

2004 年スマトラ沖地震津波の規模と屈折効果

羽鳥 徳太郎*

1. はじめに

2004 年 12 月 26 日 00 時 58 分 (UTC, 現地時間: 7 時 58 分), インドネシア・スマトラ島北西沖を震源とする巨大地震が発生し, 大規模な津波を伴った。米国地質調査所 (USGS) の速報によれば, 震央 3.244°N , 95.8°E , 深さ 10km, $M9.0$ であった。震源はスマトラ島北部からアンダマン列島に至る全長 1300km におよぶ。メカニズム解によると (山中, 2005), モーメントマグニチュード $M0\ 3.5 \times 10^{22}\text{Nm}$ ($M_w9.0$), 低角逆断層 (傾斜角 8°), 最大すべり量 8.9m である。

津波はスマトラ島, タイ南部をはじめ, スリランカ, インド, 東アフリカにおよぶインド洋全域に波及し, 犠牲者数は 22 万 3492 人にのぼった (2005 年 12 月 22 日の国連発表データ)。タイ南部などのリゾート地で, ヨロッパからの観光客数百人が遭難し, その惨状が連日大きく報道され, 国際語 "Tsunami" があらためてクローズアップされた。津波の発生から数日後, 日本の大学合同調査チームが結成され, 各地での遡上高など調査速報が新聞などに報道されてきた。

本稿では, 各地の遡上高と検潮記録をもとに, 津波規模を示すマグニチュードを検討する。また, インド洋の津波伝播図を作図し, 沿岸域での波線の集中度から浅水・屈折係数を求め, 波高分布と比較して伝播特性を考察する。また, スマトラ島沖における過去の津波活動を振り返ってみる。

2. 津波伝播図

USGS の観測によれば, 余震域 (図 1 の黒

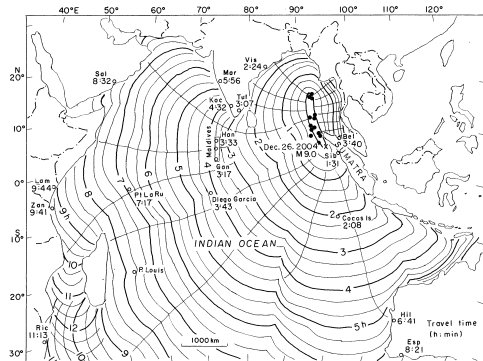


図-1 2004 年スマトラ沖津波の伝播図。波面は 20 分間隔。
実測伝播時間 (時:分)

丸は余震分布) はスマトラ島北西沖の本震からアンダマン列島まで 1300km に達した。この余震域を津波の波源域 (長さ 1300km, 幅 200km) とみなし, 図-1 に波面を 20 分間隔で作図した津波伝播図を示す。スマトラ島北部では, 地震の約 20 分後に潮が顕著に引き, タイ南部で約 2 時間後とある。同図に, 各地の検潮所で観測された記録から, 初期波の伝播時間 (時:分) が読み取られており (阿部, 2005), これを付記した。なお, ハワイの国際津波情報センター (ITIC, 2005) から, インド洋各地の津波観測表が発表され, オーストラリア・東アフリカの 3 地点の伝播時間を追加した。実測値と比べると, スマトラ島北部近海で波面が大幅に進んでいるが, インド洋全域での伝播図はほぼ調和的である。

一方, 全人口の 8% が被災したと伝えられるスリランカでは, 伝播時間は 2 時間になる。これは, 佐竹 (2005) による津波シミュレーションの結果と一致する。津波はインド洋を横断して東アフリカに達し, ソマリア北部での伝播時間は約 8 時間, マダガスカル島北部で 8 時間 20 分になる。図-1 には, 波源周

