

2010 年チリ中部地震津波の規模と伝播の様相

羽 鳥 徳太郎*

1. はじめに

2010 年 2 月 27 日 6 時 34 分 (UTC) , (日本時間 : 27 日 15 時 34 分) ごろ, 南米チリ中部沿岸付近で Mw 8.8 の巨大地震が発生し, 大規模な津波を伴った。米国地質調査所 (USGS) によると, 震央は 35.846° S, 72.719° W, 深さ 35 km であった。1960 年 5 月のチリ地震 (Mw 9.5) につぐ巨大地震である。発生直後, 震源域のコンセプトでビルが倒壊し, タルカワノでは津波で船が市街地へ打ち上げられた惨状が大きく新聞報道された。地震から 1 ヶ月後に, チリ内務省の集計で死者数 404 人と発表される。

地震波の解析によれば (山中, 2010) , ナスカプレート沈み込みに伴うプレート境界地震とみなされ, 断層傾斜角 20° , 最大すべり量 13 m と求められた。また, 津波波形による断層モデルでは (藤井・佐竹, 2010) , 傾斜角 14° , 最大すべり量約 16 m, 断層の長さ約 400km としている。チリ沿岸の津波調査によると (今村, 2010a ; 今村・他, 2010b) , 遡上高はタルカワノで 4-6m, 震源に近いコンステイトゥション沿岸のがけに約 28 m の高さまで上がったとある。その後, バルパライソ~タルカワノ間の津波到達時間や痕跡高の測定値などが, 調査表に詳しく報告された (Imamura et al., 2010c) 。一方, 地震から約 22 時間後に日本沿岸に伝播し, 三陸沿岸でカキ・ホタテ・ワカメの養殖筏が流され, 大きな被害をもたらした。気象庁 (2010) の現地調査によれば, 三陸沿岸で痕跡高 1-2m, 気仙沼・陸前高田では床上浸水した。

津波は太平洋全域で観測され, 米国大気海洋庁 (NOAA) から 94 箇所の検潮記録がホー

ムページに公開された。本稿では, これらの記録をもとに津波の規模や波源域を解析する。また波高分布の地域性を調べ, 1960 年チリ津波などの観測例と比較検討する。

2. 検潮記録

図 1 には, NOAA によるチリ沿岸 6 観測点の検潮記録例を示す。震央に近いタルカワノでは, 地震と同時に明瞭な引き波が記録された。振幅がスケールアウトし, 最大波の片振幅値は 2.3 m と推定されている。そのほか 5 地点の津波初動は, 押し波である。バルパライソの伝播時間は 3 分, 最大片振幅値は 261cm, 初期波の周期 30 分に約 10 分の短周期波が重なる。南部のアンクーでは 90 分の長周期波が記録された。観測点が波源域の長軸方向に位置しており, 加えて水深 200m 以浅の陸棚が約 90 km と広く, セイシュ周期を励起させたようだ。サン・フェリクスは, チリ北部沿岸から約 700 km 西方の島である。最大片振幅値 79 cm, 初期波は 10 分の短周期波が顕著である。

図 2 には, 日本における 5 観測点 (花咲, 大船渡, 御前崎, 土佐清水, 那覇) の検潮記録を示す。花咲の第一波は押し波で始まり, 伝播時間は 22 時間 09 分。第 3 波後に顕著な引き波になり, 4 波目が最大で片振幅値は 95 cm であった。初期波の周期は 38 分である。大船渡の伝播時間は 22 時間 34 分, 最大片振幅値 40cm, 周期 48 分。検潮所が湾口 (長崎) に位置し, 周辺の振幅値より小さい。御前崎の伝播時間は 22 時間 59 分。津波初動から 4 時間後に最大波になり, 片振幅値 60 cm, 周期 35 分である。土佐清水の伝播時間 23 時間 14 分。初動から 2 時間 40 分後に最大波になり, 片振幅値 68 cm, 周期 23 分。那覇の伝播時間

