

1995年チリ北部津波と日本での南米津波の規模

羽 鳥 徳太郎*

1. はじめに

1960年チリ津波は、日本の太平洋沿岸全域に大被害(死者142人)をもたらし、遠地津波を対象とする研究の契機となった。1586(天正14)年のペルー津波が記録されてから現在まで、日本では南米津波により8回被災歴がある。波源の指向性とレンズ効果で日本列島にエネルギーが集まり、三陸沿岸では近地津波を含め、入射した全エネルギーの約1/3が南米津波によるものであった(羽鳥, 1989; Hatori, 1993)。1960~1996年間に、津波がコロンビア~ペルー間で7回、チリで9回発生し、このうち日本で観測された津波は前者が5回、後方で3回を数え頻度が高い。

本稿では、まず1995年7月チリ北部津波の概況を述べ、日本での観測波高値から津波マグニチュードを推定する方法を試みた。そして南米津波に対し、日本での波高の規模などの関連を整理してみる。

2. 1995年チリ北部津波の規模

ハワイの国際津波情報センター発行のニュースレター(ITIC, 1996)によれば、1995年7月30日5時11分UT(日本時間:14時11分)ころ、チリ北部のアントファガス沖を震源とする $M_s=7.3$ の地震が発生し、死者3人、負傷者59人、建物なども多数の被害をもたらした。震央は 23.364°S , 70.312°W , 深さ47km(米国地質調査所)であった。本震から40時間のあいだに $M4$ クラスの余震が30回以上観測され、余震域は南北180km, 幅70km, 傾斜角 19° の低角断層と報告された。

この地震は津波を伴い、太平洋各地で観測された。同ニュースレターに報告されたチリ海軍水路部(SHOA)によれば、震源に近いLa Rinconadaでは、津波が平常の潮位より2~2.5m上がり、海岸から250~300m遡上したとある。また、アントファガスタで全振幅2.80mの最大波が記録された。図-1は、同報告によるチリ沿岸各地の検潮記録を示す。

図-2は、波面を1時間間隔で作図した津波伝播図を示し、ニュースレターによる各地の全振幅値を付記した。日本列島での津波の伝播時間は22時間07分以降になり、1960年のチリ津波の場合より20分ほど早く到着した。各地の波高は、日本をはじめハワイのHiloで0.75m, Crescent Cityでは0.35mが比較的高くなっている。

以上の各地の検潮記録をもとに、筆者の方法(羽鳥, 1979)で図-3から津波マグニチュードを判定してみよう。横軸に震央から観測点までの距離、縦軸には検潮記録の最大片振幅値をとる。津波マグニチュード m 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。図-3には、5例の津波観測値と比較しており、1995年津波のマグニチュードは $m=2.5$ と格付けられる。規模階級の定義によれば、 $m2$ クラスの津波では波源付近の沿岸波高は4~5mに該当する。検潮記録によるマグニチュードの判定が過大評価のようにみえるが、津波は干潮時に向って起こり(図-1)、痕跡高が2m近く低下していた。

図-3によれば、1960年津波のマグニチュードは $m=4.5$ と格付けられ、最大級の津波であったことが理解できよう。1985年津波は $m=1.5$ となり、地震の規模($M=7.8$)と比べて標準的であるが、1995年津波のマグ

