

2011 年東北地方太平洋沖地震津波の規模

羽 鳥 徳太郎*

1. はじめに

2011 年 2 月ごろから宮城県沖で地震活動が始まり、3 月 9 日に M 7.3 の地震で 20-60 cm の津波が三陸沿岸で観測された。そして 3 月 11 日 14 時 46 分に、超巨大地震が発生し、巨大津波を伴った。気象庁 (2011) によれば、震央は 38.103° N, 142.860° E, 深さ 24 km, M 9.0 である。西北西-東南東方向に圧力軸をもつ逆断層型で、プレート境界域における海溝型地震とみなされた。

津波は北海道から千葉県に至る沿岸各地を襲い、遡上高は岩手県北部で 30 m を超え、宮城・福島県沿岸では 10-15 m に達した。大槌・陸前高田・志津川 (南三陸町)・女川などの市街地は押し流され、がれきの原野と化した。死者・行方不明者は 2 万人近くにのぼり、宮城・福島県の被害は明治・昭和と三陸津波より大幅に上回った。また、津波は

ハワイ・南米チリなど太平洋全域で観測され、米国カリフォルニア州のクレスセント シティーでは多数の漁船が沈没したと、新聞報道された。本稿では、検潮記録から波源域を調べ、大学の現地調査や気象庁、NOAA などの報告から津波の規模と太平洋域での津波伝播の地域性を検討する。

2. 津波の波源域

アラスカ津波警報センター (WC/ATWC) から報告された検潮記録で図 1 によれば、津波初動は押し波であり、津波伝播時間は大船渡 19 分、花咲 57 分、海底水圧計による観測点、房総 (34.8° N, 140.8° E) 18 分、東海、(33.8° N, 137.6° E 浜松の約 100 km 沖) 59 分であった。そのほか小名浜、銚子も押し波である。以上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 2 に示す。各波

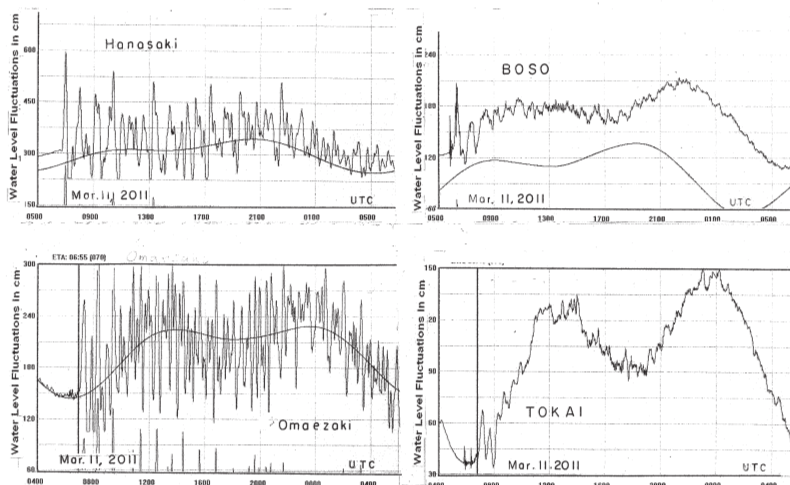


図 1 日本沿岸の検潮記録例 (JMA, NOAA による)

