

日本海津波における大陸からの反射波

羽鳥 徳太郎*

(昭和61年4月23日受理)

要 旨

ソ連沿海州・北朝鮮および韓国沿岸からの津波伝播図を作図し、1983年日本海中部地震津波において、波源から射出された津波が大陸から反射して日本沿岸に到達する時間を調べた。そして各地で観測された検潮記録の波形との対応を検証した。その結果、発震時から2~5時間の間に、各地で顕著な振幅が発現した時刻が、大陸からの反射波の到達時間と±10分以内で合致しており、積丹半島・能登半島周辺および山陰地方に、波向線が集まることが認められた。将来、日本海に発生する津波の予報にあたっては、大陸からの反射波の動向も注目する必要がある。

1. はじめに

1983年日本海中部地震津波は、秋田・青森両県をはじめ、波源から遠く離れた北海道・山陰地方および韓国東海岸に大被害をもたらした。ことに奥尻島・佐渡・能登・隠岐など、島・岬付近の波高が目立って大きい。この現象は、津波の数値解析によると(相田, 1984; 土屋ほか, 1984; 都司・小西, 1985; 佐竹, 1986)、波源から射出した直接波が、屈折効果でこれらの地域に集中したとみなされた。しかし一方、日本海が大きな湖のように閉された形をしているので、大陸からの反射波の影響を強く受けることが予想される。事実、今回の津波では太平洋側の津波と比べて、津波の継続時間がきわめて長かった。津波警報の解除も地震発生から9時間以上たってから出され、大陸から反射波が繰り返されたことを示唆している。

本文では、ソ連沿海州・北朝鮮および韓国沿岸の3地域から津波伝播図を作図し、波源から射出された津波がこれら大陸沿岸で反射し、日本沿岸に到達する時間を調べ、各地の検潮所で得られた波形との対応を検証する。さらに津波伝播図上に反射波の波向線を描き、大陸からの反射波が日本沿岸のいずれの地域に集まるかについて、検討してみた。そして観測値と津波予報(気象庁, 1984)とを比較して、問題点を考えてみる。

2. 反射波の伝播図

強い反射波が期待されるソ連沿海州・北朝鮮および韓国の3地域を選び、平滑化した海岸線から出発する津波伝播図を作図した(波面は海図上に5分間隔で描いたが、図が繁雑になるので、Figs. 1~3には10分間隔で図示してある)。反射面や反射の方向など不確定な要素があるが、ここで対象とする大陸沿岸の陸棚の幅がきわめて狭いことから、各区

* 元地震研究所所員、現在 川口市末広 2-3-13 〒332

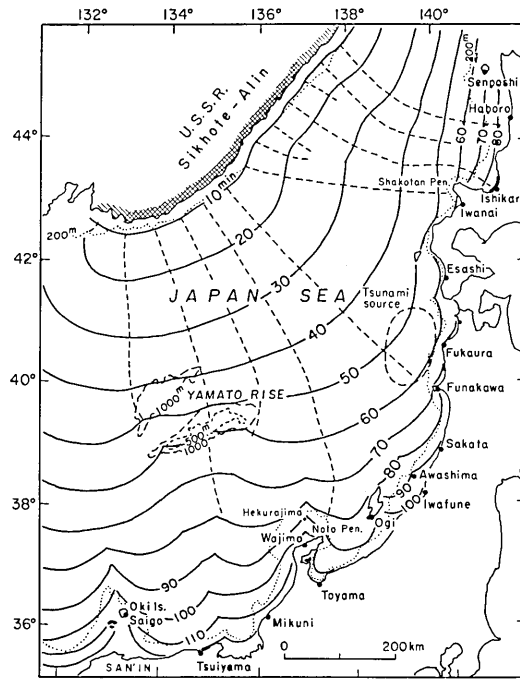


Fig. 1. Refraction diagram of the tsunami reflecting from the Sikhote-Alin coast (time interval: 10 minutes). Wave rays (broken lines) are emitted from unit segments of 50 km in length. Solid circles indicate tide stations.