*元東京大学地震研究所

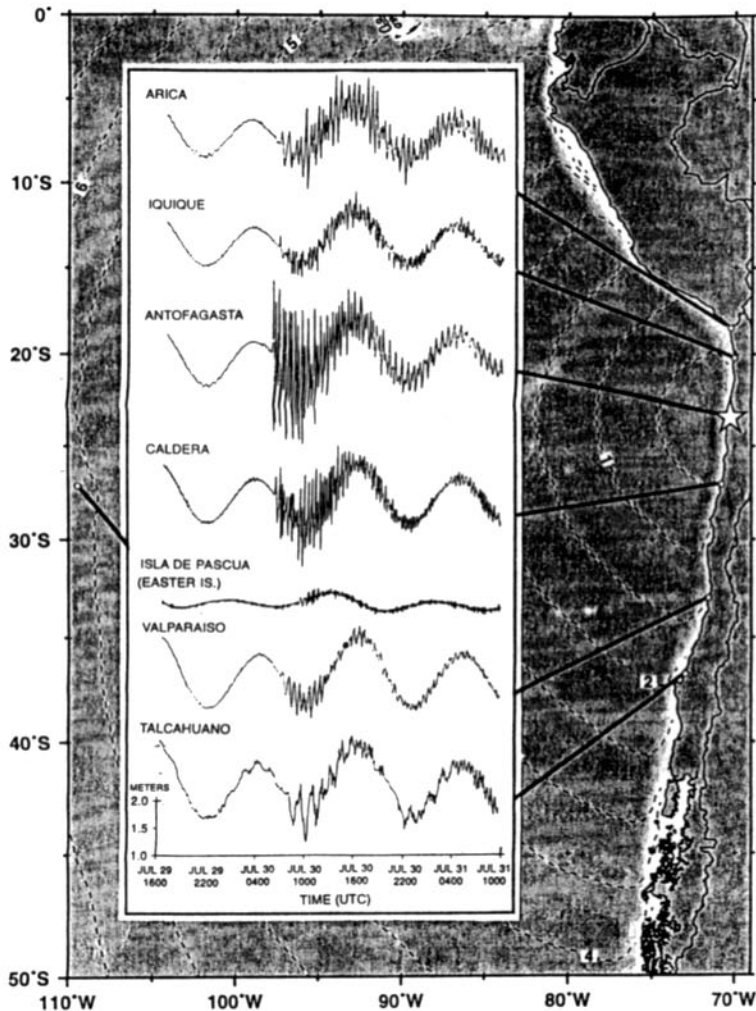


図-1 チリ沿岸における1995年7月30日チリ北部津波の検潮記録 (ITICによる)

ニチュードは2階級(波高にして約5倍)も大きい(羽鳥, 1996b)。1996年2月21日のペルー-北方沖地震($M_s=7.1$)による津波は、日本で観測されなかったが、中南米の観測値から $m=1.5$ と判定され、この値も地震の規模に比べれば2階級ほど大きくなっている。

日本沿岸の検潮記録

今回収集された、1995年津波の検潮記録の読取り値を表-1に示す。図-4aと図-4bに主な記録例を示す。襟裳岬の庶野で、全振幅66cmが最大値であった。また、茨城県大洗では58cmが記録され、意外に大きい。最大波

の平均周期は21分になる。一方、気象庁地震火山部の報告(No.376, 1995)によれば、片振幅値は20~40cmになり、北日本が大きく西日本に向かって減少し、南西諸島では10cm前後にとどまった。

