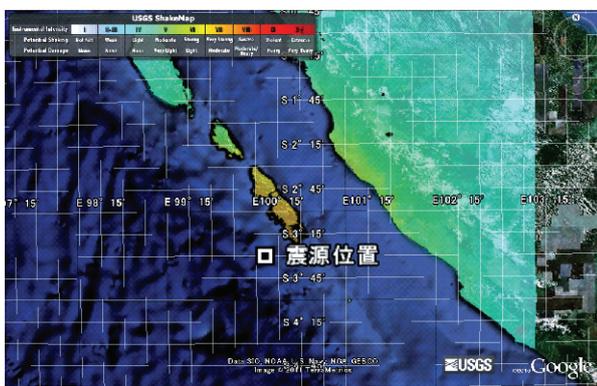


図-3.1 計測された地震動の強さ（USGSによる資料¹）

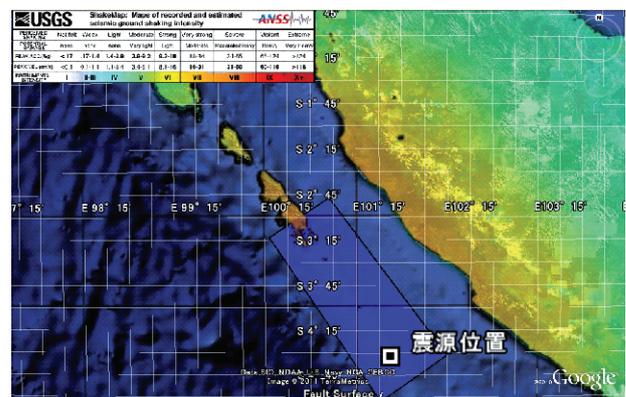


図-3.3 2007年ブンクル地震（USGSによる資料¹）

¹ <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/>

² <http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>

³ <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/shindo/kaisetsu.html>

⁴

<http://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=1&d=1>

表-3.1 インドネシア周辺で2001年から現在までに発生したM7.0以上の地震

No.	年月日	名称	震源位置			マグニチュード	死者(人)	被害の程度*	全壊家屋(棟)
			緯度(N, deg)	経度(E, deg)	深さ(km)				
1	2002/11/2	Sumatra, Simeulue	2.824	96.085	30	7.3	3	3	-
2	2004/12/26	Sumatra, Off West Coast	3.295	95.982	30	9.0	175,827	4	101-1,000?
3	2005/3/28	Sumatra, SW	2.085	97.108	30	8.7	1,303	4	300
4	2006/7/17	Java	-9.254	107.411	34	7.7	-	-	-
5	2007/8/8	Java	-5.968	107.655	289	7.5	-	-	-
6	2007/9/12	Sumatra	-4.438	101.367	34	8.4	25	3	56,425
7	2007/9/12	Sumatra	-2.625	100.841	35	7.9	-	-	-
8	2008/2/20	Sumatra, Aceh Province	2.768	95.964	26	7.4	3	-	-
9	2009/9/2	Java	-7.782	107.297	46	7.0	81	3	-
10	2009/9/30	Sumatra, Padang	-0.720	99.867	81	7.5	1,117	4	101-1,000?
11	2010/4/6	Sumatra	2.383	97.048	31	7.8	-	-	-
12	2010/5/9	N. Sumatra, Simeulue Is.	3.748	96.018	38	7.2	-	1	-
13	2010/10/25	Sumatra	-3.484	100.114	21	7.7			

*0: None/ 1: Limited, roughly corresponding to less than \$1 million/ 2: Moderate, ~\$1 to \$5 million/ 3: Severe, ~\$5 to \$24 million/ 4: Extreme, ~\$25 million and more

た25件のうち、スマトラ島の北西からジャワ島の南に続くジャワ海溝付近で発生した13件である。すなわち、過去10年間で13回のマグニチュード7.0以上の地震が発生していることになる。また、そのうち1人以上の死者が発生している地震は7回である。なお、マグニチュードと死者数がともに最大のものは2004年12月26日のスマトラ島西方沖地震（マグニチュード9.0、死者175,827人）である。

南パガイ島および北パガイ島に大きな影響を及ぼした近年の地震は、マグニチュード8.4の2007年ブンクル地震である。今回の地震との比較のため、図-3.3に、2007年ブンクル地震の震源位置（図中の口印）および地震動の強さを示す。2007年地震の震源は南緯4.520°、東経101.374°、深さ34kmの位置であり、今回の地震よりも東南に約300kmの位置にある。南北のパガイ島における地震の揺れの強さは最大で修正メルカリ震度階級8程度であり、2010年の地震による揺れよりも強い。また、地震を引き起こしたと推定される断層の範囲が、図中に矩形で囲まれており、今回の地震に伴う津波で主な被害が発生した南パガイ島の南端が含まれている。

3.2 津波の観測

今回発生した地震による津波は、インドネシアを中心としたインド洋各地で観測された。米国の西海岸・アラスカ津波警報センター（WC/ATWC）では、インド洋沿岸における検潮所で観測された津波高および最初の津波

の到達時刻を公表している（表-3.2）⁵。このうちムンタワイ諸島、スマトラ島など震源近くの検潮所およびNOAAがジャワ島沖に設置したDARTブイ56001において観測された津波高を図-3.4に示す。なお、図中の三角印は震源位置である。被害のあった南北のパガイ島における観測記録は無いが、周辺の観測値は0.2~0.3m程度であり、津波は高くない。

インドネシアのパダンおよびオーストラリアのココス島の検潮所において観測された水位変動およびそれから天文潮位変動を除去して得られた津波波形を図-3.5お

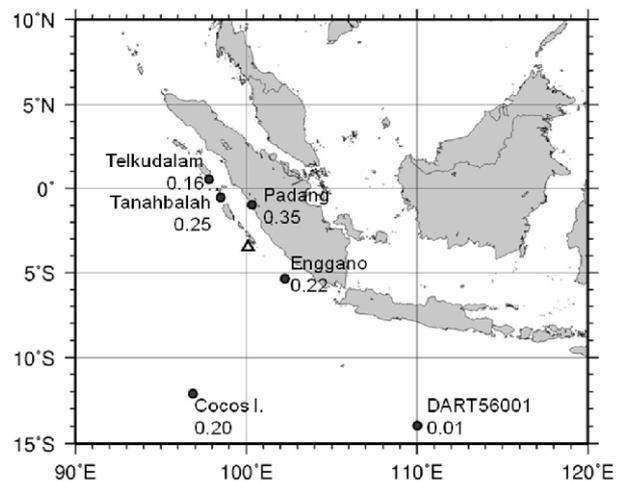


図-3.4 震源近くの観測津波高

⁵

http://wcatwc.arh.noaa.gov/previous.events/Indonesia_10-25-10/10-25-10.htm

表-3.2 各地で観測された津波高及び到達時間

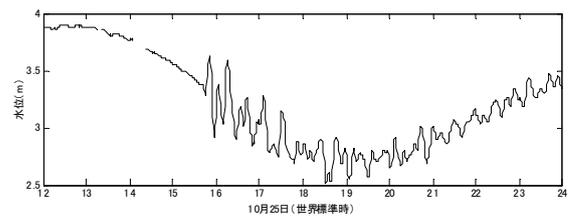
験潮所	観測津波高 (cm)	観測到達時間 (UTC)
Rodrigues, Mauritius	26	20:29
Port Luis, Mauritius	29	21:58
Cocos Islands, Australia	20	15:57
Hillary's Bay, Australia	11	
Enggano, Indonesia	22	15:19
Padang, Indonesia	35	15:40
Tanahbalah, Indonesia	25	15:39
Telukdalam, Indonesia	16	15:35
Diego Garcia, UK	4	18:41
Gan, Maldives	5	18:37
Pointe La Rue, Seychelles	13	22:30
Male, Maldives	8	18:54
Hanimaadhoo, Maldives	10	19:12
Colombo, Sri Lanka	6	18:29
Trinconmalee, Sri Lanka	7	18:22
Chabahar, Iran	4	00:38
Karachi, Pakistan	6	00:28
Marion Island, S. Africa	44	03:10
Port Elizabeth, S. Africa	23	04:07
Masirah, Oman	4	23:10

よび3.6に示す。なお、天文潮位変動は公開されている水面変動図に併記されている潮位変動をデジタルで読みとった。さらに、図-3.7にはDARTブイ56001で観測された津波波形を示す。DARTブイによって観測された津波による水位変動は±1cm程度であるため、潮位変動のスケールに比べると極めて小さく、観測水位変動データの中から津波を視認することは困難であったので、観測潮位の図の表示は省略した。ただし、観測データからMatsumotoら(2000)の方法によって天文潮位変動を除去して得た津波波形を図に示した。

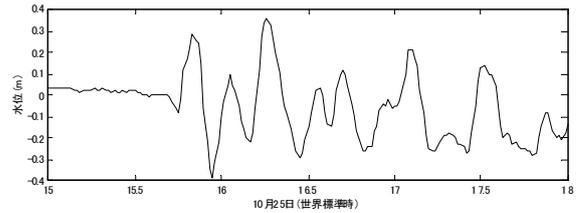
観測水位変動を見ると、南北のパガイ島に近いパダンでは、第1波の押し波はほぼ平均潮位の時に到達しており、その振幅は潮位変化よりも小さい。第1波の到達時刻は地震発生後約1時間である。パダンよりも震源に近い南北のパガイ島では、パダンよりも津波の到達時刻は1時間程度早くなり、満潮から平均潮位に下がる潮の時間帯に津波の第1波が到達したと推定される。

