

2004年スマトラ沖地震津波のインドネシア・バンダアチェ被害調査

柴山知也*・岡安章夫**・佐々木 淳***・鈴木崇之****・松丸 亮*****
Masimin*****・Zouhrawaty A. Ariff*****

2004年12月26日に発生したスマトラ沖地震津波による被害調査をスマトラ島北端, バンダアチェ付近で行った。Rhiting は外洋に突き出した半島に位置しており, 2つの小山の鞍部を津波が乗り越えていた。ここでは局所的な地形及び急峻な海底勾配などの諸条件が重なり, 48.9 m という津波痕跡高を計測した。Lepung では海岸線から山崖までのおよそ900 m に渡る平地が荒野と化し, 山崖で計測した津波痕跡高は18.7 m であった。また, 津波による海岸侵食が各地で発生していた。災害による被害の度合いは各地域の地形的・社会的特性に依存していた。スリランカ南部調査との比較も踏まえ, それぞれの地域に適した防災対策を進める上での知見を得た。

1. はじめに

2004年12月26日インドネシア, スマトラ島東部沖でマグニチュード9.0の大地震が発生し(図-1), それに伴う津波によりインドネシアやスリランカ, インドなど12カ国で死者と行方不明者は約31万人を超えた(読売新聞, 2005年4月13日朝刊)。津波はインドネシア周辺国を始めインド洋に面する各国, さらに南極, 日本においても記録された。特に, インド洋に面する多くの国々においては地震が感知されずに津波が来襲したため, 無防備だった多くの人命が奪われた。世界各国はこの災害に対して復旧や援助に尽力し, また, 被災の調査(例えば, インド洋地震津波災害調査研究グループ, 2005-5-10参照)や地震メカニズムの解明, さらにインド洋津波警報ネットワークの構築などが各国の研究者や政府によって進められている。

今回の地震津波で被害がもっとも深刻であったインドネシア, バンダアチェが位置するスマトラ島北部ナンゲロアチェ・ダルサラム州(以下アチェ州)では, 1976年以来インドネシアからの分離独立を求める自由アチェ運動とインドネシア国軍との間で長く紛争状態にあった。地震と津波の発生以来, 国内外から軍や民間の救援チームが入り外部に開かれた状態になったが, 外国軍部隊撤退後は国連機関や外国 NGO が支援活動の主体となっている。しかし, インドネシア政府はこれら外国 NGO を選別し, 一部のみがアチェでの活動を認めることにした。

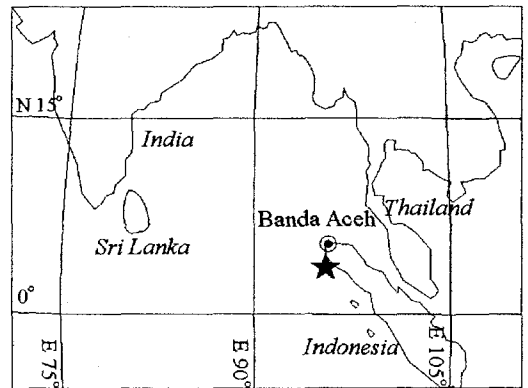


図-1 スマトラ沖地震の震源地

また, 復興活動はインドネシア政府が策定する復興計画を基にインドネシア当局の主導で行われる方針も出されている(山本ら, 2005-5-10参照)。

本研究では, スマトラ沖地震津波で甚大な被害を被ったスマトラ島北端部, バンダアチェ周辺における津波痕跡高および海岸侵食被害の調査を行った。インドネシア国軍による周辺地域への立ち入り制限のため, 調査範囲は限られたものとならざるを得なかったが, この調査結果を基に, 局所的な地形条件による津波の挙動とその被害を考察し, 各地域に適した防災対策を進める上での有用な知見の提供を目的とした。また, 著者らが別途行ったスリランカ南部調査(柴山ら, 2005)とも比較し, 2つの異なる地域の津波被害を対照した検討も行った。

2. 現地調査

(1) 調査の概要

調査は地震発生より2ヶ月弱が経過した2005年2月12日から14日の3日間, インドネシア・スマトラ島北端部, バンダアチェおよびアチェ州西海岸のアチェブサル県で行った。

