

男鹿半島における津波の屈折効果

羽 鳥 徳太郎*

1. はじめに

秋田県沿岸地域では、しばしば地殻変動を伴う地震が発生し、大きな災害に見舞われてきたが、津波は小振幅にとどまった。しかし、1983年日本海中部地震は大規模な津波を伴い、100人にのぼる犠牲者を出した。また、10年後の1993年北海道南西沖地震津波による被災も記憶に新しい。男鹿半島では歴史的な津波資料は見出されていないが、1741年(寛保1年)北海道渡島沖津波(羽鳥・片山, 1977; 都司・他, 1996; 今村・松本, 1998)と1833年(天保4年)山形沖地震津波は、災害をもたらした可能性がある。近年の地震活動により、日本海側での津波のエネルギー累積値は、渡島〜津軽間に次いで秋田県沿岸の値が大きい(羽鳥, 1995)。

さきに筆者(羽鳥, 1999)は、能登半島で

の津波伝播の屈折効果を調べたが、本稿では男鹿半島周辺を対象に、各津波の波高分布を相互に比較して伝播形態を検討し、秋田県沿岸での地域性を考察する。

2. 地震津波の概況

秋田県沿岸で観測された地震津波について、新編日本被害地震総覧(宇佐美, 1996)からひろい出し、震央、地震のマグニチュード M を表-1に示す。ここで津波の規模を表す津波マグニチュード(今村・飯田スケール, m)は震央距離-波高図(羽鳥, 1986b)から求めた値を示し、主な波高値(平均海面上)を付記した。なお、cm単位で示す観測点では、検測記録による最大波の全振幅値を示す。

これら津波の波源域の分布を図-1に示

表-1 秋田県沿岸で観測された津波

発 生 年	震 源 域	震 央		マグニチュード		津波の高さ
		N	E	地 震 M	津 波 m	
1694 VI 19 (元禄7)	能代	40.2°	140.1°	7.0	-1	
1704 V 27 (宝永1)	岩館	40.4	140.0	7.0	0	岩館 1.3 m
1741 VIII 29 (寛保1)	渡島沖	42.1	139.1	-	3.5	鱒ヶ沢 4 m
1793 II 8 (寛政4)	鱒ヶ沢	40.75	139.95	7.2	1	深浦 3.2 m
1804 VII 10 (文化1)	象潟	39.05	139.95	7.3	1.5	仁賀保 3-4 m
1810 IX 25 (文化7)	男鹿	39.9	139.9	7.0	-1	船越 30 cm
1833 XII 7 (天保4)	山形沖	38.9	139.25	7.5	2.5	象潟 4-5 m
1939 V 1 (昭和14)	男鹿	40.13	139.52	7.0	-1	土崎 27 cm
1940 VIII 2 (昭和15)	積丹沖	44.25	139.47	7.5	2	能代 50 cm
1964 V 7 (昭和39)	男鹿沖	40.33	139.00	6.9	0.5	秋田港 21 cm
1964 VI 16 (昭和39)	新潟沖	38.35	139.18	7.5	2	船川 2.3 m
1983 V 26 (昭和58)	日本海中部	40.36	139.08	7.7	3	峰浜 14 m
1983 VI 21 (昭和58)	余震	41.26	139.00	7.1	0.5	熊代 37 cm
1993 VII 12 (平成5)	北海道南西沖	42.78	139.18	7.8	3	八森 3.5 m