3. 日本の観測データによる津波規模の判定

チリ津波に対して、日本とハワイでは指向性の効果で波高が平均マグニチュードよりも2~5倍も上回っており(図-3)、津波マグニチュードの判定が難しい。そこで日本の

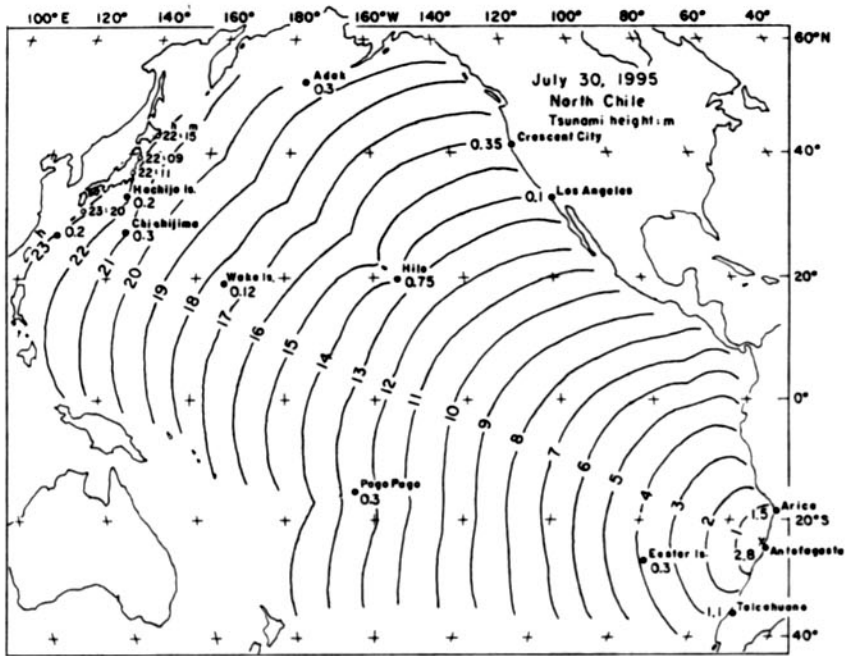


図-2 1995年チリ北部津波の伝播図（波面は1時間間隔）。数字は全振幅値（m）を示す。

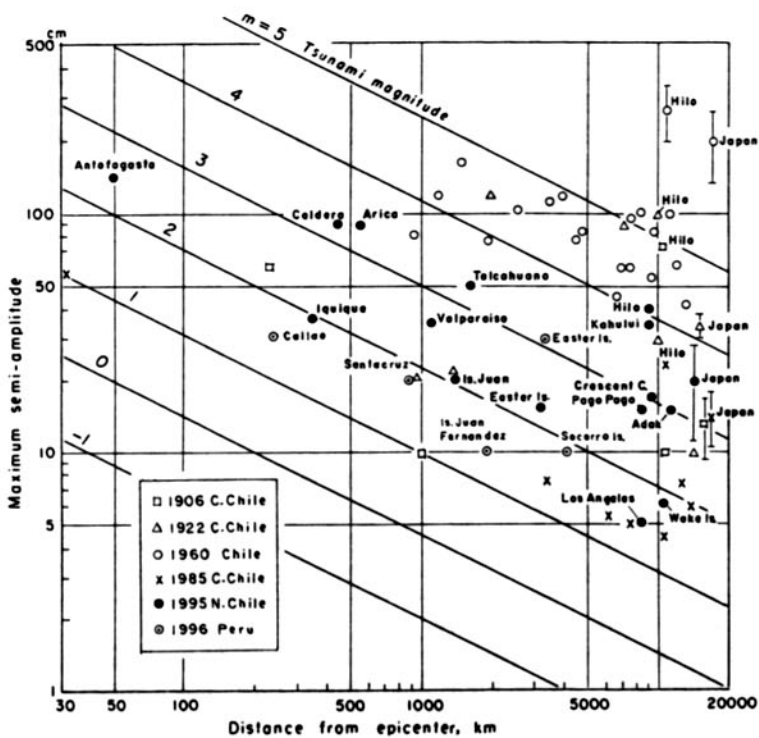


図-3 津波の最大片振幅値と震央距離の関係。津波マグニチュードで区分。

表-1 1995年7月30日チリ北部地震の津波観測表

No.	Tide station	Initial wave			Maximum wave				Authority*
		Travel time	Rise	Period	Occurrence time (JST)	Double ampl.	H	Period	
		h m	cm	min	d h m	cm	cm	min	
1	Nemuro	23 17?	2	16	31 21 32	15	8	30	HDB
2	Akkeshi	22 15	4	18	31 18 04	12	5	12	HDB
3	Hiroo	22 23?	3	30	31 14 58	16	7	28	HDB
4	Shoya	22 07	13	16	31 14 25	66	40	12	HDB
5	Muroran	?			31 17 04	7	4	30	MSA
6	Hakodate	23 24?	3	25	31 17 36	28	16	25	JMA
7	Tappi	No evidence							MSA
8	Aomori	?			31 16 20	7	4	25	PCB
9	Ominato	23 11?	8	44	31 20 23	21	10	40	MSA
10	Mutsu-Ogawara	22 24	5	16	31 14 51	36	16	22	PCB
11	Hachinohe P.	22 21	4	18	31 14 46	26	16	32	PCB
12	Shimanokoshi	22 07	10	14	31 14 50	43	22	14	IPO
13	Kamaishi	22 09	8	22	31 14 29	35	17	28	MSA
14	Shirahama	22 09?	8	20	31 17 30	42	18	30	TCB
15	Tsukihama	22 09?	7	15	31 17 30	38	18	30	TCB
16	Nobiru	22 44?	9	20	31 17 50	16	8	30	TCB
17	Oarai	22 11	8	30	31 16 57	58	35	33	IBP
18	Chiba	No evidence							MSA
19	Shibaura	"							MSA
20	Yokosuka	"							MSA
21	Kozu Is.	22 41	4	12	31 15 49	19	9	10	MSA
22	Miyake Is.	22 41?	3	15	31 17 20	18	9	8	MSA
23	Hachijo Is.	22 37?	2	12	31 16 24	16	9	9	MSA
24	Minami-Izu	22 27	5	16	31 17 07	25	11	16	MSA
25	Wakayama	No evidence							KCB
26	Tomogashima	"							KCB
27	Osaka	"							OCO
28	Amagasaki	"							HPO
29	Nushima	"							HPO
30	Fukura	23 49	3	20	31 17 00	11	8	25	HPO
31	Okinosu	No evidence							SCB
32	Toyomasu	"							SCB
33	Oita	"							MSA
34	Odomari	24 21?	4	10	31 18 35	24	12	10	MSA
35	Nishinoomote	23 20	3	14	31 19 52	11	5	12	MSA
36	Nakanoshima	23 23	10	4	31 14 46	28	16	10	MSA
37	Naze	23 29?	4	20	31 16 12	14	8	15	MSA

H : Tsunami height above ordinary tides.