以下に調査日程を簡潔に示す。2月11日に成田より出

* フェロー	工博	横浜国立大学教授	大学院工学研究院システムの創生部門
** 正会員	工博	東京海洋大学教授	海洋科学部海洋環境学科
*** 正会員	博(工)	横浜国立大学助教授	大学院工学研究院システムの創生部門
**** 正会員	博(工)	(独法)港湾空港技術研究所	海洋・水工部漂砂研究室研究官
***** 正会員	修(工)	(株)パシフィックコンサルタンツインターナショナル	水・環境・情報事業部
*****	修(工)	Syiah Kuala 大学講師	工学部土木工学科

国し、12日にインドネシア、アチェ州バンダアチェに到着した。到着後、調査予定箇所の被災状況を把握した後、バンダアチェ北部海岸の地盤高調査を行った。2月13日には、今回の地震津波で被害が最も大きかったアチェ州西海岸（アチェプサル県）の津波痕跡調査を行った。著者らは測量機材と食料を積み込み車で西海岸の南下を試みたが、バンダアチェ市街地より南におよそ20 kmのLepung 以南は軍の許可が得られず調査を断念した。津波痕跡高調査はLepung およびやや北に位置するRhitingにて行った（図-2）。2月14日、Syiah Kuala 大学にて調査結果を報告し、現地の研究者との議論を行った後帰途についた。

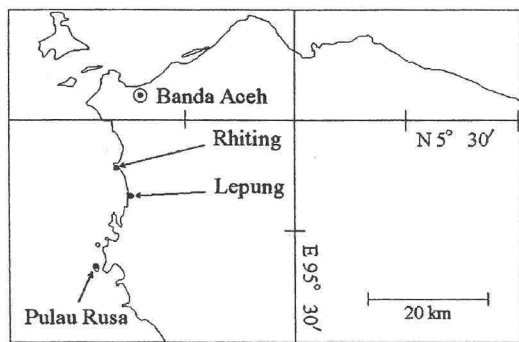


図-2 スマトラ島北部

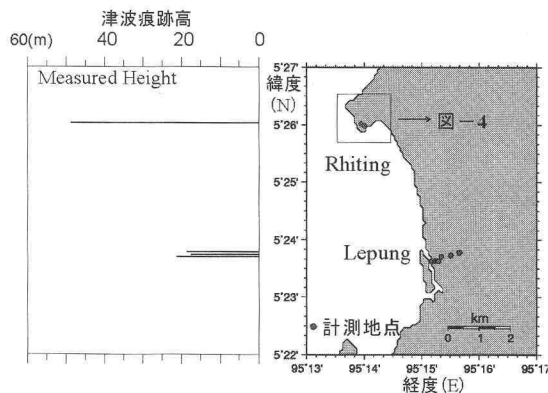


図-3 スマトラ島西部計測地点と津波痕跡高

(2) 調査方法および調査結果

各計測地点においては調査時刻の海水面を基準とし、オートレベル（ソキア社、B21）を用いて地盤高および津波痕跡高を測定した。各測定点では、GPS（GARMIN 社、eTrex Legend）を用いて緯度経度も随時記録した。また、適宜住民へのヒアリングも行った。

表-1 および図-3 に各計測地点における津波痕跡高調査結果および津波痕跡高調査地点を示す。潮位補正はデータが存在する最寄りの地点（Pulau Rusa；図-2 参照）での推算潮位（Tsuji ら、2005-2-17参照）を基に、推定津波来襲時刻および現地調査時の海面位置を用いて行った。推定津波来襲時刻は、現地時刻で2004年12月26日 8:30a.m.とした。

スリランカ南部では海岸線より内陸へ300 m 程度にとどまっていた被害（柴山ら、2005）がバンダアチェ周辺では押し寄せた津波のエネルギーレベルが遙かに大きく、被害は平面的に広く発生していた。津波の痕跡高を見ると、スリランカ南部では10 m 程度であったものがスマトラ島北西部海岸の多くでは20 m を越えており（インドネシア調査団、2005-5-11参照）、Rhiting のような特別な地形では48.9 m に達した。以降では調査を行った地点ごとに議論を行う。

3. アチェ北部海岸での被害状況

筆者らが過去に10年に渡って海岸侵食の調査を行って

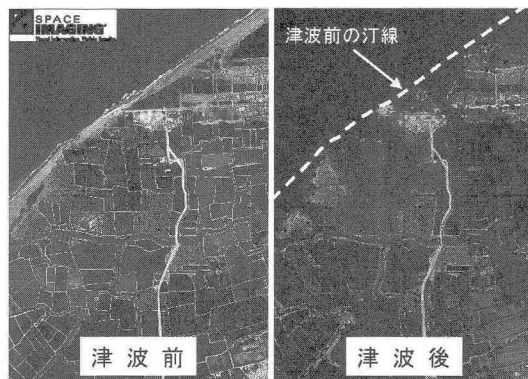


写真-1 アチェ北部海岸（Syiah Kuala 遺跡周辺）の衛星写真。写真左：2004年6月18日、写真右：2004年12月29日（IKONOS 画像提供：ジャパンスペースイメージング）

