

## 2001年6月23日ペルー南部地震津波の規模

羽鳥 徳太郎\*

## 1. はじめに

2001年6月23日15時33分(現地時間)、ペルー南部のオコニア市北西に津波を伴う巨大地震が発生した。アレギバやモケグアなどで多数の家屋が地震で破壊し、死者行方不明91人、負傷者899人、被災者は約12,500人にのぼったと、新聞報道された。

また、ハワイの国際津波情報センター(ITIC)のニュースレター(2001年9月)には、カマナ河口付近で遡上高が約5mに達したとある。米国地質調査所(USGS)の報告によれば、発震時は6月23日20時33分(GMT)(日本時間:6月24日05時33分)、震央は $16^{\circ}13.4'S$ ,  $73^{\circ}36.2'W$ 、深さ33km、地震のマグニチュードは  $M_s 8.2$  ( $M_w 8.4$ )であった。余震域はペルー沿岸に沿い長さ350kmにおよび、南東端ちかくで最大余震( $M_s 7.2$ )があった。菊地・山中(2001)によるメカニズム解では、破壊は震源から南東方向へ進行した傾斜角 $21^{\circ}$ の逆断層とみなされ、震源から離れたところで最大の食い違い4.5m、 $M_w 8.2$ と求められた。

津波は太平洋各地や日本の太平洋岸でも観測され(気象庁, 2001; 石垣, 2001)、岩手県の山田、大船渡湾で養殖筏が流された(首藤, 他, 2002; 加藤, 他, 2002)。本稿では、検潮記録をもとに、津波の波源域とマグニチュードを検討し、日本での津波の状況を考察する。

## 2. 津波の波源域

2001年ペルー南部津波は、太平洋各地で観

測され、主な検潮記録がITICのニュースレターに発表された。図-1には、その一部で3例の記録(カヤオ、アリカ、サンタクルーズ島)を示す。いずれも津波初動は押し波ではじまり、発震時からの津波伝播時間はカヤオ1時間37分、アリカ(チリ)27分、サンタクルーズ島(ガラバゴス諸島)では4時間00分である。最大波は3波目以降に現れ、全振幅はそれぞれ70cm, 250cm, 70cmであった。

以上の3観測点から津波の逆伝播図を描くと、各伝播時間に対応する最終波面は図-2のようになる。サンタクルーズ島での伝播時間は4時間と長時間であり、作図誤差を考えると、波源域は図示のような形に推定される。余震域(黒丸は余震分布)とはほぼ合致し、ペルー沿岸に沿い長さ310km、幅120kmとなる。なお、アリカにおける第1波の周期 $T$ は50分である。波源長軸の平均水深を1500mとすれば、流速 $V$ は $7.26\text{km}/\text{分}$ 、波長は $L=VT$ から363kmと求まり、波源の長さはほぼ調和する。

## 3. 津波の規模

図-3には、筆者の方法(羽鳥, 1979)による津波マグニチュードの判定図を示す。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、比較のために3例の南米津波の観測値を示した。