*元東京大学地震研究所

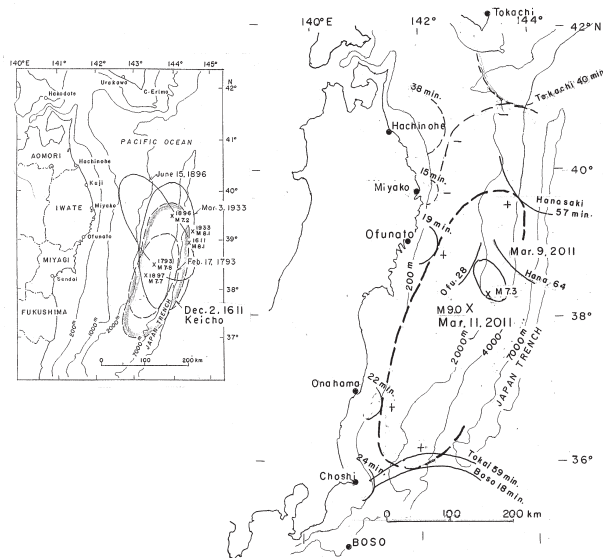


図2 逆伝播図による推定津波波源域と周辺の津波波源

面は余震域を囲み、波源域（海底の隆起域）は水深 2000 m の等深線に沿い岩手県沖から茨城県沖に至る長さ 450 km、幅 150 km と推定される。なお、十勝、八戸、宮古では津波初動が引き波で観測され、海底の沈降域は 130 km ほど北方へ伸びた形になる。国土地理院によれば、岩手県中部～宮城県間の沿岸で 20–84 cm 地盤が沈下したとある。林・他 (2011) の解析では、沖合に設置された GPS 波浪計、海底水圧計などの計器の観測値から、波源域は長さ 550 km、最大幅 200 km と推定している。

一方、本震の 2 日前の 3 月 9 日に、宮城県沖 (38.33° N, 143.28° E, 深さ 8 km) で M 7.3 の地震があり、図 2 に余震域（長さ 40 km）を付記した。津波の計算伝播時間は大船渡 28 分、花咲 64 分になる。

図 2 左図には、比較のために 4 例の大規模な（津波マグニチュード $m = 3-4$ ）三陸津波（1611 年慶長、1793 年寛政、1896 年明治、1933 年昭和）の推定波源域（羽鳥, 2008a）を示す。特徴的なことは、慶長三陸津波の史料（駿府記）に仙台湾の岩沼町内が流失し、相馬中村も被災記録があることから、波源域が明治・昭和三陸津波のものより南方へ伸びていた可能性がある。さらに古く、869 年貞

観三陸津波の伝承が近年宮城県南部から茨城県沿岸域で見出され（渡辺, 1998, 2000）、津波堆積物の資料をふまえ、波源域が岩手県中部から茨城県に至る海溝沿いに図示された。今回の津波では、仙台市若林区で海岸から 5.5 km 遡上しており、貞観津波の漂流物域（菅原・他, 2010）より超えたという（菅原・他, 2011; 宍倉・他, 2011）。一方、武村 (2011) によれば、仙台周辺の神社などの津波伝承地が貞観津波で 2 地点、慶長津波では相馬市をふくめ 5 地点ある。それらの状況から、津波が海岸から数 km 遡上している。

3. 波高分布、津波の規模

被災直後の困難なときに、大学、土木学会などの機関で詳しく遡上高の調査が行われた（2011 年 5 月の日本地球惑星科学連合大会で多数調査・解析が速報される）。それらの報告を参照し、図 3 に三陸～福島県間の波高分布を 1611 年慶長三陸津波（羽鳥, 1975, 1995, 2008a; 都司・上田 1995）と比較して示す。各地の遡上高は、岩手県田老重津部・姉吉などで 30 m を超え、分布パターンは 1611 年津波と共通している。宮城・福島県沿岸では 10–15 m に達し、明治・昭和三陸津波より

