

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—

羽鳥徳太郎*

(昭和60年10月14日受理)

要 旨

1985年3月3日、チリのバルパライソ沖でおきた地震 ($M=7.8$) により、約23時間後に日本の太平洋沿岸各地の検潮所で全振幅 10~30 cm の津波が観測された。太平洋各地の検潮記録から判定すれば、津波マグニチュードは $m=1.5$ と格付けされる。日本沿岸では津波の周期15分が卓越したが、最大波に60分の長周期波も含まれている。津波初動から最大波が現われた時間は、3時間と7時間前後のところがあり、3時間後に最大波を記録した1960年チリ津波の波形パターンと多少異なった。

1700年以降の日本の記録によれば、チリで $M8$ 以上の巨大地震が発生して、チリ沿岸で波高が 6~8 m の場合、日本沿岸では 1 m 程度の波高になり、10 m をこえると日本では 3 m 以上に達して被害をもたらした。また、ハワイでは常に日本より波高が大きい。これは、日本の津波予報を適確に判断する上で、チリおよびハワイの津波情報がきわめて重要であることを示している。

1. はじめに

1960年チリ津波以後、日本沿岸ではペルー・コロンビアで発生した4個の津波が観測され(羽鳥, 1981; HATORI, 1983), 今回のチリ中部津波は1979年コロンビア津波いらいの南米の津波であった。米国地質調査所 (USGS) の報告によれば、発震時は1985年3月3日22時47分 (GMT), (日本時間: 4日7時47分), 震央は $33.16^{\circ}\text{S}, 71.98^{\circ}\text{W}$, 深さ 33 km, バルパライソ沖にあり、地震のマグニチュードは $M=7.8$ であった。この地震で、バルパライソ・サンアントニオ・サンチャゴなどにおいて死者147人、負傷者2,000人を出した。そして地震に伴った津波により、波源に近いバルパライソで 1.1 m, サンアントニオでは 3~4 m の波高が記録された (BEHN, 1985)。

気象庁では、日本時間の5日5時00分に北海道から沖縄に至る太平洋沿岸に津波注意報を発表し、津波に備えた。しかし幸に、地震から23時間前後に各地で観測された津波は、小振幅にとどまった。本稿では、気象庁・水路部で得られた41個所の検潮記録から、津波の概況を示し、近年の各種チリ津波との比較を行った。一方、1700年以降チリで発生した歴史津波について、日本およびハワイの津波記録とチリ津波の規模との関係を調べ、今後のチリ津波に対し日本沿岸の波高予測を考えてみた。

* 元地震研究所所属, 現在 川口市末広 2-3-13 〒332

2. 地震・津波の概況

今回の地震は、1906年チリ地震 ($M=8.4$) の南隣りに発生し、地震の空白域とみなされていた (KELLEHER, 1972)。USGS の報告から、本震より1日間の余震々央をプロットすると Fig. 1 左図のようになる。余震域は沿岸ぞいに 200 km の長さがあり、 $M7.8$ の地震に対してほぼ標準的なサイズである。Fig. 1 右図には、1868 年以降日本沿岸で津波が記録された各種チリ津波の波源域分布を示す。それぞれの波源に、津波の発生年と地震マグニチュード M およびカッコ内に津波マグニチュード m (今村・飯田スケール) を記してある。

今回の津波は中規模であったこともあり、太平洋各地の観測値は多く発表されていないが、日本の観測データを加え (後述)、各地の津波伝播時間と最大波の全振幅 (EOS: May 7, 1985; ITIC, 1985) を津波伝播図上 (Fig. 2) に示す。波面は震央から出発して1時間々隔に示したもので、各地の観測値とほぼ調和している。

太平洋各地の津波データをもとに、筆者の方法による波高一伝播距離図上 (Fig. 9) で津波マグニチュードを判定すれば、 $m=1.5$ と格付けできる。これは、地震のマグニチュード $M7.8$ に対して、津波の規模はやや標準を下回った。

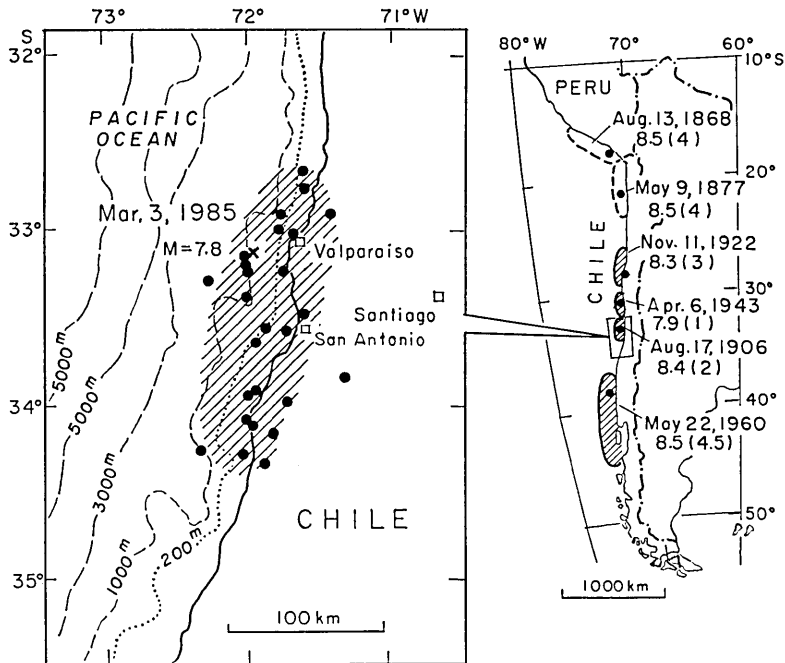


Fig. 1. Distribution of aftershocks of the 1985 central Chile earthquake (USGS, 1985). Right figure: Geographic distribution of the source areas of Chilean tsunamis. Dates, earthquake magnitude, M , and tsunami magnitude, m (Imamura-Iida scale) are indicated.

