

4. 津 波

4.1 総論

およそ自然災害は、それぞれ個性があるため、前例からは計り知れない部分を有するものではあるが、平成5年7月12日夜半の北海道南西沖地震によって起こされた津波とそれによる被害について、特徴的なことをまとめると以下のとおりであろう。

(1) 日本海中部地震津波からわずか10年で、大津波が発生したことである。そもそも1983年5月に秋田県沖で大津波が発生し、最大打ち上げ高15 mとなったとき、一部の人を除いては、日本海側で津波が発生したこと自体が、驚きをもって迎えられたのであった。その後、過去の例が広く知れ渡るようになり、100年に一度くらいの頻度で大津波の発生していたことが認められるようになってはいたが、それからわずか10年で、また発生したのである。

(2) 津波によって大火災が生じたことである。火を消すはずの水で火事が発生するとはきわめて意外なことで受け止められた。実は、過去にそうした例はいくつかあったのであるが、津波自体による被害がきわめて大きかったため、二次災害としての火災には、あまり注目されていなかったのである。幸いにして、大規模に貯蔵されている可燃物などがなかったため、青苗地区以外に大火災が生ずることはなかったが、今後の津波防災で対処すべき問題点を明確に指摘した災害であった。

(3) 防災体制上の問題が浮き彫りにされた。フェリー用を含む岸壁の使用が、津波で流出・沈積した自動車では不可能になったこと、電話連絡網が使用不能となった緊急時に使えるはずの孤立防止用無線機さえ作動しなかったこと、津波警報の伝達に時間がかかりすぎたこと等である。最近のテクノロジーを使用したシステムも、災害時に万全であるとは限らないという欠点が露呈した。

(4) 能登半島、隠岐の島、韓国東海岸等、10年前の日本海中部地震津波で大きな影響を受けた遠方の地が、今回もまた影響を受けた。日本海の地形、津波波源の位置によって、いつも影響を受ける場所のあることが確認された。

(5) 防災構造物の限界が明らかになったことである。例えば青苗5区では、日本海中部地震津波を契機として、海面上4.5 mの防潮堤で囲まれていた。ここを西から襲った第1波は、防潮堤の上を2.5 m～5 m以上の高さで越えたものようである。防潮堤は全く役に立たなかった。もっとも、海側から乗り越えられた防潮堤そのものは、ほとんど無傷で残っていた。津波高さが5 mを越えなかったところでは、防潮堤は完全に働いた。1 m内外で乗り越えられ、しかも背後に山の迫っている場所では、一時海水のプールが生じたところもあり、越流水の処理は今後の課題である。

(6) 最大の打ち上げ高は、奥尻島西岸で31.7 mに達し、昭和8年三陸大津波に匹敵する津波であるかのように喧伝された。しかし、これはきわめて局所的な現象であって、この津波の実勢とは対応しない。この津波の最大の打ち上げ高としては、23 m前後であると考えるのが妥当である。

(7) 津波波源に対して裏側に位置する、奥尻島東南部初松前（はまつまえ）において、20 mもの打ち上げ高の生じたことである。これを説明するには、奥尻海脚の効果、奥尻島に捉えられたエッジ波としての津波の運動、などが、解明される必要がある。

(8) 奥尻島西岸には地震後4~5分で津波が到達し、津波警報が間に合わなかったことがあげられる。いくら警報発令の速度を早めても限界があり、地震即避難、そして情報入手というように行動パターンを変えなくてはならない。

(9) 北海道瀬棚周辺では、津波第1波が地震後5分程度と早かった。これは断層運動からは説明できそうもなく、他の津波発生機構の検討を迫られるであろう。

(10) 青苗5区は西から襲った第1波で破滅した。丘の東麓にあった1区から4区は、東から襲った第2波で大きな被害を出した。第2波の来襲時刻、その方向等は、島周りの津波の挙動を詳しく解明しない限り疑問として残るであろう。