*元東京大学地震研究所

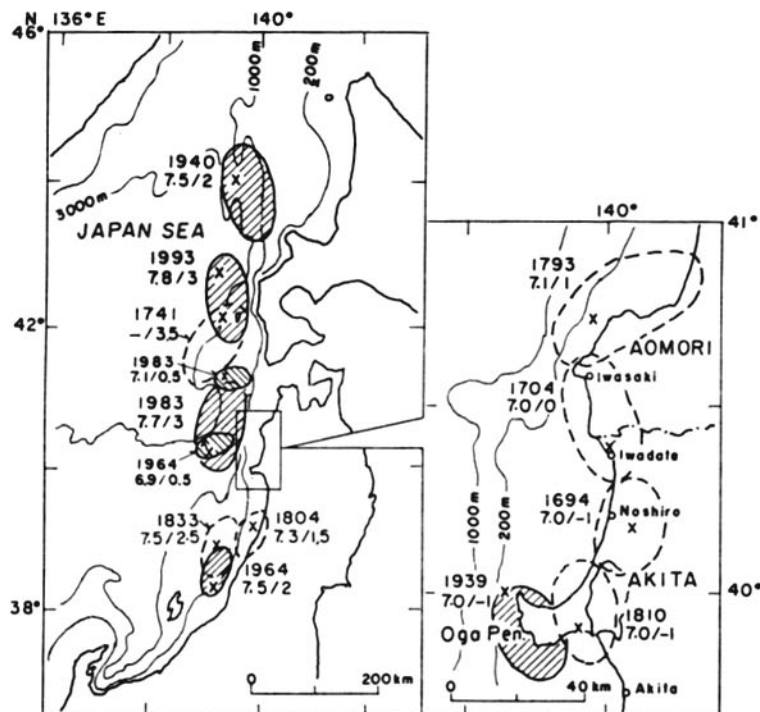


図-1 秋田県沿岸で観測された地震津波の波源域分布。発生年に地震と津波のマグニチュード M/m を示す

す。ここで最近100年間(1900~2000)の津波波源は斜線で、それ以前の歴史津波の推定域は破線で示す。各波源には、発生年および地震と津波のマグニチュード値 M/m を付記してある。

青森・秋田県沿岸域では、歴史的に $M7$ クラスの地震で海岸が1~2m隆起して、直下型の甚大な地震災害に見舞われた。これらの地殻変動域は内陸部に広がり、津波は小規模(マグニチュード $m0$ 以下)にとどまった。しかし、1793年鯨ヶ沢地震と1804年象潟地震による津波はやや大きく($m1 \sim 1.5$)、集落に遡上して死傷者が出ている。なお、波源域は震度・津波分布と地殻変動を考慮して推定されたものである(羽鳥, 1986a, 1987)。

大規模な津波の波源域は、北海道南西沖から日本海東縁、水深3,000mの等深線に沿って分布している。1983年日本海中部地震津波と1993年北海道南西沖地震津波はその代表格であり、津波マグニチュードはともに $m=3$ で

あった。1741年渡島沖津波は、最大級の規模($m=3.5$)に推定された(羽鳥, 1984)。一方、1964年新潟地震津波の波源域は陸棚上にあり、1833年山形沖地震津波は震度・津波分布から北側に推定されている(羽鳥・片山・1977; 羽鳥, 1990)。

図-2には、男鹿半島南部の船川で観測された3例の検潮記録(秋田県船川港湾事務所)を示す。1964年新潟津波の振幅が突出して240cm以上、40分の長周期波が卓越している。それに対し、1983年日本海中部津波の最大全振幅65cm、30~40分周期の波に10分周期の波が重なる。1993年北海道南西沖津波では10分程度の短周期波が目立ち、各波形の形は多様である。