* HDB: Hokkaido Development Bureau, HPO: Hyogo Prefectural Office, IBP: Ibaraki Prefectural Office, IPO: Iwate Prefectural Office, JMA: Japan Meteorological Agency, KCB: Kinki Construction Bureau, MSA: Marine Safety Agency, OCO: Osaka City Office, PCB: 2nd Construction Bureau, SCB: Shikoku Construction Bureau, TCB: Tohoku Construction Bureau.

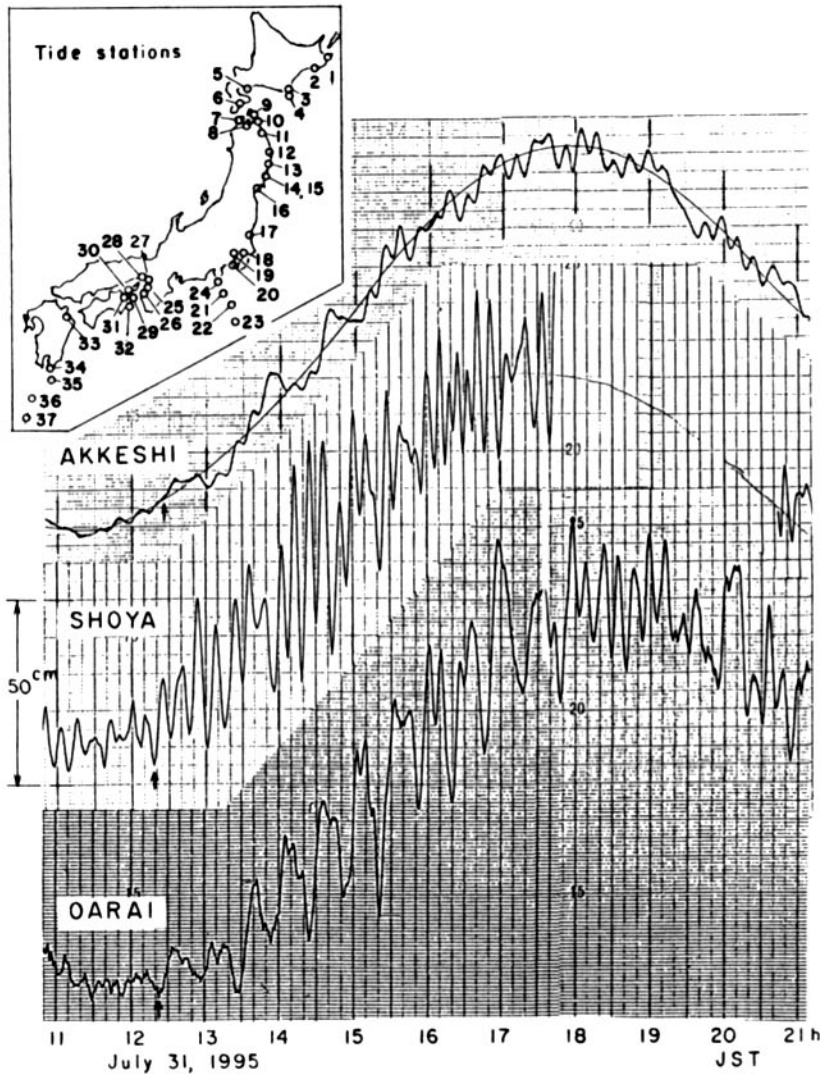


図-4 a 1995年7月31日チリ北部津波の検潮記録。

観測データから、広域のデータに適合するマグニチュード値を独自に判定する方法を図-5で試みた。5例の津波を取り上げ、1960年津波は平均海面上の遡上高、その他の津波は検潮記録上の最大全振幅値で示す。

