

## サモア, トンガ, ニューゼーランド地震津波の規模 —2009 年 9 月サモア津波などの波高分布

羽 鳥 徳太郎\*

### 1. はじめに

南太平洋サモア～ニューゼーランド間では, 地震活動がソロモン～ニューヘブリデス諸島間(羽鳥, 2008)と並び顕著であり, しばしば津波を伴っている。2009 年 9 月 29 日サモア南方沖で大規模な地震 (Mw 8.0) が発生し, 北東-南西方向に張力軸をもつ正断層型であった(気象庁, 2009)。大きな津波を伴い, サモア, ウボル島ラロマヌの集落が洗い流された惨状が, 新聞に大きく報道された。現地調査によると(都司・他, 2010), 遡上高はサモア南岸で 4-6 m, 最大 13.2 m に達した。サモア・トンガで, 死者 183 人にのぼったとある。また, 米領サモアのツツイラ島では地震から 5-10 分後に津波が来襲し, 遡上高は最大 10-16 m と実測された (Namegaya et al., 2010)。一方, 米国大気海洋局 (NOAA)

から太平洋広域の波高観測値が発表された。

2003 年 8 月～2009 年 9 月間に津波がサモア～トンガ間で 3 回, ニューゼーランドでは 4 回発生し, ハワイの国際津波情報センター (ITIC) から, 津波概況や検潮記録が報告された。歴史的な記録は, 19 世紀中期から地震・津波カタログ (Soloviev and Go, 1984; 宇津, 1990) に収録されている。本稿では, まず 2003 年以降に発生した津波のマグニチュードを解析し, 波高偏差の地域性を調べ, 1853 年に遡る歴史津波の記録を加えて, 地震と津波規模の関係を検討してみる。

### 2. 近年の地震による津波規模

津波の検潮記録が ITIC (2003-2009) に報告されており, 図 1 に 3 例を示す。2003 年 8 月 21 日の地震はニューゼーランド南島西岸

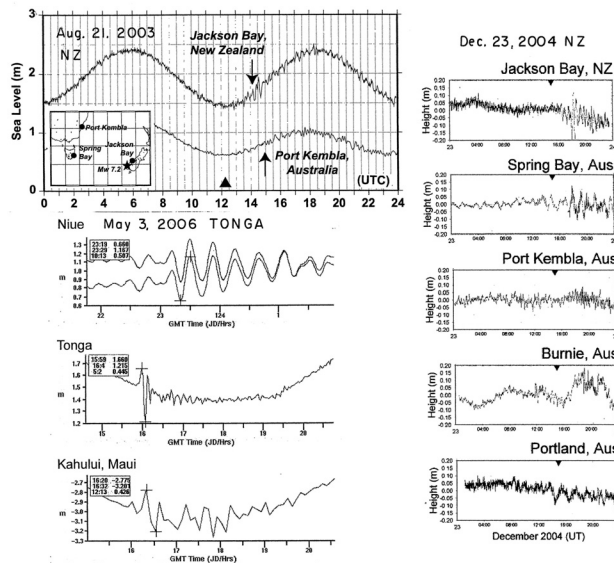


図 1 ニューゼーランド, トンガ津波の検潮記録例 (ITIC による)

\*元東京大学地震研究所

で発生し、深さ 34 km, 地震のマグニチュードは  $M_s 7.5$  ( $M_w 7.2$ ) であった。津波の全振幅値は Jackson Bay で最大 31 cm, Port Kembla 13cm, 2004 年 12 月 23 日の地震はニュージーランド南方で発生し、深さ 10 km,  $M_w 8.0$ 。津波の全振幅値は Jackson Bay で最大 30cm, 2006 年 5 月 3 日トンガ地震は深さ 55 km,  $M_w 7.9$ 。津波は太平洋の広域で観測され (図 5), 全振幅値は Tonga 40 cm, ハワイの Maui 島 42 cm など。2006 年 9 月 28 日サモア地震は深さ 28 km,  $M_w 6.9$ , 津波の全振幅値は Niue, Paga Pago で 16cm, 2007 年 9 月 30 日ニュージーランド南方の地震では深さ 13km,  $M_w 7.4$ 。津波の全振幅値はオーストラリアの Port Kembla 35 cm, タスマニアの Spring Bay 20 cm, Hobart 15 cm であった。また, 2009 年 7 月 15 日ニュージーランド南島沖で  $M_w 7.6$  の地震があり, Jackson Bay で片振幅 17cm の津波が観測された。

