

2007 年 9 月 12 日スマトラ南部地震津波と津波規模の累積推移

羽鳥 徳太郎*

1. はじめに

2007 年 9 月 12 日 18 時 10 分ごろ (現地時間), インドネシアのスマトラ島南部ベンクル市 130km 沖で大地震が発生し, 死者 25 人以上, 6000 棟損壊が大きく新聞報道された。津波を伴いスマトラ南部沿岸に遡上し, インド洋各地で観測された。発生直後, 土木学会・日本地震工学会から共同調査団が被災域に派遣され, スマトラ西岸域の津波の状況が詳しく速報された (今村・他, 2008)。スマトラでは, 3 年前の 2004 年 12 月 26 日超巨大地震 (Mw 9.0) で 16 万人以上の犠牲者が出たことは記憶に新しい。その 3 ヶ月後, 2005 年 3 月 28 日ニアス地震津波 (M8.4) があり, 以後スマトラ南部域での発生が危惧されていた。

津波のインバージョン解析によると (藤井・佐竹, 2008), 断層モデルの長さ 250km, 最大すべり 6-9m, 地震モーメント 4.7×10^{21} Nm (Mw=8.4) であった。国土地理院チーム (飛田・他, 2008) による「だいち」の PALSAR データの解析から, 破壊域の長さ約 260 km, すべり領域の北部はパガイ島付近と推定された。また, Gusman, Tanioka (2008) は断層面を 400×100 km にとり, 傾斜角 12° , すべり量 3.5m と解析している。本稿では, 米国地質調査所 (USGS), ハワイの国際津波情報センター (ITIC, 2007), 気象庁 (2007) による地震と津波の観測データと現地調査報告 (今村・他, 2008) をもとに, 津波波源と津波マグニチュードを解析する。また津波伝播図を作図して, 各地の伝播時間や波高分布を検討した。

インドネシアの津波は, 17 世紀中期ころから記録され, それぞれの規模が推定された

(Soloviev and Go, 1984)。また地震のほかに, 火山噴火や地すべりに伴う津波も合わせてカタログに示された (Hamzah, et al., 2000)。筆者 (羽鳥, 2007) は, 最近の津波データを加えてスマトラ近海における津波波源を示したが, ここでは本島沿岸を 500km 区間に分けて, 津波マグニチュード値の累積推移を考察する。

2. 2007 年スマトラ南部地震津波

USGS の観測によれば, 発震時は 9 月 12 日 11 時 10 分 (UTC), 震央は 4.517° S, 101.382° E, 深さ 30km, 地震のマグニチュード Mw8.4 (Ms8.5) であった。一方, ITIC からインド洋 16 箇所の検潮記録の読み取り値 (到達期間, 最大波の全振幅値, 片振幅値および周期) が報告され, 気象庁 (2007) から 12 箇所の観測値が示された。

図 1 には, 2 例の検潮記録を示す。震央から 410km 北方のスマトラ西岸パダンでは, 明瞭な引き波初動が記録され, 最大波の全振幅 2.27m (片振幅 1.20m), 周期 38 分とある。Dart 23401 (8.9° N, 88.54° E) の記録は, 米国大気海洋庁 (NOAA) による海中で観測されたものである。読み取り値の伝播時間 2 時間 37 分, 全振幅 0.046m であった。なお本震から 12 時間 39 分後に, 震源域の北部で最大余震 (Mw7.9) があり, パダンで全振幅 1.8m の津波が観測された。

波源域と遡上高

図 2 には, 逆伝播図による推定波源域を示す。3 箇所の検潮記録による伝播時間 (時:分) は, パダン 0:44, ココス島 1:18, チラチャップ (ジャワ島) 2:03 であった。波源域に面したスマトラ沿岸各地での聞き取り調査によれば (今村・他, 2008), 「地震から 3-30 分後に潮が引いた」という。その後津波が地上に