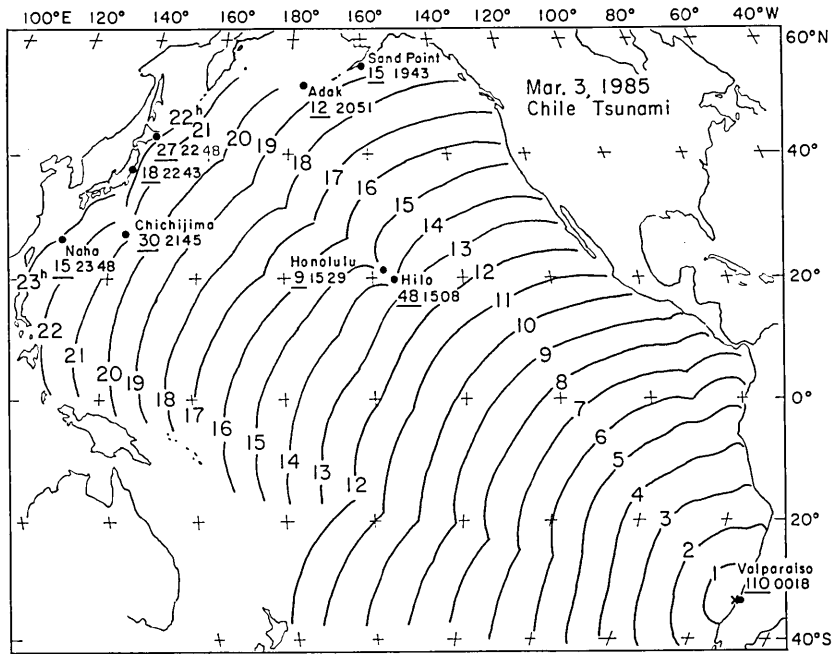


Fig. 2. Refraction diagram of the 1985 central Chile tsunami across the Pacific Ocean (time interval: 1 hr.). The observed travel times (h, m) and double amplitudes (cm) are shown.

3. 日本沿岸の津波の状況

今回の津波は、小振幅であるが日本沿岸各地の検潮所で観測された。Fig. 3には主な検潮記録を示す。津波初動の立ち上がりはあまり明瞭でなく、津波伝播図 (Fig. 2) を参照して矢印で示した。Table 1には、各地の検潮記録の読取り値を示す。

津波の伝播時間は東北日本で約23時間、西日本ではそれより30分ほど遅れている。Fig. 4には、各種チリ津波の伝播時間 (HATORI, 1968) との比較を示す。1960年チリ津波と比較すると、今回の津波の伝播時間は20~30分ほど長い。しかし、いずれのチリ津波も、東北日本の伝播時間は西日本より30分ほど短い共通のパターンを示している。

Fig. 5には、各種チリ津波における検潮記録で得られた最大波の全振幅を示す。1960年チリ津波が、日本の太平洋沿岸全域に大被害を与えたことはよく知られており (例えば、チリ津波合同調査班, 1961; 気象庁, 1961), とくに三陸と熊野灘沿岸の波高が大きかった。今回の津波では、全振幅が10~30 cm程度であり、地域差ははっきりしない。

次に各地の検潮記録から周期別の頻度をみると、Fig. 6のようになる。上段は第1波、下段には最大波の周期頻度を示す。これを見ると、第1波には15分周期の波が卓越し、最大波には20分と60分付近にピークがある。三陸・熊野灘のリアス海岸では短周期が卓越し、北海道の噴火湾および紀伊水道沿岸では40分以上の長周期波を観測したところが多い。このパターンは、1960年チリ津波の場合と類似している。