表-1 津波痕跡調査結果

測定地	緯度(N)	経度(E)	痕跡高(m)	汀線からの距離(m)	Inundation or Runup	痕跡状況
Rhiting	5° 25' 43.6"	95° 14' 02.1"	48.86	70	Inundation	草木の塩枯れ、倒木
Lepung	5° 23' 47.0"	95° 15' 39.7"	18.70	940	Runup	木にかかった角材
	5° 23' 42.6"	95° 15' 20.4"	21.39	340	Inundation	木の塩枯れ
	5° 23' 42.4"	95° 15' 21.2"	17.59	350	Inundation	木にかかった枝

いたバンダアチェ北部海岸 Syiah Kuala 遺跡（丘）周辺では、以前より海岸侵食が問題となっていた。これは、市内を流れる Krun Aceh 川の洪水氾濫抑制のため1992年に建設された放水路により河川流量が減り、河川からの供給土砂の総量が減少して沿岸漂砂のバランスが崩れたことが原因であること（青木，1988）が指摘されている。

この海岸ではこれまでも侵食対策が行われていたが、今回の津波により50 m～100 m 程度の汀線位置の後退が観測された（写真-1）。津波により高さ約3 mの丘の上にあった石堀は崩壊し、Syiah Kualaの墓（石造）も崩壊していた。海岸背後はエビの養殖場であり、アチェ中心部に至るまで標高差があまりなかった。このため、津波は高いエネルギーを維持したまま市街中心部へ向かったと考えられる。津波被害は海岸線より約4 km 内陸にまでおよび、海岸に近い地区の家屋は壊滅状態であった。

バンダアチェ沿岸部では広範に湛水した地域が見られた。写真-2に海岸沿いを通る自動車道路の路盤が残っている（木の左側）地点を示す。この自動車道路はほぼ痕跡なく流されており、調査時の水位から残存路盤まで



写真-2 海岸付近の侵食の様子



写真-3 写真-2に見える木の根元部分

の高さは2.03 mであった。また、この木の根元部分も陸側にかけて1 m 程度侵食されていた（写真-3）。このほか周辺砂質地盤の低下についても2地点で測量を試みた。詳細な検討の結果はまだ確定していないが、計測結果および現地状況から判断すると、数十 cm のオーダーで侵食されていると推定された。測量の結果および現地の状況から総合的に判断すると、北部海岸では概ね1 m 程度の侵食が発生したと考えられた。

これらの状況から、この湛水は地盤沈下のみが原因ではなく、むしろ津波により砂質地盤が流出したことが第一要因となっていると考えられる。

4. Lepung における津波被害

バンダアチェ西海岸の Lepung では、海岸線から内陸方向約900 m に位置する山崖にまで津波が達していることを確認した。測量の結果、海岸線より940 m 離れた山崖斜面の津波痕跡高は18.6 m であった。また、斜面に当たった津波が反射し、進行波と反射波が重なったと考えられる地点（海岸線より約340 m）での木の上部に残った痕跡高は21.4 m および17.5 m であった。

住民にインタビューを行ったところ、津波により村は壊滅し、8000人の住民のうち生存者は僅か400人とのことだった。ここは、標高の低い土地に丘やせり立つ山が点在する地域であったが、住民が住んでいた平地部は津波により荒野と化し（写真-4）、津波発生から40日あまりが経過した調査時においても、荒涼たる泥のぬかるみの中に廃材と遺体の埋葬跡が続いていた。

また、沿岸部に生えていた椰子の木のほとんどが根元から流失していた。これはスリランカ南部ではほとんど見られなかった状況である。椰子の幹は細く抵抗が小さいと考えられるため、この地域では枝のある上部にまで水が達したことにより大きな曲げモーメントと引っ張り力が働いたためと考えられる。上述の痕跡高はこれを裏付けるものである。山崖下部では津波によって植生が剥

