

## 佐渡における津波の屈折効果

羽鳥 徳太郎\*

### 1. はじめに

佐渡では1964年新潟地震以降、日本海東縁で発生した1983年日本海中部地震や1993年北海道南西沖地震に伴う津波の災害は記憶に新しい。歴史的には、1741年(寛保元年)渡島沖津波と1833年(天保4年)山形沖地震津波による被災記録が、新収日本地震史料(東大地震研究所編、1983-4, 1989, 1993)に収録されている。また、佐渡近海に発生した、1762年(宝暦12年)佐渡沖地震と1802年(享和2年)小木地震は津波を伴った。

さきに筆者(羽鳥、1999, 2001)は、能登半島と男鹿半島周辺における伝播の屈折効果を調べたが、本稿では佐渡を対象に、各津波の波高分布を相互に比較し、島内周囲の伝播特性を検討してみる。

### 2. 津波の概況

Fig. 1には、日本海東縁で発生した主な津波の波源域分布を示す。各波源に、発生年および地震と津波のマグニチュード  $M/m$  を付記した。近年の津波波源には斜線で、歴史津波の推定域は破線で示す。なお、1762年津波の波源は佐渡北東沖に推定されており(羽鳥、1990a; 河内2000)。弾崎付近の願(ねがい)で流离家屋を出している。また、1802年小木地震は顕著な地盤隆起が知られており(太田、他、1976)、小津波を伴った。

Fig. 2には、各調査報告から津波の波高データを集め、波高分布を示す。波高値は平均海面上の痕跡高である。まず近年の津波をみると、1964年新潟地震津波

の波高分布は気象庁(1965)と地震研究所の調査(相田、他、1964)によるものである。両津港付近は床上浸水し、津波高は島内で最大で3.1mに達した。

1983年日本海中部地震津波の状況は大学の合同調査グループ(首藤、卯花、1984)によると、津波高は佐渡北東部の願で最大3.9mに達し、両津では1.4mにとどまった。また1993年北海道南西沖地震では、日本歯科大、新潟大グループ(阿部、他、1994)によって詳しく津波高が測定され、外海府の藻浦~高下(こうげ)間で3.0m、両津では1.1mであった。

一方、歴史津波では1833年12月7日(天保四年十月二十六日)山形県沖津波は、山形、新潟県沿岸をはじめ能登半島の輪島に大被害をもたらした(羽鳥、片山、1977; 大長、1989)、遠く隠岐諸島の集落にも浸水被害を与えた(都司、1987)。津波マグニチュードは  $m=2.5$  と格付けられ(羽鳥、1990b)、1964年新潟津波の規模を上回った。佐渡でも島内各地で津波被害が記録されており、表1に新収地震史料から主な記事を拾い出して示す。両津では被害状況から津波高は4-5mと推定され、外海府の岩谷口では6.4mに達し(大長、1989)、突出している。

1741年寛保渡島沖津波は、渡島半島西岸で遡上高が10mを超え(今村、松本、1998, 都司、他、2002)、死者は2000人にのぼった。北海道から島根県さらに韓国東岸にも被害を与えており、日本海側で最大規模の津波( $m=3.5$ , 羽鳥、1984)

\*〒332-0006 埼玉県川口市末広 2-3-13

であった。発生要因に地震断層と火山噴火説があり、山体崩壊モデルの津波シミュレーションが試みられている(伴、他、2001;佐竹、加藤、2002)。表2には、佐渡年代記による島内各地の記録を示す。

外海府で波高が5mに達したとみなされ、「佐州において前代未聞の事たる由」とある。一方、両津市教育委員会によると、発生年代は不明だが、両津の加茂湖北部に(Fig.3)「三艘舟」という地名がある。これは、大津波で舟が三隻打ち上げられたことに由来するという。また、もう一個所に舟が上がった伝承があり、その地点の標高は8mである。この伝承は、1741年渡島沖津波のときであった可能性が高い。

### 3. 伝播の屈折効果

Fig.4とFig.5に、佐渡近海における4例の津波伝播図を示す。いずれも波面は波源域周縁から出発し、10分間隔で描かれている。沿岸に、各地の検潮記録で得られた伝播時間(時、分)を付記した。

1833年山形沖津波と1964年新潟津波の伝播図(Fig.4)では、波源周縁を10km間隔に分割した地点から波線を描き、佐渡近海では細区分して示した。両津波の波線のパターンはほぼ共通し、佐渡北部岸の外海府に集まり、とくに北東部の弾崎(はじきざき)に密に収斂する。それに対し、本州に面した佐渡南部沿岸での波線は分散している。一方、1983年日本海中部津波と1993年北海道南西沖津波の伝播図(Fig.5)では、佐渡沖のほぼ同じ位置の波面に10km間隔で描いた波線を示した。両津波の波線は外海府に集まる。