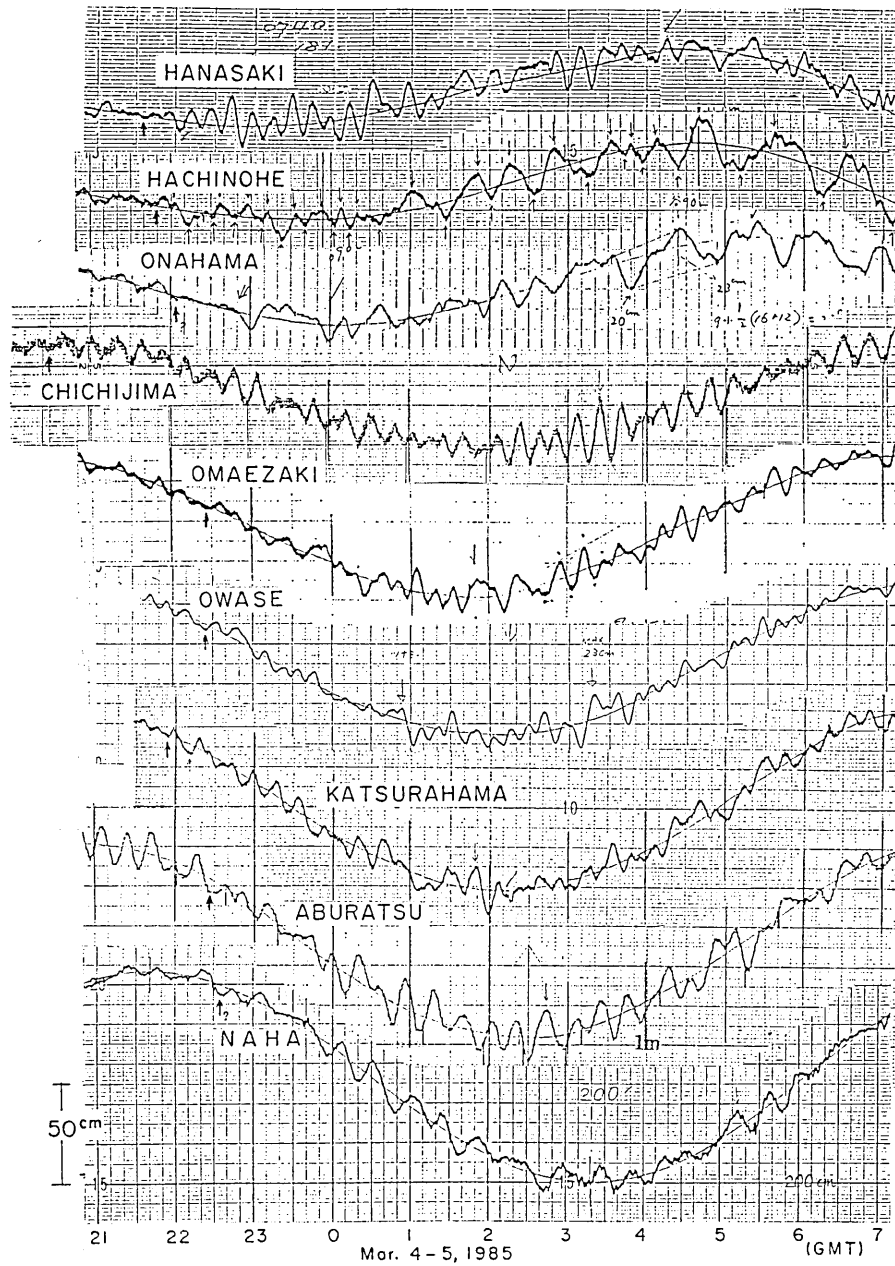


Fig. 3. Tide-gauge records of the central Chile tsunami on March 3, 1985 observed at the Japanese tide stations.

Table 1. The central Chile tsunami of March 3, 1985, as recorded by the tide gauges of Japan. Wave originated near the earthquake epicenter (33.16°S, 71.98°W, d=33 km, $M_s=7.8$, USGS) off the coast of central Chile, at 22: 47 (GMT), March 3, 1985.

Tide station	Initial wave			Maximun wave			
	Travel time	Rise	Period	Double ample.	Period	τ	H
	h m	cm	min	cm	min	h m	cm
Hanasaki	22 48	3	12	27	38	2 50	18
Kushiro	22 55?	4	20	18	25	2 48	12
Hiroo	22 41	3	16	25	52	7 12	13
Urakawa	22 53?	5	18	17	15	4 00	10
Tomakomai	23 05	3	20	19	60	12 10	10
Muroran	23 06	2	35	15	60	13 52	9
Mori	22 58	3	16	12	60	14 55	10
Hachinohe	23 03	6	42	25	53	6 50	12
Miyako	22 53	9	28	17	25	8 15	8
Ofunato	22 53	5	15	10	10	3 48	6
Ayukawa	22 43	4	18	18	30	7 22	10
Onahama	23 15	3	30	23	52	6 22	14
Choshi	22 43	2	25	10	46	3 15	7
Mera	22 45	5	15	19	20	7 06	10
Harumi, Tokyo	24 03?	4	82	12	60	3 15	7
Izu-Oshima Is.	22 45?	3	65	6	70	2 02	3
Hachijo Is.	23 15	3	50	12	55	2 58	10
Chichijima Is.	21 45	5	20	30	18	6 53	16
Uchiura	24 00?	5	23	14	28	3 10	10
Shimizu	23 55?	2	48	10	60	2 05	6
Omaezaki	23 38	4	26	20	20	4 50	11
Maisaka	24 04	4	30	6	26	5 15	4
Nagoya	24 23?	2	60	10	70	2 55	6
Toba	24 00?	2	22	18	20	3 00	12
Owase	23 38	4	15	23	22	4 52	12
Uragami	23 37	4	10	18	13	1 43	9
Kushimoto	23 38?	7	13	38	12	2 53	20
Kii-Shirahama	23 58?	2	40	13	48	5 27	6
Wakayama	24 13?	2	36	15	58	7 56	9
Komatsujima	24 08?	4	23	15	50	9 17	10
Katsurahama, Kochi	23 08	5	20	18	20	4 23	10
Uwajima	24 30?	3	33	8	35	7 05	5
Nobeoka	23 43	5	15	18	30	7 03	12
Aburatsu	23 38	4	13	25	24	4 17	13
Makurazaki	24 00	8	15	33	18	6 15	16
Naha, Okinawa	23 48	3	22	15	25	6 38	8
Ishigaki Is.	?						