*元東京大学地震研究所

縁を 200km ごとに分割し、放射する波線を示した。波線はスリランカ、マダガスカル北部に集まっており、屈折効果については後述する。

3. 津波の規模

大学合同チームの遡上高の調査によれば、スマトラ北部のバンダ アチェ付近で 15-30 m, 最高 34.9m に達した (都司, 2005)。20km 区間の村むらは洗い流された。タイ南部のプーケット付近で 5-10m (松富・他, 2005)。スリランカ南部の集落が流失したところで、5-10m に達した (今村・他, 2005)。ミャンマーのアンダマン海沿岸コータウン、ダウエイでは、遡上高は 2-3m にとどまった (佐竹・他, 2005)。一方、検潮記録はインド洋沿岸をはじめ、南極・ニュージーランドや南米太平洋沿岸で得られており、Table 1 に 20箇所の伝播時間と最大波の振幅値を示す。以上の波高データから、筆者の方法で津波マグニチュードを推定してみよう。

図-2 には、横軸に震央から観測点までの

距離、縦軸には遡上高の 1/2 の値をとり、検潮記録のものは最大波の片振幅値をとる。津波マグニチュードは、波高が距離 $\Delta^{-1/2}$ で減衰するとして、2.24 倍の刻みで区分してある。観測値はかなりばらついているが、1000km 以遠の検潮記録の振幅値を重視すると、津波マグニチュードは $m=4.5$ と推定される。なお、20 世紀で最大の 1960 年チリ津波が、ハワイや日本などに大きな被害をもたらしたことはよく知られており、図-2 に津波マグニチュードを比較して示す。ここでチリ沿岸の遡上高 (堀川, 1961) は 1/2 の値をとり、それより以遠の太平洋各地の検潮記録のものは、最大波の片振幅値で示した (羽鳥, 1997a)。津波マグニチュードは $m=4.5$ と推定された。スマトラ沖津波は、チリ津波と同等の規模とみなされる。

1965 年以降、スマトラ島近海を除くインドネシアの津波は、地震の規模と比べ、津波マグニチュードが 1~2 階級 (波高にして 2~5 倍) 上回るものが多いが (羽鳥, 1994, 1997b), 今回の津波規模はほぼ標準的といえよう。

Table 1. The Sumatra-Oki tsunami of December 26, 2004, as recorded by tide gauges.

Tide station	Lat.	Long.	Initial wave		Maximum wave	
			Travel time*	H	Double ampl.	
			h min	cm	cm	
Sibolga, Sumatra Is. Indonesia	01° 45' N	98° 46' E	1 31	180	240	
Belawan, Sumatra Is. Indonesia	03 48N	98 40E	3 40	80	118	
Pt La Rue, Seychelles	04 40S	55 32E	7 17	150	260	
Port Louis, Mauritius	20 09S	57 30E	-	140	200	
Diego Garcia, UK	07 14S	72 26E	3 43	60	80	
Gan, Maldives	00 41S	73 09E	3 17	90	135	
Male, Maldives	04 11N	73 31E	3 13	145	215	
Hanimadhoo, Maldives	06 46N	73 10E	3 33	170	250	
Vishakapatnam, India	17 41N	83 16E	2 24	160	240	
Tuticorin, India	08 52N	78 10E	3 07	140	200	
Kochin, India	09 57N	76 16E	4 32			
Marmugao, India	15 28N	73 46E	5 56	70	120	
Cocos Is. Australia	11 44S	96 49E	2 08	30	45	
Antarctic Showa B.	69 00S	39 34E	17 49	45	75	
Lamu, Kenya	02 16S	40 54E	9 44	30	60	
Zanzibar, Tanzania	06 09S	39 11E	9 41	30	60	
Salalah, Oman	15 56N	54 00E	8 32	130	230	
Jackson Bay, New Zealand	44 00S	168 40E	13 29	55	70	
Chatham Is., New Zealand	44 00S	177 00W	-	25	35	
Callao, Peru	12 05S	77 10W	27 02	50	70	

*Quoted from Abe (2005). H: Semi-amplitude above ordinary tides.