*元東京大学地震研究所

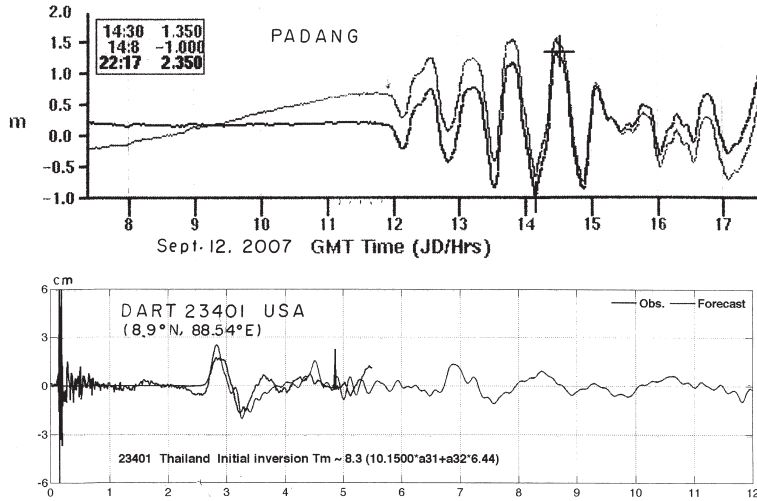


図 1 2007 年スマトラ南部津波の検潮記録例 (NOAA/ITIC による)

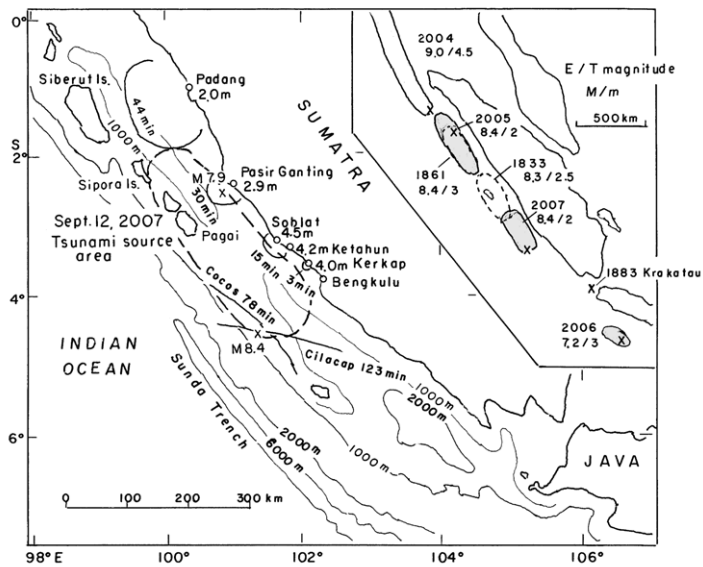


図 2 2007 年津波の推定波源域(各観測点の伝播時間と遡上高を示す)
 右上図：周辺の津波波源 (地震と津波のマグニチュード M/m を示す)

溢れ、地面上の浸水深は 1-3m と測定された。地盤高 1-2m を加算すると、津波の高さは海面上 2-4m になる (図 2)。3 年前の教訓から住民は早く高台に避難して、津波による死者は出なかったという。なお、米国とニュージーランドの合同調査も (Jose Borrero 他)、ベン

クル周辺 280km 区間の遡上高は 2-4m であった (ITIC,2007)。

各観測点から伝播時間に対応する波面を描くと、波源域は海溝沿いに長さ 350km、幅 100km と推定され、Gusman,Tanioka (2008) が示した波源モデルと重なる。右上図には

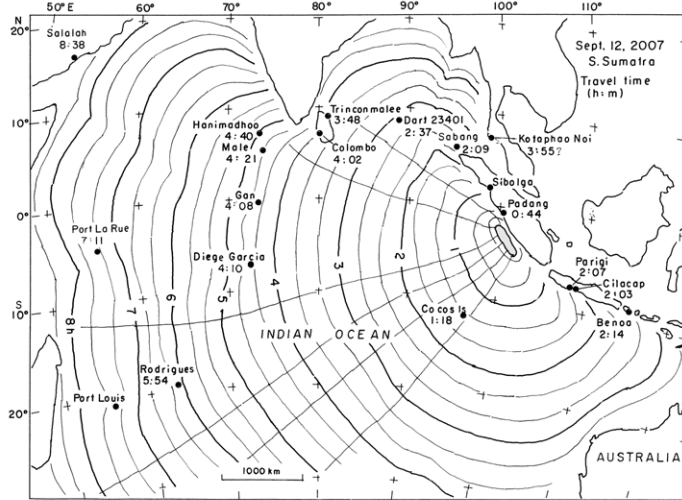


図3 津波伝播図（波面は20分間隔） 実測伝播時間（時：分）

主な津波波源を示し、発生年に地震と津波のマグニチュード、 M/m を付記した。各波源は海溝沿いに並び、今回の波源と2005年ニース津波との約300km区間が、1833年津波以降空白域になっている。一方、南部では2006年ジャワ西部津波（津波地震、羽鳥,2007b）との間には、1883年クラカタウ火山噴火による大津波が知られているが、地震に伴う大きな津波の被災歴はない。