津波によって海水面に生じる最初の挙動(津波初動)は、パダンでは数cm程度のわずかな引き波である。一方、ココス島やDARTブイでは押し波初動である。

最大水位は、DARTブイでは第1波目に出現しているが、パダンやココス島では3波目となっている。

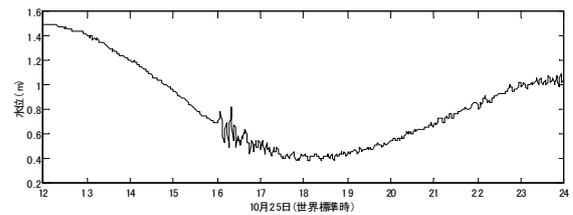


(a) 観測潮位

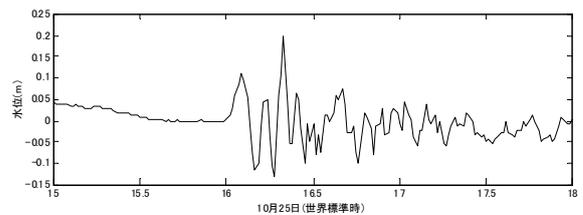


(b) 津波波形

図-3.5 インドネシアのパダンで観測された津波



(a) 観測潮位



(b) 津波波形

図-3.6 オーストラリアのココス島で観測された津波

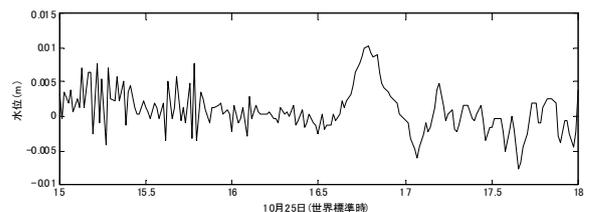


図-3.7 DARTブイ56001で観測された津波波形

3.3 津波警報等

太平洋津波警報センター (PTWC) は、地震発生から7分後の2010年10月25日21時49分(現地時間)にインドネシアを対象に津波注意報 (Tsunami Watch) を発表し、約2時間後の23時42分に解除した。

インドネシア気象庁は、PTWCよりも早く、地震発生から5分後の21時47分に津波警報を発表した。しかし、国際津波情報センター⁶によると(図-3.8)、地震から52分後の22時34分にはそれを解除した。この解除時刻はパダンで津波の最大値35cmが観測される23時40分よりも前である。

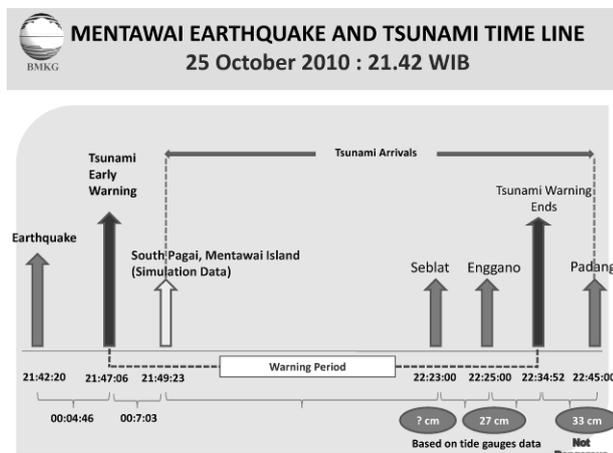


図-3.8 インドネシア気象庁による津波タイムライン

4. 津波被害

4.1 津波の痕跡高の概要

南パガイ島および北パガイ島は豊富な自然が残され小規模な集落が沿岸部を中心に点在しているが、集落と集落をつなぐ陸上の公道は未整備で、島内の主要な移動方法は比較的小型の船舶に頼っている。また、島の西側がインド洋に面しているため、天候や海象によって船舶による移動が困難となり、交通手段が遮断されることも日常的に生じている。

図-4.1に、3チームによる調査実施地点の全てを示す。津波痕跡調査は、南パガイ島および北パガイ島の西側沿岸部の主要な集落において実施されている。図-4.2に測量した津波痕跡高の結果を示す。津波痕跡としては、家屋の壁などに残った水跡を基本としたが、多くの集落ではレンガ造の家屋が全て津波により流失していた。その

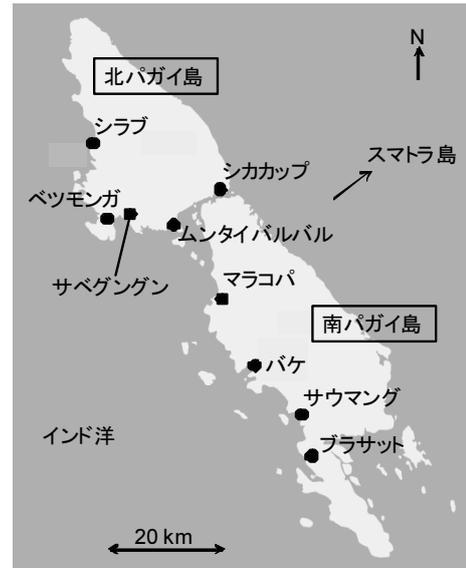


図-4.1 調査地域

ような場所では、津波による樹木の枝折れ、枝に捕捉された漂流物を津波痕跡とした。なお、図には、著者らによるPARI/NILIMチームの調査結果に加えて、MMAFチームおよびJST/JICAチームによる結果をまとめて示している。図中の浸水高は、津波来襲時の推定天文潮位を基準にした痕跡の高さである。浸水深は、津波痕跡のある地表面を基準にして、地表面から痕跡までの高さである。遡上高は、津波来襲時の推定天文潮位を基準にして測った、津波が遡上した限界の高さである。

痕跡高の分布から、南パガイ島および北パガイ島の西岸には、平均的に約6mの高さの津波が押し寄せたと推定できる。ただし、南パガイ島のマラコパ、北パガイ島のサベグングンやシラブでは、局所的に7~8mの浸水高が発生しており、6mよりも高い津波が来襲したと想定される。逆に、南パガイ島のバケやサウマングでは、約2~3mの相対的に低い浸水高となっている。これらの変動は、局所的な海底および陸上地形による津波の増大や遮蔽の影響によるものと考えられる。特に、サウマングでは調査地点の直ぐ沖に島があり、この島が津波を遮蔽したものと考えられる。

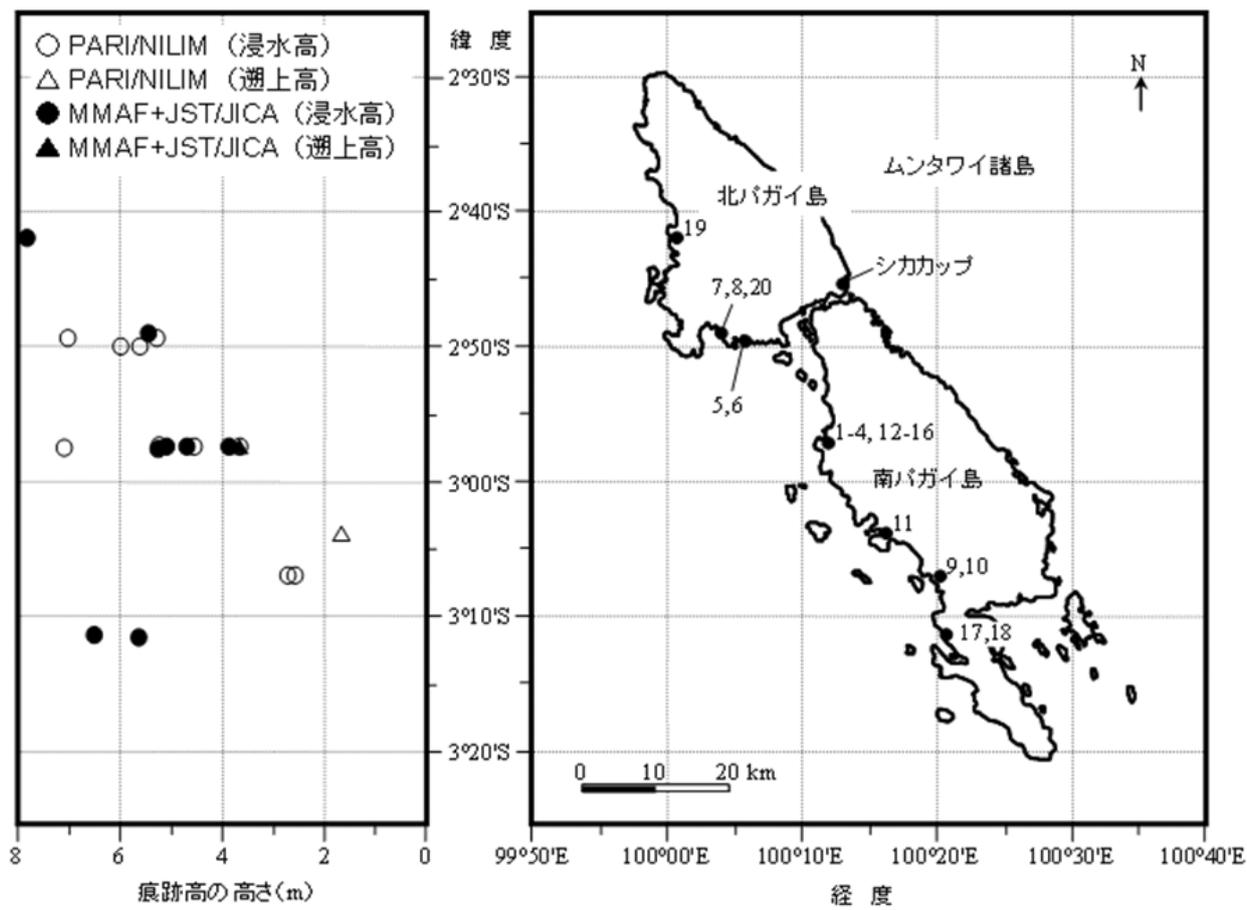
4.2 各地の被害状況

PARI/NILIMチームが現地調査により把握した被害状況および津波痕跡高を以下にまとめる。

(1) 北パガイ島サベグングン

北パガイ島の南岸に位置するサベグングンでは、海岸からつながる標高2m程度の平地にあった集落は壊滅しており(図-4.3)、家屋に残った水跡を測量することが

⁶ http://ioc3.unesco.org/itic/files.php?action=viewfile&fid=985&fcid_id=444



1-4, 12-16: マラコパ 5, 6: ムンタイバルバル 7, 8, 20: サベダングン 9, 10: サウマンガ 11: バケ 17, 18: ブラサット
19: シラブ