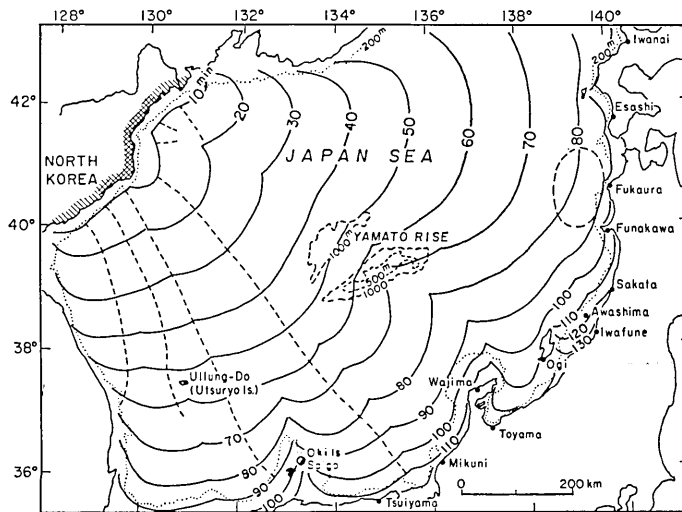


Fig. 2. Refraction diagram of the tsunami reflecting from the North Korean coast. The comments are the same as in Fig. 1.

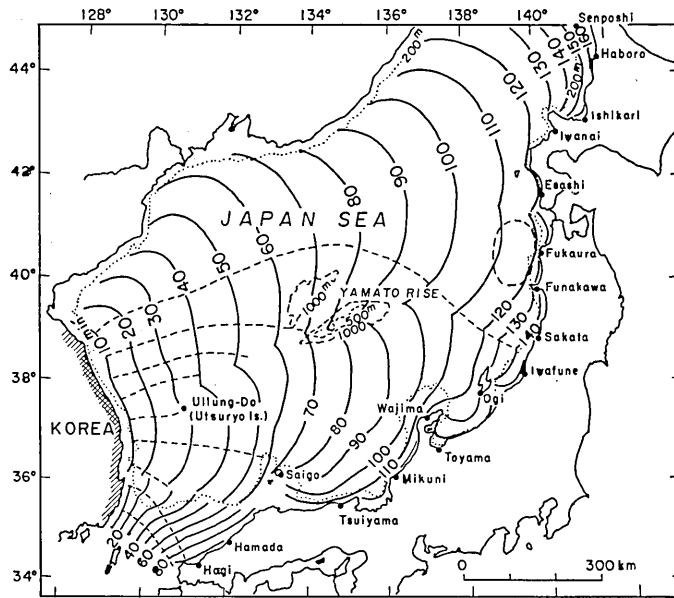


Fig. 3. Refraction diagram of the tsunami reflecting from the South Korean coast. The comments are the same as in Fig. 1.

間内の反射の時間差は数分以内と思われる。また、最も効果的な反射波は、陸棚から直角方向に伝わると考える。そこで陸棚付近を 50 km ごとに区分して波向線を描き、日本沿岸に対する動向を破線で示した。津波波形を検証した検潮所の位置は、黒丸で示してある。なお、波源からの津波伝播図によれば (羽鳥 1983), 各大陸沿岸に達した平均的な伝播時間は、沿海州に 1 時間, 北朝鮮に 1 時間 30 分, 韓国東海岸には 1 時間 50 分であった (Figs. 1~3 に二重斜線で示す区間)。数値解析によれば (例えば佐竹, 1986), 波源から射出した波向線はそれらの区間に集中している。上記の計算値がソ連・韓国で得られた検潮記録の津波初動の時刻と数分の差で調和しており、直接波の波面が海岸線にほぼ平行していることから、各区間内での反射の時間差は無視した。次に各地域における津波の概況を示し、伝播図について 2~3 の解説を加えよう。

2.1. ソ連沿海州

ソ連科学アカデミー・シベリア総支部の GUSIAKOV 博士が提示した検潮記録によれば、今回の津波は沿海州 (42.5°~45°N) で地震から 1 時間後に (45°N 以北では 10 分以上遅れる), 6 個所の検潮所で観測された。このうち Rudnaya Pristan (テチュヘ付近) で得られた検潮記録の振幅がもっとも大きく、第 5 波が最大で全振幅 140 cm, 波の周期は 12 分であった。また、ウラジオ付近では死者が出たという。ソ連の新聞には、カメンカで山が 3 m, 谷が 6 m で全振幅 9 m に達し、ダリニゴルスクのリドフカ村では 800 m の内陸まで津波が遡上し、木にコンブが引つかかっていたと報道された (都司ほか, 1984)。そのほか、今のところソ連側から詳しい報告は出ていないが、沿海州沿岸では今回の津波で大きな影響を受けた模様である。