津波伝播図

図3には、推定波源域から作図した伝播図を示す（波面は20分間隔）。各地の実測伝播時間（時：分）と比べて波面はほぼ調和し、2005年ニース津波（羽鳥,2007a）と大きな差はない。波源周縁を100kmに分割し、放射する波線を描いてみるとスリランカ付近に集まる。半面、モルディブ諸島に向かって分散している。

津波の規模

筆者の方法による、津波マグニチュードの判定図を図4に示す。横軸に震央から観測点までの距離、縦軸には検潮記録上の最大波の片振幅値をとる。スマトラ西岸域での遡上高は、 $1/2$ の値で示した。2004年スマトラ津波（ $m=4.5$,羽鳥,2006）と、2005年ニース津波（ $m=2$,羽鳥,2007a）の観測値を比較し

て示す。津波マグニチュードは、波高が距離 $\Delta^{-1/2}$ で減衰するとみなし、2.24倍の刻みで区分してある。その結果、検潮記録による遠地の観測値を重視すると、津波マグニチュードは $m=2$ と推定され、2005年津波と同じ値になる。津波は、地震の規模と比べ2階級（波高にして約 $1/5$ ）も小さい。

図5には、インド洋における最大波の全振幅値分布を示す。津波マグニチュードを $m=2$ とみなし、 $\Delta^{-1/2}$ 図（図4）から各地点の振幅偏差で区分した。片振幅値が $m= \pm 0.5$ の範囲内を標準とする。それより上回る地点を大（1階級以上の地点は大きな黒丸）、下回る地点は小として示した。スリランカでは全振幅60cmと大きく、モルディブ諸島では10-23cmにとどまった。このような振幅偏差は、伝播図の波線の動向から屈折効果を示唆する。そのほか、遠方で全振幅値が突出した地点では、アラビア半島オマーンのサララ1.1m、南西インド洋のポートルルー1.1m、ロドリゲス1.14mが観測され、2004年と2005年津波のときも大きく、屈折作用での増幅が考えられよう。

なお、2004年スマトラ巨大津波では、スリランカ南西沿岸で浸水高（海面上）が約5m、局地的に10mに達し、甚大な被害を受

けており (今村・他,2005), 屈折作用で波高が増幅されたようだ。一方,カオラック・プーケットなどタイ国マレー半島西岸域の浸水高も 5-10m に達し, 大災害に見舞われたが (松富・他,2005), 今回の津波では波源の陰になり, コタファノイ (プーケット) で全振幅 8cm にとどまった。

3. 津波マグニチュードの累積推移

津波マグニチュードは, 津波波源での変動水位のポテンシャル・エネルギーに対応し (羽鳥,1979), 累積値の推移は津波活動度の指標になる。Table 1 には, スマトラ沖における津波表に地震と津波のマグニチュード M と m 値を示す。1967 年以前の津波マグニチュードは, Soloviev・Go (1984) の津波カタログから引用した。近年のマグニチュード値は, 筆者による Δ -H 図から求めた値を示す。ここでスマトラ西岸域を 500km の 4 区間に分け, マグニチュード累積値の推移は図 6 のようになる。

スマトラ北部の A 地区では, 1907 年 1 月の津波 ($M7.8, m=2$) から記録され, 1967 年まで 60 年間静穏期が続いた。そして 2004 年 12 月に超巨大津波 ($m=4.5$) が発生した。その直前に, 2002 年 11 月に $M7.5$ の地震があった (津波の規模は未定)。B 地区では, 1797 年 2 月の津波 ($M8, m=3$) から記録され, 1843 年 1 月 ($M7.3, m=2$), 1861 年 2 月の地震 ($M8.4$) で $m=3$ の津波を伴い, 2 カ月間に $M7$ クラスの地震で $m=1.5-2$ の津波が 2 回続発した。その後 $m=0$ の津波が 3 回 (1885,1926,1935 年) あり, 規模の大きなも