波源縁での水位が水深50mの佐渡沿岸へ伝わる時、近似的にグリーンの法則で変化するとみなし、沿岸域の浅水(Shoaling), 屈折(Refraction)係数を計算した。

ここで沖合いの波高は一樣な高さで仮定し、沿岸との水深比が1/4乗、波線の幅比は1/2乗で波高が変化すると取り扱う。

Fig.6には、1833年山形沖津波と1964年新潟津波におけるS.R係数の計算結果(柱状グラフ)に波高分布を重ねて示す。1833年津波では、佐渡北東部の願~岩谷口間で波高が5-6mに達し、S.R係数は2.5と突出して調和的である。1964年津波では、同地域の係数は1.1となる。また佐渡南部沿岸では、両津波の波高は1.0-1.5mであり、係数は0.5と小さい。

しかし、両津では両津波の波高は3-5mに達したが、係数は0.6-0.7と得られ調和しない。これは、湾形が三角型による地形条件と、1964年津波は20分のやや長周期波であり、共振作用が加わったのであろう。

1983年日本海中部津波と1993年北海道南西沖津波の場合では、Fig.7のようになる。両津波のS.R係数と波高分布のパターンはほぼ共通する。北東部の願付近の係数は2.4と大きく、両津湾岸で0.7-0.9、南部沿岸では0.5-0.7と求まり、波高分布と調和的である。なお、右図に1741年渡島沖津波の波高分布(白丸)を付記したが、1993年津波の波高より目立って大きい。

一方、佐渡西方沖に波源を想定した数値実験によれば(相田、1990)津波高は真野湾、直江津、珠洲(能登半島)で大きくなっている。Fig.8には、1614年慶長越後高田地震津波を想定した伝播図(羽鳥、片山、1977)を示す。波線は小木半島、真野湾に集まり、S,R係数は2.0-2.7となる(右図)。なお、相川には1741年渡島沖津波の史料に「此津波百二十三年以前に右之候由申伝也」とある。これは、1614年慶長津波の発生年近くに該当しており、注目したい。

#### 4. 津波マグニチュードからの波高偏差

Fig. 9には、筆者の方法(羽鳥、1986)による津波マグニチュードの区分を示す。横軸には震央から観測点までの海洋上の距離、縦軸には津波高をとり、佐渡北東部(鷺崎～願)、両津、相川における波高値をプロットしてある。そして津波マグニチュード(1741年津波： $M=3.5$ 、1983年、1993年津波： $M=3$ 、1833年津波： $M=2.5$ 、1964年津波： $M=2$ )を基準に波高偏差が上回るものを実線、下回るものは破線で示した。

その結果、佐渡北東部では、1964年新潟津波の波高はきわめて小さいが、波源が遠方な津波ほど波高値が上回り、1741年渡島沖と1993年北海道南西沖津波の波高は2-3倍も大きい。一方、両津における波高値は多様である。1964年と1993年津波の波高は平均的な高さであるが、1983年津波は下回り、1741年渡島沖津波の波高は4倍も大きく突出している。

相川では、1833年山形沖津波の波高値は平均的であるが、1964年、1983年津波では下回り、北海道南西沖の1741年1993年津波の波高値は上回っている。

#### 5. むすび

佐渡に被害をもたらした6例の津波を取り上げ、津波伝播図をもとに島周囲の浅水、屈折(S,R)係数を計算し、波高分布と対比した。解析の結果、日本海東縁の津波(1833年山形沖、1983年日本海中部、1993年北海道南西沖)に対して、波線は佐渡北東部に集まる。S,R係数は2.5と求まり、波高分布と調和して屈折効果が大きい。両津湾岸のS,R係数は0.5-0.9となるが、両津での1833年、1964年津波の波高は3-5mに達しており、両津湾の周期との共振作用を示唆する。

佐渡海峡に面した南部岸域では各津波

とも、S,R係数は0.5になり、波高は1-2mにとどまった。しかし、波源を佐渡と能登半島の間想定すると、波線は小木半島、真野湾に集まる。近地津波では波高増幅係数の分布パターンは、波源の位置で多様に変化する。