一方, 2009 年 9 月 29 日サモア津波について, NOAA による検潮記録例を図 2 に示す。最大波の片振幅値は Paga Pago 216cm, Apia 78 cm, Nukualofa 15 cm, 太平洋沿岸域の記録と比べ短時間に減衰している。太平洋広域での片振幅値は, WC/ATWC (西岸・アラスカ津

波警報センター) によると (図 6), ハワイ 17-36 cm, 米国カリフォルニア沿岸 10-44 cm, 南米チリで 19-40 cm が大きい。また, 気象庁 (2009) から国内 9 箇所の検潮記録が発表され, 片振幅 4-36 cm, 岩手県久慈が最大であった (第 1 波の伝播時間 (時:分) は大船渡 9:42, 花咲 9:50)。なお, 津波のシミュレーション解析によれば (東北大, NOAA), 波源から北東と東南東方向にエネルギーが強く放射しており, 波高偏差の分布パターンと調和する。

津波の規模

以上, 6 例の津波のマグニチュード値を筆者の方法 (羽鳥, 1979) で検討してみよう。図 3 にマグニチュード  $m$  値の判定図を示す。横軸に震央から観測点までの距離  $\Delta$ , 縦軸には検潮記録上の最大波の片振幅値をとる。津波マグニチュードのスケールは, 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。2006 年 5 月トンガ津波は南太平洋諸島をはじめ, 北米沿岸, ハワイ, 日本 (父島, 東北地方, 北海道太平洋沿岸) など広域で観測された (ITIC, 2006a)。観測値はかなりばらつくが  $m = 2$  と判定される。2006 年 9 月サモア津波では, 2 観測点のみで

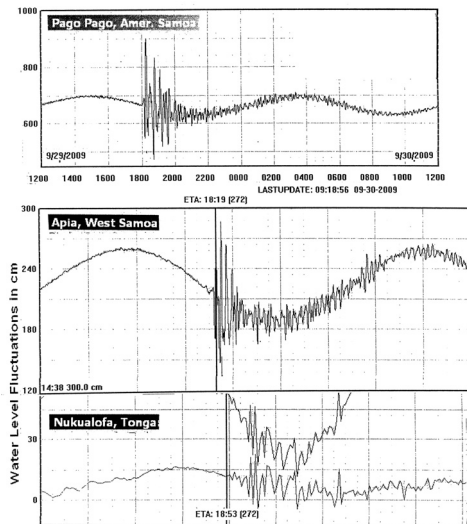


図 2 2009 年 9 月サモア津波の検潮記録例 (NOAA による)