τ : Time interval between the arrival of the wave front and the maximum wave crest. H: Tsunami height above ordinary tides.

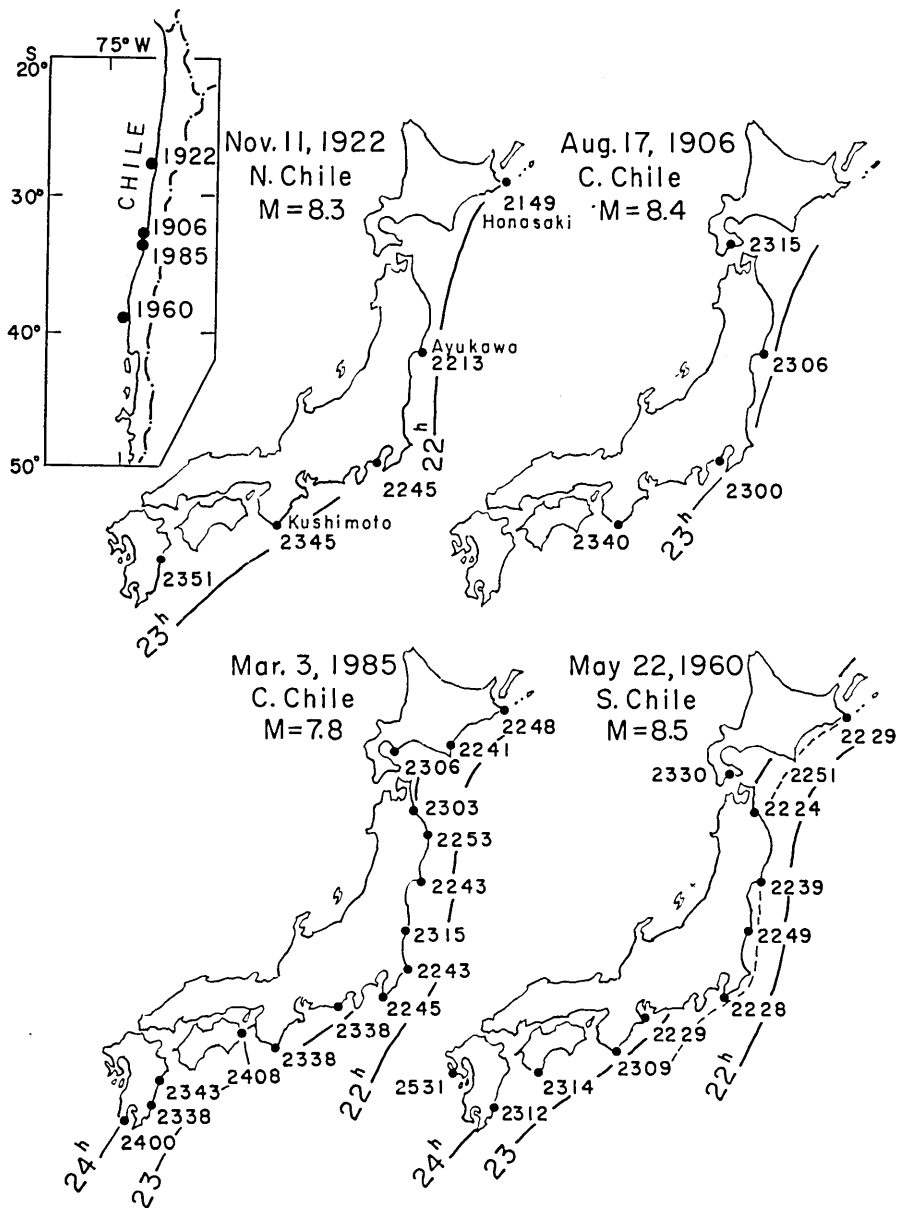


Fig. 4. Refraction diagrams of various Chilean tsunamis. Arabic numerals indicate the observed travel times (h, m).