図-5から、チリ津波のマグニチュード値(1960年津波, $m=4.5$; 1985年津波, $m=1.5$ など)と調和的な次の実験式を得る。

$$m=0.000L+2.86\log H+3.12$$

ここで L (km) は、各地の波高 H を花咲～串本を結ぶ線上に投影し、花咲を原点に観測

点まで距離を表す。なお、1995年津波は $m=2$ と判定され、広域のデータより得た値より 0.5 小さい値になり、指向性の影響が弱かったのであろうか。

一方、ペルー～コロンビア間の津波では、1974年ペルー津波 ($m=2.5$) は $m=1.5$ と判定され(図-5)、広域のデータから得た値より1階級小さい。その他1970年ペルー津波 ($m=2$) は $m=0.5$ 、1979年コロンビア津波 ($m=2.5$) は $m=1.5$ となり、1～2階級小さく求められた。 $\Delta-H$ 図(図-3)に日本

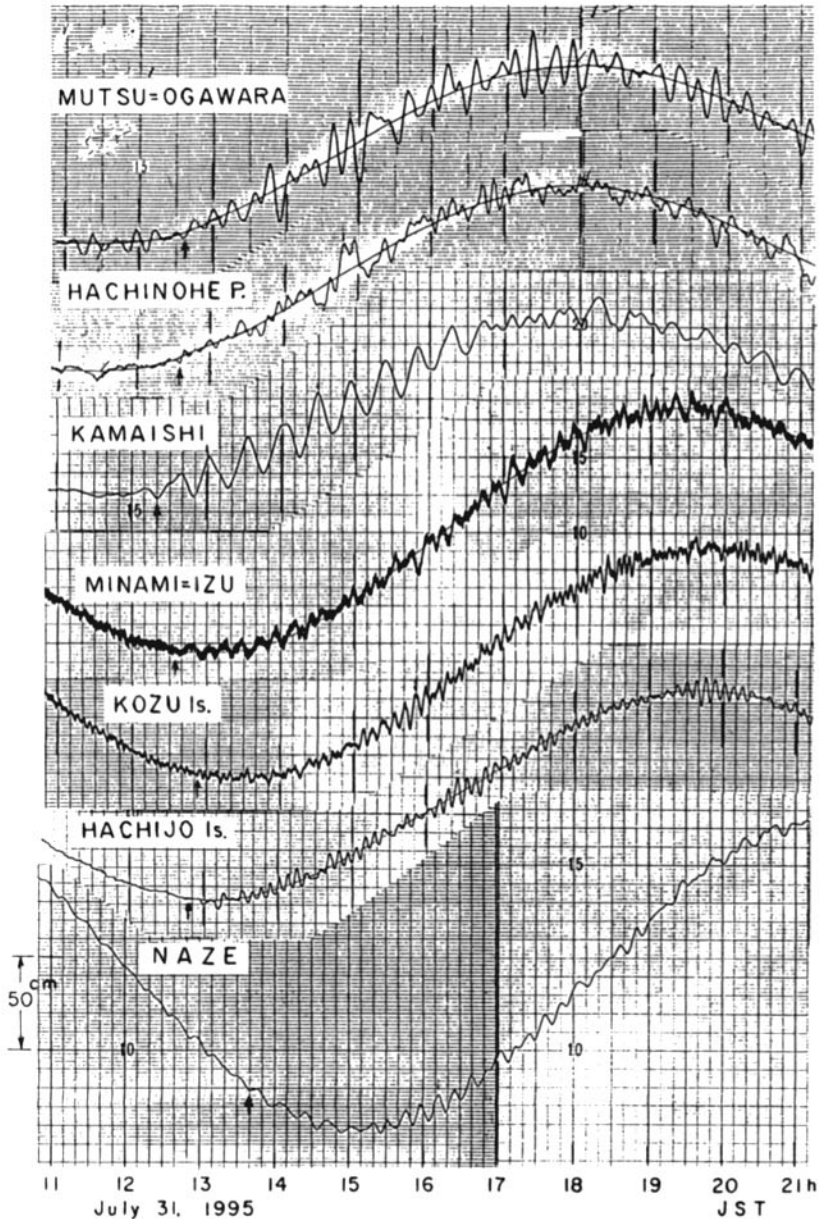


図-4 b 1995年7月31日チリ北部津波の検潮記録。

の観測波高値をあてはめると、伝播距離 $\Delta^{-1/2}$ に対応して波高が減衰しており(羽鳥, 1981), 指向性の効果が小さいことを示唆する。図-3によれば, 1996年2月のペルー津波 ($m=1.5$) は, 日本で片振幅5cm前後の波が期待されるが, ノイズに隠されたようだ。