#### 文 献

- 阿部邦昭、他、1994、北海道南西沖地震津波の新潟県における浸水高の分布、地震研究所彙報、69、159-17。
- 相田 勇、他、1964、1964年6月16日新潟地震にともなう津波の調査、地震研究所彙報、42、741-780。
- 相田 勇、1990、新潟、富山県沖の仮想津波数値実験、地震学会講演予稿集、No. 2、p. 256。
- 伴 一彦、他、2001、数値シミュレーションによる1741年(寛保元年)津波の波源モデルに関する考察、津波工学研究報告18、131-140。
- 大長昭雄、1989、天保4年(1833)の庄内地震、萩原尊礼編著：続古地震、東京大学出版会、165-199。
- 羽鳥徳太郎、片山通子、1977、日本海沿岸における歴史津波の挙動とその波源域、地震研究所彙報、52、49-70。
- 羽鳥徳太郎、1984、北海道渡島沖津波(1741年)の挙動の再検討、地震研究所彙報、59、115-126。
- 羽鳥徳太郎、1986、津波の規模階級の区分、地震研究所彙報、61、503-515。
- 羽鳥徳太郎、1900a、宝暦12年(1762)、享和2年(1802)佐渡地震の規模と津波、歴史地震、6、1-7。
- 羽鳥徳太郎、1990b、天保4年(1833)山形沖地震とその津波の規模、地震2、43、227-232。
- 羽鳥徳太郎、1999、能登半島における津波の屈折効果、地震2、52、43-50。
- 羽鳥徳太郎、2001、男鹿半島における津波の屈折効果、津波工学研究報告 東北大工学部、18、105-112。
- 今村文彦、松本智裕、1998、1741年渡島大島火山津波の痕跡調査、津波工学研

- 究報告、15, 85-105.
- 河内一男、2000, 宝暦佐渡沖地震(1762年、M7.0)の震央の再検討、歴史地震、16, 107-112.
- 気象庁、1965, 昭和39年6月16日新潟地震調査報告、気象庁技術報告、No. 43.
- 太田陽子、他、1976, 佐渡小木地震(1802年)による土地隆起量の分布とその意義、地震2, 29, 55-70.
- 佐竹健治、加藤幸弘、2002, 1741年寛保津波は渡島大島の山体崩壊によって生じた、月刊海洋、号外No. 28, 150-160.
- 首藤伸夫、卯花政孝、1984, 日本海中部地震津波の痕跡高、津波防災実験所研究報告、東北大工学部、1, 88-267.
- 東大地震研究所編、新収日本地震史料、3巻(1983), 4巻(1984), 補遺(1989), 続補遺(1994), (社)日本電気協会.
- 都司嘉宣、1987, 隠岐諸島の津波の歴史、月刊地球、9(4), 229-234.
- 都司嘉宣、他、2002, 寛保元年(1741)渡島大島噴火津波による北海道沿岸での浸水高さ、月刊海洋、号外No. 28, 15-44.

## **Refraction Effect of Tsunamis around the Sado Island, the Japan Sea**

**Tokutaro HATORI**

Suehiro 2-3-13, Kawaguchi, Saitama 332-0006, Japan

The Sado Island has been suffered from tsunamis originated along the eastern margin of the Japan Sea. According to the old documents, the 1741 Hokkaido Oshima-Oki and 1833 Yamagata-Oki tsunamis reached 5-6m at the neighboring tip of northeastern Sado Island. Inundation heights of the 1983 Nihonkai-Chubu and 1993 SW. Hokkaido tsunamis were 3-4m. These tsunami are more than 2-3 times larger than the ones expected from the average tsunami magnitude.

Based on the refraction diagrams and the shoaling-refraction factors around the Sado Island, amplification factors estimated by the Green's formula are 2.5 at the northeast coast and 0.5 at the south coast. The distribution patterns of the calculated factors nearly agree with those of the inundation heights. The factor at Ryotsu, the head of bay, is 0.6-0.9, but inundation heights of the 1833 Yamagata-Oki and 1964 Niigata tsunamis reached 3-5m, suggesting the exciting bay-seiche. On the contrary, the wave rays of the 1614 Keicho tsunami generated off the west Sado Island concentrate at the Ogi Peninsula and Mano Bay. The amplification factor is 2.0-2.7. The distribution pattern of amplification factors around the Sado Island is different from the source locations.

Key words: Tsunami heights around Sado Island, Refraction diagrams, Shoaling-refraction factor.

表1. 佐渡における天保4年山形沖津波（1833年12月7日）の記録

地 名	記 事	推定津波	
		高	m
相川	十月二六日申上刻（15時ころ）地震強半時余も震気不止打続、相川海辺磯際より2-3町又は1丁半程海中俄に潮干き高波数度打揚候得共、人家四壁裾通潮濡所所及び破損	2-3	
高下、田野浦、石名	流失家 79	3-4	
関、五十浦、岩谷口	潰家12. 岩谷口で大戸まで押し寄せ、北側の通りは座敷の半分まで回りこむ	6.4	
真更川、鷺島、願	破損家235, 流失納屋44, 願で25軒の内20軒流される	5-6	
鷺崎	半村も津波に打流れ、漁船残らず流れる	4	
吉住	少々引流れ	2-3	
加茂、夷町、湊町	城之内で倒家、漁船転覆、欄干橋落ち、御番所の松に止めてあった700石積大船、川口に打ちこまれて大破 破損納屋119	4-5	
大川	浜通り石垣まで上が 暮六ツ時（18時ころ）まで6-7回漁船引きあげる。潮引く間の中は一水も無之、羽丹生村、奥村も津波大きい	3	
腰細、徳和、赤泊	潰納屋92	1-2	
小木、八幡、河原田	流失雑穀蔵 1個所河原田少々痛む	1-2	
鹿伏、石田、市野沢	板橋流失2個所	1-2	