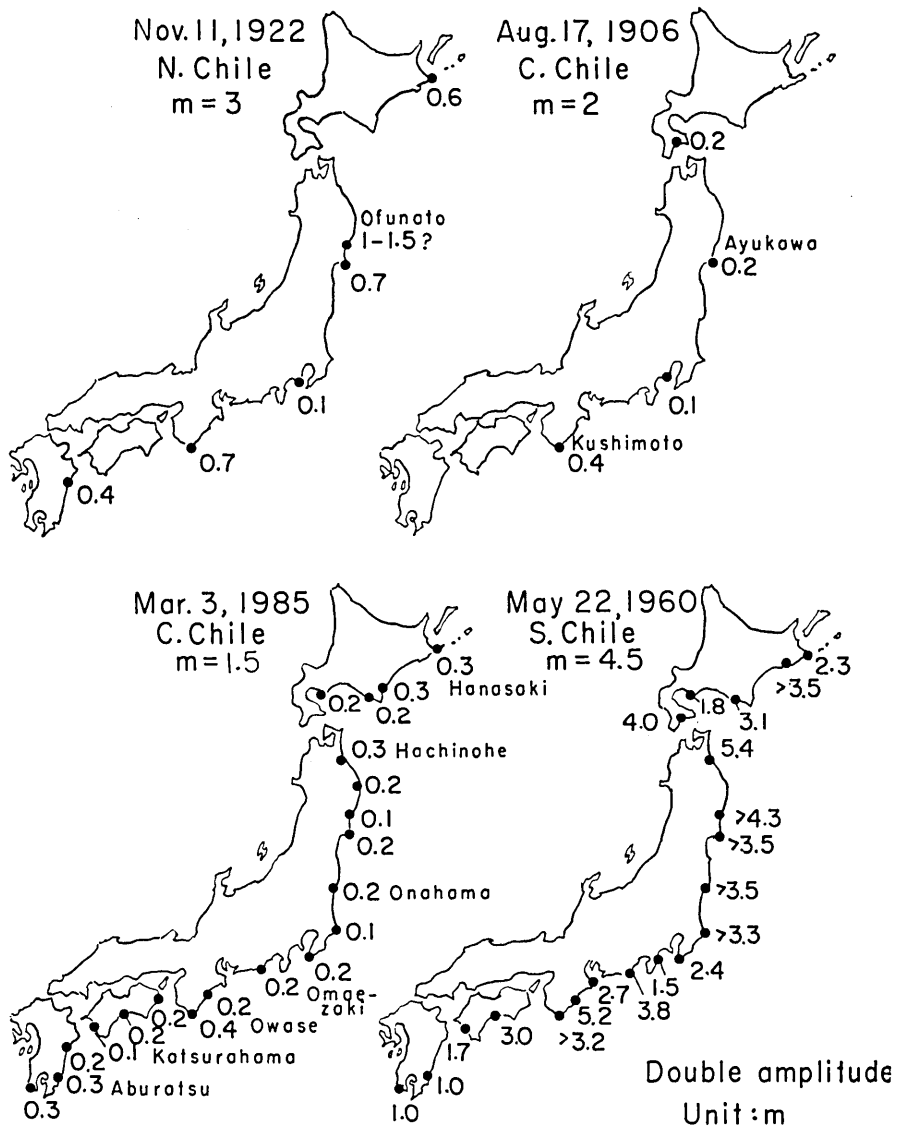


Fig. 5. Distributions of double amplitude (unit: m) for various Chilean tsunamis.

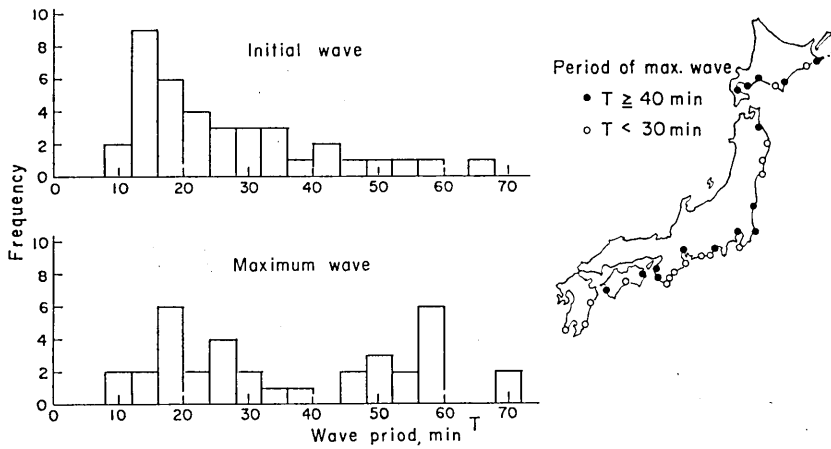


Fig. 6. Occurrence frequency of the wave period of the 1985 central Chile tsunami observed at the Japanese tide stations.

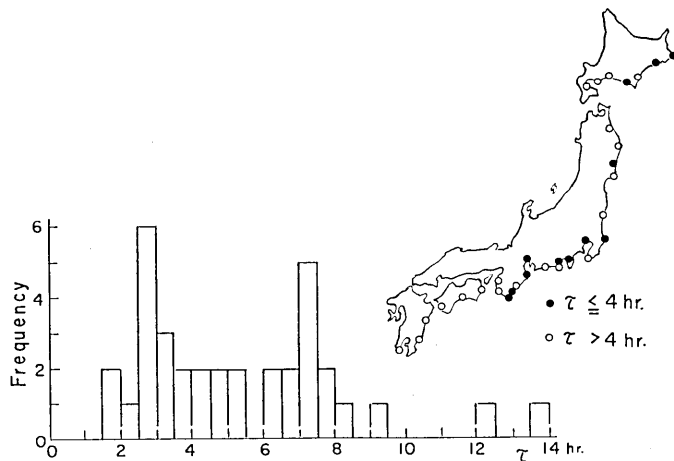


Fig. 7. Frequency of the time interval between the arrival front and the maximum wave for the 1985 central Chile tsunami.