4. 津波の様相と地震規模の関係

1960年チリ津波は, 警報に先立ち海底が露出するほどの引き潮で気付かれた。検潮記録によれば, 最初の上げ波は三陸沿岸で40~90 cm (全国平均は約20cm) であった。最大全振幅値と初動の振幅比は(図-6, 左), 北日本

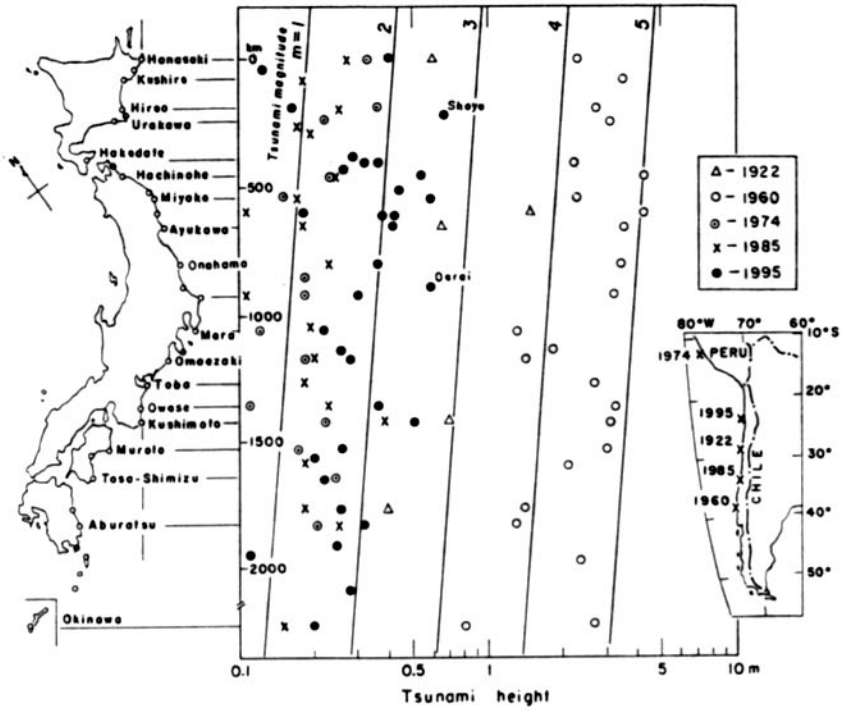


図-5 日本沿岸における南米津波の波高分布。新方法による津波マグニチュードで区分。

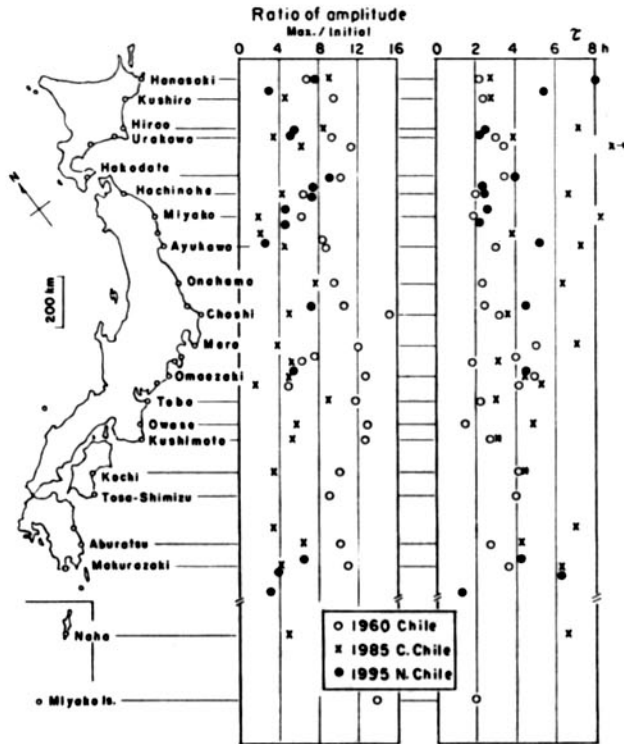


図-6 津波の最大全振幅値と初動との振幅比(左図)。津波初動から最大波までの時間間隔(右図)。

で約5倍、西日本に向かって約10倍になっている(波高分布は図-5に示した)。1985年・1995年津波の初動は10cm以下であり、振幅比は4~5倍になる。

各チリ津波は、太平洋を渡り地震から22時間以後に日本沿岸に到達した。津波初動から最大波の出現時間までの間隔(図-6, 右)をみると、1960年津波は北日本で約3時間であり、西日本に向かって時間が伸びている。1995年津波も同じ傾向を示し、1985年津波の最大波出現時間は遅い。このような例外もあるが、他地域で発生する遠地津波と比べる