表2. 佐渡における寛保元年渡島大島津波（1741年8月29日）の記録

地 名	記 事	推定津波	
		高	m
相川	高波にて相川の海辺紫町、鹿伏村並びに 屋を越し 打揚げ引潮一町余もありたりと云此津波 百二十三年以前に有之候由申伝也（佐渡年代記）	3-4	
鷺崎	家、船破損	4-5	
加茂湖北	津波で舟 が打上げられたことに由来する「三艘舟」とい地名あり（標高8 m付近）、1741年渡島沖津波の伝承か	8	
水津	他国船3隻痛む	2-3	

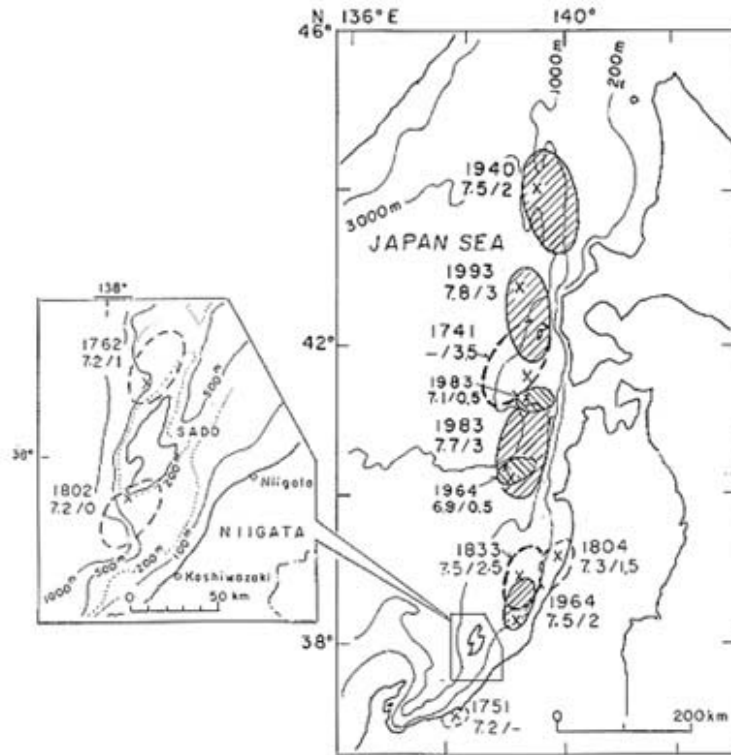


Fig.1. Location of the source areas of tsunamis during 1741-2001.

The generating years, earthquake and tsunami magnitudes,  $M/m$ , are also indicated. The hatching sources show tsunamis generated since 1900.