3. 伝播の屈折効果

図-3と図-4に、男鹿半島周辺の4例の津波伝播図を示す。いずれも波源周縁から出

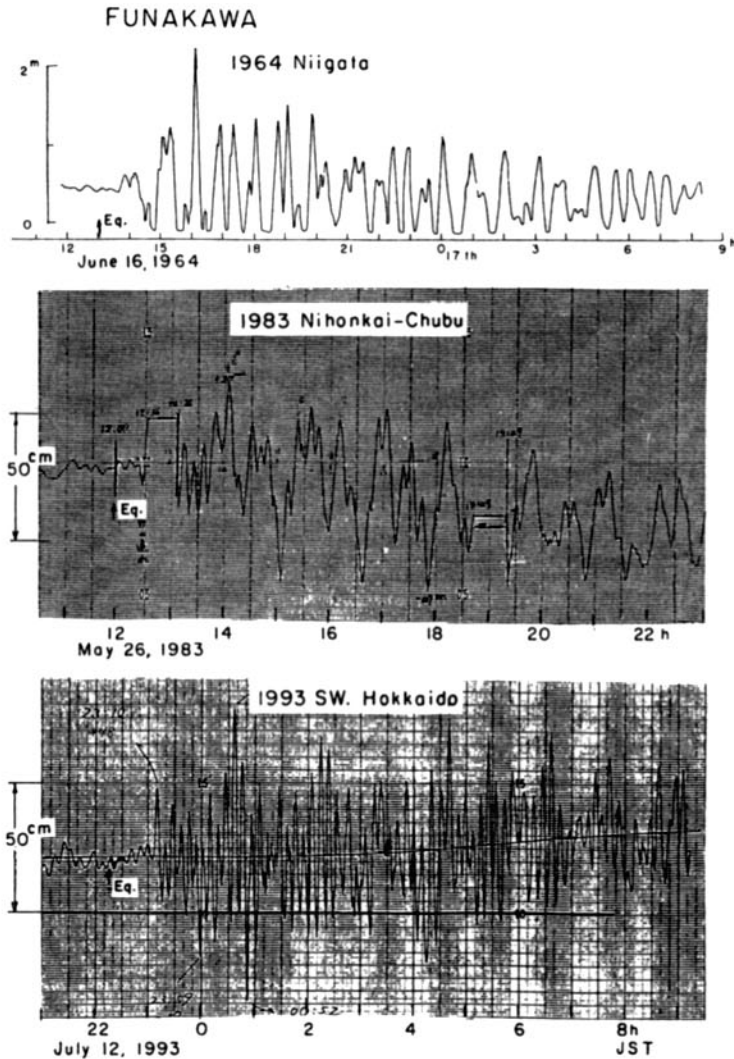


図-2 船川で観測された1964年新潟津波、1983年日本海中部津波、1993年北海道南西沖津波の検潮記録

発し、10分間隔で描かれている。男鹿半島沖のほぼ同じ位置の波面上を5km間隔に分割し、それらの地点から波線を描いてある。なお、各地の検潮記録から得られた伝播時間(時,分)を付記した。

1983年日本海中部津波と1993年北海道南西沖津波の伝播図において、沿岸付近の波面の時間は実測値と調和的である。両津波とも、波線は男鹿半島に集まる。能代から久六島へむかう北西方向に陸棚が沖合に伸びており、

この海底地形を反映し、1993年津波の波線は能代付近に集まる。図-4には、1833年山形沖津波の推定波源からと、1964年新潟津波の伝播図を示す。南方から伝播する津波に対しては、男鹿半島南部側に波線が密に収斂することが特徴的である。

さて、波線を描き始めた所の水位が水深50mの沿岸へ伝わるとき、近似的にグリーンの法則で変化するとみなし、伝播図をもとに男鹿半島沿岸の浅水(Shoaling)・屈折