今回の津波は黒丸で示すようになり、津波マグニチュードは $m=3$ と格付けられる。国際津波調査チーム(Koshimura, 2002)によ

\*元東京大学地震研究所

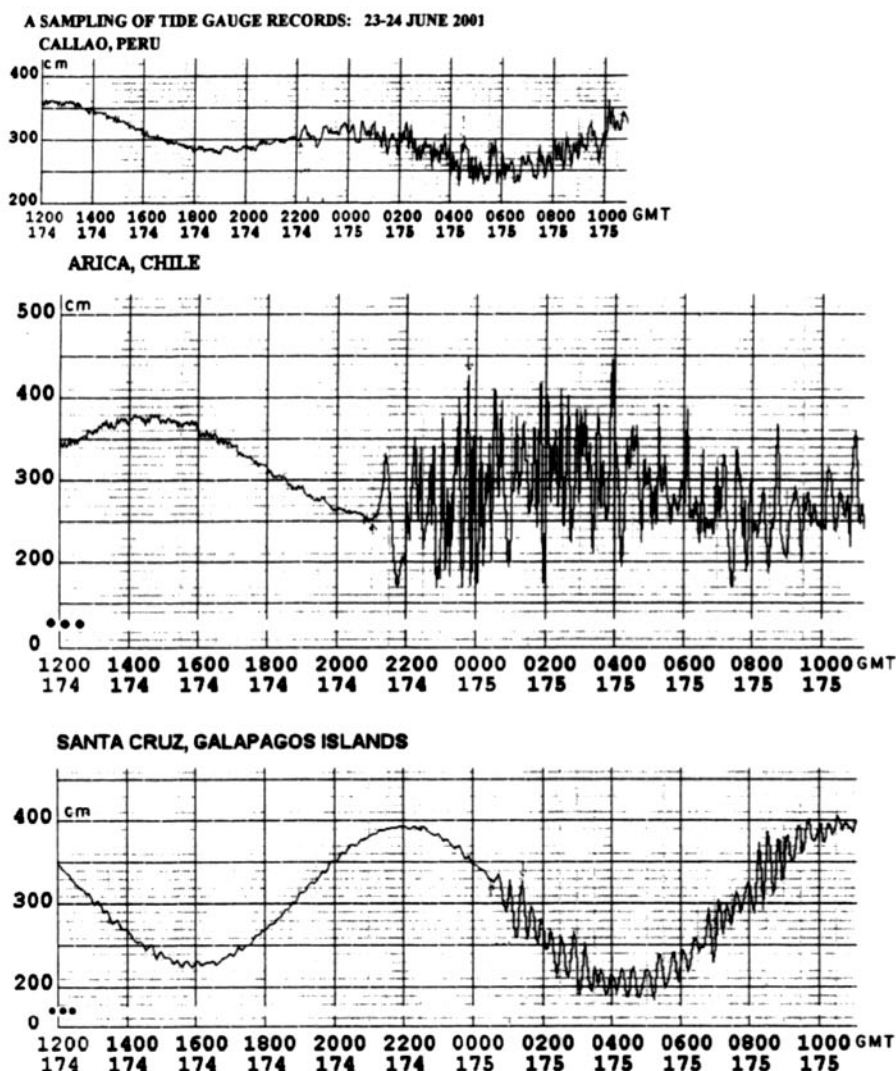


図-1 2001年6月23日ペルー南部津波の検潮記録 (ITICによる)

れば、波源付近の遡上高はPlaya la Chira 8.8m, Camana 5 mなどと測定され、津波の規模は  $m = 3$  に相当する。これは、地震の規模と比べ、標準的である (羽鳥, 1996)。また津波マグニチュードに対して、波源面積は平均的なサイズになる (羽鳥, 1978)。そのほか、最大級の1960年チリ津波は  $m = 4.5$ 、1974年ペルー津波  $m = 2.5$ 、1996年2月ペルー津波は  $m = 2$  と格付けられた。これらの津波マグニチュードは、波源付近の遡上高から判定される値と調和的である。

#### 4. 日本沿岸での波高分布

気象庁の地震、火山月報、防災編 (2001年6月) に報告された日本各地の検潮記録から、読取り値をTable-1に示す。図-4には最大波の全振幅値分布 (黒丸) を示し、比較のため、1960年チリ津波の遡上高分布と1974年ペルー津波の全振幅値を付記した。今回の津波では、浦河で全振幅58cmが最大であった。北海道、東北日本で30-50cm、関東沿岸20cm前後、西日本では20-30cm、20分と40分の周期が卓越している。図-4には、日本