図-4.2 津波痕跡高



図-4.3 サベダングンにおける被害状況



図-4.4 サベダングンにおける津波の痕跡（痕跡7）

できなかった。しかし、津波の水流により折れたと思われる木の枝があった（図-4.4）。それら痕跡は地上から3.3～5.7 mの高さであり、地盤高を含めた浸水高に換算すると5.3～7.0 mであった（図-4.5）。このことから、

この集落の海岸には6 m程度の高さの津波が来襲したと想定される。この津波により、住民266名の内120名が犠牲になった。犠牲者の割合は約5割である。

(2) 北バガイ島ムンタイバルバル

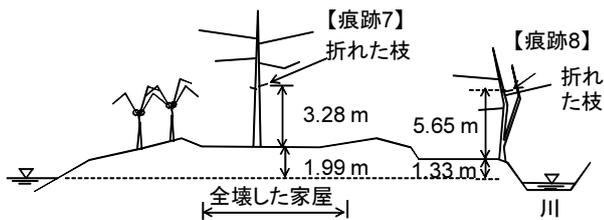


図-4.5 サベグングンにおける津波痕跡(痕跡7および8)



図-4.6 ムンタイバルバルにおける被害状況

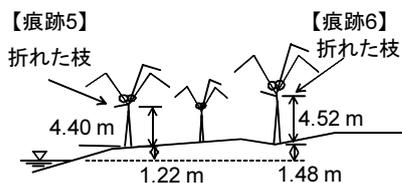


図-4.7 ムンタイバルバルにおける津波痕跡(痕跡5および6)

サベグングンの東隣に位置するムンタイバルバルでもサベグングンと同様に標高1.5 m程度の平地にあった集落は壊滅していた(図-4.6)。ここでは、地上4.4~4.5 mの高さに折れた枝があり(図-4.7)、浸水深4 mをもたらす津波が来襲したと考えられる。浸水した地域には314名が居住しており、死亡35名および行方不明110名であった。

(3) 南バガイ島マラコパ

マラコパは南バガイ島の西海岸の中央部付近にある村であるが、それ以上北側には大きな集落はない。マラコパでは、集落の南側の海岸付近では家屋等が津波により流失していたため(図-4.8)、折れた木枝により津波浸水を把握し、浸水深は3.20~5.52 mであった(図-4.9)。集落の中央部では、JST/JICA チームが調査を実施し、津波により破壊された家屋(図-4.10)に残った水跡を測量し



図-4.8 マラコパにおける被災状況

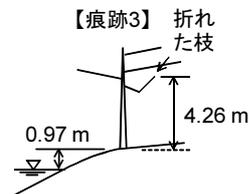
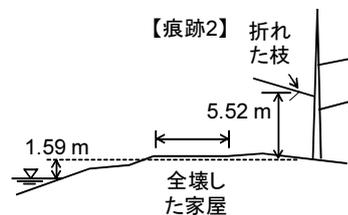


図-4.9 マラコパにおける津波痕跡(痕跡1~3)



図-4.10 マラコパにおける被災家屋

て、1.44～1.70 m の浸水深を得た．そのさらに北側では家屋は完全に残っており，その屋内の壁に地盤上 1.42 m の高さ（浸水深に換算すると 3.62 m）に水跡があった（図-4.11 および 4.12）．これらのことから，1.4 m 程度の浸水深であればレンガ造の家屋には大きな破壊は発生せず，それを超えると被害が生じ始めるという事例を得た．

なお，マラコパの集落の中心部では，2007 年の地震により家屋に大きな被害が発生したため，丘陵地に居住地を移していた．しかしながら，今回の津波によって家屋が流された集落の南側の海岸近くや図-4.11 に写った家屋には，今回の被災時にも住民は居住していた．



図-4.11 マラコパにおける浸水家屋内（痕跡 4）



図-4.12 マラコパにおける浸水家屋内の痕跡（痕跡 4）

(4) 南パガイ島バケ

バケは南パガイ島の西海岸のほぼ中央部にある W 字状の湾の中にある集落である（図-4.13）．ここでは，津波来襲により一度は避難した住民が，オートバイを使って海岸の様子を見に降りてきて，海岸に直結する道路上

をちょうど引き始めた津波をオートバイのライトによって確認した．その位置を測量した結果，遡上高は 1.6 m であった（図-4.14）．図-4.15 は遡上限界位置から海岸線方向を見た状況を映した写真である．写真の左側の樹木の背後，すなわち痕跡を測った地点と海岸の途中にある赤い屋根の家屋には破壊等の損傷は認められず，浸水による水跡も明瞭に確認できなかった．このことから浸水は厳しいものではなかったことが確認できた．

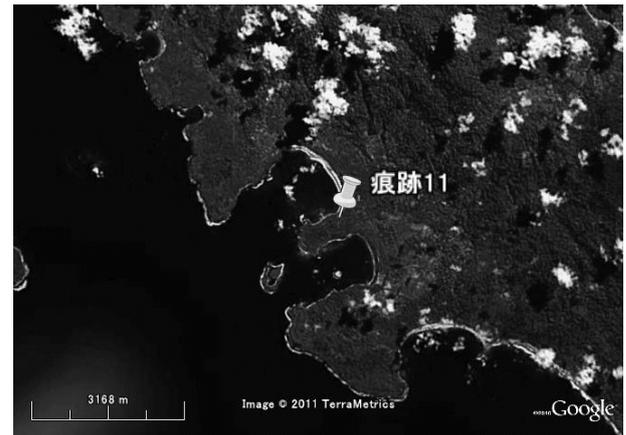


図-4.13 バケ周辺の海岸線（背景図に Google Earth を使用）

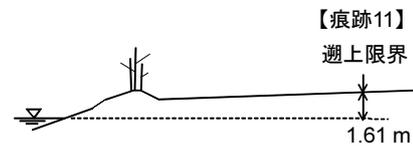


図-4.14 バケにおける津波遡上



図-4.15 バケにおける痕跡 11 から海側の様子

(5) 南パガイ島サウマング

サウマングは，バケよりも約 9 km 南にある集落であ

り、その前面海域には小島がある（図-4.16）。サウマングにおいても建物破壊などの厳しい津波被害は認められず、家屋は健全に残っていた（図-4.17）。ただし、家屋内の壁には水跡が残っており、浸水したことは確実である。その浸水深は0.6～0.8 m であり、浸水高に換算すると2.6～2.7 m であった（図-4.18）。なお、図-4.17の右側に写った家屋の中の壁において痕跡10を測量した。

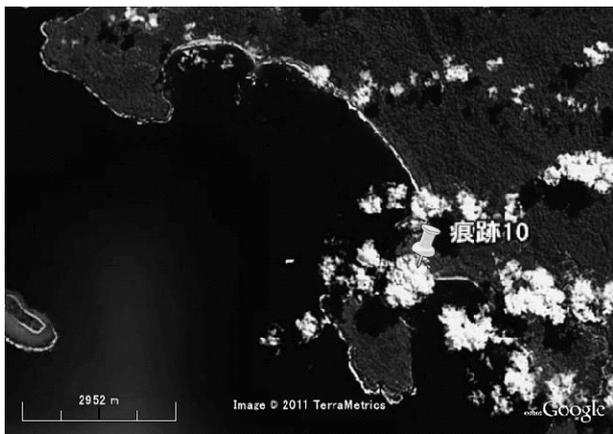


図-4.16 サウマング周辺の海岸線（背景図に Google Earth を使用）



図-4.17 サウマングの被害状況

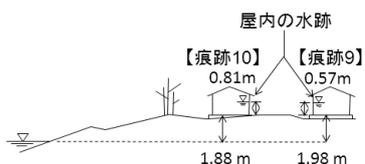


図-4.18 サウマングにおける津波痕跡（痕跡9および10）

5. 住民の避難

各村における避難行動についてヒアリングを行い、それぞれの避難の特徴を検証する。

5.1 ヒアリング方法

各集落では、数人から十数人程度の集まりのなかから1人に代表してインタビューを行い、回答を得た。インタビューした内容は以下の通りである。

質問1：いつごろ津波が来襲したか？

質問2：何回ぐらい、どちらから津波が来たか？どのぐらいの時間差があったか？

質問3：いつ津波から逃げたのか？

質問4：どこに逃げたのか？

質問5：2007年のブンクル地震と比較してどう感じたか？

質問6：津波警報はあったか？

質問7：津波警報がキャンセルされたことを知っていたか？

質問8：避難訓練は行っていたか？

質問9：津波の知識はあったか？どこで知ったか？

5.2 ヒアリング結果および考察

(1) 避難開始

質問3の「いつ津波から逃げたのか？」について、今回調査した集落では、図-5.1に示すように、津波警報を見聞きして逃げた人は皆無であり、津波を認知（津波の来襲音や津波の視認）したことにより逃げた人が多かった。地震の揺れで逃げた人は1人しかいなかった。津波の認知のなかでも津波の来襲音を聞いたことにより逃げた人が多い。これは夜に来襲した津波であったからである。