図1 津波波源域の分布(1741-2001). 発生年に地震と津波のマグニチュード  $M/m$  を示す

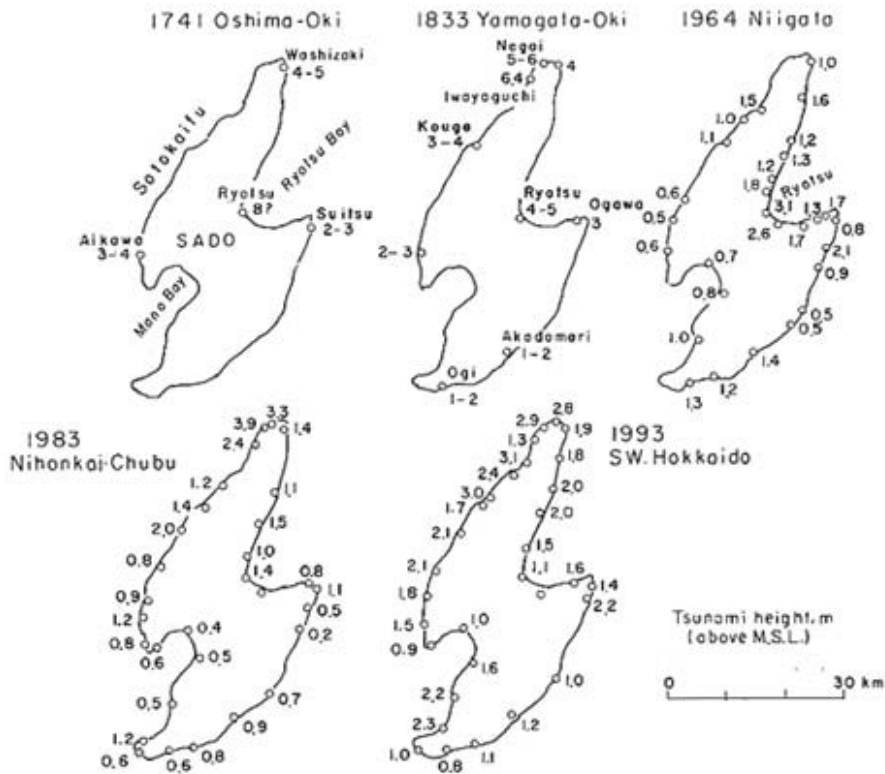


Fig.2. Distributions of inundation heights (above M.S.L., unit:m) on the Sado Island for various tsunamis.

図2 佐渡における各津波の波高分布(平均海面上、m)