波源から射出した津波は、1時間後に沿海州 (Fig. 1 に二重斜線で示す範囲) に達した。この区間に、波向線が最も密に集った (例えば佐竹, 1986)。また、水深 1,000 m の等深線が沿岸付近に平行して伸びていることから、この区間で強い反射波が期待される。Fig. 1 には、その反射波の伝播図を示す。反射波は積丹半島に1時間後に、能登半島には1時間50分後に到達する。発震時からでは、往復の所要時間はそれぞれ2時間と2時間50分になる。また、反射波の波向線は両半島付近に集まる様子が見られる。

2.2. 北朝鮮

北朝鮮における津波情報は不明であるが、津波伝播図によれば、波源から射出された津波は1時間30分後に北朝鮮沿岸 ($40.5^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$) に達する。Fig. 2 には、そこでの反射波の伝播図を示す。反射波の到達時間は、発震時後北海道南部から青森・秋田県沿岸にかけて3時間0~10分、能登から山陰地方では3時間20分になる。

北朝鮮の海岸線は2方向に折れ曲がり、北部では波源に正面に向き、加えて水深 3,000 m の深海域が沿岸付近にまで広がっているので、強い反射波が期待される。一方、南部の海岸は南東方向に向き、波源からの指向性の効果は薄れるが、波向線は山陰地方に集まる。

2.3. 韓国

韓国東海岸では、今回の津波で70隻の漁船が破損し、陸上に遡上して3名の犠牲者を出すなど、大被害に見舞われた。その状況は、都司ら (1985) により詳しく報告された。

波源から射出した津波は、1時間50分後に韓国東海岸 ($37^{\circ}\sim 38.5^{\circ}\text{N}$) に達し (37°N 以南の到達時間は大幅に遅れる)、反射波の伝播図は Fig. 3 のようになる。 $37^{\circ}\sim 38^{\circ}\text{N}$ の区間では4~5mの波高に達したことから、強い反射波が日本沿岸にはね帰ってきたことであろう。Fig. 3 によれば、反射波の到達時間は発震時後隠岐に3時間15分、能登および北海道南部には3時間50分を要する。波向線は、能登を中心に新潟から丹後の区間に集まる。なお、韓国の 36°N 以南の海域では水深 200 m 以浅の陸棚が広がり、津波が対馬海峡をすりぬけて浦項~釜山間の波高はわずか 50 cm 以下であった。従って、この区間からの反射波は弱かったであろう。

3. 検潮記録の検証

以上のように、大陸沿岸3地域から反射波の伝播図を描き、日本沿岸の到達時間を示した。次に北海道から山陰に至る6個所の検潮記録において、それぞれの地域からの反射波の到達時間と、津波波形との対応をみると Fig. 4 のようになる。ここで A, B, C の矢印は、それぞれ沿海州、北朝鮮および韓国からの反射波の到達時刻を示す。これを見ると、各波形において顕著な振幅の発現時間が、反射波の到達時間とかなり合致することが認められる。

以上の伝播図をもとに、日本沿岸17個所の検潮記録について、それぞれの波形を検討した結果を Fig. 5 に示す。ここで各記録における最大波の発現時間を黒丸、顕著な振幅が記録された時刻を白丸で示した。今回の津波は10分程度の短周期波が卓越したが、各地の顕著な振幅の発現時間は、ほぼ ± 10 分の範囲内に大陸からの反射波の到達時間と対応している。例えば、沿海州からの反射波の到達時間は、江差と輪島~津居山間の最大