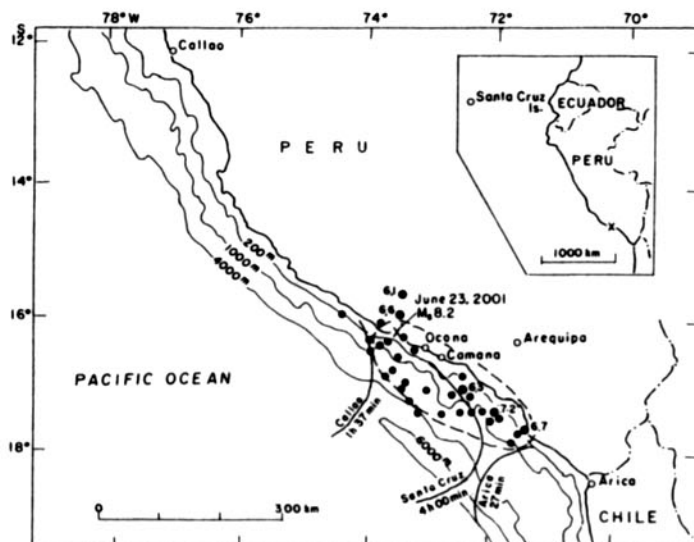


図-2 2001年ペルー南部津波の推定波源域と余震分布。逆伝播図の波面に伝播時間（時，分）を示す

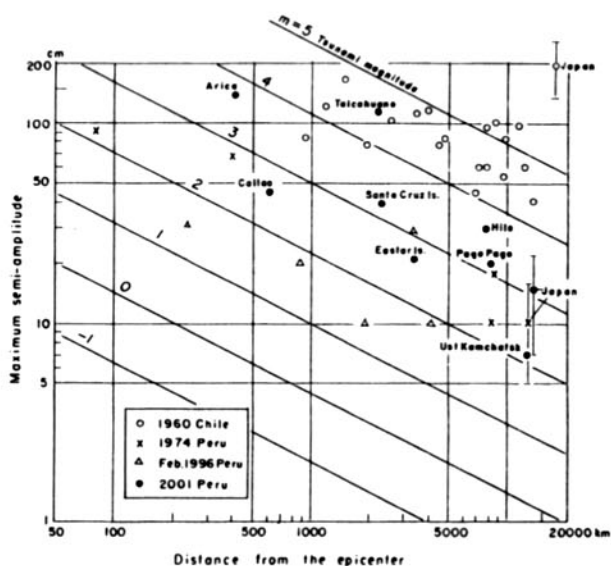


図-3 津波の最大片振幅値と震央距離の関係。津波マグニチュードで区分

での観測波高から南米津波のマグニチュードを判定する手段として、経験的に求めたマグニチュードスケールを示した。これは、チリ沖で発生した津波に対して調和した（羽鳥，1997）。しかし，1974，2001年ペルー津波については，太平洋各地の広域のデータから判定したマグニチュード値と比べ，1階級ほど下回っており，指向性の影響が小さい。

津波初動の時刻は，振幅が小さくセイシュと重なり不明瞭であるが，津波伝播図（ITIC，2001）を参照して判読した。図-5には，1974年ペルー津波と比べ，初動の伝播時間と，初動から最大波の出現時間までの間隔の分布を示す。2001年津波の伝播時間は，東北日本で約21時間30分，西日本では1時間ほど長い。最大波の出現時間が初動から4時

Table 1. The Southern Peru tsunami, as recorded by the Japanese Tide gauges (JMA). The wave originated near the earthquake epi- Center (16° 13.4' S, 73° 36.2' W, d=33km, Ms=8.2, USGS) off South Peru at 20 : 33 (UT) June 23, 2001.

Tide station	Initial wave				Initial wave					
	Travel time		Rise	Period	Occurrence time (JST)			Double ampl.	H	Period
	h	m	cm	min	d	h	m	cm	cm	min
Hanasaki	20	32	12	22	25	8	04	54	22	25
Kushiro	21	42	12	50	25	12	37	40	18	60
Urakawa	21	47	12	20	25	10	16	58	28	15
Hakodate	22	37 ?	13	50	26	01	56	32	18	30
Hachinohe	21	17	5	20	25	13	13	45	23	40
Miyako	21	17	6	25	25	12	37	32	23	38
Ofunato	21	57	8	40	25	11	24	22	12	40
Ayukawa	21	47	6	20	25	16	59	30	20	20
Onahama	22	07	10	20	25	8	15	35	18	20
Choshi	22	27 ?	10	40	25	12	53	16	10	30
Mera	21	57	5	20	25	8	38	23	12	22
Chichijima	21	32	8	20	25	7	04	32	19	20
Omaezaki	23	07 ?	8	20	25	9	02	20	12	20
Toba	23	07 ?	4	25	25	8	58	25	13	20
Owase	22	27 ?	4	20	25	7	14	25	13	20
Uragami	22	22	5	25	25	11	30	30	16	15
Kushimoto	22	17 ?	4	20	25	7	56	32	18	20
Muroto	?				25	8	30	15	9	10
To sa-Shimizu	22	47	10	40	25	15	20	35	16	25
Hososhima	23	07	6	40	25	8	30	15	8	15
Aburatsu	23	17	8	20	25	11	02	30	13	15
Naze	24	02	5	20	25	7	15	20	11	10
Naha	24	07 ?	4	25	25	8	55	12	7	20
Miyako Is.	?				25	10	36	15	10	40