Fig.3. According to the legend of tsunami, the boats flowed into Ryotsu(altitude: 8m).  
 Date of the event is unknown, but there is a possibility of the 1741 Oshima-Oki tsunami.  
 図3 佐渡加茂湖北部における津波遡上の伝承 (年代不明). 両津市教育委員会  
 提供

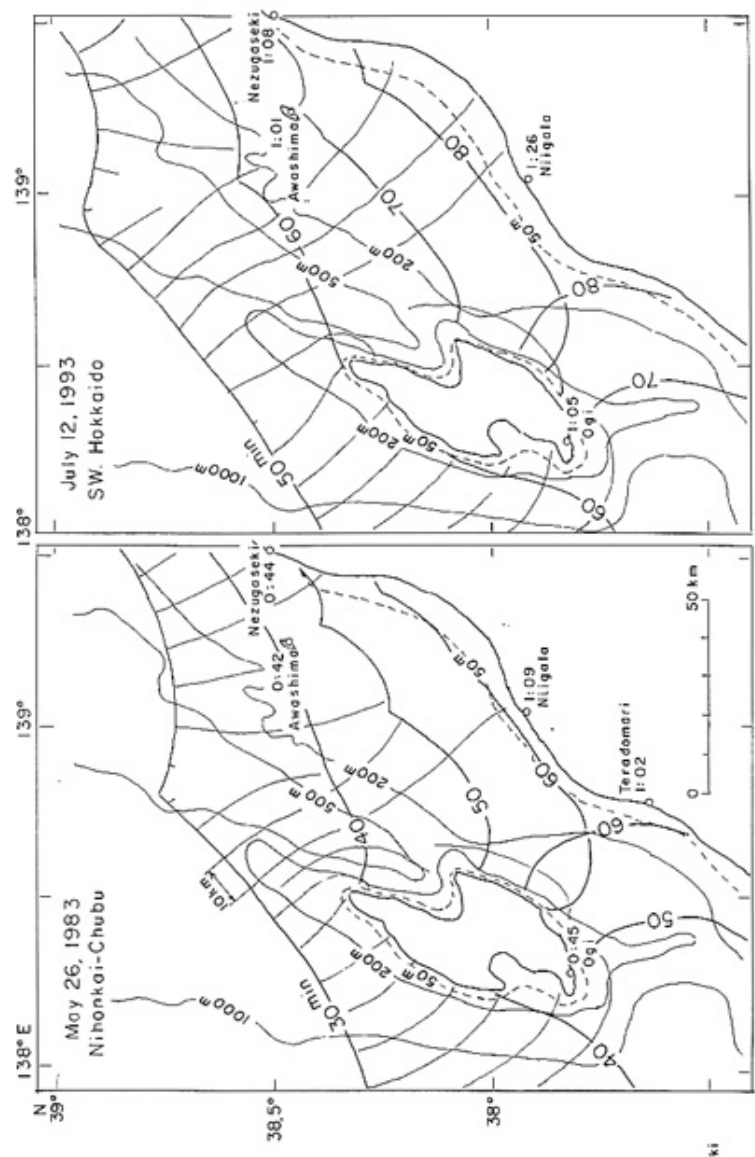
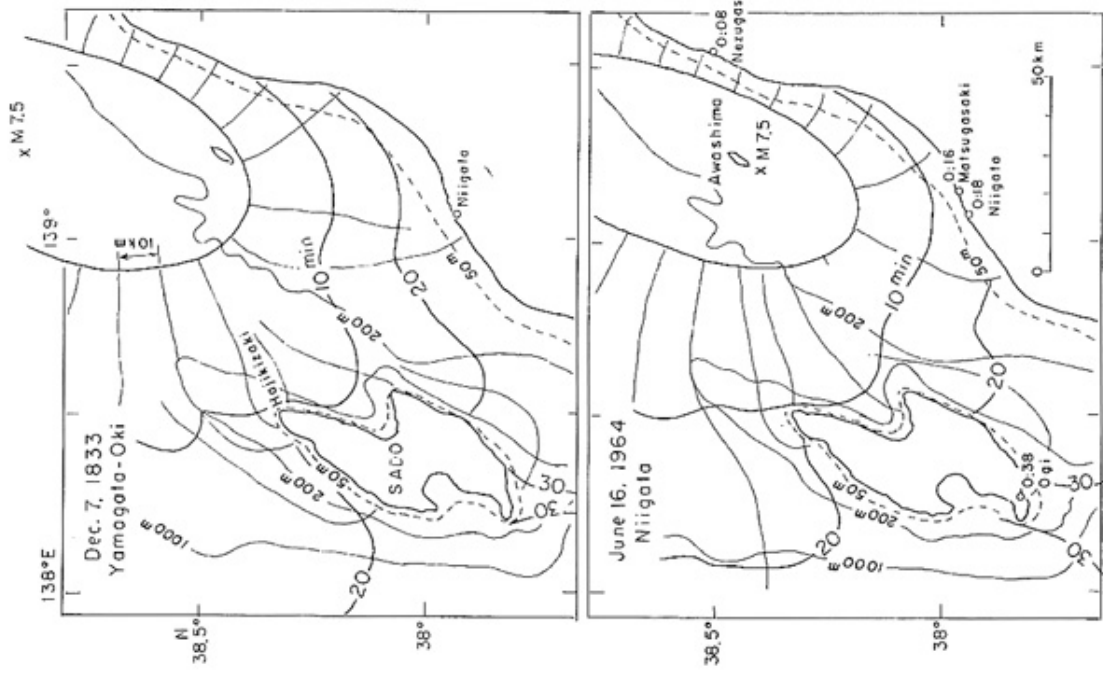