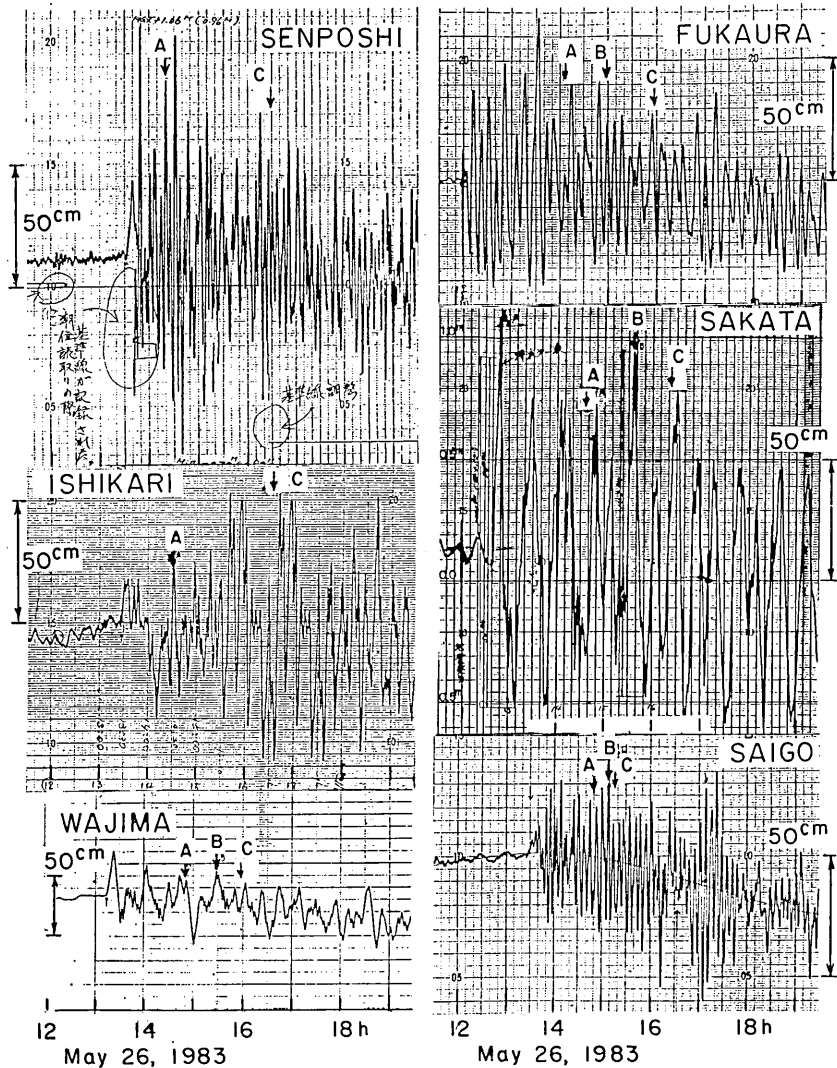


Fig. 4. Tide-gauge records of the 1983 Japan Sea tsunami. Arrows of A, B and C show arrival times of the tsunami reflected from the Sikhote-Alin, North Korean and South Korean coasts, respectively.

波の発現時間と合致しており、波向線が両地域に集中して強い反射波を受けたことを暗示する。

北朝鮮からの反射波の到達時刻は、酒田と岩船で発震時から3時間40分ごろに現われた最大波のピークと合致し、波向線が集まる山陰地方では顕著な振幅の発現時間と対応している。韓国からの反射波も、波向線が集まる岩船から津居山間に現われた顕著な振幅の発現時刻と対応がつく。なお、ウツリョウ島では発震時から2時間前後に全振幅120cmの津波が観測されたが(都司ほか, 1985)、これは韓国東海岸から30分後に反射してきた

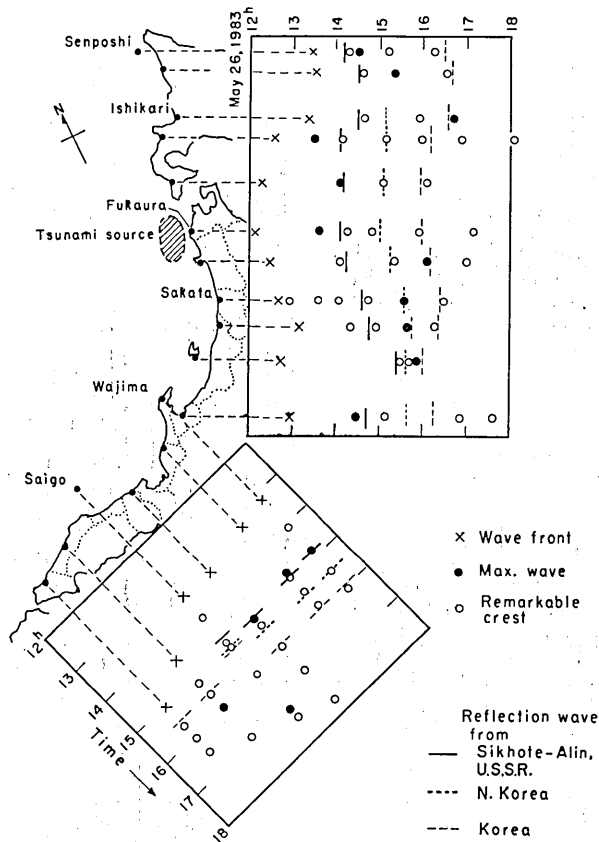


Fig. 5. The occurrence times of the maximum and remarkable wave crests on tide-gauge records and arrival times of the reflection waves.