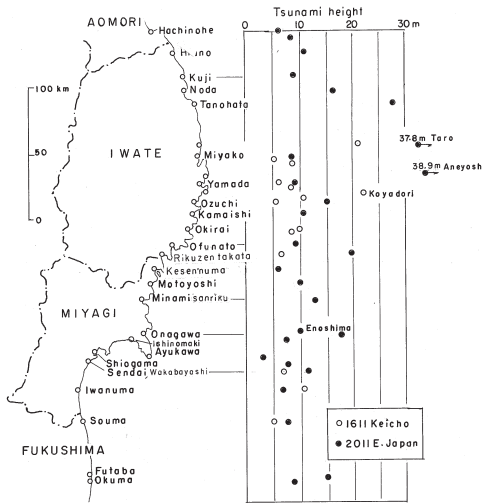


図3 東北日本沿岸の遡上高分布—慶長三陸津波との比較

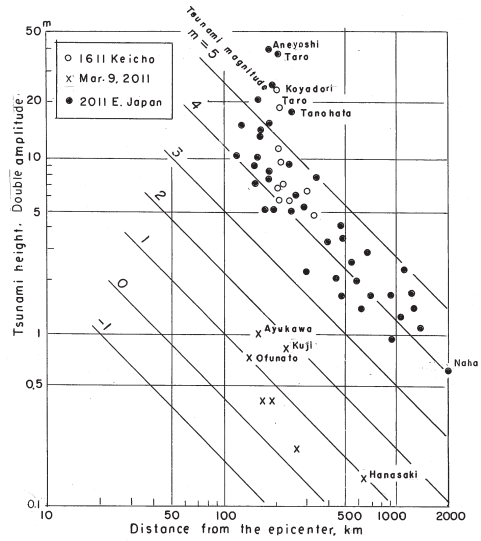


図4 津波高と震央距離の関係・津波マグニチュードで区分

4-5 倍も上回った。突出している地点は岩手県北部の小型湾（セイシュ周期 10 分前後）であり、特異なのは周期約 40 分前後の広田・志津川・女川などの大型湾奥が高い。佐竹・他（2011）は、釜石沖の海底水圧計と GPS 波浪計の波形を解析し、最初の長周期波は沿岸付近から、それに続く短周期波・大振幅の津波は海溝軸付近で発生した、と指摘した。

つぎに広域の波高データを加え、筆者の方法（羽鳥，1986）で津波マグニチュードを検討してみよう。図4には、横軸に震央から観測点までの距離，縦軸には波高値をとる。津波マグニチュードは、波高が距離 Δ^{-1} で減衰するとみなし、2.24 倍の刻みで区分してある。波高値はばらつくが、 $m = 4$ と判定され、1611 年慶長津波と同じ値になる。ちなみに 1960 年チリ津波，2004 年スマトラ津波は $m = 4.5$ と格付けられている（羽鳥，2006）。なお，3 月 9 日の前震（M 7.3）による津波の片振幅値は久慈 40 cm，宮古 20 cm，大船渡 60 cm，鮎川 50 cm であった。図4に全振幅値で示すと $m = 1$ と判定され，地震の規模に見合う規模である。

以上，三陸沿岸の遡上高と日本太平洋岸全域における振幅値（気象庁，2011）の分布を

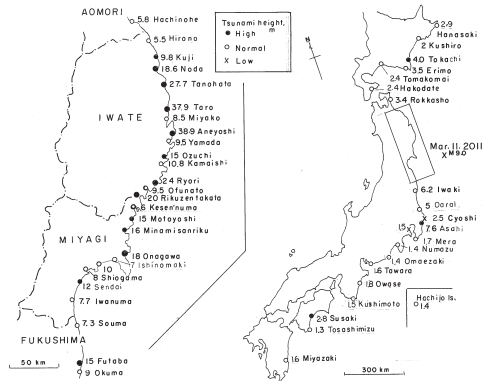


図5 津波高 (m) 分布・波高偏差で区分

図5に示す。ここで津波マグニチュードを $m = 4$ とみなし，波高がマグニチュード $m \pm 0.5$ 範囲内の地点を標準的（白丸），上回る地点を大（1 階級以上は大きな黒丸），下回る地点を小と区分して示した。その結果，田老・陸前高田など岩手県沿岸と福島県双葉で波高値が突出し，宮城県沿岸も波高偏差の大きな地点が多い。一方，北海道では十勝港（広尾）で波高偏差が大きく，多くの地点は標準的な波高である。関東以西では千葉県旭市，高知県須崎で偏差が大きく，そのほか西日本，奄美・沖縄などが標準的である。