津波初動から最大波が出現する時間は、波源が遠く離れるほど伸びるのが遠地津波の特徴である。今回の津波では Fig. 7 に示すように、初動から3時間と7時間後に最大波が出現している。その地理的分布は、東北日本では4時間以上のところが多く、四国・九州では7時間前後、噴火湾周辺では12~14時間後に最大波に達している。なお、1960年チリ津波では、初動から3時間ぐらい後に最大波が出現しており、7時間以後のところはほとんどない。

4. チリ津波の規模と日本・ハワイの波高

今回の津波は1960年津波の南隣りで発生したが、両津波が共通の観測点で得られた鮎川と串本の検潮記録 (HONDA 他, 1908) を Fig. 8 に示す。スケールは多少異なるが、両

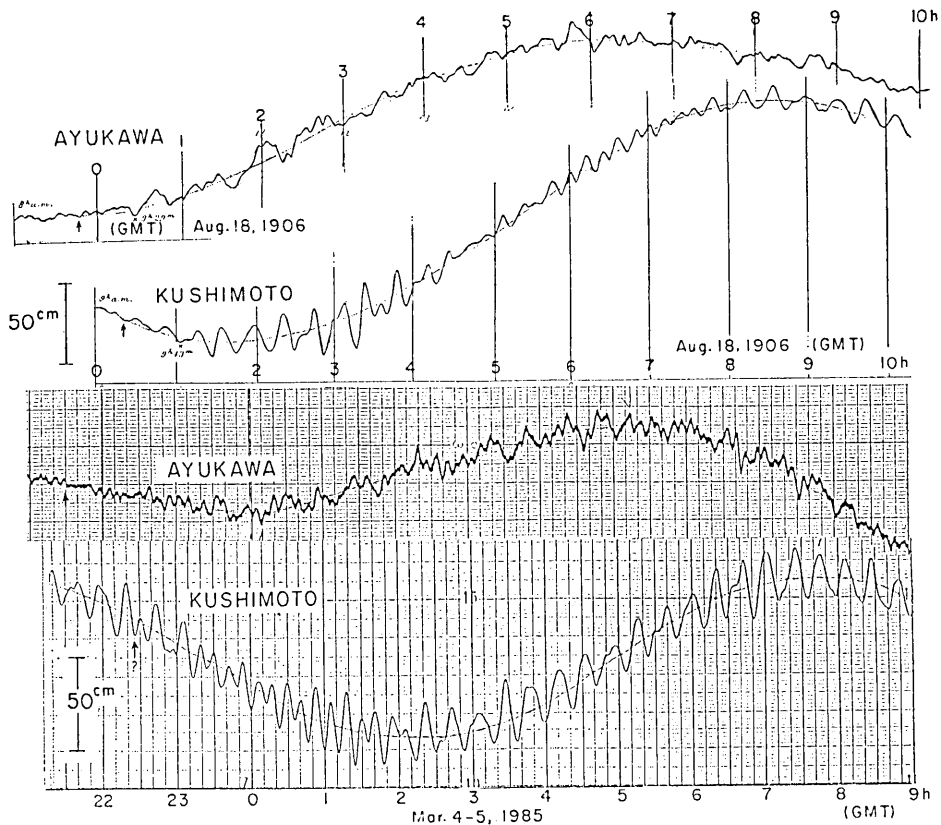


Fig. 8. Tide-gauge records of the central Chile tsunamis in 1906 and 1985 observed at Ayukawa and Kushimoto.

津波の振幅はほぼ等しい。しかし、1906年津波のマグニチュードは、太平洋各地の記録から $m=2$ とみなされる (Fig. 9)。

いま4個のチリ津波について、津波の高さと伝播距離の関係図に、検潮器で得られた最大波の片振幅をプロットすると Fig. 9 のようになる。この図に筆者の方法で津波マグニチュード (今村・飯田スケール) を区分すれば、1960年チリ津波は $m=4.5$ と格付けできる。そして今回の津波は、前に述べたように $m=1.5$ とみなせる。

ここで特筆すべきことは、いずれのチリ津波においても、日本とハワイ (ヒロ) の波高が平均津波マグニチュードより2階級ほど飛びぬけて大きいことである。これは、津波エネルギーにして10倍、波高では3.2倍も上回ることになる (羽鳥, 1979)。日本沿岸で波高が大きくなる要因として、津波の指向性およびハワイ諸島がレンズ作用になり、チリから伝播する津波のエネルギーが日本に収束すると考えられている (三好, 1977)。

日本では1586年 (天正14年) から南米の津波が記録され (湯村, 1961; 渡辺, 1983; IIDA, 1984), ハワイもその都度津波災害に見舞われてきた (PARARAS-CARAYANNIS, 1977)。これらの地域を含め、南米における地震・津波の記録が収集・整理されている

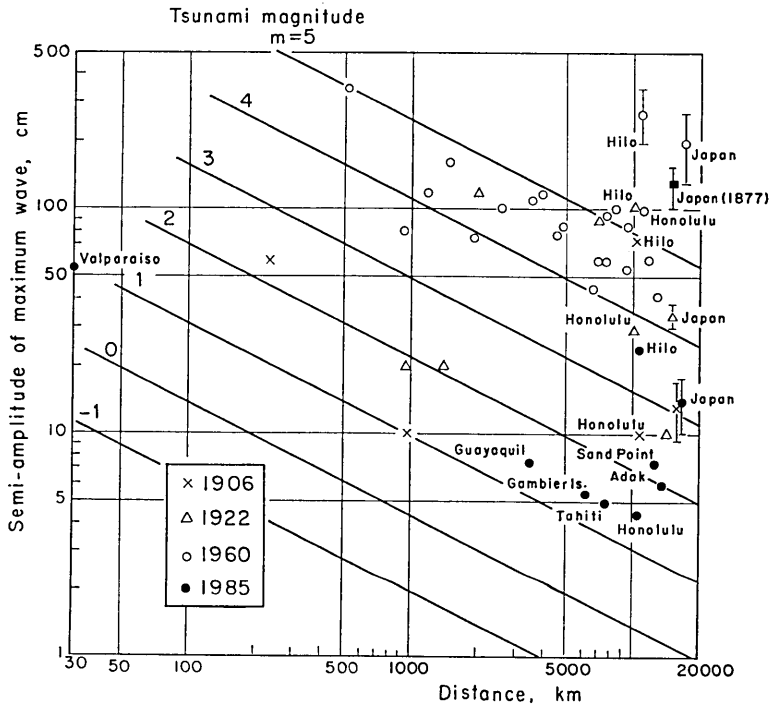


Fig. 9. Tsunami magnitude on the Imamura-Iida scale is classified by the attenuation of tsunami height with distance from the epicenter.