(11) 漁船、家屋の被害は、従来と似た傾向を示した。特に、鉄筋コンクリート造の建物が津波にも火災にも耐え、堅牢な構造物の有用性を示した。

(12) 海岸の構造物被害では、不連続部で構造物および背後の家屋の被害が目立った。また、建設時の不適切な打継目処理が構造物の弱点となった例が多かった。

4.2 過去の津波

日本海で発生した有史以来の津波を表4.2.1に示す^{1)~6)}。現在までのところ、今回の津波を含めて、36の津波が確認または指摘されている。日本海東縁部にユーラシアプレートと北米プレートの境界の存在がほぼ確実視されているが、その境界の通る新潟県南部以北では27を数える。日本海での津波発生は新潟県南部以北に多いと言える。27のうち、北海道西岸では7を数えるが、その発生時間間隔に規則性は見られない。

日本海、三陸沿岸と北海道東岸で発生した津波の年代と規模分類を表4.2.2~4.2.4に示す^{1)~7)}。日本海と北海道東岸では、 $m=4$ の津波の経験はまだない。いずれの沿岸も、近年になるほど、津波の発生頻度が高くなっている。これは、記録漏れや未開拓の津波が多く存在することを物語っていると解釈すべきである。1600年以前の古津波は日本海で多い。これは地域の発展程度の差に起因していると解釈すべきであろう。日本海では、人命を含めた顕著な被害を生じる $m \geq 2$ の津波は過去約1300年の間に15回、200年に限定すると5回発生している。15回のうち、新潟県南部以北で13回、北海道西岸で5回である。日本海で発生する大津波も新潟県南部以北に集中していると言える。この数は、表4.2.2~4.2.4からわかるように、津波常襲地と言われる三陸沿岸や北海道東岸に比べて、決して劣るものではない。また、北海道西岸での津波発生数は7であり、この沿岸で発生する津波は大津波の確率が高いと言える。

日本海での主な津波の推定波源域を図4.2.1に示す⁸⁾。図には、概略的なプレート境界も示している。波源の大きさは、太平洋のそれと比べて、一般的に小さい⁹⁾。これは日本海の地震規模が一般的に小さいことと対応している。ただし、図4.2.2に示すように、地震規模の割に津波規模は大きい傾向にある。波源の位置は、三陸沿岸のそれと比べて、一般的に陸岸に近い。このことが日本海の津波

表 4.2.1 日本海で発生した津波

番号	年 月 日	波 源 域	規 模	
			地 震 M	津 波 m
1	701V 12 (大宝 1)	若狭湾	7.0	2
2*	850XI 27 (嘉祥 3)	山形沖	7.0	2
3*	863VII 10 (貞観 5)	新潟	7.0	(??)
4*	887VII 2 (仁和 3)	新潟南部沖	6.5(7.5)	2
5	1026VI 16 (万寿 3)	島根益田沖	<7.6>	<3>
6*	1092IX 13 (寛治 6)	新潟沖	-	(??)
7**	1341X 31 (興国 2)	渡島沖	-	(??)
8*	1614XI 26 (慶長 19)	新潟南部沖	7.7	2
9*	1644X 18 (寛永 21)	秋田本荘	6.9	<1>
10**	1741VII 29 (寛保 1)	渡島西方沖	6.9(7.5)	3(3.5)
11*	1762X 31 (宝暦 12)	新潟沖	6.6(7)	1
12**	1792VI 13 (寛政 4)	積丹沖	6.9(7)	2(1)
13*	1793II 8 (寛政 4)	鯉ヶ沢	6.9	1
14	1799VI 29 (寛政 11)	石川近海	6.4(7.2)	(1)
15*	1802XI 9 (享和 2)	佐渡南部	6.6	(0?)
16*	1804VII 10 (文化 1)	象潟	7.1(7.3)	1
17*	1810IX 25 (文化 7)	男鹿半島	6.6(7)	-1
18*	1833XI 7 (天保 4)	鼠ヶ関西方沖	7.4(7.6)	2(2.5)
19**	1834II 9 (天保 5)	石狩湾	6.4(7)	(1)
20	1872III 14 (明治 5)	浜田	7.1(7.4)	0
21	1892XI 9 (明治 25)	羽咋沖	5.8(7)	0
22*	1894X 22 (明治 27)	山形	7.3	(-1)
23	1898IV 3 (明治 31)	山口県見島	6.8	-1
24	1925V 23 (大正 14)	兵庫県北部	7.0(6.8)	(-1)
25	1927III 7 (昭和 2)	丹後	7.5(7.3)	-1(0)
26*	1939V 1 (昭和 14)	男鹿半島	7.0	-1
27**	1940VII 2 (昭和 15)	積丹沖	7.0(7.5)	2
28**	1947XI 4 (昭和 22)	留萌西方沖	7.0	1(0)
29*	1964V 7 (昭和 39)	男鹿半島沖	6.9	-1(-0.5)
30*	1964VI 16 (昭和 39)	新潟沖	7.5	2(2)
31*	1964XI 11 (昭和 39)	秋田沖	6.3	-1
32*	1971IX 6 (昭和 46)	樺太沖	6.9(7.1)	0(0.5)
33*	1983V 26 (昭和 58)	秋田・青森沖	7.7	3(3)
34*	1983VI 21 (昭和 58)	青森沖	7.1	0(0.5)
35	1993II 7 (平成 5)	能登半島沖	6.6	(-0.5)
36**	1993VII 12 (平成 5)	北海道南西沖	7.8	3