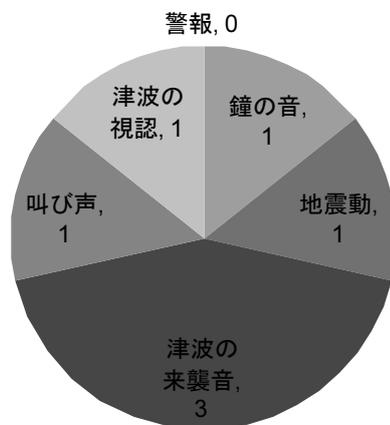


図-5.1 避難開始のタイミング

地震による揺れを切掛けとして逃げた人よりも津波を実際に認識して逃げた人が多い理由には、2007年の地震の影響が大きい。質問5の「2007年のブンクル地震と比較してどう感じたか？」に対する答えでは、全員が、今回の地震は2007年の地震よりも揺れよりも小さかったと答えている。さらに、質問5の補足として聞いた「2007年のブンクル地震の揺れよりも小さかったため津波が来ないと思ったか？」の質問に対して、図-5.2に示すように、ほとんどの人が、「津波が来るとは思わなかった」と答えている。これらのことから、大きな揺れであったが津波を伴わなかった（あるいは小さかった）前回の地震に比べて、今回の地震は揺れが小さいために津波は来ないと判断し、それにより逃げ遅れたことがわかる。

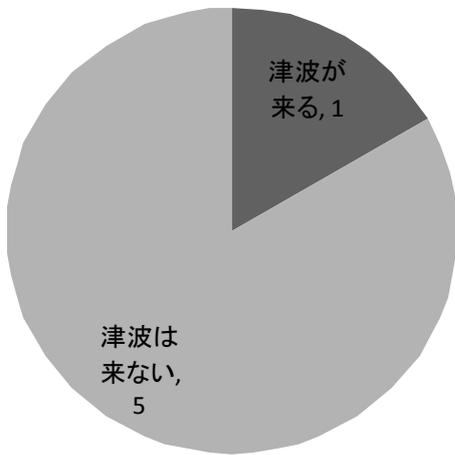


図-5.2 2007年のブンクル地震の揺れよりも小さかったため津波が来ないと思ったか？という質問に対する答え

(2) 死亡率

図-5.3は、Koshimura et al.(2009)が2004年のスマトラ島西方沖地震津波の際に調査した各地区での浸水深と死亡率との関係に、今回の調査結果（図中の●印）を追加したものである。死亡率は、インタビュー時に聞いた津波により浸水した地域の人口を母数としている。

Koshimuraらの結果のばらつきと比較すると、今回の結果は、ばらつきの下部に属した。避難の開始が遅れたにも関わらず、死亡率が低いのは、今回被災したのが島であり、居住地域の背後に小高い丘もしくは山があって、比較的早く高地にたどりつくことができたからと考えられる。これは、ソロモン諸島津波（富田ら、2008）およびサモア諸島津波（有川ら、2010）における住民の避難の実態と同様な傾向である。

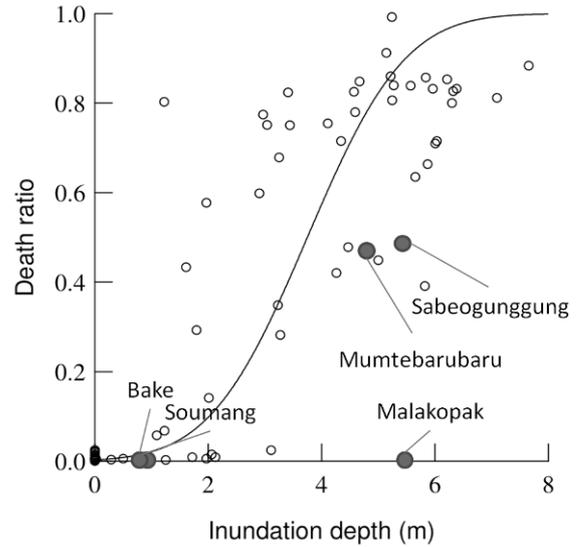


図-5.3 死亡率と浸水深の比較

5.3 各地区での避難事例

(1) 北パガイ島ムンタイバルバル

ムンタイバルバルでは、津波は、海と川とから来襲した。海からの津波来襲に驚いた人々は、海岸部から島の奥に逃げようとした。しかし、その途中にある川にかかった橋が川を遡上した津波により破壊されたため、そこで100名近くの人が流された（図-5.4）。インタビューを受けた男性は橋に近いところの家に居たため、津波が来るまえに橋を渡りきって助かった。

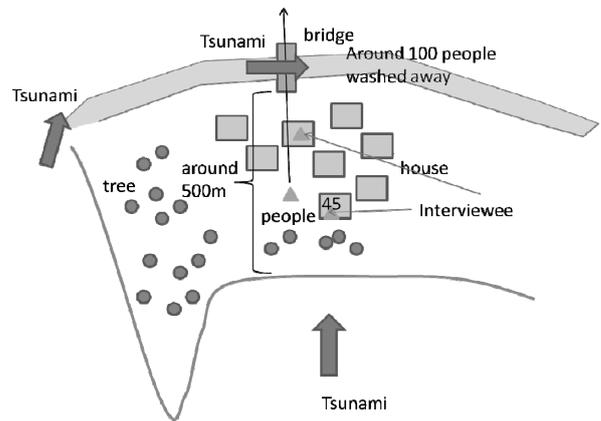


図-5.4 ムンタイバルバルでの津波来襲と避難の様子。

(2) 北パガイ島サベグングン

サベグングンでインタビューを受けた男性は、つぎのように行動している。

- ・ 1番目の地震の揺れのときに、テレビを含め電気を全て切った後に、海の様子を見に行ったところ、穏やかであったため家に戻ってきた。（図-5.5）

- ・ その5分後に2回目の地震が生じた。
- ・ その直後に「津波だ」という叫びを聞いたため、慌てて姪を抱きかかえて逃げようとしたところ、津波にさらわれた。
- ・ 15人家族の彼は、父(60)と兄(36)以外の全家族(親戚含む)を失った。母は50歳、年齢の高い兄や親戚もたくさんいた。

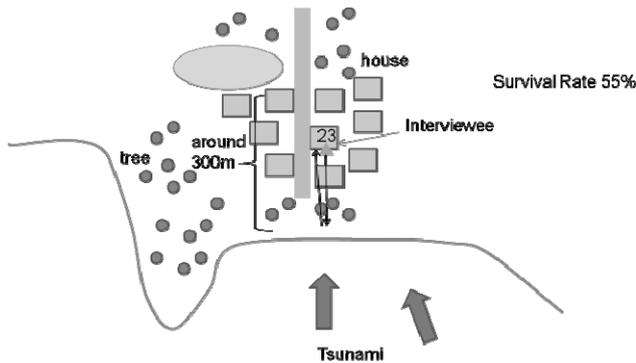


図-5.5 サバグングンでの津波来襲と避難の様子

(3) 南パガイ島バケ

バケでインタビューを受けた男性は、以下のように行動している。

- ・ 寝ていたところ、ゴーゴーと2回くらい飛行機の音に似た音で起きた。
- ・ 教会の鐘が鳴り、「津波」と叫ぶ人がいたので、山のほうへ逃げた。
- ・ 避難してから10分後ぐらいに海の様子をバイクで行ったところ、津波の引くところをバイクの明かりで確認した。

2007年より教会で自主的なのか、ベルを鳴らしたら津波だから逃げなさいという教えを伝えているようである。インタビューを受けた彼はLocal Policyと言っていた。

(4) 南パガイ島マラコバ

マラコバでは、2007年ブンクル地震による地震被害の後、多くの方は住居を高台に移転したために今回の津波被害には遭わなかった。しかし、一部の人は移転せずに海岸部に居住しており、今回の津波の被害に遭った。

海岸部に住むラミという青年にインタビューしたところ、津波来襲時に彼がいち早く津波の音に気付いて周囲に知らせたため、約300人の住人全てが避難して命をとりとめ、けが人さえも2名に留まったとのことであった。

彼は、午後9時半頃に発生した地震が2007年の地震よりも揺れが小さかったため、津波は来ないと思っていた。そして、玄関前に置いたボートを見るために外に出たところ、海の方から、ゴーというエンジン音のような音が

聞こえた。そのときに、彼は津波が来ると瞬時に思った。その瞬間「おーい、津波が来るぞー」「Takap Kalaleo (Mentawai語で津波を意味する)」と言いながら、集落の奥にある小山に走って避難した。

彼の家は、南に開いた湾の南の岬に位置し、集落の中では最も南側に位置していたため、彼が叫んで逃げることによって、およそ50軒の家に住んでいた300人近い人々はその叫び声を聞いて一斉に逃げ始めた。それによって、全員一命をとりとめた。2名のけが人は、集落のなかでは湾奥の海側に住んでいたため、湾内を来襲した津波に襲われたと思われる。

なお、彼の居住していた地区では、第4.2節(3)に記述したように、浸水深が5m程度に達したので、レンガ造の家屋はすべて破壊されていた。

6. 津波の数値計算

津波の伝播特性の概略を把握するため、数値計算を実施した。ここでは、検潮記録などを使用して津波波源を逆解析することは行わずに、地震波解析によって得られた震源モデルに基づいて断層パラメータを推定し、その断層により生じる海底地形変化と同様の海面水位変動を津波の初期水位分布として津波の伝播計算を行った。さらに、2007年ブンクル地震津波と今回の津波の違いを検討するため、2007年の津波についても数値計算を行った。

6.1 計算モデルおよび計算条件

(1) 計算モデル

今回の計算で使用した数値計算モデルはSTOC(高潮津波シミュレーター)である(富田・柿沼, 2005)。STOCの支配方程式は3次元レイノルズ方程式であり、3次元的海水流動を再現することが可能である。しかし、今回の計算では、大洋を伝播して海岸付近に到達する津波の計算を目的としたので、既往の研究においてそのような計算に対しては良い近似と言われている静水圧近似を使用し、さらに地球の球面効果を考慮する球面座標系とコリオリ力が考慮されているモデルSTOC-SPを使用した。このモデルは、海底から海表面までを多層に分割して3次元的海水流動を考慮できるが、今回の計算では海底から海水面までを1層として扱った。

(2) 計算条件

計算領域は、ムンタワイ諸島、スマトラ島、津波観測記録のあるココス島を含む、東西方向に東経94°から東経111°まで、南北方向に南緯15°から北緯5°までを対象とした(図-6.1)。水深および地形データには、全球を

30 秒 (約 900m) の格子間隔でカバーする GEBCO_08 (英国水路データセンター, BODC⁷) を使用し, 空間格子サイズも 30 秒とした. なお, 北パガイ島と南パガイ島は, 実際は陸続きではないが, 本研究で使用した地形データでは陸続きとなっている.