*元東京大学地震研究所

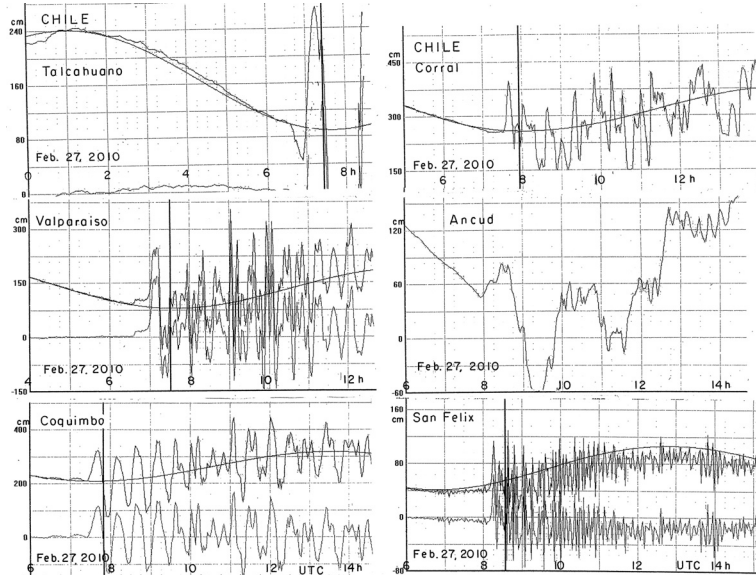


図1 2010年2月チリ中部津波の検潮記録例 (NOAAによる)

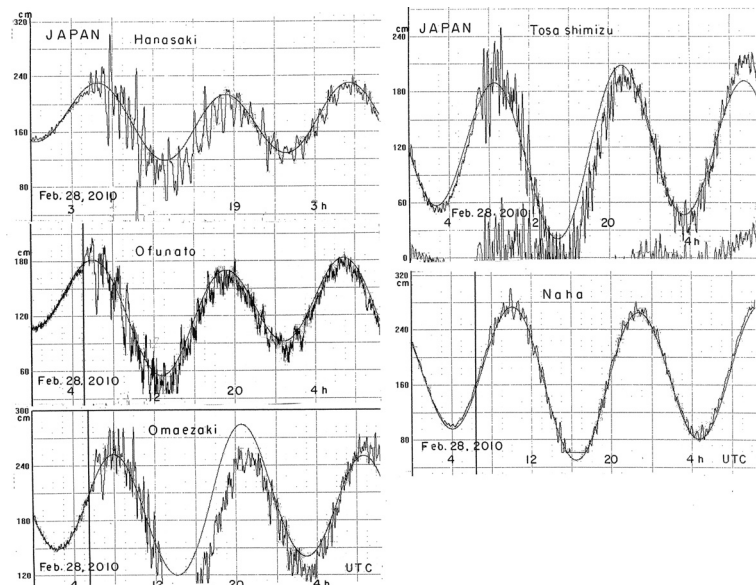


図2 日本沿岸の検潮記録例 (JMA, NOAAによる)

は24時間10分。初動から2時間25分後に最大波になり、片振幅値30cm、周期24分である。

1960年津波の検潮記録と比較して(気象庁, 1961; チリ津波合同調査班, 1961), 今回の津波の伝播時間は花咲~土佐清水間で22-23時間であり、大きな差はない。最大波の片振幅値は約1/3にとどまった。津波の周

期は、北海道・三陸で38-48分の長周期波であったことが共通している。また、最大波の直前に顕著に潮が引いた現象も似ている

(1960年津波では、三陸港湾で初めに海底が露出するほど潮が干上がり、警報前に住民が津波の来襲に気づいて避難した)。ハワイでは日本より7時間ほど早く津波に襲われたが、日本で情報の処置が不備で警報が遅れた。