注) * または ** を付したものを新潟南部以北の津波とした。
また、()と<>内の数値は各々羽島と飯田による。? は発生
が定かでないものを示す。

表 4.2.2 津波の年代・規模別回数 (日本海)

西暦	m	-1	0	1	2	3	4	計
701~ 800					1			1
801~ 900					3			3
901~1000								
1001~1100					1	1		2
1101~1200								
1201~1300								
1301~1400						1(1)		1(1)
1401~1500								
1501~1600								
1601~1700				1	1			2
1701~1800				3	1(1)	1(1)		5(2)
1801~1900		3	3	2(1)	1			9(1)
1901~1993		6	2	1(1)	2(1)	2(1)		13(3)
合 計		9	5	7(2)	10(2)	5(3)		36(7)

注) () 内の数値は北海道沿岸以北の津波の個数を示す。

表 4.2.3 津波の年代・規模別回数 (三陸沿岸)

西暦 \ m	-1	0	1	2	3	4	計
801~900						1	1
901~1000							
1001~1100							
1101~1200							
1201~1300			1				1
1301~1400							
1401~1500							
1501~1600			1				1
1601~1700			2	1		1	4
1701~1800		1	1	2			4
1801~1900	1	2	2	2		1	8
1901~1993	18	14	1	1	1		35
合計	19	17	8	6	1	3	54

表 4.2.4 津波の年代・規模別回数 (北海道東岸)

西暦 \ m	-1	0	1	2	3	4	計
1601~1700				1			1
1701~1800			1				1
1801~1900			1	2			3
1901~1993	18	4	2	5	1		30
合計	18	4	4	8	1		35

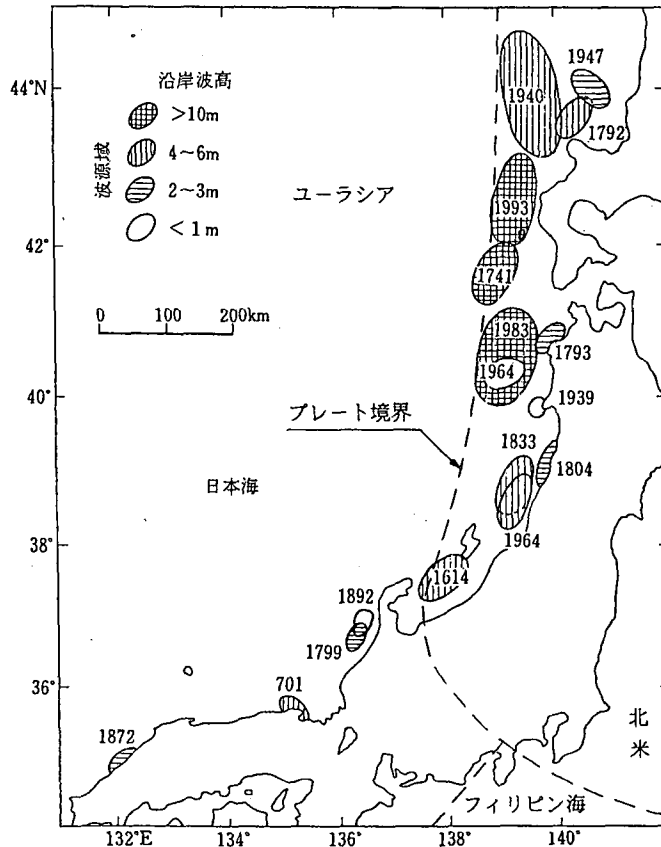


図 4.2.1 日本海で発生した津波の推定波源域分布 (羽鳥・片山⁸⁾に補足)