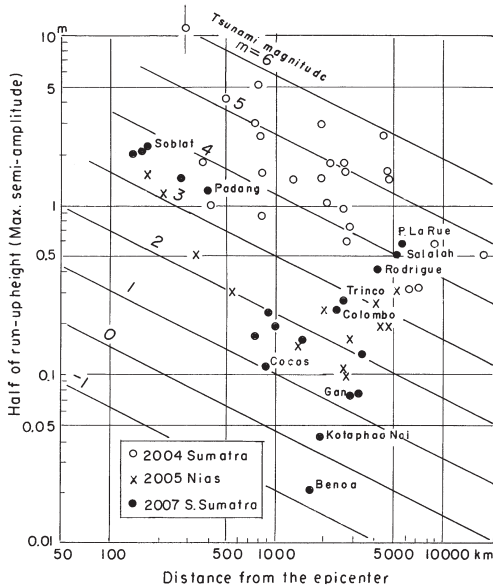


図 4 震央距離と最大波の片振幅値との関係 津波マグニチュードで区分

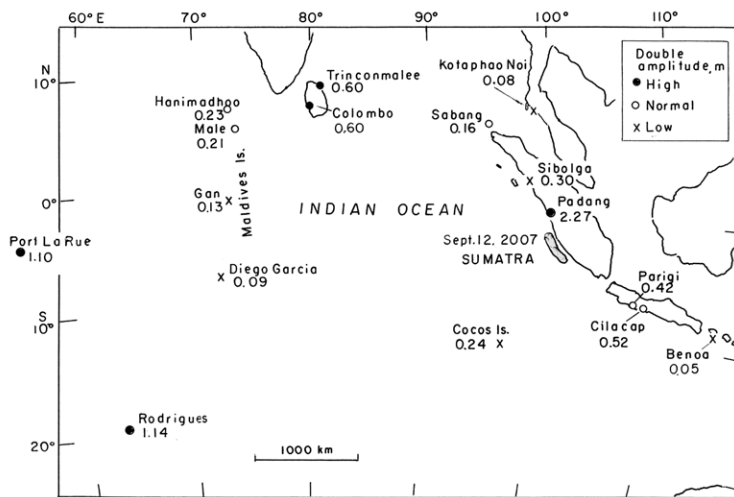


図 5 2007 年スマトラ南部津波の全振幅値分布 振幅偏差で区分

Table 1 List of tsunamis in the Sumatra region.

Zone	Date	Magnitude		Zone	Date	Magnitude	
		M	m			M	m
D	1770 --	7	0.5	D	1931 9 25	7.5	1
B	1797 2 10	8	3	B	1935 12 28	7.7	0
C	1818 3 18	7	1.5	D	1958 4 22	6.5	0.5
C	1833 11 24	8.3	2.5	A	1964 4 2	7.0	0
B	1843 1 5	7.3	2	A	1967 4 12	7.5	1.5
B	1852 11 11	6.8	0	B	1984 11 17	7.2	-
B	1861 2 16	8.4	3	D	1994 2 15	7.0	-
B	1861 3 9	7	2	C	2000 6 4	7.8	-
B	1861 4 26	7	1.5	D	2001 2 13	7.2	-
B	1885 7 29	6.8	0	A	2002 11 2	7.5	-
C	1896 10 10	6.8	0	A	2004 12 26	9.0	4.5
A	1907 1 4	7.8	2	B	2005 3 28	8.4	2
C	1908 2 6	7.5	1	C	2005 4 10	6.7	0
C	1909 6 4	7.5	1	C	2007 9 12	8.4	2
B	1926 6 28	6.8	0				
D	1930 6 19	6	0				

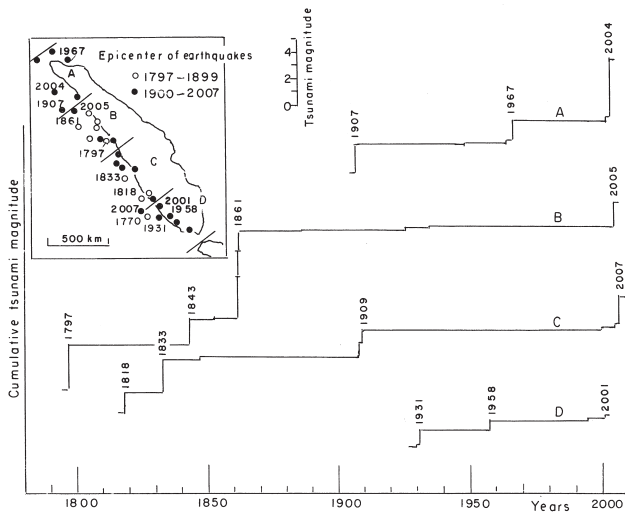


図6 各500km区間の津波マグニチュード値の累積推移

のは2005年3月ニアス津波までなかった。

C地区では、1818年3月の津波 (M7.5,m=1.5) から記録され、1833年11月の津波 (M8.3,m=2.5) が最大であった。そして75年後に1908年2月の津波 (M7.5,m=1)、1909年6月津波 (M7.5,m=1) が続発している。それから長い静穏期を経て、2000年6月に大規模な地震 (Mw7.8) が発生し、ベンクル市で大きな被害を出したが、津波の報告はない。2005年4月に小津波があり、2年後に今回の津波が発生した。D地区では、スマトラで最初の津波が1770年 (月日不明) に記録された (M7,m=0.5)。そして、1930年6月の津波 (M6,m=0) まで記録に長い空白期間があった。以後、現在まで77年間、4