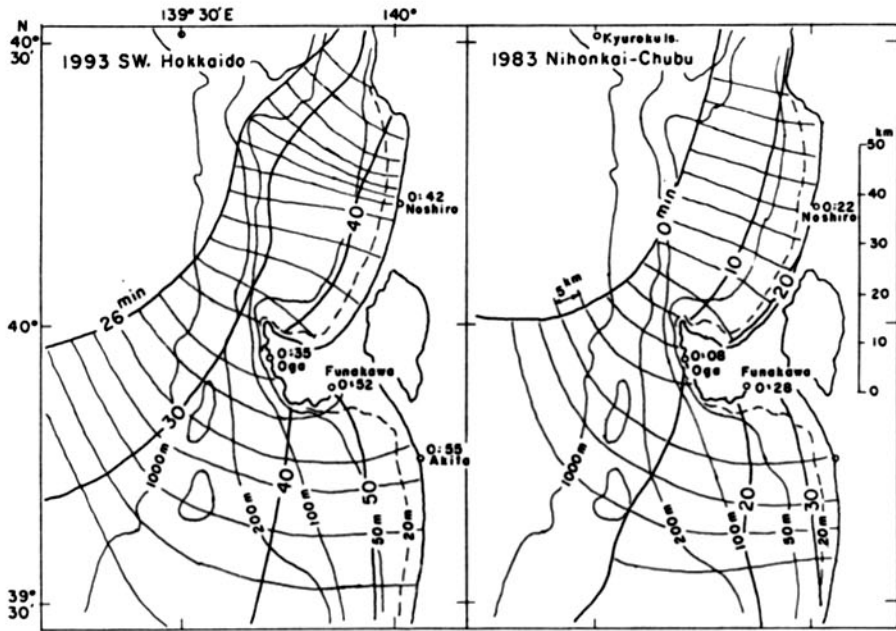


図-3 1993年北海道南西沖津波(左図)と1983年日本海中部津波(右図)の伝播図(波面は10分間隔)。沿岸に伝播時間の実測値(時,分)を示す

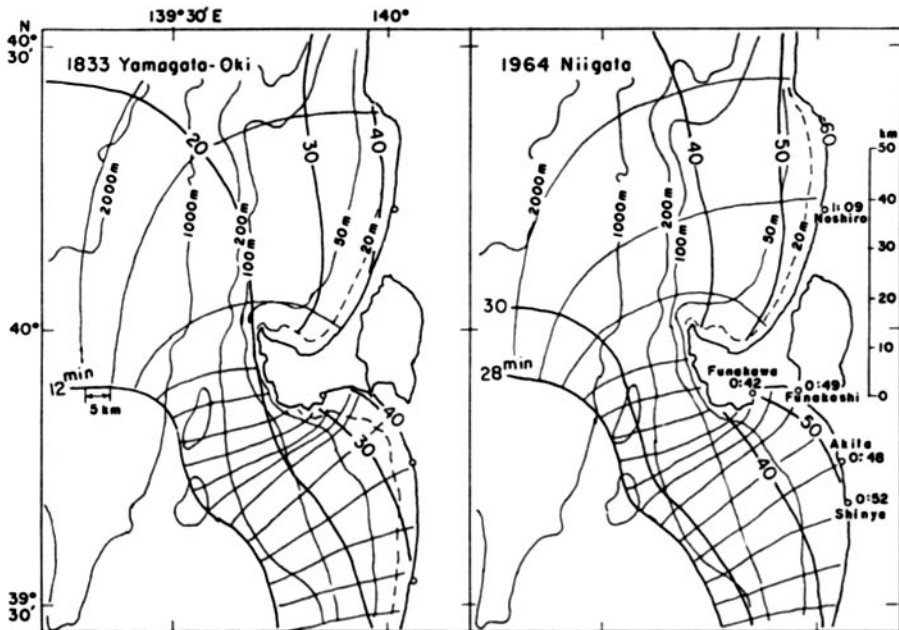


図-4 1833年山形沖津波(左図)と1964年新潟津波(右図)の伝播図。(波面は10分間隔)

(Refraction) 係数を計算した。ここで沖合の波高は一様な高さで仮定し、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して取扱う。

解析の結果、図-5に1983年日本海中部津波と1993年北海道南西沖津波における水深50m上のS.R係数と、東北大・秋田大の調査グループ(首藤・卯花, 1984; 首藤, 1994)による痕跡高の分布を重ねて示す。県北部の峰浜村海岸では、1983年津波は砂丘を乗り越え、約10km幅の範囲で遡上高が10mを超えており、S.R係数の分布と大きく食い違う。異常な遡上高は、断層モデルの解析によれば(相田, 1984; 首藤, 1991)、能代沖で断層の鉛直変位が大きかったことが、主要因とみなされた。また、能代から久六島へ浅海域が局部的に伸びていることから、屈折効果も作用したであろう。そのほか、半島北側でS.R係数は約2.0であり、南側は $1/2$ の値になっている。1993年津波の場合では、S.R係数と痕

跡高の分布はほぼ調和的であり、半島周辺でのS.R係数は約2.0になる。

一方、1964年新潟津波のS.R係数と痕跡高の分布は図-6のようになる。船川の遡上高は2.3mに達して海岸に遡上し(三浦, 1965)、1983年の津波より上回った。筆者の現地調査でも、沿岸住民はそのように証言している。1833年山形沖津波($m=2.5$)によるS.R係数の分布パターンは1964年津波と似ており、男鹿半島の北側より南側の値が大きく、船川付近では係数2.5と局部的に突出する。