インドネシアでは、1883年8月28日スマトラとジャワの間、スンダ海峡のクラカタウ火山噴火に伴う津波が有名である。スマトラ南部とジャワ西部で遡上高が10-15mに達し、太平洋岸各地で観測されている (Iida, 1967)。図-2によると、観測値はばらつくが、 $m=4$ と推定され、大規模な津波であったことを裏付ける。

4. 津波の屈折効果

スリランカ南部は震源から遠方にもかかわらず遡上高が5-10mに達しており、伝播の屈折効果でエネルギーが集まる「レンズ効果」とみなされた (今村)。また、東アフリカのソマリア北部で298人が死亡、1万7千人が被災し、遡上高4-7mに達した新聞報道がある。つぎに波源から放射する波線の広がりから、伝播の屈折効果を検討してみよう。

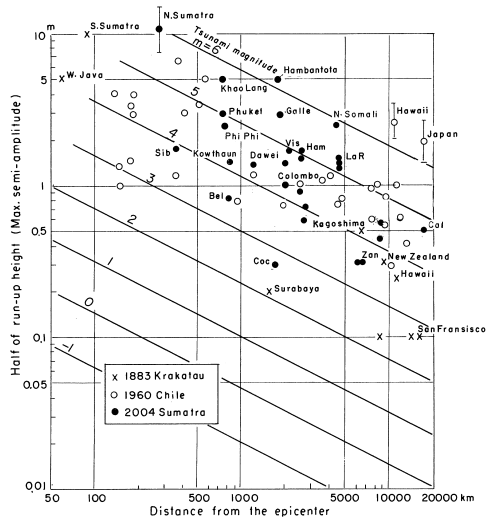


図-2 津波マグニチュードの判定図 (1883年クラカタウ火山噴火津波、1960年チリ津波との比較)