回ほど津波が記録され、1931年9月の津波 (M7.5,m=1) が最大であった。

以上、最近100年間において各区間の津波マグニチュード累積値を比べると、A区間が最大である。ついでC、B、Dの順になる。D地区では小津波の発生回数が多いが、累積値は最小である。

4. むすび

インド洋各地で観測された検潮記録によると、2007年スマトラ南部津波のマグニチュードはm=2と判定された (2005年ニアス津波と同値)。スマトラ沿岸での遡上高が4m程度であり、妥当な値であろう。地

震規模 (Mw8.4) と比べ, 2 階級 (波高にして 1/5) も小さい。逆伝播図から, 波源域は海溝沿いに長さ 350km, 幅 100km と推定され, 余震域と重なる。スリランカでは全振幅 60cm と比較的大きく, 伝播図から津波の屈折効果が認められた。一方, 最近 100 年間の津波記録から, スマトラ西岸域を 500km 区間に分けて, 津波マグニチュード値の累積推移を比較検討した。その結果, 北部域が最大, 南部域が最小になる。今回の津波と 2005 年ニース津波との間, 約 300km 区間が大地震の空白域とみなされる。今後, 南部域と合わせて地震活動に注目したい。

謝辞

解析にあたり, 東北大災害制御研究センターの今村文彦教授から, 現地調査の記録とインド洋各地の検潮データが提供された。ご好意に深く感謝し, 御礼を申し上げます。

参考文献

- 藤井雄志郎・佐竹健治, 2008:2007 年南スマトラ地震の津波波形インバージョン, 地球惑星科学連合大会 S148-002.
- Gusman, A.R. and Y. Tanioka, 2008: Source model of the 2007 Bengkulu earthquake determined from tsunami waveform analysis, The 7th Gen. Ass. Asian Seism. Com. And the 2008 Fall meet. Seism. Soci. Japan, B22-04.
- Hamzah, L., N. T. Puspito and F. Imamura, 2000: Tsunami Catalog and Zones in Indonesia, J. Natural Disaster Science, Japan, Vol.22, No. 1, pp.25-43.
- 羽鳥徳太郎, 1979: 津波の規模階級とエネルギーとの関係, 地震研究所彙報, Vol.54, pp.531-541.

羽鳥徳太郎, 2006:2004 年スマトラ沖地震津波の規模と屈折効果, 津波工学研究報告 No.23, pp.35-39.

羽鳥徳太郎, 2007a:2005 年ニース地震津波とスマトラ島近海の津波規模の偏差, 津波工学研究報告, No.24, pp.1-4.

羽鳥徳太郎 2007b:2006 年 7 月 17 日ジャワ西部地震津波と周辺域での津波規模, 津波工学研究報告, No.24, pp.9-13.

ITIC, 2007, South Sumatra Island, Indonesia, 12 September 2007, 11:10 UTC, Mw8.4.. Tsunami Newsletter, Vol.39, No.3.

気象庁, 2007: 9 月 12 日インドネシア, スマトラ南部の地震, 平成 19 年 9 月地震・火山月報 (防災編)

今村文彦・河田恵昭・富田孝史・有川太郎・安田誠宏, 2005: インド洋津波災害とスリランカ現地調査報告, 津波工学研究報告, No.22, pp.93-102.

今村文彦・アイダグ オメル・鈴木友治 2008:2007 年 9 月 12 日インドネシア南スマトラ地震とその津波による被害調査速報, 津波工学研究報告, No.25, pp.123-144.

松富英夫・高橋智幸・松山昌史・原田賢治・平石哲也, 2005: タイの Khao Lak と Phuket 島における 2004 年スマトラ島沖津波とその被害, 津波工学研究報告, No.22, pp.119-125.

Soloviev S.L. and Ch.Go, 1984: Catalog of tsunamis on the western shore of the Pacific Ocean (in Russian). Translated by Canada Institute for Scientific Technical Information National Research Council, Ottawa, Canada KIA Os2.

飛田幹雄・他, 2008:2007 年スマトラ南部地震の地殻変動・地震断層と断層モデル, 地球惑星科学連合大会, T228-P001.