この地形データでは, 陸上の複雑な地形を考慮することができないので, 今回の計算では陸上における遡上・浸水計算を行わずに, 海岸線において完全反射を仮定した.

時間ステップは, 計算の安定性を満たすために, CFL 条件から 1 秒に定めた. 全計算時間は, 計算領域内に津波が十分伝播するよう, 地震発生から 3 時間とした.

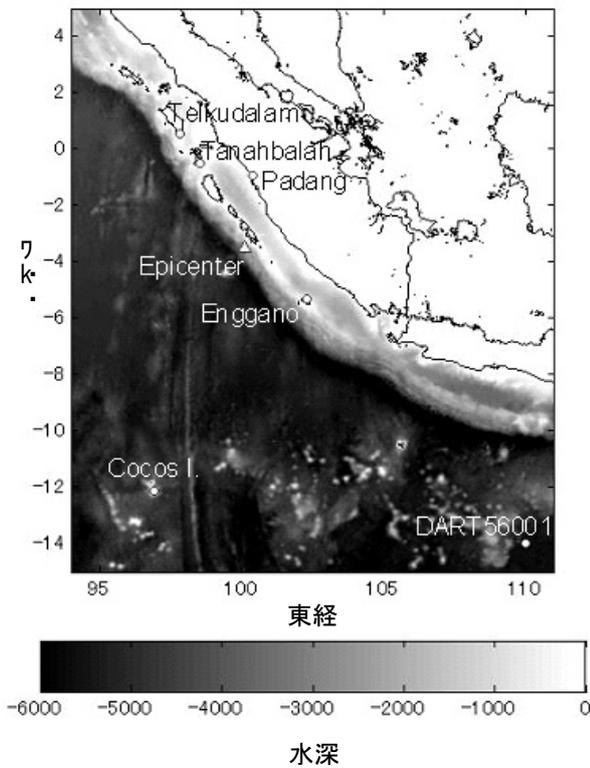


図-6.1 計算領域の水深分布 (○印は津波を観測した地点, △印は震央位置)

(3) 断層モデル

計算では, 地震波の解析によって推定された震源メカニズム (名古屋大学地震火山・防災研究センターによる NGY 地震学ノート No. 31⁸) に基づき, 表-6.1 に示す断層パラメータを設定した. そして, Mansinha and Smylie

⁷ https://www.bodc.ac.uk/data/online_delivery/gebco/

⁸ http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2010/NGY31.html

(1971) の方法により, 断層パラメータから地殻変動量を計算して, 図-6.2 に示す地殻変動分布を得た. その変位量を海水面に投影させることにより津波の初期水位分布を求めた.

計算によると, 今回の地震による地殻変動は, 隆起量の最大値が 1.33m, 沈降量の最大値が 0.71m である. これらの値はインド洋の海底で発生している. 北パガイ島および南パガイ島では, とくにインド洋側で陸域が 10cm 沈降する結果となった.

表-6.1 断層パラメータ

地震発生時刻 (UTC)	2010 年 10 月 25 日 14 時 42 分
震源位置	南緯 3.484° 東経 100.114° 深さ 20 km
断層面基準点	南緯 4.059° 東経 99.923° 深さ 9.6 km
走向	315°
傾斜角	10°
すべり角	98°
断層長さ, 幅	105 km × 60 km
すべり量	3.46 m
地震モーメント	0.615×10^{21} Nm
モーメントマグニチュード	7.79

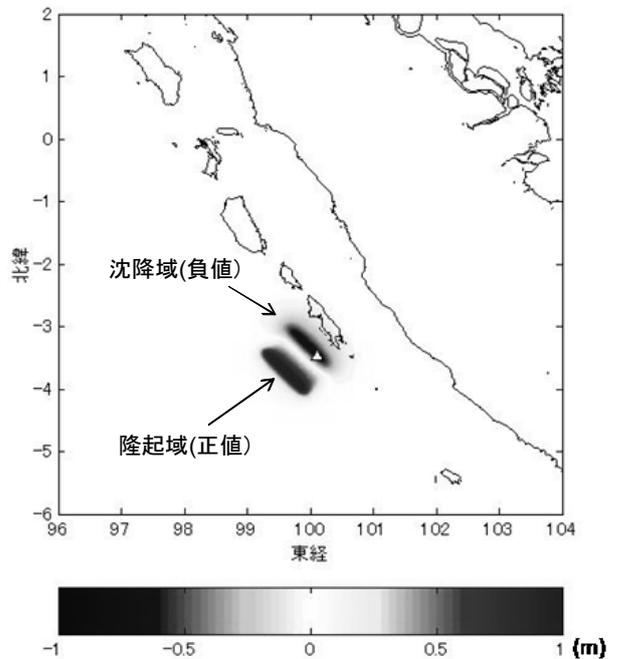


図-6.2 計算された地殻変動量 (△印は震央位置)

6.2 計算結果および考察

(1) 検潮所等における津波観測値と計算結果の比較

計算から得られた津波の結果を検潮所等における観測記録により検証する。使用した観測記録は、図-6.1に示す5ヶ所の検潮所と1ヶ所の沖合津波観測点において観測された津波である。

表-6.2に、津波到達時間および最大津波高に関する計算値と観測値との比較を示す。ここに、津波到達時間とは、地震発生時刻を基準(0:00)にして、その時刻から津波により海面水位が最初に変化し始めた時刻までの時間である。数値計算結果の場合、検潮所の位置では水位が1cm上昇あるいは下降したときに津波到達とした、DART ブイ 56001 の位置では最大水位変動が1cm程度であるからDART ブイ 56001 に関しては1mmの水位上昇があったときに津波到達とした。一方、観測値は第3章において示したWC/ATWCにより公表されている値(表-3.2参照)である。さらに、図-6.3に、第3章で示した、パダン、ココス島およびDART ブイ 56001 において観測された津波波形と計算から得られた津波波形の比較結果を示す。

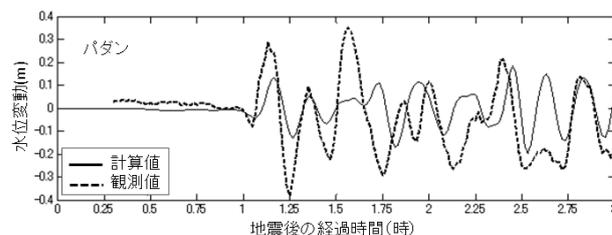
津波到達時間においては、タナバラ(Tanahbalah)を除いて計算値と観測値は4分以内の誤差に収まっており、誤差は小さい。タナバラでは、観測値よりも計算値が9分早く津波が到達しているが、後で詳述する津波到達時間の特性に示すように、この場所に到達する津波は波源域からインド洋を伝わってくるので、タナバラよりもさらに遠くに位置するテルクダム(Telukudalam)よりは早く到達するという物理的な整合性はとれている。誤差が出現した理由には、今回計算で使用した水深データには含まれていない水深の浅い海域がタナバラの前面に局部的にある可能性が考えられる。

津波初動に関しては、図-6.3に示すように、パダンでは引き波であり、ココス島やDART ブイ 56001 では押し波である。これらは、観測波形と一致している。

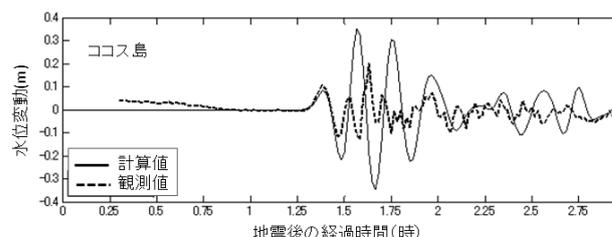
最大津波高においても、表-6.2に示したように到達時間に比べると誤差は大きい。一般に、検潮所で観測された津波高は、検潮井戸の特性(谷本ら, 1983)、検潮所のある港湾における防波堤などによる津波遮蔽効果(富田ら, 2005)等により小さくなるが、その特性を考慮していない計算値の方が観測値よりも小さくなっている。さらに、津波波形を直接的に観測していると考えられるDART ブイの波形(図-6.3(c))においても計算値が小さくなっている。津波到達時間が観測値とほぼ合っていることから、計算に使用した津波の波源域の位置や広がり方には大きな誤差が無いと考えられるので、津波高が観