と、チリ津波は陸棚に直行して入射するので、初動からの時間間隔はきわめて短い。

日本では1586年(天正14)のペルー津波から、南米津波が三陸沿岸を中心に記録され、現在までに8回被災歴がある。検潮器による観測例を加え、表-2に主な波高値を示す(メートル単位の波高は遡上高, cm単位のものとは最大全振値で示す)。

以上の表から、地震の規模 M と日本での波高との関係を見ると図-7のようになる。 M 8以上の地震で波高は2~3mになり、1960年チリ津波の最大波高6mが突出した。

表-2 南米津波による日本沿岸の波高

日付	マグニチュード		日本の波高	文献*
	地震 M	津波 m		
Chile				
1730 VII 8	8.7	4	三陸2~3m	1), 2)
1751 V 24	8.5	3.5	大槌3m, 牡鹿・桃生1~2m, 石巻2m	3)
1837 XI 7	8.0	3	大船渡3m, 陸前高田2m, 女川2m	3)
1868 VIII 14	8.5	4	函館2m, 三陸2~3m, 沖繩2m	4)
1877 V 9	8.3	4	函館2.4m, 釜石3m, 九十九里浜3m	4)
1906 VIII 16	8.4	2	函館24cm, 鮎川18cm, 串本35cm	4)
1922 XI 10	8.3	3	花咲60cm, 大船渡1~2m, 串本70cm	4)
1943 IV 6	7.9	1	花咲10cm, 串本25cm	4)
1960 V 22	8.5	4.5	釧路610cm, 八戸582cm, 串本308cm	5), 6)
1985 III 4	7.8	1.5	花咲27cm, 八戸25cm, 串本38cm	7)
1995 VII 30	7.3	2.5	花咲40cm, 宮古58cm, 串本50cm	8)
Peru~Colombia				
1586 VII 9	8.1	4	三陸2~3m	1), 2)
1687 X 20	8.2	3	三陸1~2m	1), 2)
1906 I 31	8.7	3.5	函館34cm, 鮎川36cm, 串本48cm	4)
1960 XI 20	7.0	2.5	釧路16cm, 八戸25cm, 宮城江島34cm	4)
1966 X 17	7.8	2	函館18cm, 八戸38cm, 土佐清水20cm	4)
1970 VI 1	7.6	2	鮎川14cm, 土佐清水13cm	9)
1974 X 3	7.6	2.5	広尾36cm, 土佐清水24cm, 名瀬30cm	9)
1979 XII 12	7.6	2.5	広尾39cm, 島越48cm, 土佐清水18cm	9)
1996 II 21	7.1	1.5	日本で津波観測されず	

* 1) Iida(1984). 2) 渡辺(1985). 3) 羽鳥(1991). 4) Hatori(1968). 5) 気象庁(1961).
6) チリ津波合同調査班(1961). 7) 羽鳥(1985). 8) 本研究. 9) 羽鳥(1981).

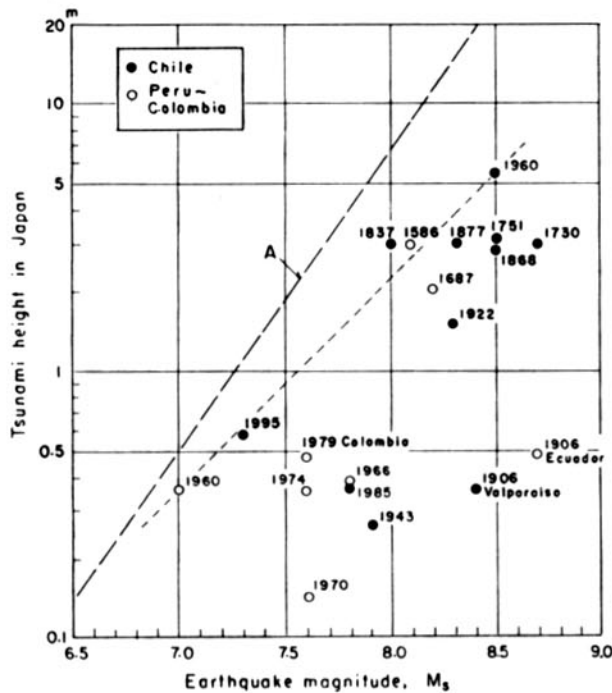


図-7 南米地震のマグニチュード M_s と日本での津波波高の関係。A：日本近海で発生した津波の実験式， $\log H = 1.12M - 8.15$ (羽鳥，1996a)