波と、直接波が合成されたとみなされる。

4. 津波予報

今回の津波で 100 名にのぼる犠牲者を出したが、その 2/3 は地元住民でなく、他所からきた釣り客、遠足にきた学童、港湾作業員の人達であった。また、波源から遠く離れた新潟・石川・島根県下にも、多くの負傷者を出した。津波の第 1 波は、地震から 7~8 分後に深浦・男鹿で観測されたが、津波警報は地震から 19 分後にテレビ・ラジオで報道された。北海道南部・青森・秋田県下の市町村が警察・電電公社のルートから警報を入手したのは、地震から 25 分ほど後となり（国土庁, 1984）、一部の地域では伝達手段と住民の対応に混乱があった（東大新聞研究所, 1985）。津波警報の伝達が遅れたことに加えて、沿岸住民や津波に遭遇した人達の、津波に対する認識が甘かったことも、被害を大きくしたように思われる。

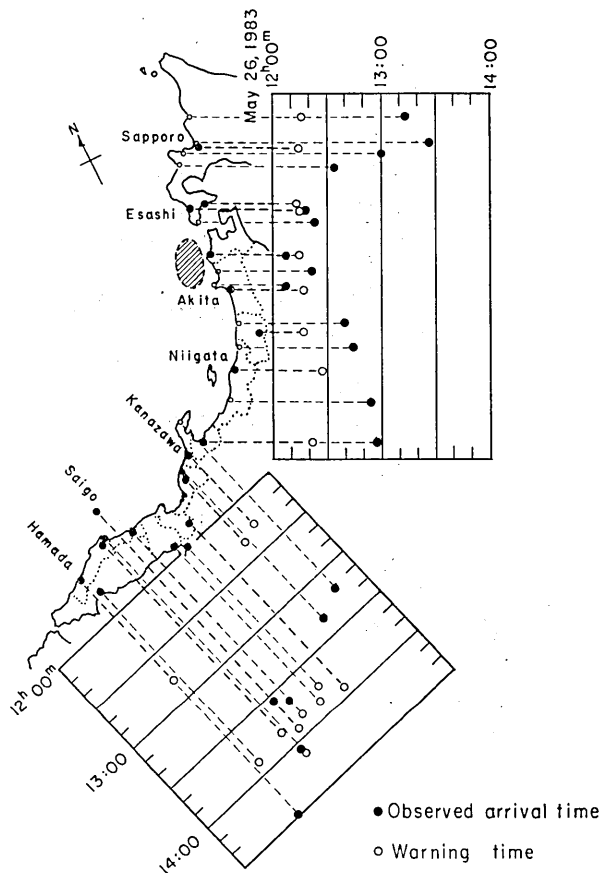


Fig. 6. The observed arrival times of the 1983 Japan Sea tsunami at tidal stations (small open circle) and the warning times communicated from each JMA stations (solid circle).

Fig. 6 には、各検潮所（小白丸）で観測した津波の到達時間（黒丸）と、地方気象台・測候所（黒丸）が自治体・警察本部・海上保安部などの機関に津波警報・注意報を通知した時刻（白丸）を比べて示す。波源に近い青森・秋田県で警報が遅れたことは、現在の技術水準を超えてやむをえないことであり、北海道・中部地方ではかなり成功したといえよう。しかし、山陰地方の一部の地点では、注意報が津波の到達時刻より遅れて通報された。