表-6.2 計算結果と観測値の比較

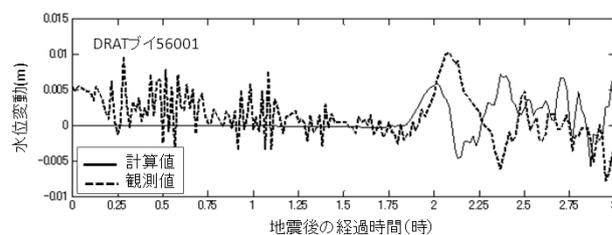
観測点名称	計算値		観測値	
	津波到達時間	最大津波高(m)	津波到達時間	最大津波高(m)
Telukudalam	0:55	0.10	0:53	0.16
Tanahbalah	0:48	0.20	0:57	0.25
Padang	0:59	0.19	0:58	0.35
Enggano	0:38	0.33	0:37	0.22
Cocos I.	1:19	0.36	1:15	0.20
DART56001	1:53	0.007	1:56	0.010



(a) パダン



(b) ココス島



(c) DART ブイ 56001

図-6.3 計算結果と観測値における津波波形の比較

測値に比べて小さくなったのは、断層のすべり量が不足したこと、あるいはすべり量には大きな誤差がない代わりに断層周りの付加帯に大きな変位が発生したこと等の原因により津波の初期水位分布の高さを過小評価したことによる可能性がある。

また、図-6.3において第2波目以降において計算波形が観測波形と不一致なことに関しては、初期水分布の問題に加えて、第2波以降の津波は陸域からの反射波の影響を受けているので、検潮所のある港湾などにおいて詳

細な地形を考慮していない今回の計算では、陸域からの反射波を十分再現できない可能性が高いという課題もある。

(2) 津波到達時間

津波到達時間の計算結果を図-6.4に示す。図-6.5には、南パガイ島の南端、北パガイ島の北端、シボラ島のほぼ中央部、さらにシボラ島の北に位置するシベル島のほぼ中央部におけるインド洋側の津波波形の計算結果を示す。

震源近傍に位置する、北パガイ島と南パガイ島の全域において、地震発生から10分以内に第1波の引き波が到

達している。北パガイ島よりも北では、シボラ島に地震発生から20分程度で津波が到達する。津波の初動に着目すると、南パガイ島、北パガイ島およびシボラ島までは第1波が引き波であるが、それよりも北に位置するシベル島、さらにその北では、第1波が押し波である。これは、波源域の西側で隆起した津波の初期水位分布による押し波が水深の深い海域を速い速度で伝播してくるためである。

また、スマトラ島沿岸では、早い地点で地震発生から30分程度で津波は到達し、パダンやブンクルにも地震発生後1時間程度で津波が到達する。なお、パダンには、ムンタワイ諸島の島嶼間を伝播する引き波が第1波として到達するが、ブンクルの第1波は押し波である。これは、波源域の西側の押し波成分が水深の深い海域を速い速度で伝播してくるためである。

なお、第1波目の押し波の最大水位の到達時刻に着目すると、図-6.5より南北のパガイ島には地震後15~20分で最初の押し波の最大水位が到達している。前述した検潮記録との比較から南北のパガイ島に近いパダンやエンガノ(Enggano)では津波到達時間に関する誤差が1分程度あることを考慮しても、実際現象として地震後20分程度で最初の押し波が沿岸に到達したと思われる。

(3) 最大津波高

最大津波高に関する計算結果を図-6.6に示す。同図によると、南パガイ島のインド洋側で、平均的には2~3m

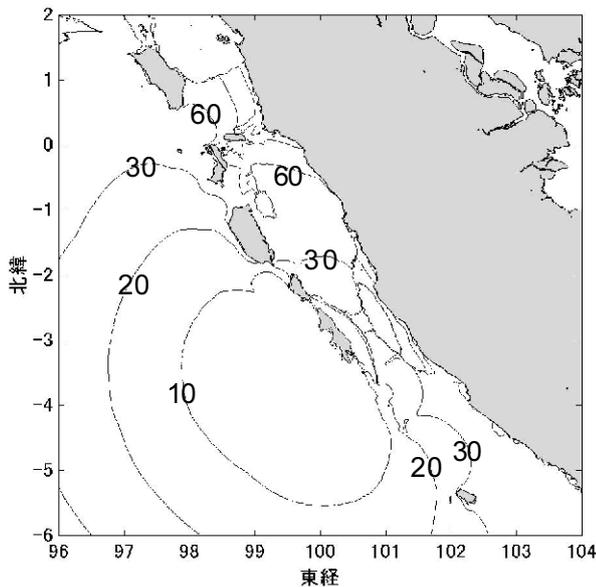


図-6.4 津波到達時刻の計算結果

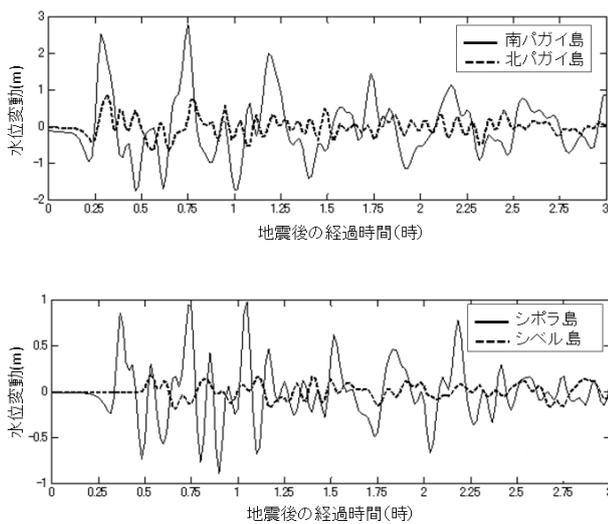


図-6.5 北パガイ島、南パガイ島、シボラ島およびシベル島の津波波形の計算結果

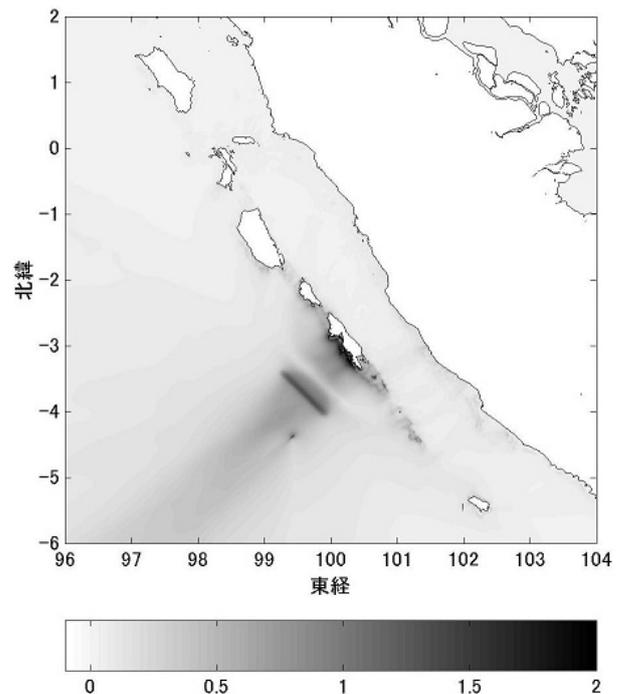
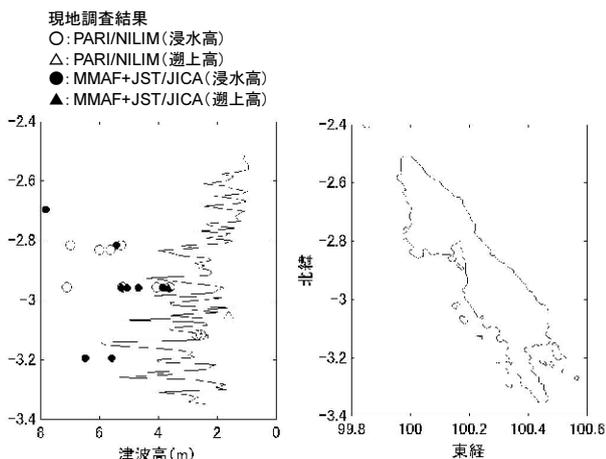


図-6.6 最大津波高の計算結果

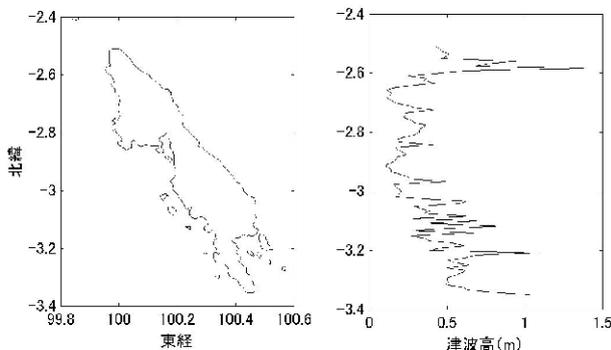
と最も津波が大きく、最大値は 6.0 m に達している。一方、両島のスマトラ島側では数 10 cm の津波高である。また、シボラ島南部では 1 m 程度の高さの津波であり、北パガイ島から北に進むにつれて津波高が減じている。パダンからブンクルに至るスマトラ島沿岸の津波高も 0.5 m 程度である。これらの結果は、津波のエネルギーが波源域の真正面に位置する北パガイ島と南パガイ島のインド洋側に集中していることを意味している。このような計算結果の特徴は、実際の被害状況と一致するものである。

前述の議論において、計算では津波の初期水位分布の高さを過小評価した危険性があるが、最大津波高の空間分布を把握するために、北パガイ島と南パガイ島のインド洋側沿岸（西岸）とスマトラ側沿岸（東岸）の最大津波高の計算結果を図-6.7 に示す。図中には参考として現地観測により得られた浸水高および遡上高（図-4.2 参照）を併記している。