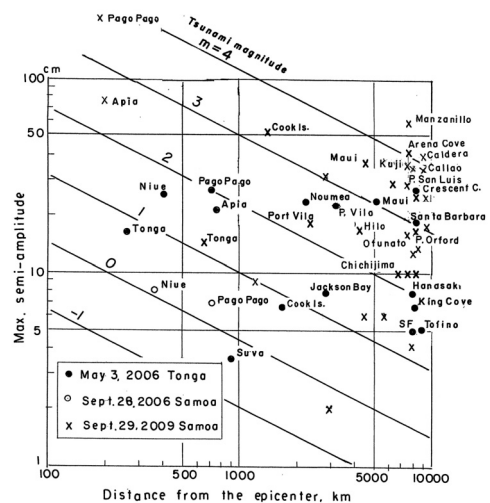


図 3 津波マグニチュード判定図—トンガ・サモア津波,

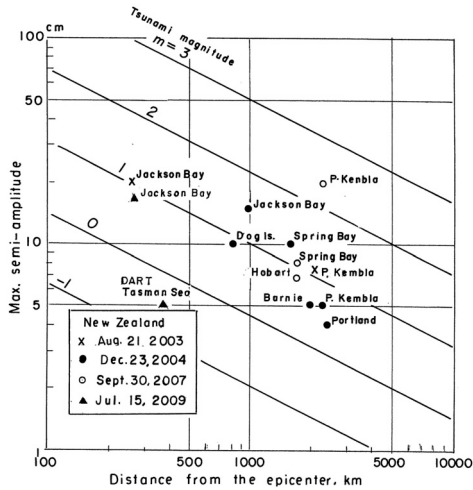


図4 同 —ニュージーランド津波

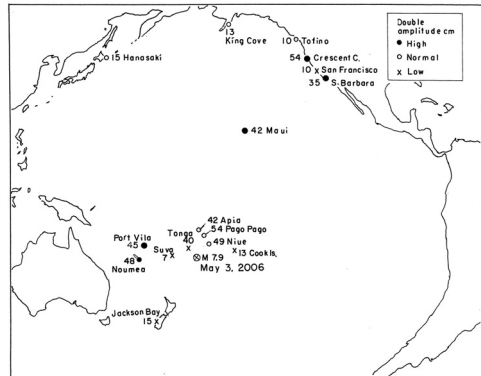


図5 2006年5月3日トンガ津波の全振幅値 (cm) 分布. 振幅偏差で区分

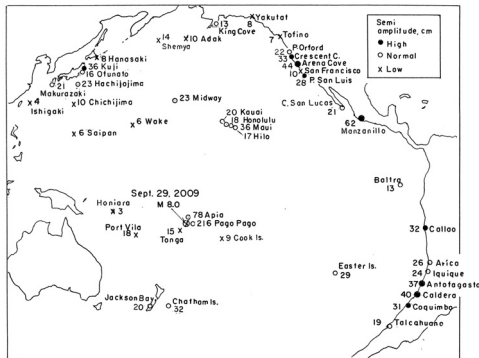


図6 2009年9月29日サモア津波の片振幅値 (cm) 分布. 振幅偏差で区分

あるが  $m = 0$  とみなされる。2009年9月サモア津波は、大きく  $m = 3$  と判定した。図4には、ニュージーランド津波の観測値を示す。2003年8月, 2004年12月, 2007年9月の3例の津波マグニチュードは  $m = 1$  と判定される。2009年7月の津波は Jackson Bay で 17 cm, DART Tasman Sea ( $46.92^\circ$  S,  $160.56^\circ$  E), では海中の観測で 5 cm と小さく,  $m = 0.5$  と推定した。

つぎに4例の津波について、それぞれマグニチュード値を基準に、振幅偏差の地理的分布を検討してみよう。図5には、2006年5月トンガ津波の全振幅値分布を示す。 $m = 2$  として、 $\Delta - H$  図 (図3) で振幅値が  $m = \pm 0.5$  の範囲内を標準とみなし、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)、下回る地点は小と区分して示した。震源周辺では Niue, Pago Paga, Apia で振幅 40 - 50 cm が標準である。半面、Nukualofa (トンガ), Suva, Cook Is. の振幅値が大幅に下回っている。一方、米国カリフォルニア州沿岸での振幅値はかなり差があり、Crescent City 54 cm と突出するが、San Francisco では 10 cm にとどまった。カナダ、アラスカ、花咲の 10 - 15 cm が標準的であり、南太平洋の Port Vila 45 cm, ハワイの Maui 42 cm が突出している。一方2009年9月サモア津波では、 $m = 3$  とすると振幅偏差の分布は図6のようになる (振幅値が規模スケールで1階級上回る地点を、大きな黒丸で示した)。カリフォルニア沿岸の Crescent City, Arena Cove, Port San Luis の振幅値が大きく、南米チリ沿岸が突出している。ハワイでは標準的である。日本では 4 - 23 cm であり、岩手県久慈の 36 cm が大きい。

図7には、2004年12月と2007年9月ニュージーランド南方沖津波の全振幅値分布を示す。両津波のマグニチュード  $m = 1$  とみなすと、振幅値は標準的であるが、2007年津波ではオーストラリアの Port Kembla で 35 cm が大きい。