4. 波高値の偏差と伝播時間

図-7には、筆者の方法(羽鳥, 1986b)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までの海洋上の距離、縦軸には痕跡高をとり、能代、男鹿戸賀、船川、秋田(土崎)の観測値をプロットしてある。1964年新潟津波(津波マグニチュード、

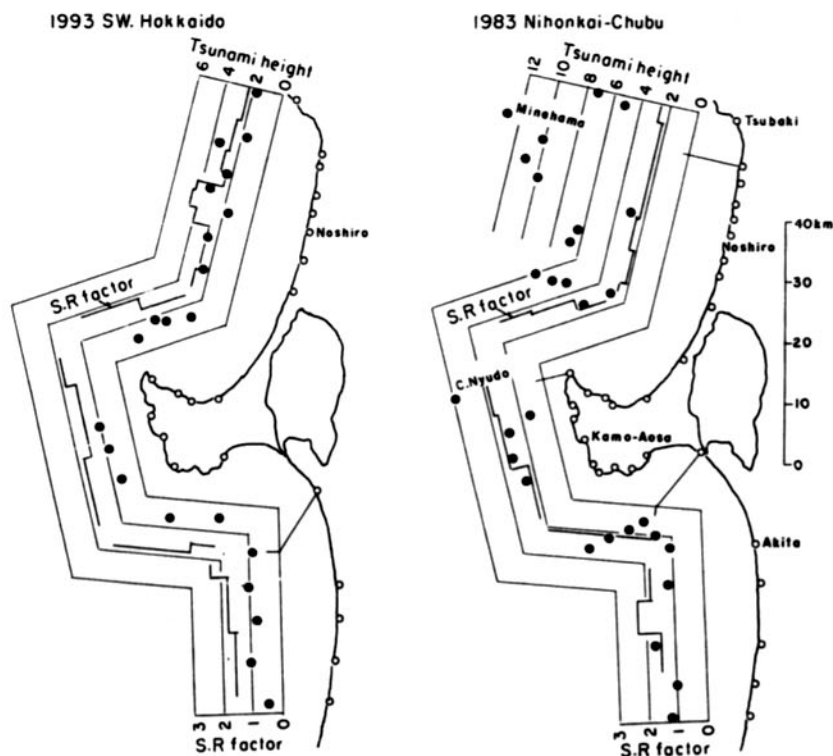


図-5 沿岸の浅水・屈折(S.R)係数と津波高(1983, 1993年)分布との比較

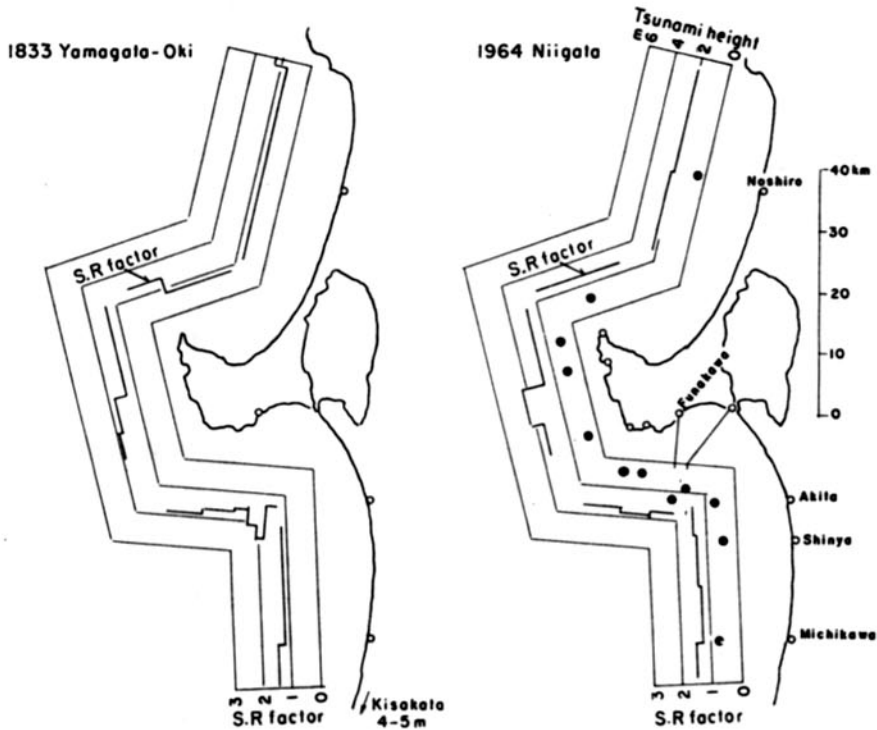


図-6 沿岸の浅水・屈折 (S.R) 係数と津波高 (1833, 1964年) 分布との比較

$m=2$) は、津波マグニチュードと比べ、秋田、戸賀の痕跡高がほぼ平均的であるが、船川では2倍ほど大きく、能代では逆に下回った。1983年日本海中部津波では、能代(港内の痕跡高は3.1mであるが、港外では7mに達した)が平均値であり、他の観測点は大幅に下回り、船川の痕跡高は平均値の1/5にとどまった。1993年北海道南西沖津波 ($m=3$) では、秋田の痕跡高が1/2に下回っている。