Fig.5. Refraction diagrams of the 1983 Nihonkai-Chubu and 1993 SW Hokkaido tsunamis (time interval: 10min). The comment is the same as in Fig.4.  
 図5 1983年日本海中部、1993年北海道南西沖津波の伝播図 (波面: 10分間隔)

Fig.4. Refraction diagrams of the 1833 Yamagata-Oki and 1964 Niigata tsunamis (time interval: 10min). Travel times (h,m) observed at tidal stations are shown. Wave rays show dividing 10km segments.  
 図4 1833年山形沖、1964年新潟津波の伝播図 (波面: 10分間隔). 沿岸に伝播時間の観測値 (時、分) を示す



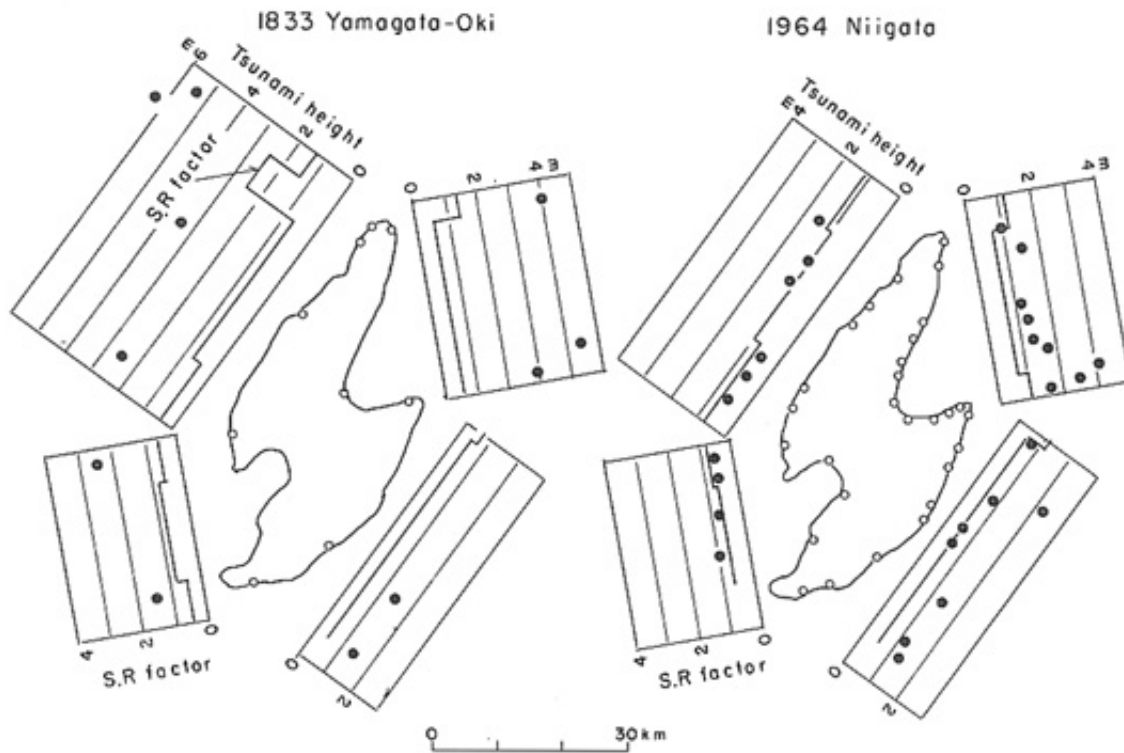


Fig.6. Comparison of the shoaling-refraction factor around the island (column) and the distributions of tsunami heights for the 1833 and 1964 events.

図6 1833年山形沖、1964年新潟津波の波高分布と波高の浅水、屈折係数(S.R係数、柱状グラフ)との比較

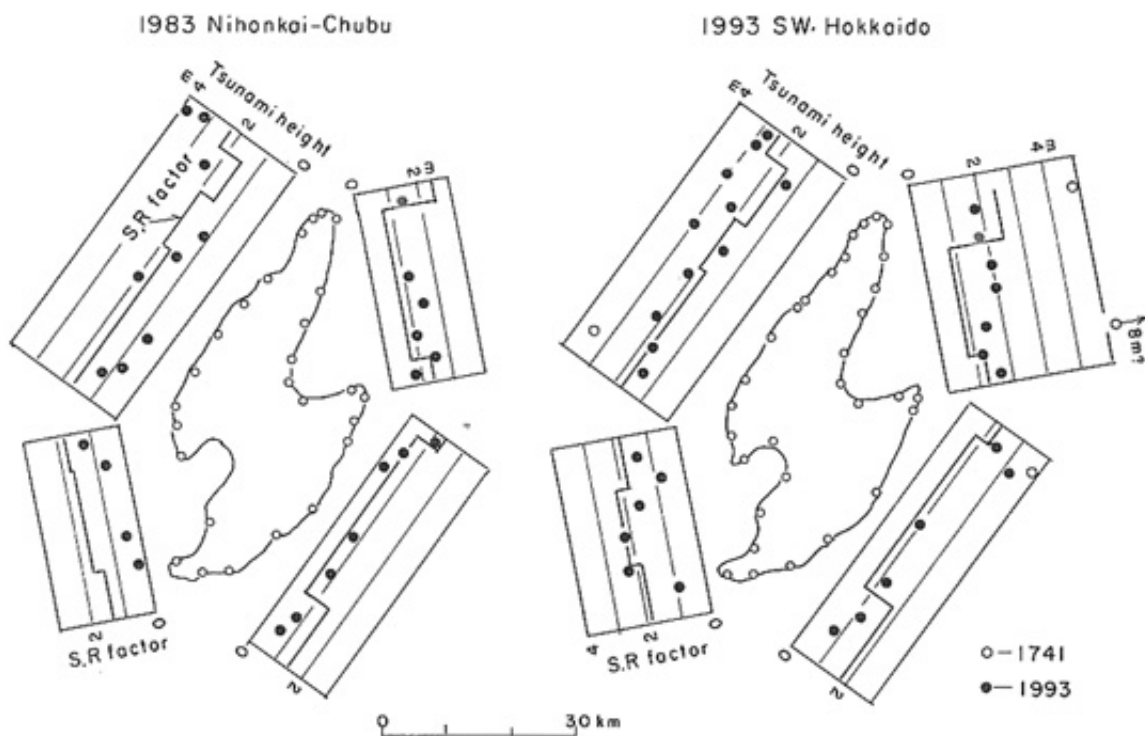


Fig.7. Comparison of the shoaling-refraction factor around the island and the distributions of tsunami heights for the 1741, 1983 and 1993 events.