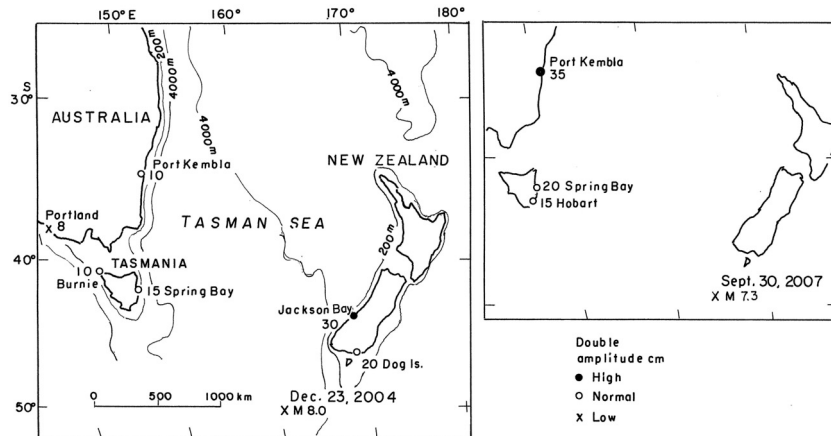


図 7 2004 年, 2007 年ニュージーランド津波の全振幅値 (cm) 分布. 振幅偏差で区分

### 3. 最近 157 年間の津波と震央分布

Table 1 には, 157 年間 (1853-2009) にサモア～ニュージーランド間で発生した津波リストを示す。ここで地震の震央とマグニチュード  $M_s$  は宇津 (1990) の地震カタログから引用し, 1990 年以降のものは ITIC の報告で補足した。津波マグニチュードは今村・飯田スケール  $m$  で表し, 1968 年以前の津波は Soloviev and Go (1985) が示した値を引用した。近年の津波では, 筆者の方法で求めた値を示す。なお, T と記したものは津波記録はあるが,  $m$  値は未定である。

図 8 には, 地震の規模と津波マグニチュードとの関係を示す。破線は日本近海で発生した津波の観測データから得られた経験式 (羽鳥, 1996) を示す。これを基準にみれば, 2006 年 9 月の地震など  $M 7.0$  前後の地震による津波が大きい。  $M 7.8$  以上の地震では, 2006 年トンガ津波, 2009 年サモア津波の規模が標準的であるが, ニュージーランドでは 1931 年, 2004 年の津波の  $m$  値が 2 階級 (波高にして約 1/5) 下回っている。

図 9 には, 110 年間 (1900-2009) に発生した津波を伴う地震の震央分布 (黒丸) を示す。それぞれ発生年を示し, 主な津波には地震と津波のマグニチュード  $M/m$  を付記した。1917 年 6 月サモア津波は  $m = 3$  と最大に推

Table 1. List of tsunamiogenic earthquakes from Samoa to New Zealand during 1853-2009.

Date	Epicenter		Magnitude	
	Lat. S	Long. W	Earthquake M	Tsunami $m$
<b>Samoa, Tonga, Kermadec</b>				
1853 12 -	Tonga		-	-
1865 11 18	19.5°	173.5°	8	3?
1881 11 24	Tonga		8	-
1883 3 24	Samoa		-	1
1917 5 1	29	177	7.9	3?
1917 6 26	15.5	173	8.4	3
1917 11 16	29	177.5	7.5	1
1919 1 1	19.5	176.5	8.3	-
1919 4 30	19	172.5	8.2	1.5
1928 5 18	Lifuka Is.		-	0.5
1948 9 8	21	174	7.8	-
1963 12 18	24.8	176.6	7.3	0.5
1968 7 25	30.8	178.4	7.2	0.5
1976 1 14	28.4	177.6	7.9	T
1986 10 20	28.1	176.4	8.2	T
1995 4 7	15.2	173.6	8.0	0?*
2006 5 3	20.1	174.2	7.9	2*
2006 9 28	16.6	172.1	6.9	0*
2008 10 19	21.9	173.8	7.0	-
2009 3 19	23.0	174.7	7.6	-
2009 9 29	15.5	172.0	8.0	3*
<b>New Zealand</b>				
1845 7 6	Wanganui		-	0.5
1848 10 16	40.6	174.5	7.1	0.5
1848 10 17	41.3	174.8	7	0.5
1855 1 23	41	175	8.0	2
1913 2 26	41.8	171.5	6.8	0.5
1922 12 25	43	173	6.3	0
1929 6 16	41.7	172.2	7.6	1
1931 2 2	39.5	176.9	7.8	0
1932 7 16	39	177.5	6.8	0
1947 3 26	38.8	178.5	7	2?
1950 3 14	37.8	177.2	5.8	0
2003 8 21	45.1	167.1	7.5	1*
2004 12 23	50.1	160.4	8.0	1*
2007 9 30	49.3	164.1	7.3	1*
2009 7 15	45.8	166.6	7.6	0.5*