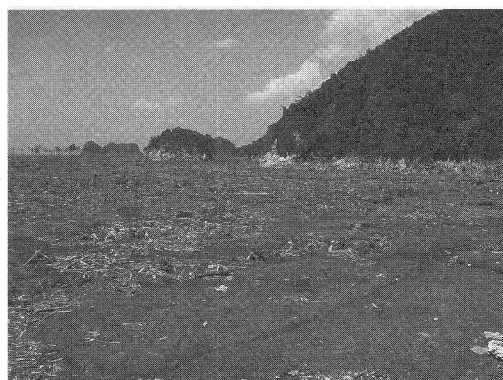


写真-4 津波によりすべてが荒野と化した平地 (Lepung)

ぎ取られ、地山が見えていた。

ここでも海岸線付近の地盤高調査を行った。汀線より120 m 内陸側にあった石畳（基準面と設定）と、すぐ脇の侵食された土地との高低差は2.26 m であった。また、汀線より205 m 地点の道路路盤（基準面と設定）とその手前（190 m 地点）にあった低い土地との高低差は0.51 m であった。一方、国土地理院は人工衛星画像から岩礁や堅固な人工構造物等に注目して画像変化を調査し、スマトラ島北部を含めた周辺一帯の海岸線変化を公開している（国土地理院, 2005-5-11参照）。これによるとスマトラ島北部西海岸一帯は沈降が見られるとしている。したがって、本調査において基準面と設定した石畳や道路路盤も沈降していた可能性があるが、少なくとも今回計測された高低差は津波の侵食によるものであると考えられ、海岸線付近では沈降だけでなく相当量の侵食も発生していたことが観えた。

5. Rithing における津波の挙動

Lepung よりやや北に位置する Rhiting は、西に突き出した半島部となっている。ここでは半島の2つの小山の鞍部を津波が乗り越え（図-4）、津波痕跡高は48.9 m に達した。図-4 にもあるように、計測を行った地点は半島先端に存在したU字の小さな湾の奥部に位置している。津波はこのU字の湾にほぼ直角に襲来したと考えられ、半島によるレンズ効果に加えてU字湾に入り込んだ津波が中心の鞍部に集まり乗り越えたと推測される。

著者らが鞍部より海側（西側）を観察したところ、斜面は崖になっており、水面近くは Lepung の山崖と同様に樹木が帯状に剥ぎ取られていた。鞍部には津波の痕跡として草木の塩枯れや倒木が見られた（写真-5）。また、鞍部を含め、津波が通過した場所の樹木はすべて流され

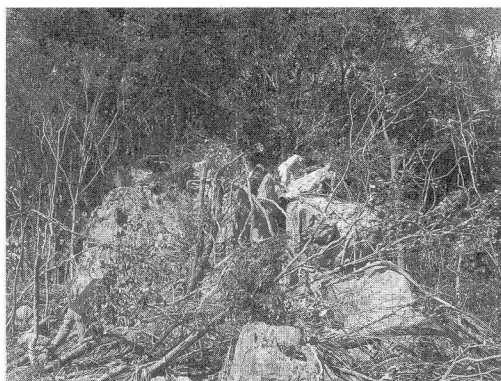


写真-5 鞍部に残った津波の痕跡
(Rhiting; 図-4地点 A 付近で撮影)



写真-6 津波により植生が削り取られ、山肌が露出した小山の鞍部 (Rhiting; 図-4地点 B 付近から西側を撮影)

山肌が露出していた（写真-6）。

このように、記録的な津波痕跡高は局所的な地形および急な海底勾配などの条件が重なり、大きなエネルギーを持った津波がそのまま陸地に到達し、斜面を駆け上がったことが要因であると考えられる。この地点での痕跡高は48.9 m であったが、地形によってはさらに高い津波痕跡高が発生していた可能性もある。

この半島の南側は地元住民が集うリゾート地であったが、著者らが到着した際は瓦礫がわずかに残る荒地となっていた。この南側の地では、鞍部を越えた津波と半島の北側から押し寄せた津波および回折により半島の南側から回り込んだ津波がほとんど時間差なく押し寄せたと考えられる。

このように今回の津波でスマトラ島北部とスリランカ南部の両地域は共に大きな被害を受けたが、津波のエネルギーはスマトラ島の方が遥かに大きく、被害の様相は大きく異なっていた。

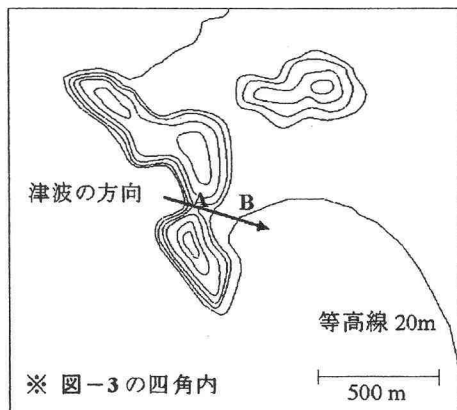


図-4 Rhiting の地形図および推定津波来襲方向
(図-3の四角形内を拡大)