一方、津波の高さの測量値と予報と比べると、Fig. 7 のようになる。各予報区分ごとにみると、5区（青森・秋田・山形県）では「オオツナミ」（高い所で約 3 m 以上に達する見込み）と発令され、予報はみごとに適中した。また、3区（北海道西部）と6区（新潟・富山県）では「ツナミ」（高い所で約 2 m に達する見込み）と発表され、積丹半島と佐渡の一部の地域を除けば、妥当な予報であった。しかし、10区（石川・福井県）と13区（山陰地方）では「ツナミチュウイ」（高い所でも数 10 cm 程度の見込み）と発表されたが、

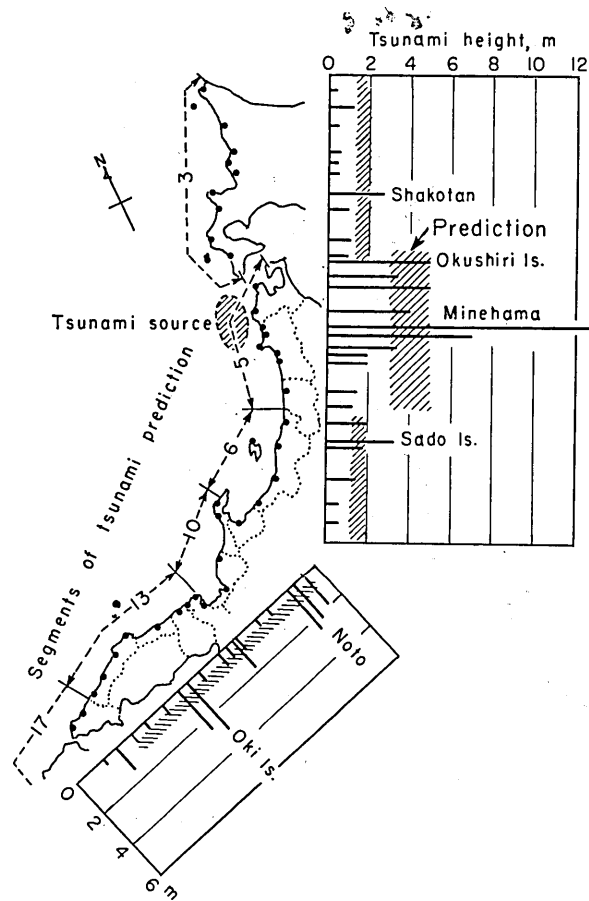


Fig. 7. Distribution of the inundation heights of the 1983 Japan Sea tsunami and the tsunami predictions at each segment.

地震後1時間30分から4時間たって能登の外浦で2~3m, 舳倉島では4m ちかい波高に達した。また、隠岐諸島では2~3m の津波が浦々に溢れた。隠岐西郷の検潮記録には、地震から3時間後に最高潮位になり、その10分前後に沿海州・北朝鮮および韓国からの反射波が到達する時刻に対応している (Fig. 4)。

5. むすび

沿海州・北朝鮮および韓国沿岸から反射波の伝播図を作図し、日本沿岸各地の検潮記録上で反射波の到達時間を検証した。解析の結果、反射波が日本沿岸に到達した時間が、地震から2~5時間後に現われた最大波もしくは顕著な振幅の発現時間とかなり合致することが認められた。しかし、陸棚の幅が比較的狭いが、反射面の地形で反射の時間がずれ、また海岸線区間の中心部と両端付近とは直接波の到達時間に多少時間差が生じる。ここでは、これらの影響を一応無視して波面を作図しているので、日本沿岸の到達時間にいく

らか誤差が出る恐れがある。

直接波の伝播図によれば、沿海州に達した津波は北海道中部の方向に反射し、北朝鮮の北部では波源方向に、南部では山陰方向に、また大和堆の北側を回った津波が韓国海岸で能登半島方向に反射するように見える。ここでは最も効果的な反射波は、陸棚から直角方向にすすむと仮定し、日本沿岸に対する波向線の動向をみた。その結果、波向線は波の屈折効果で島・岬の浅海域に集まることが認められ、地震から2時間以降に積丹・能登半島および隠岐で大きな波高に達したことを裏付けているようにみえる。しかし各地区において、反射の向きで経路がどのように変化して日本沿岸に達したか、今後さらに検討が望まれる。

波源から遠く離れた地域で、地震から2時間以降に最大波が現われたことは、今回の津波に限ったことではない。1964年新潟地震の際、津波警報解除後に津波のピークがおこり、当時国会の委員会で取り上げられた(杉浦, 1984)。天保4年(1833)の山形県沖地震のとき、隠岐では発震後3時間かそれ以上たってから最大波になり、家屋・田畑に浸水した記録がある(都司, 1986)。