Earthquakes and earthquake magnitude  $M_s$ , quoted from Utsu (1990) and ITIC.

$m$ : Tsunami magnitudes before 1968 quoted from Soloviev and Go (1985).

\* Magnitude scales are estimated by the present study.

T: Observed tsunamis.

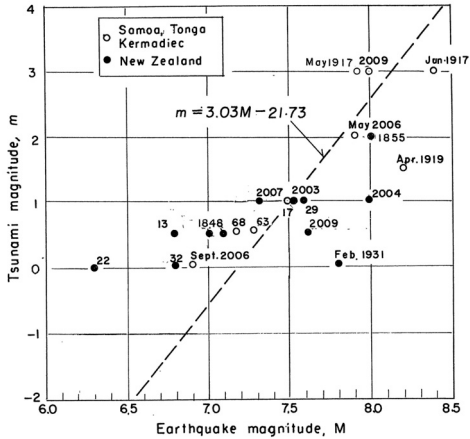


図8 地震と津波のマグニチュードとの関係。破線：日本近海の津波データによる経験式

定されている（震源付近の諸島に被害をもたらし、ハワイやカリフォルニア州沿岸で観測された）。その震央近くに、2009年9月の津波 ( $m = 3$ ) が発生した。1947年3月ニュージーランド北島東岸の地震 ( $M 7$ ) では、Gisborne

北部で津波高が9-10 mに達し、家屋や道路に被害を与えた。津波は地すべりで発生した可能性があるという (Soloviev and Go, 1985)。津波マグニチュード  $m = 3$  ? と推定されているが、津波高が局地的であり  $m = 2$  程度であろうか。

図9の白丸は、1900-2009年間に津波記録がない地震  $M > 7.0$  の震央を示す。大きな白丸は  $M > 7.8$  の地震を表し、トンガ～ケルマデック間では深さ100-200kmの深発地震が多い。サモア～ケルマデック間で  $M > 7.0$  の地震数は28回、このうち津波を伴ったものが15回あり、津波の発生率は54%になる。ニュージーランド周辺では、地震数18回、津波数は11回あり、津波の発生率は61%である。各震央は水深4000m沿い、プレートの境界付近に集中する。一方、ニュージーランドでは沿岸域とオークランド諸島付近に分布している。左上図には、歴史津波の波源分布を比較して示す (Soloviev and Go, 1977: 太平洋 全域の津波波源図の部分)。大規模な津波はサモ