これらの観測結果から、北方から伝播する津波に対して、波高値は男鹿半島の北側が大きく、南側が小さくなる。一方、南方から伝播する津波では逆センスで南側が大きくなり、屈折効果を裏付けている。

3津波の検潮記録によれば、発震時を基準に各観測点での津波初動の到達時間と、最大波の出現時間は図-8のようになる。男鹿では、1983年と1993年津波の最大波は初動から5~8分後に現れ、時間間隔がきわめて短く、船川以外の観測点は1~2時間になる。

しかし、約20分のやや長周期波の1964年津波では、3~4時間と伸びている。陸棚の幅が広い能代、秋田沿岸では、陸棚波または反射波などによってセイシュが励起されたのであろう。

5. むすび

秋田県沿岸の津波記録を整理し、日本海東縁で発生した津波の伝播図から男鹿半島周辺沿岸の浅水・屈折 (S.R) 係数を計算し、波高分布と対比した。解析の結果、S.R 係数は約2.0と求められ、北海道南西沖津波に対する係数は男鹿半島北部沿岸が大きく、南部側が小さい。一方、新潟・山形沖の津波では逆センスになり、南部沿岸が大きくなる。1833年天保山形沖津波では、船川付近でS.R 係数は2.5と求められ、波高の増幅度が突出する。