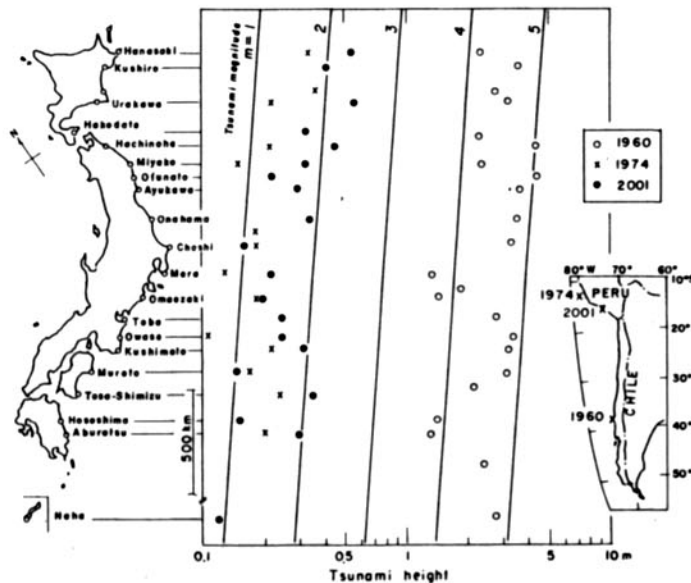


図-4 日本沿岸における南米津波の波高分布。日本の観測データから津波マグニチュードを区分

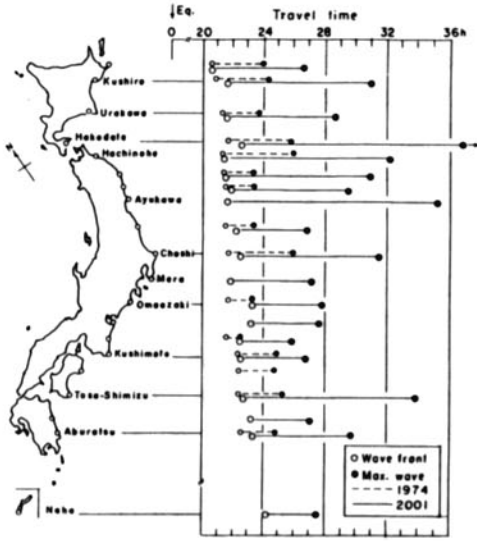


図-5 ペルー津波による日本沿岸の伝播時間 (白丸)と最大波(黒丸)の出現時間分布

間以上と長いのは、異例である。数例のチリ津波では、東北日本で約2時間であった。

### 5. ペルー沖の波源域分布

図-6に、1900~2001年間にペルー沖で発生した津波の波源域分布を示し、発生年に地震と津波のマグニチュード $M/m$ を付記した。波源域は主として余震分布から推定され(羽鳥, 1981; Hatori, 1983), 1996年2月の津波は逆伝播図の方法から推定されたものである(渡辺, 1997)。多くの波源域は、ペルー、チリ海溝沿いに分布し長さは100~200kmであり、2001年津波は300kmを超え突出している。