3. 津波の波源域

震源域周辺の検潮記録(図1)によると、各地の津波伝播時間はコキンボ49分、バルパライソ3分、タルカワノ0分、コラル56分、アンクー80分、サン・フェリクス90分である。これらの観測点から海図上に逆伝播図を描き、伝播時間に対応する波面を図3に示し、全振幅値を付記した。各波面は余震域(USGS)を囲むかたちになり、波源域は沿岸に沿い南北に長さ500km、幅150kmと推定される。

検潮記録で津波初動の押し引き分布から、タルカワノが引き波であったことから陸側で沈降。そのほか5地点は押し波であり、海側が隆起したことを示唆する。

4. 津波の規模、波高分布

図4には、筆者の方法による(羽鳥,1979)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、縦軸には検潮記録による最大波の片振幅値をとる。波高が距離 $\Delta^{-1/2}$ で減衰するとみなし、2.24倍の刻みで津波マグニチュードを区分してある。この図に今回の津波と大規模な1922年津波($m=3$)と1960年津波($m=4.5$)の観測値と比較して示した。それぞれ日本とハワイの振幅値が突出し、今回の津波マグニチュードは $m=3.5$ と判定される。なお、波源域に面したチリ沿岸の遡上高は、1922年津波:5-10m、1960年津波:10-25mであった(Iida,et al.,1967;Soloviev,Go,1985;羽鳥,2002)。

日本沿岸には過去多数のチリ津波が観測されており、図5にそれぞれの波高分布を示す。観測例をもとに、津波マグニチュードで区分する経験式を示した(羽鳥,1997)。今回の津波は $m=3.5$ とみなされ、図4で判定した値と調和する。

図6にはNOAAの観測記録から、太平洋全域における最大波の片振幅値分布(cm)を示す。津波マグニチュード $m=3.5$ として、 $\Delta-H$ 図(図4)で振幅値が $m=\pm 0.5$ の範

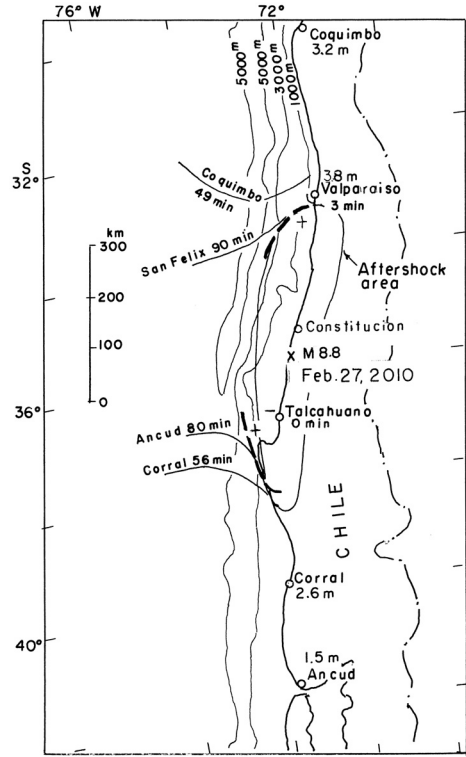


図3 逆伝播図による津波の推定波源域(観測点の伝播時間、全振幅値)