将来の日本海津波に対しては、波源から伝わる直接波のみならず、地震から2~5時間の間、大陸からの反射波の動向にも注目する必要がある。また各予報区内においても、島・岬など局地的に津波が大きくなる予想地域を、沿岸住民に知らせるキメ細かい津波情報が望まれる。

文 献

- 相田 勇, 1984, 1983年日本海中部地震津波の波源数値モデル, 地震研究所彙報, 59, 93-104.
羽鳥徳太郎, 1983, 1983年日本海中部地震津波の規模および波源域, 地震研究所彙報, 58, 723-734.
気象庁, 1984, 昭和58年(1983年)日本海中部地震調査報告, 気象庁技術報告, 106, 102-118.
国土庁, 1984, 日本海中部地震の総合的調査報告書, pp. 188.
佐竹健治, 1986, 波線追跡法の津波伝播図への応用, 地震学会講演予稿集, 昭和61年度春季大会, No. 1, p. 151.
杉浦次郎, 1984, 国会の速記録にみる気象業務, (8)津波警報, 測候時報, 51, 41-59.
東大新聞研究所, 1985, 日本海中部地震における災害情報の伝達と住民の対応——秋田県の場合, pp. 323.
土屋義人・酒井哲郎・河田忠昭・中村重久・芝野照夫・吉岡 洋・山下隆男・島田富美男, 1984, 日本海中部地震津波による災害について, 京大防災研究所年報, 27A, 1-29.
都司嘉宣・小西達男・木下武雄・沼野夏生・阿部 修, 1984, 日本海中部地震の津波高分布, 月刊海洋科学, 16(9), 516-526.
都司嘉宣・白雲 燮・秋 教 昇・安 希 洙, 1985, 韓国東海岸を襲った日本海中部地震津波, 防災科学技術研究資料, 90, pp. 96.
都司嘉宣・小西達男, 1985, 日本海に発生した地震津波と数値計算結果, 国立防災科学技術センター研究報告, 35, 277-297.
都司嘉宣, 1986, 隠岐諸島を襲った津波, 日本海洋学会講演予稿集, 昭和61年春季シンポジウム, p. 378.

*Reflection Waves from the Continental Coast for the
1983 Japan Sea Tsunami*

Tokutaro HATORI

The Japan Sea (Nihonkai-Chubu) tsunami of May 26, 1983 hit not only the Japanese coast but also the Sikhote-Alin, U. S. S. R., and Korean coasts. Compared to tsunamis generated on the Pacific side, the duration time of the 1983 Japan Sea tsunami was long, because the Japan Sea is nearly closed. The tsunami reflected from the continental coast was repeated for two days. Except for the Akita-Aomori coast near the tsunami source, the maximum wave was mostly observed three hours after the earthquake occurred at the many Japanese tidal stations. According to the refraction diagram, the average arrival times at the Sikhote-Alin, North Korean and South Korean coasts were 1 hour, 1.5 hours and 1.8 hours, respectively. In the present paper, three refraction diagrams starting from the continental coast were drawn. The correlation of the reflected arrival times and the occurrence time of the remarkable wave crest on 17 tide-gauge records, and the behavior of the reflected wave rays were investigated. The results are as follows:

1) The reflected waves from the Sikhote-Alin coast reached Shakotan Peninsula (Hokkaido) after 1 hour and Noto Peninsula after 1.8 hours, and the wave rays concentrated at these regions.

2) The reflected waves from North Korea reached the San'in district (western part of the Japan Sea side) after 1.8 hours, and the wave rays concentrated at this region. In spite of the great distance from the tsunami origin, the Oki Islands were excessively damaged three hours after the earthquake occurred.

3) The reflected waves from the Korean coast reached Noto Peninsula 2 hours later and the wave rays concentrated between Iwafune and Tsuiyama.

The occurrence times of the maximum or remarkable waves nearly agreed with the arrival times of the reflected waves within the accuracy of ± 10 minutes. The rays of reflection waves from the continental coast concentrated at Shakotan, Noto Peninsulas and the Oki Islands 2~5 hours after the earthquake occurred. Although the predicted tsunami heights in western Japan were under-estimated, in future tsunamis precautions are needed for the effect of reflection waves.