南北のパガイ島のインド洋側の津波高分布に着目する



(a) インド洋側の分布



(b) スマトラ島側の分布

図-6.7 北パガイ島および南パガイ島における最大津波高の計算結果

と、南パガイ島の中部より若干南の南緯 3.1~3.3° 付近で高い津波となっており、変動しながら北に向かって低くなる傾向が認められる。現地調査では、限られた地点の測量結果ではあるが、第 4 章で示したように北パガイ島においても平均的に 6 m の津波が来襲したと考えられるので、計算は実際の津波よりも津波高を低く評価している。

また、南パガイ島の計算結果には局所的に津波の増大や減少が認められる。現地調査でもマラコパ（南緯 3.0° 付近：図中では負値で表示）やブラサット（南緯 3.2° 付近）では痕跡高は高く、一方、バケ（南緯 3.1° 付近）やサウマング（南緯 3.2° 付近）では低い痕跡高であったように海岸線に沿って一様でない最大津波高の分布となっている。そのような傾向は一致しているが、計算で高い痕跡高を再現することはできていない。この差異には、前述したように海岸線の再現性に関する課題、波源域に関する課題が挙げられる。

図-6.7(b)に示したように、北パガイ島の北端ではスマトラ側でも 1.5 m 程度の高さの津波が計算されている。ここは、波源域から見て北パガイ島の島陰に位置する地点であるが、回折により津波が来襲したことを示唆するものである。現地調査においても、MMAF チームが北パガイ島北端のスマトラ島側に位置するバサブアトで比較的高い浸水高 2.53 m を測定しており、値は異なるが回折があったことは確かなことである。

(4) 2007 年ブンクル地震津波との比較

2007 年ブンクル地震津波との比較を行った。この津波を計算するための断層モデルについても、2010 年の津波と同様に、名古屋大学地震火山・防災研究センターによる震源メカニズム (NGY 地震学ノート No. 4⁹) に基づいて、断層パラメータを表-6.3 のように設定した。これらの断層パラメータから計算された地殻変動量を図-6.8 に示す。

表-6.3 2007 年ブンクル地震の断層パラメータ

地震発生時刻 (UTC)	2007 年 9 月 12 日 11 時 10 分
震源位置	南緯 4.517° 東経 101.382° 深さ 30 km
断层面基準点	南緯 4.866° 東経 101.177° 深さ 19.6 km
走向	327°
傾斜角	15°

⁹

http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/2007/NGY4.html

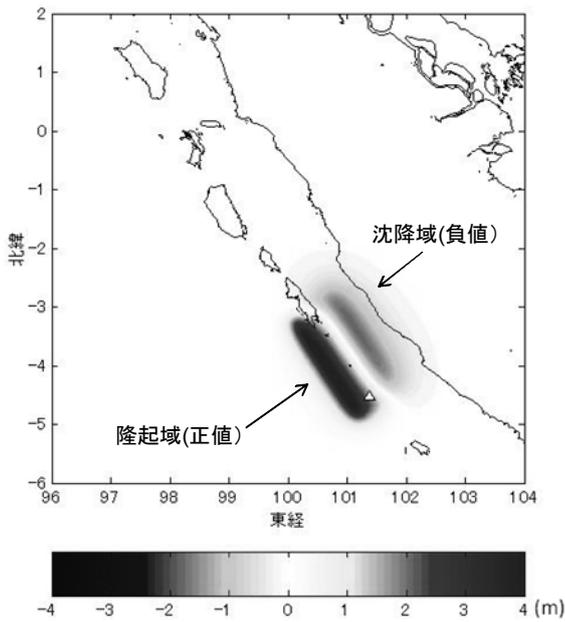


図-6.8 2007年ブンクル地震による地殻変動量 (△印は震央位置)

すべり角	109°
断層長さ、幅	220 km×80 km
すべり量	11.5 m
地震モーメント	0.572×10^{22} Nm
モーメントマグニチュード	8.44

2007年ブンクル地震による地殻変動量は、隆起量の最大値が4.34m、沈降量の最大値が1.81mであり、図-6.2に示した2010年ムンタワイ地震によるものよりも大きく変動するとともに広い範囲で隆起・沈降が発生する。また、2010年ムンタワイ地震の時には沈降域であった南パガイ島の南部は2mの隆起となっている。このように、2つの地震は、それぞれ発生場所や地震エネルギーが異なるので、陸域の隆起・沈降の様子に違いが認められる。

この差異に対応して南パガイ島や北パガイ島などに来襲する津波の様子も異なっている。図-6.9は、2007年ブンクル地震による津波の最大津波高分布を示したものである。2010年津波の最大津波高分布を示した図-6.6と比較したときの最も大きな差異は、2007年の津波ではスマトラ島沿岸のパダンからブンクルにかけて津波高が2~4mと高いことである。2010年の津波に比べて、2007年の津波の方がスマトラ島西岸で高くなるのは、2007年の津波では津波波源とスマトラ島の間にある南北のパガイ島により津波エネルギーが遮蔽されることなく、スマトラ島沿岸に直接伝播したためと考えられる。

2007年津波による被害についてPARIとMMAFが合同で実施した現地調査によると、スマトラ島西岸のパダンからブンクルの間にある、セランガイからパンタイインダの間の約130kmの範囲では満潮と重なったこともあって浸水被害が発生した。そのときに測量された津波浸水高は2~3mであった(図-6.10)。この現地調査結果と今回の計算結果を比較すると、計算結果の方が津波高は高くなっている。

南北のパガイ島に着目すると、南パガイ島の南端において2007年の津波が3~5mの高さとなったこと以外は、2010年の津波および2007年の津波ともに2~4mの津波高となっている。ただし、第5章に示した住民へのインタビューによると、2007年の地震の時には津波は無かったと証言していることとは、この計算結果は異なる。断層パラメータを含めて再検討する必要がある。

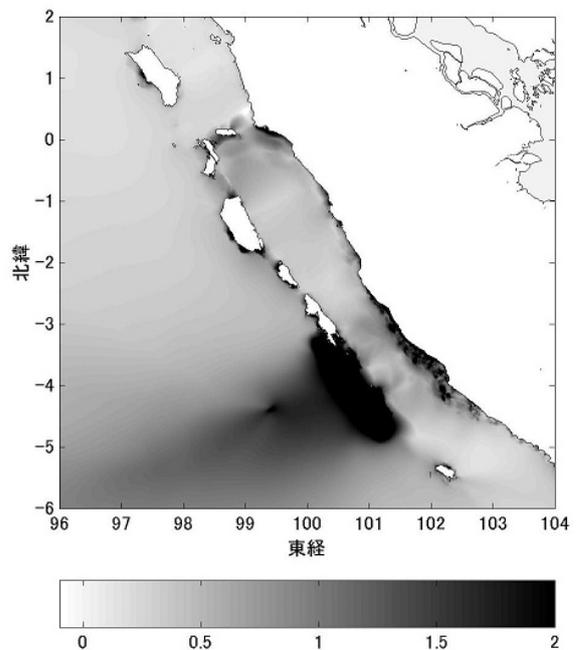


図-6.9 2007年津波の最大津波高の計算結果

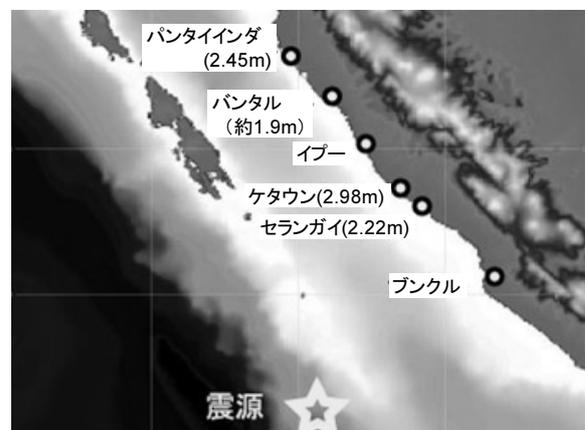


図-6.10 2007年津波による津波浸水高の現地調査結果

7. まとめ

主要な結論は以下のとおりである。

- 1) 現地調査により、北パガイ島や南パガイ島には平均的に約6 m の津波が来襲したことが判明した。ただし、局所的な陸上や海底地形の影響により、北パガイ島のマラコバ、セバグングンおよびマゴイルでは7~8 m の津波が来襲した。
- 2) 浸水深が1.4 m の場所ではレンガ造の家屋は破壊されることはなかったが、3.3 m 以上の浸水深の場所では家屋は大破した。
- 3) 津波来襲を察知して逃げた人が他の人にも危険性を伝えながら逃げることににより、集落全員が助かるという事例が認められた。地震後数分で津波が来襲するような近地地震では、瞬時に津波来襲を察知するための技術、その情報伝達について効果的な方法を検討することが重要である。
- 4) 避難路の検討により、迅速かつ安全な避難が困難な場合には避難場所の適正な配置について検討する必要がある。
- 5) 2007年ブンクル地震と比べて今回の地震が小さかったことから津波の来襲はないと考えて避難が遅れた事例があったことが明らかになった。インドネシアのように津波に関する知識を持っている人が、既往の経験や知識を悪影響ではなくより一層活用できるように防災教育を進める必要がある。
- 6) 地震波の解析に基づいた断層モデルを使った津波の数値計算を実施した。その結果は、津波高を若干過小評価したが、津波の到達時刻や引き波初動や押し波初動を再現することができた。ただし、最大津波高を含め第2波以降の津波の精度向上にはより細かな計算格子による計算、さらに津波の波源域の推定に関する再検討が必要である。