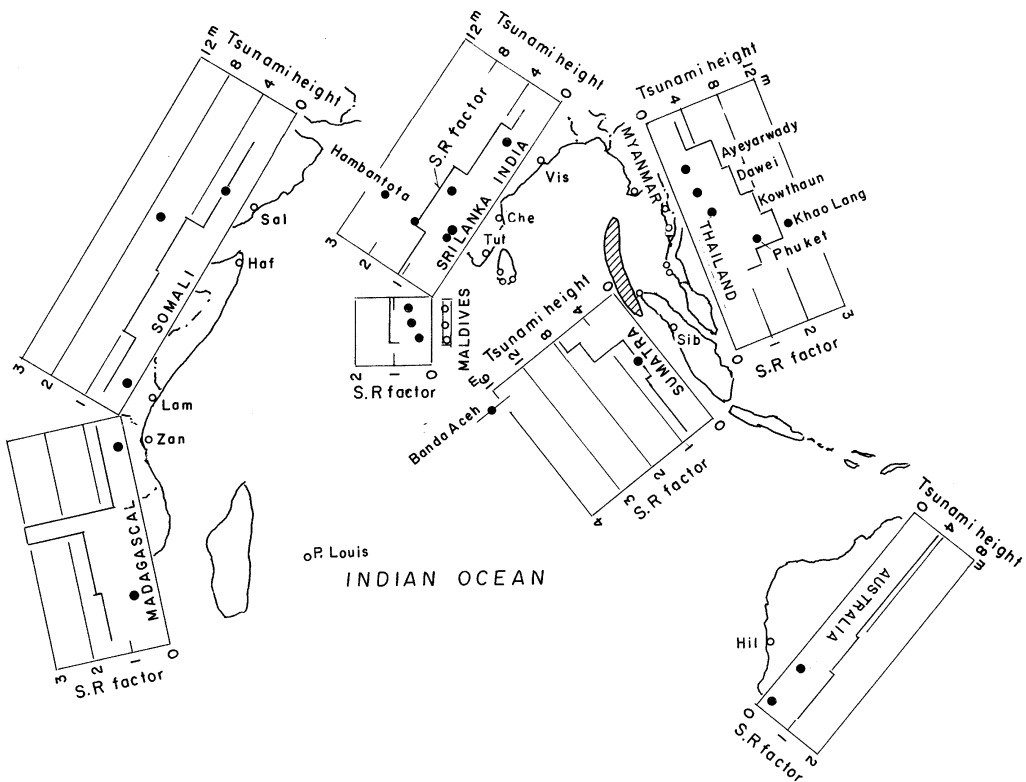


図-3 沿岸域の浅水・屈折 (S.R) 係数と津波高分布との比較

図-1に示したように、波源周縁を200km間隔に分割した地点から波線を描き、波源での水位が水深200mの沿岸へ伝わるとき、近似的にグリーンの法則で変化するとみなし、沿岸域の浅水(Shoaling)・屈折(Refraction)係数を計算した。ここで波源の水位は一樣な高さとして仮定し、沿岸との水深比が1/4乗、波線の幅比は1/2乗で波高が変化すると取り扱う。なおスマトラ、スリランカなどの地域では、波線を細区分して幅比を求めた。

図-3には、S.R.係数の計算結果(柱状グラフ)に遡上高データと検潮記録による最大波の全振幅値を重ねて示す。各地域のS.R.係数分布をみると、係数の大きな地域で遡上高が突出している。各地域の係数值は、スマトラ島北部のバンダアチェ付近で1.9、タイのプーケット2.2、スリランカ1.4、ソマリア北部1.1となる。また、マダガスカル北部で最大値3.2と求められた。波高の分布パターンは、よく対応している。

5. スマトラ島近海の津波歴

以上のように、今回のスマトラ沖津波は、大規模な $m=4.5$ に格付けられた。ここで津波カタログ(Soloviev and Go, 1975; Nakamura, 1979)から、スマトラ島近海における津波を振り返ってみよう。図-4には、最近236年間(1770-2005)に津波を伴った地震の震央分布を、1900年前後に区分して示す。地震のマグニチュードと震央は、宇津(1990)の地震カタログを参照した。1985年から現在までの津波については、ハワイの国際津波情報センター(ITIC)発行の津波ニュースレターから $M>7$ の地震を取り上げて示す。津波マグニチュード $m>2$ の震央には、発生年に地震と津波のマグニチュード M/m を付記した(1975年以前の m 値はSolovievらによる)。なお、2005年3月28日スマトラ・ニヤス島近海の地震(M8.4)による津波は、ニヤス島で床上浸水が報道された(計算値2.5m:防災未来センター,越村)。スリランカ25cm,モルディブ20cm,オーストラリア・コ

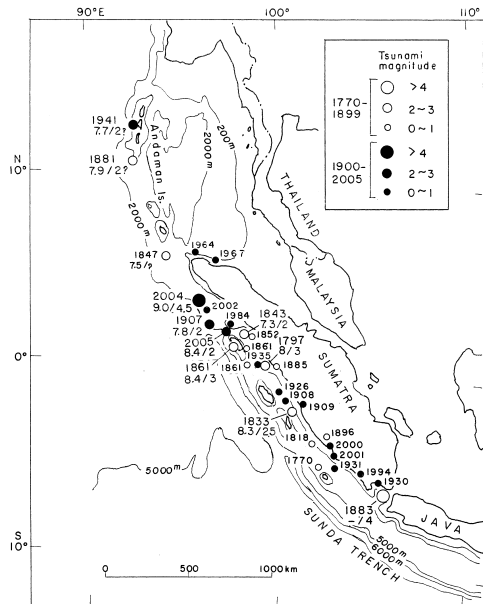


図-4 スマトラ島近海における地震津波の震央分布(1770-2005).発生年に地震と津波のマグニチュード, M/m を示す

コス諸島でも小津波が観測されたという(太平洋津波警報センター, PTWC)。波高データは少ないが、津波マグニチュード $m=2$ と推定される。

図-5には大規模な津波($m>2$)について、地震の規模から推定した波源域と、下図に発生の日・空間分布を示す。波源域は、1800年前後に約30年の間隔でスマトラ島中部以北に分布する。そして、1907年の津波以降100年近く大規模な津波はなかった。これとは対照的に、南部近海では中規模以下($m<1$)の津波のみで、大規模な津波の空白域になっている。

6. むすび

大学合同調査チームによる各地域の遡上高データと、広域の検潮データをもとに、震央距離一波高図によると、津波マグニチュードは $m=4.5$ と推定された。これは、1960年チリ津波と同等の規模とみなされる。インド洋