6. ま と め

スマトラ島北西部海岸に押し寄せたような津波が来襲した場合、建物等の被災を海岸構造物だけで守るには限界がある。また、早期警報による高地避難以外の対応を取ることは極めて難しかったと思われる。また、スリランカ南部では地震発生から津波到達まで約1.5時間であったが、スマトラ島北部の場合には20分ほどで第一波が来襲し、時間的余裕もなかったと考えられる。

現在、日本の海岸では津波ハザードマップの作成が進められているが、スマトラ島北西部とスリランカ南部とでその被害状況が異なるように、各地域に対してどのような津波（地震）を想定すれば良いのかは異なる。また、同一の地域であっても数十年に一回動く断層運動に基づく津波浸水予測図と400年、1000年に一回の地震による津波浸水予測図とは異なり、幾通りかの浸水予測図が作成されることになる。これらの予測図をどのように活用するかは地域、状況、個人によって本来変わってくるものと考えられる。

調査の際、周辺の住民の一人からは「家族の中で自分のみが助かった。これはたまたま空のポリタンクで水をくみに行く途中でタンクがうきの代わりになったからである」との証言を得ており、ほんの少しの偶然が生死の境を分けた例があったことがわかっている。また、著者のひとりがJICA調査で行った津波被害調査で、津波の浸水深が2m以下になれば建物被害が軽減されることがある程度わかっている（松丸，2005）。

災害“リスク”を考える際には、災害外力と社会の脆弱性の両方を踏まえる必要があり、同じ大きさの津波が来襲したとしても、地域住民がしっかりとした避難行動を取ることができればリスクは低いとすることが出来る。したがって、津波による被害軽減のためには、津波のエネルギーをある程度軽減させる構造物の建設に加え、地域住民が津波の規模などに応じた適切な避難行動を選択できるようにしていく必要がある。そのためには、ハザードマップの作成・公開、今回の災害経験の伝承を含めた地震および津波に関する正しい知識の普及、及び津波

の発生を住民に理解できる形で伝達する地域住民を中心に据えた形の早期警報システムの構築を行うことが重要であると考えられる。

今後は提供される資料を基に、地域をどのくらいのリスクに対してどのように守っていくのか、住民が行政との協力の下、自らの問題として考え、対応していけるようなシステム作りが必要であると同時に、どの程度の災害に対してどの程度強い社会を作るのかという点についてもコンセンサスを得ていく必要がある。その際、リスクの定量化という問題が今後の重要課題であると思われる。

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費基盤B(15404016)(海外学術調査 代表 柴山知也)によるものであることを付記する。

参 考 文 献

- 青木伸・(1998): 3.3インドネシア(アチエ)、漂砂環境の環境創造に向けて、土木学会海岸工学委員会研究レビュー小委員会編 p. 356.
- インドネシア調査団: インドネシア調査団の津波測定結果ならびに定時報告(オンライン), <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/namegaya/sumatera/surveylog/eriindex.htm>, 参照2005-5-11.
- インド洋地震津波災害調査研究グループ: 2004年12月26日インド洋地震津波(オンライン), <http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/sumatra/index-j.html>, 参照2005-5-11.
- 国土地理院: 地理地殻活動研究センター, 2004年スマトラ沖地震・インド洋津波(オンライン), <http://cais.gsi.go.jp/Research/topics/topic041226/index.html>, 参照2005-5-11.
- 柴山知也・岡安章夫・Nimal Wijayarathna・佐々木淳・鈴木崇之・Ravindra Jayaratne (2005): 2004年スマトラ沖地震津波のスリランカ南部被害調査, 海岸工学論文集, 第52巻, 印刷中.
- 松丸亮 (2005): バンダアチエ市におけるスマトラ沖大地震・津波被害と復興に関する考察, 第60回土木学会年次学術講演会, CD-ROM.
- 山本博之・西芳実・篠崎香織: 2004年スマトラ沖地震津波アチエ州・ニアス島復興関連情報(3)(オンライン), <http://homepage2.nifty.com/jams/aceh.html>, 参照2005-5-11.
- Tsuji, Y., Namegaya, Y. and Ito, J.: Astronomical tide levels along the coasts of the Indian Ocean (オンライン), <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/namegaya/sumatera/tide/index.jtm>, 参照2005-2-17.