予報をより難しくしている。

図 4.2.2 から明らかなように、 $M > 6.5$ の地震で、震央が海域にある時は、日本海・太平洋を問わず、大なり小なりの津波が発生すると考えてよい。既往の新潟県南部以北の日本海沿岸部に震央を持つ $M > 6.5$ の地震は 31 を数え^{2),8)}、23 の 7 割以上が津波を伴っている。津波を伴わなかったとされている地震の中には、津波以外のことに目を奪われ、記録漏れしたものもある。日本海でも、地震は津波を伴うことを過去の記録は物語っている。

今回の津波の歴史的位置付けを行っておく。

津波の最大打ち上げ高は、非常に局所的だが、奥尻島藻内の少し北での 31.7 m であった (4.3.1 を参照)。これは、日本海で過去最大、国内で今世紀最大、世界的にみても今世紀最大級である。人的被害では、国内で戦後最大の津波であった。また、本津波は、位置的に見て 1741 年渡島大島津波と 1940 年積丹沖地震津波の間で発生しており、日本海東縁部にプレート境界が存在することを裏付けるものとなった。同時に、北海道北西沖、本津波と 1983 年日本海中部地震津波の間¹⁰⁾や秋田県男鹿半島沖からその南にかけて¹⁰⁾、地震の空白域が存在することを知らしめるものとなった。島に捕捉された津波の挙動に関心を呼び戻すものともなった。さらに、日本海中部地震津波と同じく、津波来襲時間が地震波データから推定されるものよりかなり短く、地震機構の解明に津波データが大きな役割を果たすことにもなった。

津波は再発性がある。打ち上げ高と津波による死者数から見て、新潟県南部以北の日本海で注目すべき過去の津波は、今回の津波と日本海中部地震津波を除けば、1741 年渡島大島津波と 1833 年鼠ヶ関津波であろう。

渡島大島津波は、日本海で発生した津波としては、過去 2 番目の大きさの津波である^{8),11),12)}。津波による死者数は過去最大で、渡島半島沿岸だけで 2 083 人に達したとされる。津波の発生原因はまだ特定されていないが、地震津波と言われる。波源域は今回の津波のすぐ南である。主な被害域は渡島半島西岸、津軽西岸、そして佐渡沿岸である。打ち上げ高は渡島半島沿岸で局所的に 15 m が推定されている。興国 2 年 (1341 年) の津波がこの津波とほぼ同じ場所で発生し、ほぼ同じ規模であったとされる。ただし、興国 2 年津波の記録については、まだ疑問があり、実在を疑う人もいる。今後、その規模から考えても、空白域の津波を除き、新潟県南部以北の日本海で最も注意を要する津波である。

鼠ヶ関津波は北は北海道松前から南は石川県輪島までの広い範囲に被害をもたらした津波である^{8),11)}。津波による死者数は 80 人と推定されており、日本海中部地震津波に次ぐ 5 番目の多さである。波源域は 1964 年新潟地震津波のやや北の鼠ヶ関西方沖である。主な被害域は山形県沿岸や佐渡の両津付近で、山形県沿岸では局所的に 9 m の打ち上げ高が推定されている。

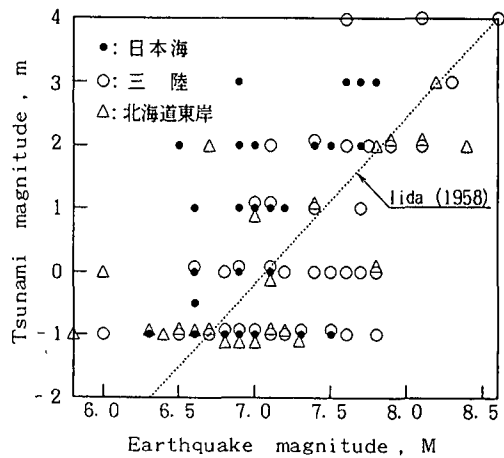


図 4.2.2 津波と地震のマグニチュードの関係

4.3 奥尻島・北海道本島の津波

津波発生が夜であったため、1983年日本海中部地震津波でのような最盛期の津波の写真やビデオ映像等は得られておらず、目撃証言も得にくくて、曖昧な点が多々存在する。

地震発生後、数分で津波が来襲した。その時間は表4.3.1のようであった¹³⁾。奥尻島の西岸と南岸、北海道本島の大成町と瀬棚町の周辺できわめて来襲が早かったことがわかる。