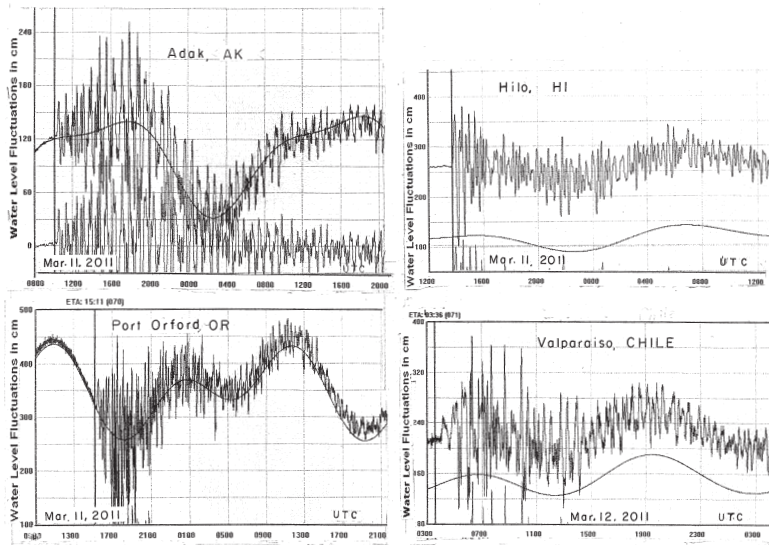


図6 太平洋域の検潮記録例 (NOAAによる)

4. 太平洋域の波高分布

米国の WC/ATWC, NOAA のホームページに, 津波発生後間もなくアリユーション列島からカリフォルニア州間 55 地点の津波観測値が発表され, その後太平洋各地の観測値が多数追加された。図 6 には, 検潮記録例を示す。また, フリー百科事典 (Wikipedia) からも太平洋各地の波高値が速報された。なお, 各地域の津波伝播時間は地震後ハワイ 7-8 時間, カリフォルニア 10-11 時間, 南米チリ 21-22 時間であった。

以上の波高データをもとに, 遠距離の観測値を対象とする津波マグニチュードの判定図を図 7 に, 1960 年チリ津波と比較して示す。横軸に震央から観測点までの距離, 縦軸には最大波の片振幅値をとる。振幅値は距離 $\Delta^{-1/2}$ で減衰すると取り扱い, 規模スケールは前法と同様に振幅値を 2.24 倍の刻みで区分してある。その結果, 振幅値はハワイ・カリフォルニア州 0.5-2 m, 南米チリ 1-2.5 m が突出している。半面, カロリン・ソロモン・バヌアツなど南西諸島では 0.3 m 前後と小さい。津波マグニチュード $m = 4$ と判定され, 日本沿岸での遡上高から求めた m 値と調和する。

図 8 には, 太平洋全域の片振幅値分布 (m)

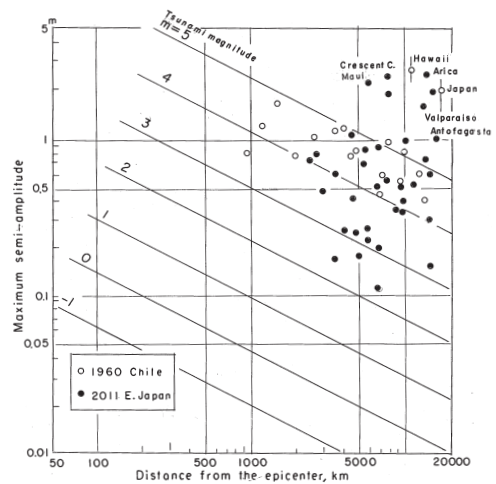


図7 太平洋域の片振幅値と震央距離の関係. 津波マグニチュードで区分

を示す。ここで各地の波高偏差は, $m = 4$ を基準に, 振幅値を図 5 と同様な区分で示した。波高偏差はハワイ・カリフォルニア・メキシコ・南米沿岸が大きく, 波源から強い津波エネルギーが東方, 南東方向に放射したことを示唆する。なお, 波高分布のパターンは, 2006 年 11 月千島列島シムシル島沖地震津波 (M 7.8, $m = 3$) もハワイ・カリフォルニア・チリで波高が大きく, 共通している (羽鳥, 2008)。