8. あとがき

2010年ムンタワイ地震津波で被災した地域は、中央政府がある場所から離れた島嶼部であった。さらに、その島嶼部のなかでも漁港が整備されているような中心的な町ではなく村であった。そのような場所では、災害時に中央政府等とのコミュニケーションがとり難くなる危険性があり、それにより被災状況の把握が遅れ、救援も遅れる危険性がある。このため、コミュニケーションツールを整備することが重要である。

さらに、今回の被災地では大型車によって物資を輸送



図-8.1 小型船舶による食料等緊急物資の輸送

するような道路はないので、物資輸送をヘリコプターによる航空輸送や海上輸送に頼っていた。しかし、津波により栈橋等が破壊されている集落には、喫水の深い大型船舶は着岸できないので、沖合で大型船から小型船に物資を積みかえる、あるいは元から小型船で物資輸送を行う(図-8.1)などをしなければならない状況であった。小型船舶は波浪の影響を受けやすいので、海面が比較的静穏でない物資輸送が不可能である。とくに今回被災した時期は雨期の始めの頃であり、海は比較的荒れやすい状況であったので、物資輸送も限定的であった。このような状況を鑑みると、被災後の速やかな救援や復旧のために港と道路の整備の重要性が指摘できる。

さらに、インドネシア国民は、2004年スマトラ島沖地震による津波大災害やその後の2006年ジャワ島地震津波などを経験しており、津波に対する意識は高い。しかし、現地調査で明らかにしたように、今回の地震では、津波がなかった前回の大地震に比べると揺れが小さいので津波は来ないと思って、避難が遅れた。今後、地震による津波発生のメカニズム等も合わせて、住民への地震・津波防災教育を引き続き充実していくことが重要である。

(2011年1月25日受付)

謝辞

今回の現地調査を実施するに当たり、インドネシア海洋水産省などインドネシア関係機関、独立行政法人国際協力機構(JICA)および国土交通省港湾局の多くの方々にお世話になりました。とくに、海洋水産省には、MMAF チームによって得られたデータの共有に加えて、パダンからシカカップまでの移動手段、シカカップにおける宿泊施設の提供。現地調査終了後には海洋水産大臣を交えて記者発表をする機会を与えて頂いたなど多大な協力を

得ました。また、JST/JICAチームの松富英夫先生および原田賢治先生には、データを共有させていただきました。ここに深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 有川太郎・辰巳大介・松崎義孝・富田孝史 (2010) : 2009年サモア諸島津波の現地調査, 港空研資料, No. 1211, 26 p.
- 辰巳大介・藤間功司・Subandono Diposaptono・富田孝史・高橋重雄 (2007) : 2006年ジャワ島津波の現地被害調査報告, 港空研資料, No. 1157, 37 p.
- 谷本勝利・高山知司・村上和男・村田繁・鶴谷広一・高橋重雄・森川雅行・吉本靖俊・中野晋(1983) : 1983年日本海中部地震津波の実態と二・三の考察, 港湾技研資料, No. 470, 299 p.
- 富田孝史・有川太郎・辰巳大介・本多和彦・東野洋司・渡辺一也 (2008) : 2007年ソロモン諸島津波の現地調査報告, 港空研資料, No. 1179, 41 p.
- 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ターSTOCの開発と津波解析への適用, 港空研報告, 第44巻, 第2号,

pp. 83-98.

- 富田孝史・本多和彦・菅野高弘・有川太郎 (2005) : インド洋津波によるスリランカ, モルディブ, インドネシアの被害現地調査報告と数値解析, 港空研資料, No. 1110, 36 p.
- Koshimura, S., T. Oie, H. Yanagisawa and F. Imamura (2009): Development Fragility Functions for Tsunami Damage Estimation Using Numerical Model and Post-Tsunami Data from Banda Aceh, Indonesia, Coastal Engineering Journal, Vol. 51, Issue 3, pp. 243-273.
- Mansinha, L. and D. E. Smylie (1971): The Displacement Fields of Inclined Faults, Bull. Seismological Society of America, Vol. 61, No. 5, pp. 1433-1440.
- Matsumoto, K., T. Takanezawa, and M. Ooe (2000): Ocean Tide Models Developed by Assimilating TOPEX/POSEIDON Altimeter Data into Hydrodynamical Model: A Global Model and a Regional Model around Japan, Journal of Oceanography, Vol.56, pp.567-581 (なお潮汐予測システム NAO.99b のプログラムは, <http://www.miz.nao.ac.jp/staffs/nao99/index.html> から入手) .

付録 津波痕跡高の測量結果

番号	地名	調査地点	緯度	経度	潮位補正前の計測高 (m)	官報からの距離 (m)	浸水深 (0.5m以上) 高さ (m)	痕跡の説明	メモ	信頼度	計測日時	津波到達日時	計測時の天文潮位 (m)	津波到達時の天文潮位 (m)	浸水深 (m)	地盤高 (m)	潮位補正後の浸水深 (0.5m以上) 高さ (m)	調査者	浸水深の最も大なる距離 (m)	第一波が押し渡した引張波 (Down)	浸水深の周期 (min)	人的被害 (行方不明者を含む) (人)	その他の情報
1	南ハガイ島	マアコバ	S 2°57' 25.0"	E 100°11' 13.3"	4.52		I	立ち木の折れた枝		A	2010/11/6 13:15	2010/10/25 22:00	-0.24	0.22	3.20	1.08	4.06	T. Tomita, T. Ashikawa and K. Kumagai					
2	南ハガイ島	マアコバ	S 2°57' 28.3"	E 100°11' 19.3"	7.46		I	立ち木の折れた枝		A	2010/11/6 13:45	2010/10/25 22:00	-0.13	0.22	5.52	1.81	7.11	T. Tomita, T. Ashikawa and K. Kumagai					
3	南ハガイ島	マアコバ	S 2°57' 23.7"	E 100°11' 22.5"	5.46		I	立ち木の折れた枝		A	2010/11/6 14:10	2010/10/25 22:00	-0.01	0.22	5.26	0.19	5.23	T. Tomita, T. Ashikawa and K. Kumagai					
4	南ハガイ島	マアコバ	S 2°57' 27.3"	E 100°11' 38.1"	3.45		I	健物の水跡		A	2010/11/6 15:50	2010/10/25 22:00	0.39	0.22	1.42	2.42	3.62	T. Tomita, T. Ashikawa and K. Kumagai					
5	北ハガイ島	ムンクアイスレル	S 2°49' 51.4"	E 100°5' 41.7"	6.26		I	立ち木の折れた枝		A	2010/11/7 9:00	2010/10/25 22:00	-0.04	0.22	4.52	1.70	6.00	T. Tomita, T. Ashikawa and K. Kumagai				145/ including 110 missing	集落の人口は314人
6	北ハガイ島	ムンクアイスレル	S 2°49' 51.7"	E 100°5' 41.2"	5.88		I	立ち木の折れた枝		A	2010/11/7 9:00	2010/10/25 22:00	-0.04	0.22	4.40	1.44	5.62	T. Tomita, T. Ashikawa and K. Kumagai					"
7	北ハガイ島	サブクワンク	S 2°48' 59.3"	E 100°3' 25.8"	5.88		I	立ち木の折れた枝		A	2010/11/7 11:05	2010/10/25 22:00	-0.39	0.22	3.28	2.21	5.27	T. Tomita, T. Ashikawa and K. Kumagai				120	集落の人口は286人 (被害率45%)
8	北ハガイ島	サブクワンク	S 2°48' 57.3"	E 100°3' 23.0"	7.59		I	立ち木の折れた枝		A	2010/11/7 11:05	2010/10/25 22:00	-0.39	0.22	5.65	1.55	6.98	T. Tomita, T. Ashikawa and K. Kumagai					"
9	北ハガイ島	サウマング	S 3°6' 59.7"	E 100°18' 48.6"	3.17		I	健物の水跡		A	2010/11/8 13:35	2010/10/25 22:00	-0.40	0.22	0.57	2.20	2.55	T. Tomita, T. Ashikawa and K. Kumagai					
10	北ハガイ島	サウマング	S 3°6' 59.3"	E 100°18' 47.2"	3.31		I	健物の水跡		A	2010/11/8 13:35	2010/10/25 22:00	-0.40	0.22	0.81	2.10	2.69	T. Tomita, T. Ashikawa and K. Kumagai					
11	北ハガイ島	バケ	S 3°3' 24.5"	E 100°15' 27.0"	1.98		R	目撃証言	いっぺん正設地に避難した人が津波の様子を見に帰ってきると見られた場所を記憶	A	2010/11/8 15:10	2010/10/25 22:00	-0.15	0.22	0.00	1.83	1.61	T. Tomita, T. Ashikawa and K. Kumagai					

・このデータは、PARUNILIMチームにより実施された現地調査から得られたものである。

・この表は、痕跡高の計測結果をIUGG Tsunami Comditionが規定したフォーマットで整理したものである。

・表中の「潮位補正前の計測高」は調査時の天文潮位から計測した痕跡高であり、津波到達時の天文潮位へ補正する前の値である。また、「計測時の天文潮位」、「津波到達時の天文潮位」及び「地盤高」は平均海面を基準とした高さである。「浸水深」及び「潮上高」は津波到達時の天文潮位を基準とした高さである。

・「信頼度」はA～Dまでの4段階に分類され、それぞれ次のとおり定義される。信頼度A：痕跡が明瞭で測定誤差が小さい。信頼度B：痕跡は不明だが聞き込みや周囲の状況などから信頼ある水位を知ることができ、測定誤差が小さい。信頼度C：砂浜などで異常に波が這い上がったと考えらる、あるいは痕跡が海辺から離れていて測定誤差が大きい。信頼度D：高潮、高波等の影響で痕跡が重複し不明瞭

港湾空港技術研究所資料 No.1235

2011.6

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社 大應

Copyright © (2011) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。