地震の規模と比べ、 $M7.0$ 前後の地震に伴う津波のマグニチュード値には大きな幅があった(羽鳥, 1996)。津波マグニチュード $m=2$

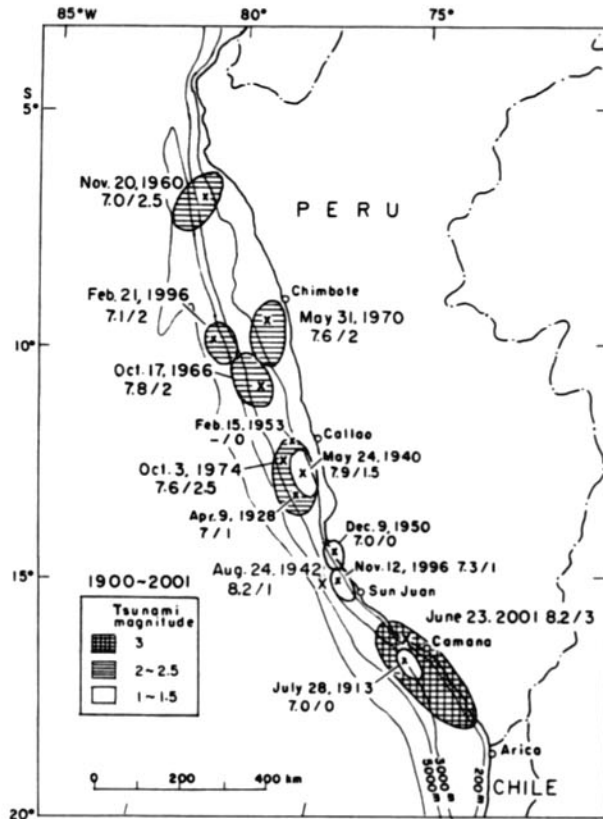


図-6 ペルー沖における津波の波源域分布(1900~2001)。発生年に地震と津波のマグニチュード、 $M_s/m$ を示す

クラスでは、1960年11月と1996年2月の津波は2階級（波高にして約5倍）も上回っており、1996年津波は“津波地震”とみなされた（渡辺，1997）。歴史的には、カヤオ沖で大津波が多発している（羽鳥，2001）。

## 6. むすび

検潮記録をもとに、2001年6月23日ペルー南部津波の波源域と津波の規模を検討した。解析の結果、波源域は余震域と重なり、ペルー沿岸に沿い長さ310km、幅120kmと推定される。津波マグニチュードは  $m = 3$  と判定され、地震の規模と比べて標準的である。津波は地震から21.5時間以降に日本の太平洋沿岸全域で観測され（北海道、東北日本で全振幅30-58cm）、チリ沖の津波と比べて指向性は小さい。

今回の波源域は1868年アリカ地震津波 ( $M = 8.5$ ,  $m = 4$  渡辺，1998；羽鳥，2002)の一部を占め、大地震の空白域に発生した。チリ北部沖は地震エネルギーの未開放域として残されており、今後の地震活動に注目していきたい。

## 参 考 文 献

- 羽鳥徳太郎，1978，津波の規模と地震モーメント，地震2，31，pp. 25-34.
- 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，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）. 地震研究所彙報，56，pp. 535-546.
- Hatori, T., 1983, Colombia-Peru tsunamis observed along the coast of Japan --Tsunami magnitude and source area, Tsunamis-Their Science and Engineering, edited by K. Iida and T. Iwasaki, Terra Scientific Pub. Co. Tokyo, pp. 173-183.
- 羽鳥徳太郎，1996，南米における津波規模の特性，地震2，49，pp. 241-247.
- 羽鳥徳太郎，1997，1995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，14，pp. 51-60.
- 羽鳥徳太郎，2001，南米起源の津波による南米太平洋岸の津波累積エネルギー分布，地震2，54，pp. 441-448.
- 石垣祐三，2001，2001年6月24日のペルー沿岸の地震，気象，45.9，pp. 34-36.
- ITIC，2001，23-24 June 2001 20:33 GMT-Peruvian earthquake and tsunami, Newsletter, 33 (4).
- 加藤照之，越村俊一，寺田幸博，木下正生，森口寿久，神崎政之，2002，大船渡市沖に設置されたGPS津波計によって検出されたペルー沖地震に伴う津波記録，地球惑星科学関連学会予稿集，S039-003.
- 菊地正幸，山中佳子，2001，2001年6月23日ペルーの地震 ( $M_w 8.2$ )，EIC地震ノート，No. 105.
- 気象庁，2001，2001年6月24日のペルー沿岸の地震，平成13年6月地震，火山月報（防災編）.
- Koshimura S., 2002, The June 23, 2001 Peruvian earthquake tsunami: A report from the international tsunami survey team 2001 and Numerical modeling. 津波工学研究報告，19，pp. 53-62.
- 首藤伸夫，中丸憲一，越村俊一，2002，三陸沿岸における2001年6月ペルー津波，津波工学研究報告，19，pp. 63-71.
- 渡辺偉夫，1997，1996年2月21日のペルー沖の津波，津波工学研究報告，14，pp. 73-78.
- 渡辺偉夫，1998，日本被害津波総覧，第2版，東京大学出版会，238p.