表 4.3.1 地震発生後の津波来襲時間

北海道南西岸

場 所	目撃又は水没時計	備 考
積丹岬 (積丹町)	20分	第1波最大。引き波から。
神威岬 (積丹町)	5-6分	同上。
沼前岬 (積丹町)	25-35分	同上。
川白岬 (神恵内村)	10分	
珊内 (神恵内村)	10分	
竜神岬 (神恵内村)	5-10分	
岩内 (岩内町)	15分	
岩内潮位計		押しから。22:37。
江ノ島 (島牧村)	5分	
須白築 (瀬棚町)	3分前後	第1波最大。第2波やや小。
須岩 (瀬棚町)	5分以内	同上。北西方向から。引き波から。
瀬棚 (瀬棚町)	5分	
太櫓 (瀬棚町)	5分以内	第1波は北西から。引きから。 第2波又は第3波が最大。
太田 (大成町)	5分後*	
宮野 (大成町)	5分	最大の第2波は22:27または22:28。
平浜 (大成町)	5分後	第2波最大。引きから。西方から。
江差		引きから。第2波は最大ではない。
江差潮位計		引きから。22:28。
石崎 (上ノ国町)		大島の方から。引き無し。
小砂子 (上ノ国町)		第2波最大。引きから。

奥尻島西岸

場 所	目撃又は水没時計	備 考
ホヤ石川水力発電所	22:23*	
藻内	22:21	

奥尻島南端

場 所	目撃又は水没時計	備 考
青苗5区	4-5分	西から。
青苗1-4区	22:37, 22:38*	東から。
初松前	22:22	

* の資料はUJNR調査団による。

4.3.1 奥尻島

津波は基本的に奥尻島を西から襲った。本島での津波打ち上げ高を図4.3.1に示す。図中の数値の単位はメートル、高さの基準はTPで、以下本節と次節の同種の図も同じである。また、図中の▲印は検潮記録の得られている地点を示す。

最大打ち上げ高は島の西側に位置する藻内の少し北での31.7mである。ここは延長250m程度のポケットビーチで、その南北端は沖の小島や露出岩とつながる岩礁系の浅瀬で区切られている。磯海