$M8.4$ を超えた巨大地震による1906年1月のエクワドル津波と1906年8月のバルパライソ津波では、鮎川と串本で観測された最大全振幅値は35～48cmにとどまった。このような特異な事例が、1960年チリ津波の予報にあたり規模を甘く判断させたのであろう。 $M7.5 \sim 8.0$ の地震で見ると、破線Aで示す日本の太平洋沿岸で発生した津波の実験式(羽鳥，1996a)と比べ、チリ津波による波高は $1/2$ ， $1/3$ 小さく、点線で上限値の目安を示した。波高が1mを超えれば被害が発生し、遠地津波特有の長周期を含み、継続時間が長いので、近地津波の挙動とかなり異なる。

5. むすび

1995年7月のチリ北部津波について、日本沿岸での検潮記録を調べ、過去の津波と比較検討した。太平洋各地の波高分布を $\Delta-H$ 図にあてはめると、津波マグニチュードは $m =$

2.5と推定され、地震の規模と比べ2階級ほど大きい。

チリ津波に対し、日本での観測波高値は平均マグニチュードより2～5倍も上回っており、その観測値から独自に津波マグニチュードを判定する実験式を示した。一方、ペルー～コロンビア間で発生する津波に対し、日本では伝播距離に応じて、波高が減衰しており、指向性の効果がチリ津波より弱いことが認められた。これは、波源の方向に起因していると考えられる。

謝 辞

1995年チリ北部津波の解析には、各検潮所管理機関から提供された記録を用いた。関係各位に深く感謝する。記録の収集は東大地震研究所の都司嘉宣助教授によって行われ、それを利用して頂いた。記して厚く御礼を申し述べる。

参 考 文 献

- チリ津波合同調査班 (代表: 東大地震研, 高橋龍太郎), 1961: 1960年5月24日チリ地震津波に関する論文及び報告, 丸善, 東京, pp.397.
- Hatori, T., 1968: Study on distant tsunamis along the coast of Japan. Part 2: Tsunamis of South American origin, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.46, pp.345-359.
- 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, 1981: 日本沿岸で観測したコロンビア・ペルー津波 (1960~1979年), 地震研究所彙報, Vol.56, pp.535-546.
- 羽鳥徳太郎, 1985: 1985年チリ中部津波における日本沿岸の状況—チリ津波の規模と日本, ハワイの波高予測, 地震研究所彙報, Vol.60, pp.643-655.
- 羽鳥徳太郎, 1989: 日本沿岸における遠地津波のエネルギー分布, 地震2, Vol.42, pp.467-473.
- 羽鳥徳太郎, 1991: チリ・ペルー津波による日本の被災頻度—宝暦元年 (1751)・天保8年 (1837) チリ津波の新史料, 津波工学研究報告, 東北工科大学, No.8, pp.133-144.
- Hatori, T., 1993: Distribution of tsunami energy on the circum-Pacific zone, Proc. IUGG/IOC Intern. Tsunami Symposium, Wakayama, Japan, pp.165-173.
- 羽鳥徳太郎, 1996a: 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, 東北工科大学, No.13, pp.17-26.
- 羽鳥徳太郎, 1996b: 南米における津波規模の特性, 地震2, Vol.49, pp.241-247.
- Iida, K., 1984: Catalog of tsunamis in Japan and its neighboring countries, Bull. Aichi Inst. Tech., Special Rep., pp.52.
- ITIC, 1996: July 30, 1995, $M_w=7.5$, near Antofagasta, Chile, ITIC Newsletter, Vol.28, No.1.
- 気象庁, 1961: 昭和35年5月24日チリ津波調査報告, 気象庁技術報告, No.8, pp.389.
- 渡辺偉夫, 1985: 日本被害津波総覧, 東京大学出版会, pp.206.