Table 2. Data of Chilean tsunamis: Tsunami heights in various regions.

Date	Magnitude		Tsunami height			
	Earth-quake M	Tsunami m^*	Chile	Hawaii Is. Hilo Honolulu		Japan
1730 July 8	—	3	8~10? ^m	—	— ^m	3 ^m
1751 May 25	—	3	—	—	—	3
1837 Nov. 7	8.5	4	8~10?	6	2.4	2~3
1868 Aug. 13	8.5	4	12~14	4.6	—	2~3
1877 May 9	8.5	4	10~18	5	1.2	2~3
1906 Aug. 17	8.4	2	>1.2	1.5	0.1	0.1~0.2
1922 Nov. 11	3.3	3	6~9	2.1	0.3	0.6~0.7
1943 Apr. 6	7.9	1	0.5~1	—	0.1	0.2
1960 May 22	8.5	4.5	10~18	4~7	1.0	3~5
1985 Mar. 3	7.8	1.5	3~4	0.5	0.02	0.1~0.2

* Tsunami magnitude on Imamura-Iida scale.

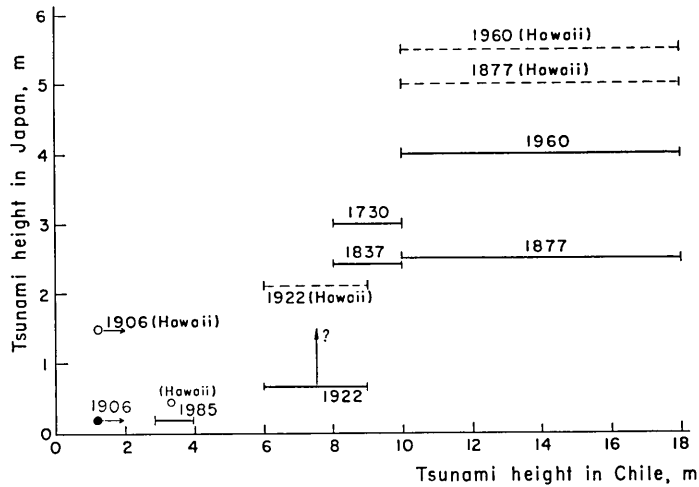


Fig. 10. Relation between tsunami heights in Chile and those in Japan for various Chilean tsunamis. Tsunami heights in Hawaii (Hilo) are also indicated by the broken lines.

(SOLOVIEV and GO, 1984). この中から1700年以降チリで発生した津波の記録をひろい出し、チリおよびハワイ・日本沿岸における津波の高さを Table 2 に示す。表示のように、ホノルルの波高はいずれもヒロの1/3以下であった。1922年津波では、日本の検潮所で60~70 cmの津波が観測されたが (IMAMURA and MORIYA, 1939), 大船渡では30戸が波に洗われ、1~2 mの高さに達したらしい。

Fig. 10には、それぞれの津波におけるチリ沿岸と日本・ハワイ（ヒロ）の波高との関係を示す。なお、日本・ハワイの波高値にも当然幅があるが、ここでは平均値を示してある。これを見ると、日本沿岸ではチリで6~8 mの津波がおこれば1 m程度の波高になり、10 mを超えたとき3 m以上の波高に達し、顕著な被害に見舞われたことがわかる。また、ハワイのヒロでは常に日本沿岸の波高を上回っている。

5. む す び

検潮記録をもとに、日本沿岸における1985年チリ中部津波を解析した。津波マグニチュードは、太平洋各地の記録から判断すれば $m=1.5$ とみなせる。日本沿岸には地震から約23時間後に10~30 cmの津波が観測され、周期15分程度の波が卓越したが、最大波に60分の長周期波が含まれている。最大波は初動から3時間後に現われたが、西日本では7時間後のところが多く、1960年チリ津波の波形パターンと多少異った。

1700年以降のチリ津波の記録を振り返ると、10 m以上の巨大津波が発生したとき、日本沿岸ではチリの約1/5の波高になり、顕著な被害を受けてきた。また、ハワイではその都度、日本を上回る波高を記録している。日本の適確な津波予報には、チリおよびハワイの津波情報（ハワイから日本までの津波伝播時間は、およそ7時間である）がいかに重要

であるか、あらためて示された。

チリ中部から南部にかけて、巨大地震の発生間隔は約100年、ペルーでは150~200年とみなされている (IIDA, 1983)。今回の地震で、26°S以南の地域では震源域がほぼ埋めつくされたように見えるが、チリ北部では地震の空白域が目立つ。ここで発生した1877年(明治10年)津波は函館・三陸沿岸に溢れ、九十九里浜では死傷者を出した(湯村, 1961; 三好, 1962)。それからすでに100年が経過しており、第2次チリ津波の発生源として、チリ北部の地震活動には警戒を要するであろう。