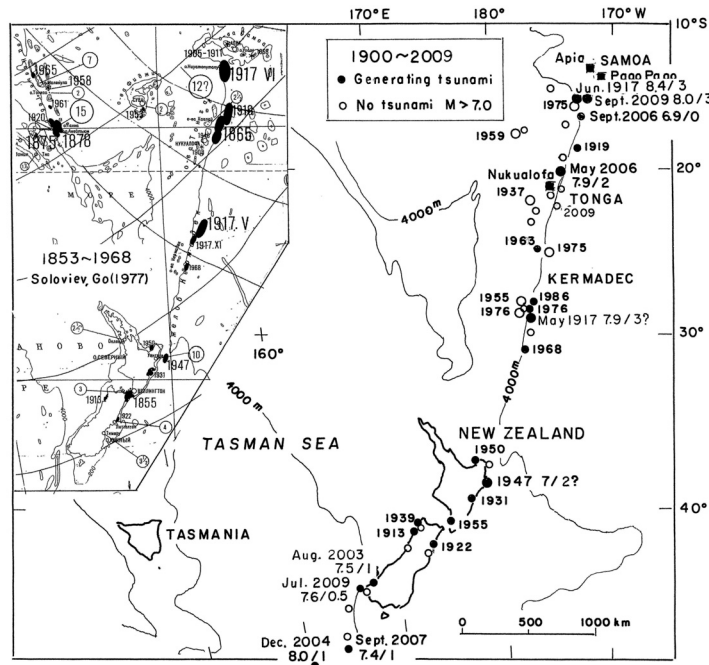


図9 震央分布 ( $M > 7.0, 1900-2009$ )、発生年に地震と津波のマグニチュード  $M/m$  を示す。  
 左上図：歴史津波の波源 (Soloviev and Go, 1977)。

ア・トンガ付近にあり,分布パターンは1900年以降の震央分布と共通する。なお,ニュージーランド南部では,2010年9月3日にクライストチャーチ沖でMw 7.0の地震が発生した。同市で建物の破損や道路に亀裂が生じるなどの被害が新聞報道されたが,津波の情報はない。

#### 4. むすび

2003-2009年間に,サモア~ニュージーランド間で発生した7例の津波のマグニチュードを解析した。その結果,2006年5月トンガ津波が太平洋の広い範囲で観測され, $m=2$ と判定される。2009年9月サモア津波は最大で $m=3$ になる。一方,ニュージーランドでは2003年・2004年・2007年の津波は $m=1$ と推定した。地震の規模と比べ,2006年5月トンガ津波,2009年9月サモア津波は標準的である。ニュージーランドでは, $M>7.8$ の地震で津波規模が2階級も下回り, $M7.0$ 前後の地震では1階級ほど(波高にして約2倍)上回っている。サモア~ケルマデック間で,震央が水深4000mの等深線に沿って分布する。ニュージーランドでは沿岸域とオークランド島付近に分布しており,1950年以降北島付近で津波発生がなく,今後の地震活動に注目したい。

#### 謝辞

2009年9月サモア津波の解析に当たり,(独)産業技術総合研究所つくばセンターの行谷佑一氏から,NOAAによる多数の検潮記録が提供された。ご厚意に記した感謝します。

#### 参考文献

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,1996,日本近海における津波マグニチュードの特性,津波工学研究報告, No.13, pp.17-26.

羽鳥徳太郎,2008,2007年4月1日ソロモン地震津波—パプアニューギニア,ソロモン,ニューヘブリデス諸島の津波規模,津波工学研究報告, No.25, pp.15-19.

ITIC,2003, South Island, New Zealand, 21, August 2003, Tsunami Newsletter, Vol.35, No.5.

ITIC,2005, North of Macqarie Island, Mw=8.1, 23 December 2004, 14:59 UTC, Tsunami Newsletter, Vol.37, No.1.

ITIC,2006a, Tonga 3 May 2006, 15:37 UTC, Mw=7.9, Tsunami Newsletter, Vol.38, No.2.

ITIC,2006b, Samoa Islands, September 2006, 06:22 UTC, Mw=6.9, Tsunami Newsletter, Vol.38, No.3.

ITIC,2007, Aucklands, New Zealand, 30 September 2007, 05:24 UTC, Mw=7.4, Tsunami Newsletter, Vol.39, No.3.

気象庁,2009,特集,9月30日サモア諸島の地震,平成21年9月地震・火山月報(防災編)

Namegaya, Y., S. Koshimura, Y. Nishimura, et al., 2010, A rapid-response field survey of the 2009 Samoa earthquake tsunami in American Samoa, 3rd. International Tsunami Field Symposium, Tohoku Univ., pp.71-72.

Soloviev, S.L. and Ch.N.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.

都司嘉宣・藤間功司・榊山 勉・他,2010,2009年9月29日サモア諸島地震津波による独立国サモアの被害状況,日本地球惑星科学連合学会, MIS003-05.

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.