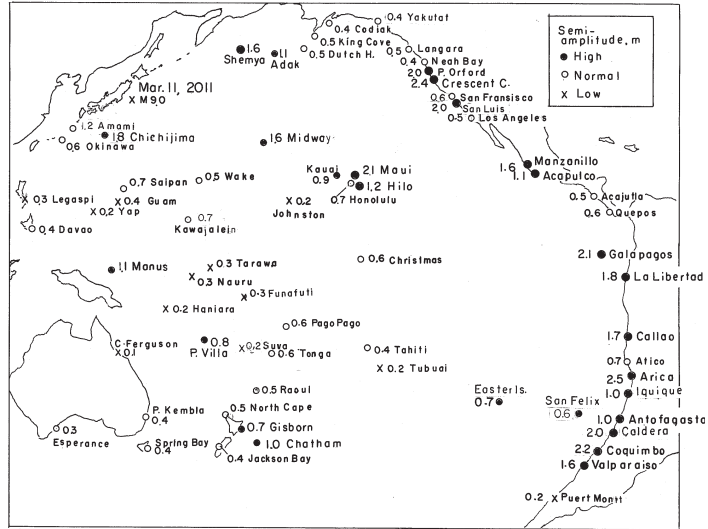


図8 片振幅値 (m) 分布. 波高偏差で区分

5. むすび

津波の現地調査報告と検潮記録をもとに、波源域と津波規模を解析した。波源域が水深 2000 m 等深線沿いに、岩手県沖から茨城県沖まで 450 km に伸びていたことが、津波の観測データから裏付けられた。津波マグニチュードは、日本沿岸の遼上高と太平洋全域の振幅値の両面から $m = 4$ と最大級に格付けられた。宮城県・福島県沿岸では遼上高が 10–15 m に達し、明治・昭和三陸津波より大幅に上回っている。869 年貞観津波と 1611 年慶長三陸津波も、この区間で遼上高が 10 m を超えた可能性があり、歴史津波の記録が甘く評価されて悔やまれる。

参考文献

- 羽鳥徳太郎, 1975, 三陸沖歴史津波の規模と推定波源域, 地震研究所集報, Vol.50, pp.397–414.
- 羽鳥徳太郎, 1986, 津波の規模階級の区分, 地震研究所集報, Vol.61, pp.503–515.
- 羽鳥徳太郎, 1995, 岩手県沿岸における慶長(1611)三陸津波の調査, 歴史地震, No.11, pp.55–66.

羽鳥徳太郎, 2006, 2004 年スマトラ沖地震津波の規模と屈折効果, 津波工学研究報告, No.23, pp.35–39.

羽鳥徳太郎, 2008a, 三陸大津波による遼上高の地域偏差, 歴史地震, No.24, pp.41–48.

羽鳥徳太郎, 2008b, 2006 年 11 月, 2007 年 1 月千島列島地震津波の規模と伝播の様相, 津波工学研究報告, No.25, pp.9–14.

林 豊・対馬弘晃・平田賢治・木村一洋・前田憲二, 2011, 沖合津波観測点からの津波伝播で推定した 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波波源域, 2011 年日本地球惑星科学連合大会, MIS036-P114.

気象庁, 2011, 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震, 平成 23 年 3 月 地震・火山月報 (防災編)

佐竹健治・酒井慎一・藤井雄士郎・篠原雅尚・金沢敏彦. 2011, 東北地方太平洋沖地震の津波波源, 科学, Vol.81, No.5.

宍倉正展・澤井祐紀・行谷佑一・他, 2011, 仙台・石巻平野における 869 年貞観地震と 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波浸水域の比較, 2011 年日本地球惑星科学連合大会, MIS036-P122.

菅原大助・今村文彦・松本秀明・後藤和久・

- 箕浦幸治, 2010, 過去の津波像の定量的復元: 貞観津波の痕跡調査と古地形の推定について, 津波工学研究報告, No.27, pp.107-132.
- 菅原大助・今村文彦・後藤和久・他, 2011, 仙台平野における 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の浸水域: 貞観地震津波との比較, 2011 年日本地球惑星科学連合大会, MIS036-P129.
- 武村雅之, 2011, 東日本大震災と歴史津波, 予防時報, No.247, pp.20-25.
- 都司嘉宣・上田和枝, 1995, 慶長 15 年 (1611), 延宝 5 年 (1677), 宝暦 12 年 (1763), 寛政 5 年 (1793), および安政 3 年 (1856) の各三陸地震津波の検証, 歴史地震, No.11, pp.75-106.
- 渡辺偉夫, 1998, 869(貞観 11)年の地震・津波の実態と推定される津波の波源域, 歴史地震, No.14, pp.83-97.
- 渡辺偉夫, 2000, 貞観十一年 (869 年) 地震・津波と推定される津波の波源域, 歴史地震, No.16, pp.59-77.