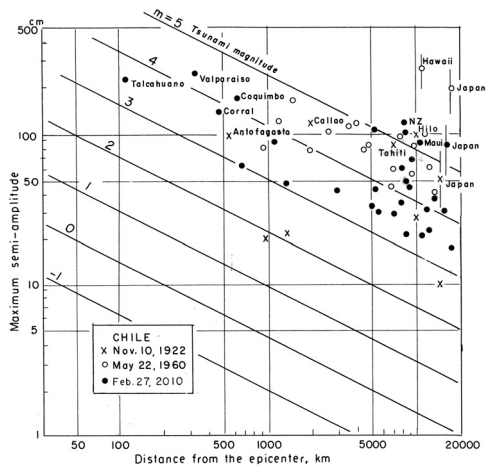


図4 津波の片振幅値と震央距離の関係. 津波マグニチュードで区分

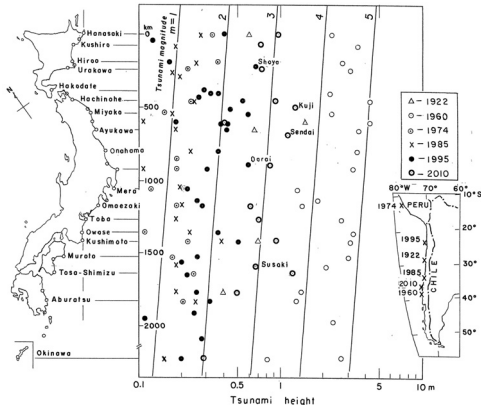


図 5 日本沿岸における各チリ津波の波高分布。津波マグニチュードで区分

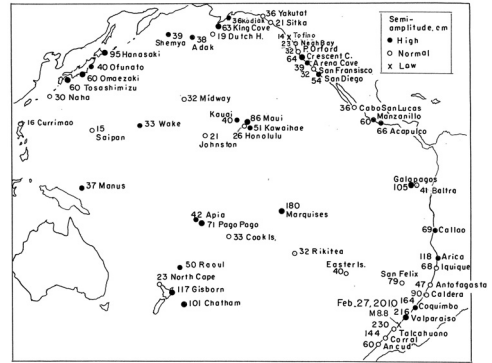


図 6 2010 年チリ中部津波の片振幅値分布 (cm) 振幅偏差で区分

圏内を標準とみなし、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)、下回る地点は小に区分してある。振幅値は、日本・アリューシャン・カリフォルニアに連なる環北太平洋およびハワイ・ニュージーランドが目立って大きい。NOAA による数値モデルは、波源から強いエネルギーが北西方向に放射し、振幅分布のパターンを裏つける。1960 年津波の解析にも (今村・他,1989)、同様な計算結果が得られており、津波の指向性と屈折効果が繰り返された。

5. チリ沿岸の津波波源

チリ沿岸の津波波源は、主として余震域と震度分布のデータから推定されてきた (Soloviev,Go,1977,1986; 羽鳥,1985)。波源域の長さは、津波マグニチュード $m = 2-2.5$ クラスで約 200km,1960 年津波 ($m = 4.5$) では 800km とみなされた。図 7 には今回の津波を加えて、1900-2010 年間における波源域分布を示す。それぞれ発生年に、地震と津波のマグニチュード, M/m (羽鳥,1996) を付記した。同期間に、津波が 16 回発生し、このうち規模の大きい $m \geq 2$ のものが 7 回ある。

今回の津波は 1960 年津波の北側に発生し、波源域は空白域を埋める形になる。チリ沿岸では、北部のアントファガスタ付近から南部に至り蜜に分布している。半面、北部か