図7 1983年日本海中部、1993年北海道南西沖津波の波高分布と波高の浅水、屈折係数との比較。右図に1741年渡島沖津波の波高(白丸)を付記

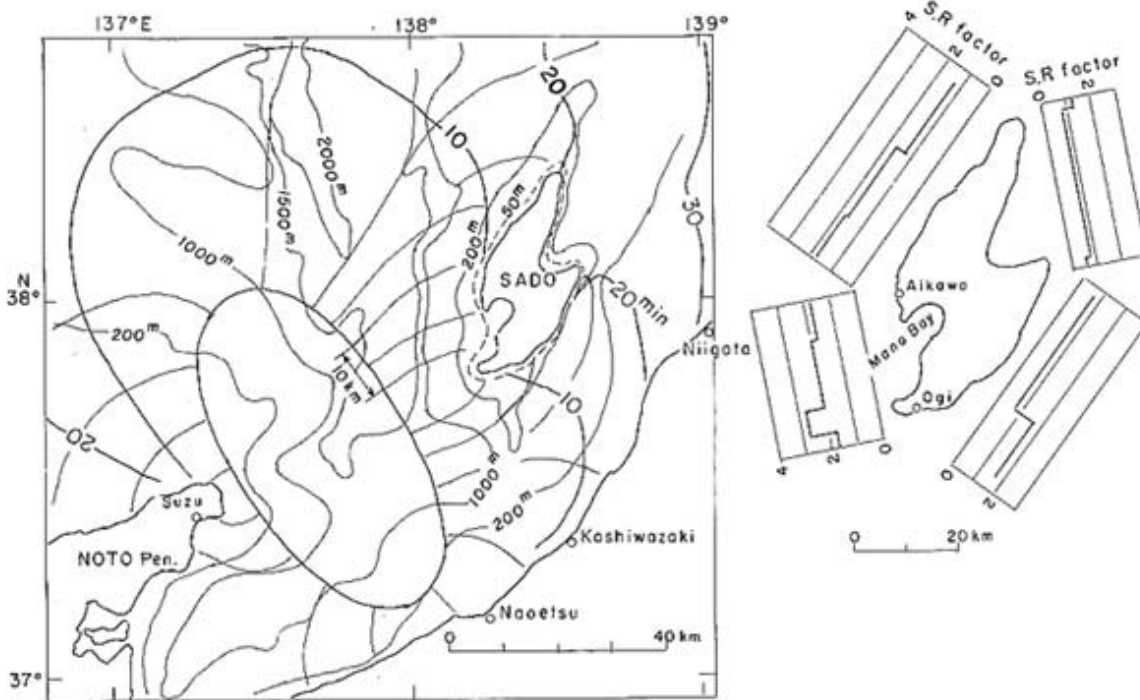


Fig.8. Refraction diagram of the imaginary source of the 1614 Keicho tsunami (time interval: 10 min). The comment is the same as in Fig.4. Right: the shoaling-refraction factor around the island.

図8 1614年慶長越後高田地震を想定した津波伝播図(波面: 10分間隔).  
右図: 波高の浅水、屈折係数分布

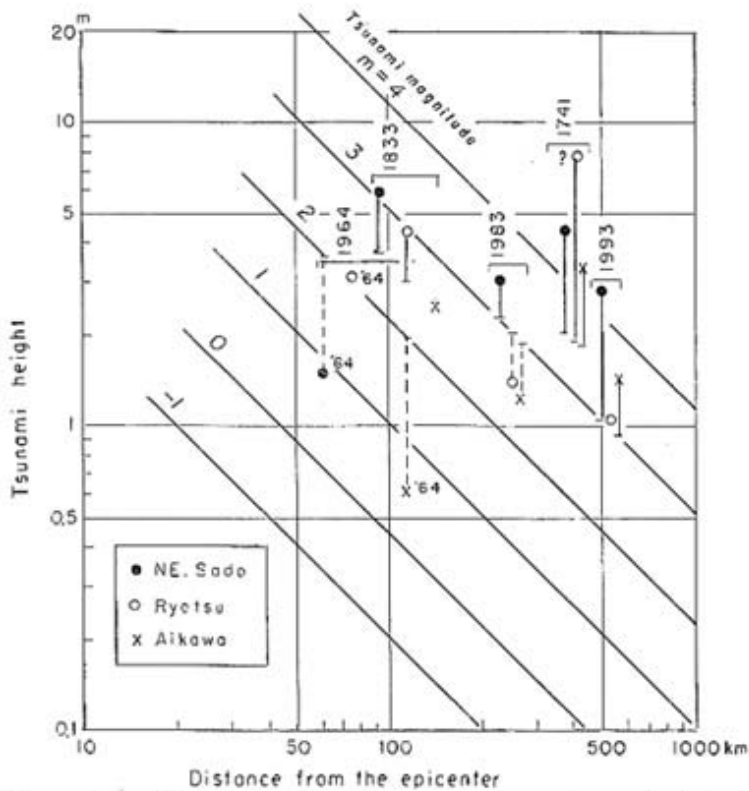


Fig.9. Tsunami height deviations from the average tsunami magnitudes on the tsunami height-distance diagram (solid lines: up, broken lines: down).

図9 佐渡北東部、両津、相川における各津波マグニチュードからの波高偏差 (実線: 波高大、破線: 波高小)