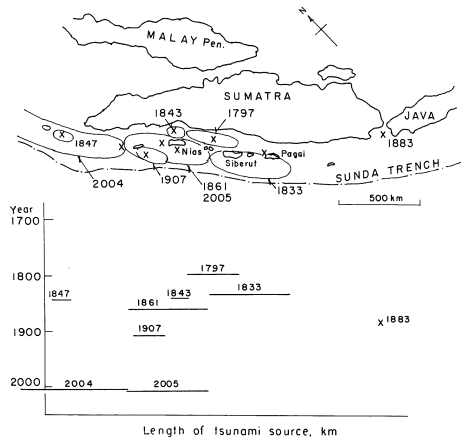


図-5 大規模な津波 ($m > 2$) の推定波源域と発生の時間・空間分布

全域の津波伝播図に、波源から放射する波線を描き、沿岸域の浅水・屈折 (S.R) 係数を計算して、津波高分布と対比した。その結果、遠方で遡上高が突出した地域は S.R 係数が大きく、屈折作用にかなり左右されたことが認められた。これまでインド洋を対象とする研究が遅れていることを反省し、今後スマトラ南部の大きな津波の空白域に注目したい。また、国際的な警報システムの早急な構築に期待したい。

謝辞

厳しい条件のもとで、現地調査を行った方々に厚く敬意を表します。解析にあたり、日本歯科大学新潟短期大学の阿部邦昭教授が収集した検潮記録を利用させて頂いた。記して深く感謝します。

参考文献

- 阿部邦昭, 2005:2004年インド洋津波の検潮記録の周期から推定した波源域の大きさ, 地球惑星科学合同大会予稿集, J113-020.
- 羽鳥徳太郎, 1994:台湾・フィリピン・インドネシアにおける津波規模の特性, 地震2, Vol.47,pp.155-162.
- 羽鳥徳太郎, 1997a:1995年チリ北部津波と日

本での南米津波の規模, 津波工学研究報告, No.14,pp.51-60.

羽鳥徳太郎, 1997b:インドネシア・フィリピン津波の規模特性-日本沿岸における波高分布, 津波工学研究報告, No.14,pp.61-72.

堀川清司, 1961:チリ国その他における津波調査の概要, 海岸, No.28,pp.1-6.

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.

ITIC,2005:Off northern Sumatra, Mw=9.0, 26 December 00:59 UTC, Tsunami Newsletter, Vol.37, No.4.

松富英夫・高橋智幸・松山昌史・原田賢治・平石哲也, Supartid,S.,Nakusakul,S.,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災害, 津波工学研究報告, No.22,pp.119-125.

Iida,K.,D.C.Cox and G.Pararas-Carayannis, 1967: Preliminary catalog of tsunamis occurring in the Pacific Ocean, Hawaii Inst. Geophys. Data Rep. No.5.

Nakamura,S.,1979:On statistics of tsunamis in Indonesia, South East Asian Studies, Vol.16, pp.664-674.

産総研・名大・ミャンマー合同調査班 (佐竹・他), 2005:ミャンマーのアンダマン海沿岸における 2004年12月スマトラアンダマン地震の津波波高調査, 日本地震学会講演予稿集, A072.

佐竹健治, 2005:スマトラ島沖地震とインド洋の大津波, 日本地震学会ニュースレター, Vol.16, No.6.

都司嘉宣, 2005:スマトラ島地震津波の最大被災地・Banda Aceh市の調査結果, 日本地震学会ニュースレター, Vol.16, No.6.

Soloviev,S.L., and Ch.Go,1975:Catalog of tsunamis on the western shore of the Pacific Ocean (in Russian). Translated by Canada Institute for Scientific and Technical Information National Research Council, Ottawa, Canada KIA OS2.

宇津徳治, 1990:世界の被害地震の表 (古代から 1988 年まで), 宇津教授退官記念事業出版, 243p.

山中佳子, 2005:12 月 26 日のインドネシアの地震 ($M_s 9.0$), EIC 地震学ノート, No.161.