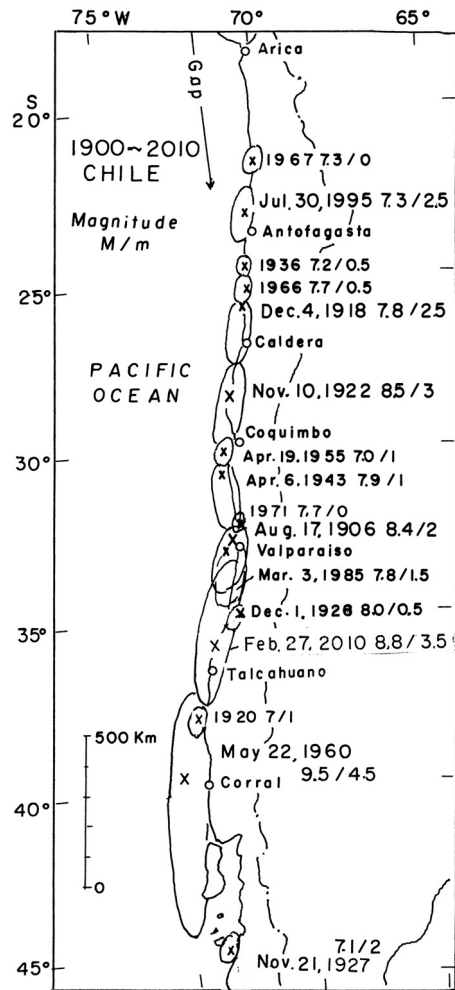


図 7 チリ沿岸の津波波源域分布 (1900-2010)。発生年に地震と津波のマグニチュード M/m を示す

らペルー南部まで約 800 km の区間が、大地震の空白である。この区間では、1868 年 8 月と 1877 年 5 月に M 8.3 - 8.5 の巨大地震があり、大規模な津波 ($m = 4$) を伴い、波源域に面した沿岸で遡上高が 10 - 20m に達した (Iida, et al., 1967; Soloviev, Go, 1985)。両津波は日本に來襲し、函館・三陸・九十九里浜・沖縄に被災記録がある (渡辺, 1998)。過去 435 年間で最近 97 年間に、チリ沿岸における波高 2 乗値の累積値を比べると (羽鳥, 2002)、北部のほか中部域も波高の期待値が実測値を上回る、要注意域であった。

6. むすび

米国 NOAA の検潮データをもとに、津波の規模と伝播の様相を解析し、過去のチリ津波と比較検討した。Δ - H 図によれば、津波マグニチュードは $m = 3.5$ と判定され、地震の規模 (Mw 8.8) に見合う規模である。日本から北米に至る環北太平洋とハワイ・ニュージーランドで波高値が大きく、1960 年チリ津波の波高分布と共通する。三陸沿岸では、約 22 時間後に到達した。遡上高は 1 - 1.5 m と実測され、1960 年津波の約 1/3 の波高にとどまった。しかし、40 分前後の長周期波が長時間継続して、水産養殖施設に大きな被害をもたらした。ハワイでは日本より 7 時間ほど早く津波が観測されており、日本での前駆的な情報になる。今後、チリ北部の地震空白域に注目していきたい。

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, 397p.
- 藤井雄士郎・佐竹健治, 2010, 2010 年 2 月チリ地震の津波波形インバージョン, 日本地震学会講演予稿集, 秋季大会 (広島), C31-04.
- 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, 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, 1996, 南米における津波規模の特性, 地震 2, Vol.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, No.14, pp.51-60.
- 羽鳥徳太郎, 2002, 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, Vol.54, pp.441-448.
- 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.
- 今村文彦・後藤智明・首藤伸夫, 1989, 1960 年チリ地震津波の再現計算—遠地津波による数値予測の可能性, 津波防災実験所, 東北大, No.6, pp.79-111.
- 今村文彦, 2010a, 1960 年および 2010 年のチリ沖地震津波について, 地震ジャーナル, 49 号, pp.20-27.
- 今村文彦・藤間功司・有川太郎, 2010b, 2010 年チリ地震津波のチリ沿岸での現地調査, 津波工学研究報告, No.27, pp.83-89.
- Imamura, F. et al., 2010c, Table of tsunami trace height measured in Chile by the Japanese team, DCRC Tsunami Engineering, No.27, pp.157-179.
- 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, No.8, 389p.
- 気象庁, 2010, 2010 年 2 月 27 日のチリ中部沿岸の地震, 平成 22 年 2 月地震・火山月報 (防災編)
- Soloviev, S.L. and Ch.N.Go, 1977, Map of the tsunami sources and tsunami heights in the Pacific Ocean, Academy Science SSSR (in Russian).
- Soloviev, S.L. and Ch.N. Go, 1985, Catalogue of tsunamis on the western shore of Pacific Ocean (in Russian). Translated by Canada Institute for Scientific and Technical Information Na-

tional Research Council, Ottawa, Canada KIA
OS2.
山中佳子,2010,2月27日チリの地震 (M

8.8) ,NGY 地震学ノート ,No.25.
渡辺偉夫,1998,日本被害津波総覧 (第 2 版) ,
東京大学出版会