津波のシュミレーション解析によれば、1793年鯉ヶ沢地震と1804年象潟地震による津

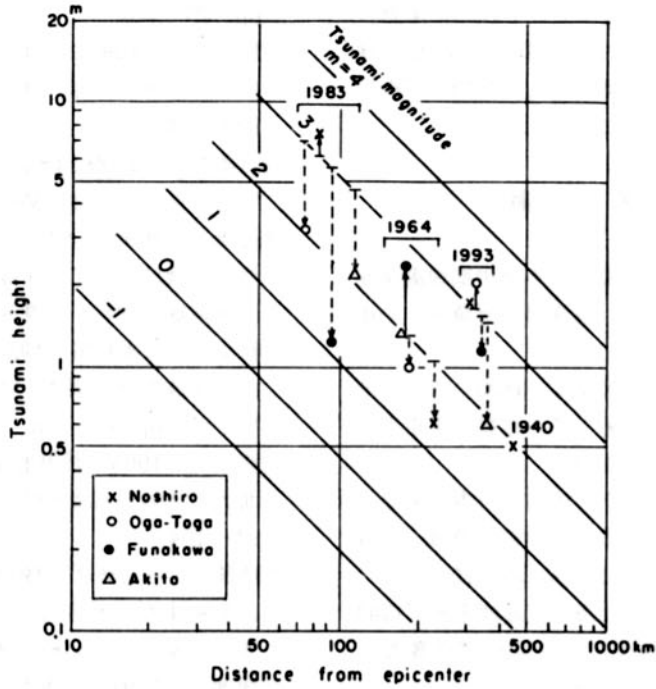


図-7 津波高と震央距離の関係。津波マグニチュードを基準にする波高偏差（実線は波高が大きく、破線は下回る）

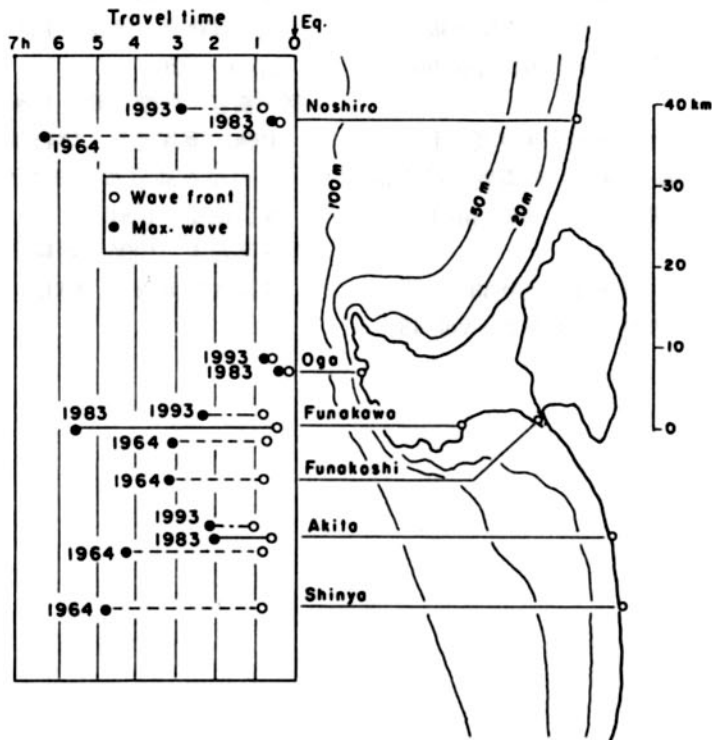


図-8 津波初動の伝播時間と最大波の出現時間（発震時基準）分布

波において、男鹿半島のそれぞれ北と南側のつけ根付近で波高が大きくなっている(樋渡, 2000)。将来の津波に対し、伝播の屈折作用による波高の増幅に留意したい。

参 考 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, Vol. 59, pp. 93-104.
- 大長昭雄, 1989: 天保4年(1833)の庄内沖地震, 萩原尊礼編著: 続古地震, 東京大学出版会, pp. 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, Vol. 52, pp. 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, Vol. 59, pp. 115-126.
- 羽鳥徳太郎, 1986a: 文化元年(1804年)象潟地震の震度および津波調査, 地震研究所彙報 Vol. 61, pp. 143-157.
- 羽鳥徳太郎, 1986b: 津波の規模階級の区分, 地震研究所彙報, Vol. 61, pp. 503-515.
- 羽鳥徳太郎, 1987: 西津軽・男鹿間における歴史津波(1694~1810)の震度・津波調査, 地震研究所彙報, Vol. 62, pp. 133-147.
- 羽鳥徳太郎, 1990: 天保4年(1833)山形沖地震とその津波の規模, 地震2, Vol. 43, pp. 227-232.
- 羽鳥徳太郎, 1995: 日本海沿岸における津波のエネルギー分布, 地震2, Vol. 48, pp. 229-233.
- 羽鳥徳太郎, 1999: 能登半島における津波の屈折効果, 地震2, Vol. 52, pp. 43-50.
- 樋渡康子, 2000: 日本沿岸に発生する地震津波の特徴について, 平成11年度弘前大学理学部地球科学科 卒業論文.
- 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, No. 15, pp. 85-105.
- 三浦 見, 1965: 新潟地震津波調査報告, 東北大工学部土木教室研究報告, No. 14, pp. 91-104.
- 首藤伸夫・卯花政孝, 1984: 1983年日本海中部地震津波の痕跡高, 津波防災実験所研究報告, No. 1, pp. 88-267.
- 首藤伸夫, 1991, 日本海中部地震津波の初期波形に関する疑問, 津波工学研究報告, No. 8, pp. 55-81.
- 首藤伸夫, 1994: 1993年北海道南西沖地震津波の痕跡高, 津波工学研究報告, No. 11, pp. 1-120.
- 都司嘉宣・西畑 剛・佐藤貴史・佐藤一敏, 1996: 寛保元年(1741年)渡島大島噴火津波の浸水高分布, 日本地震学会講演予稿集, no 2, p 81.
- 宇佐美龍夫, 1996: 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会, 493p.