謝 辞

今回のチリ中部津波における検潮記録の収集にあたって、気象研究所の岡田正実氏に大変お世話になった。ここに記して深く感謝の意を表する。

文 献

- チリ津波合同調査班(代表:東大地震研究所 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. 1-397.
- 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, 54, 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, 56, 535-546.
- 気象庁, 1961, 昭和35年5月24日チリ地震津波調査報告, 気象庁技術報告, 8, pp. 1-389.
- 三好 寿, 1962, 津波, 日本海洋学会創立20周年記念論文集, 日本海洋学会, 265-271.
- 三好 寿, 1977, 津波—その発生から対策まで, イルカぶっくす 12, 海洋出版, 東京, pp. 1-126.
- 渡辺偉夫, 1983, 改訂日本および周辺の津波の表, 地震 ii, 36, 83-107.
- 湯村哲男, 1961, 過去の遠地地震による津波の表, 昭和35年5月24日チリ地震津波調査報告, 気象庁技術報告, 8, 247-255.
- BEHN, R. R., 1985, On the Chilean tsunami of March 3, 1985, International Tsunami Symposium in 1985, Victoria and Sidney, Canada.
- HATORI, T., 1968, Study on distant tsunamis along the coast of Japan. Part 2: Tsunami of South American origin, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, 46, 345-359.
- HATORI, T., 1983, Colombia-Peru tsunamis observed along the coast of Japan—Tsunami magnitude and source areas, *Tsunamis—Their Science and Engineering*, edited by K. Iida and T. Iwasaki, Terra Scientific Pub. Co., Tokyo, 173-183.
- HONDA, K., T. TERADA, Y. YOSHIDA and D. ISITANI, 1968, Secondary undulations of oceanic tides, *J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo*, 24, 1-113.
- IIDA, K., 1983, Some remarks on the occurrence of tsunamigenic earthquakes around the Pacific, *Tsunamis—Their Science and Engineering*, edited by K. Iida and T. Iwasaki, Terra Scientific Pub. Co., Tokyo, 61-76.
- IIDA, K., 1984, Catalog of tsunamis in Japan and its neighboring countries, *Bull. Aichi Inst. Tech., Special Rep.*, pp. 1-52.
- IMAMURA, A. and M. MORIYA, 1939, Mareographic observations of tsunamis in Japan during the period from 1894 to 1924, *J. Japan Astr. Geophys.*, 17, 119-140.
- INTERNATION TSUNAMI INFORMATION CENTER, 1985, Chilean earthquake and tsunami of March 1985, *Tsunami Newsletter*, Honolulu, Hawaii, 18(1), July 1985.
- KELLEHER, J. A., 1972, Rupture zones of large South American earthquakes and some predictions, *J. Geophys. Res.*, 77, 2087-2103.
- PARARAS-CARAYANNIS, G., 1977, Catalog of tsunamis in Hawaii, WDCA, Rep. SE-4, U.S. Dept. of Commerce.

SOLOVIEV, S.L. and CH. N. Go, 1985, Catalogue of tsunamis on the eastern shore of the Pacific Ocean (Original language: Russian). Translated by Canada Institute for Scientific and Technical Information National Research Council, Ottawa, Canada K1A 0S2, pp. 1-285.

The Central Chile Tsunami in March 1985 that Observed along the Coast of Japan—Relation Between Magnitude of Chilean Tsunamis with Tsunami Heights in Japan and Hawaii

Tokutaro HATORI

Small tsunamis were observed at tidal stations in Japan about 23 hours after the tsunamigenic earthquake occurred off Valparaiso on March 3, 1985. According to the U.S. Geological Survey report, the earthquake magnitude was $M=7.8$. The aftershock area extended 200 km along the coast. Tsunami heights were 1.1 m at Valparaiso, 3~4 m at San Antonio, Chile, and 0.5 m at Hilo, Hawaii.

Along the Pacific coast of Japan the maximum double amplitudes were 10~30 cm. The period of the initial wave was 15 min, and the long period of 60 min predominated in the maximum wave. The time interval between the arrival front and maximum wave was 3 and 7 hours. Judging from the author's method based on the attenuation of tsunami height with distance, the tsunami magnitude (Imamura-Iida scale: m) of the present tsunami is determined to be $m=1.5$.

Since 1700, six Chilean tsunamis have hit Japan and Hawaii (Hilo). On the tsunami height—distance diagram, wave amplitude in Japan and Hawaii deviated more than 3.2 times higher than the average tsunami magnitude. The relationship between the Chilean tsunamigenic earthquakes with tsunami heights in Japan and Hawaii (Hilo) is as follows:

- 1) Japan and Hawaii suffered damage by tsunamis when Chilean earthquakes had magnitudes of $M8$ or more.
- 2) Tsunami height in Japan reached 1 m when tsunamis of 6~8 m were generated on the Chile coast, and the Japanese coast suffered damage with tsunami heights of 3 m or more when tsunami heights reached 10 m or more in Chile.
- 3) The tsunami height at Hilo, Hawaii was always higher than that in Japan, and the tsunami front reached Japan from Hawaii in 7 hours.

In order to do successful tsunami predictions in Japan, information on tsunami behavior in Chile and Hawaii is very important. After the present earthquake, the segment of the seismic sources in the regions of $26^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{S}$ was mostly compensated, but the remarkable seismic gap still remains in North Chile. This region should be watched for future large earthquakes.