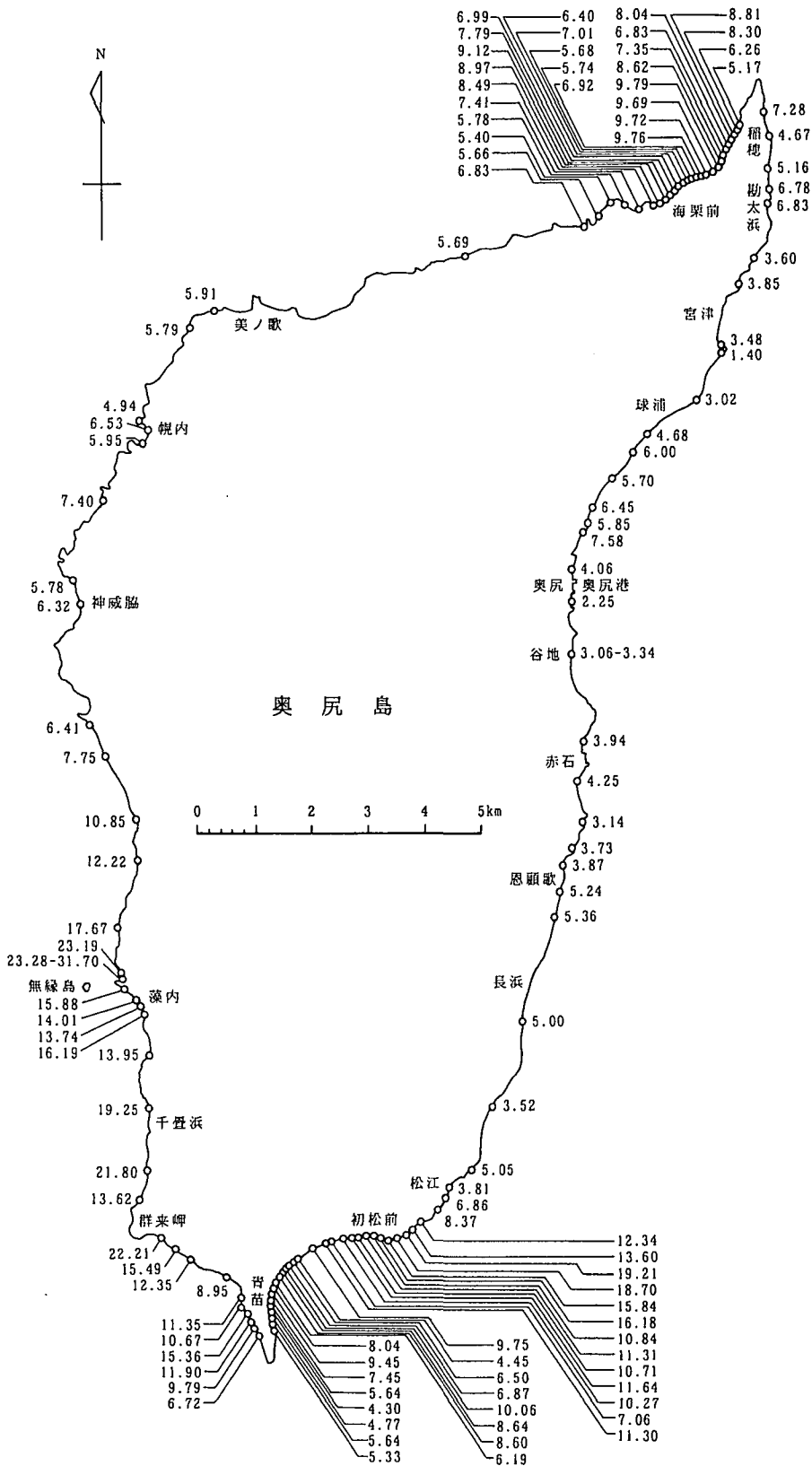


図 4.3.1 奥尻島での津波打ち上げ高

浜，海岸道路，そしてすぐ海崖となっており，その南よりの崖に入口幅 50 m 程度の二股の谷が刻まれている．北側の谷は，南側に比べて，奥行き浅く幅広い．その様子を写真 4.3.1 に示す．谷の入口を含む崖上の打ち上げ高は 23 m 前後，北側の谷奥で 25.3 m，南側の谷奥で 31.7 m となった．このように，31.7 m はきわめて狭い所の局所的な現象によるものであって，本津波の代表値とは言えないものである．本津波に対応する真の打ち上げ高は 23～24 m と考えられる．

藻内の北から群来（くき）岬の東にかけての 7 km では，打ち上げ高が 15 m を超えた．10 m 以上の打ち上げ高が測定された海岸線の延長は，奥尻島の西岸と南岸だけで 13 km 程度に及んだ．

地震発生後，津波は藻内地区や神威脇地区に 4 分，島の南端に位置する青苗地区に 4～5 分で到達した．青苗地区はまず西から襲われ，青苗 5 区が壊滅的な被害を受けた．引き続き東から襲われて，青苗 1～4 区が被害を受けた．その時間間隔は 10～15 分であった．南端の砂州上に位置する青苗 5 区には天端高 4.5 m の防潮堤が存在したが，それを推定で 4 m は超える津波に対しては全く無効果であった．徳洋記念碑東脇の公衆トイレを除き，80 棟を上回る家屋群のすべてが破壊された．ただし，その防潮堤は，裏側の落差が 1 m 程度で，裏側に被覆工が施されていたため，裏側が掘れず倒れなかった．

島の北端に位置する稲穂地区は北から襲われ，青苗 5 区と同じくほとんどすべての家屋が破壊され，壊滅的な被害を受けた．本地区での打ち上げ高は漁港背後地で大きく，10 m 程度に達した．賽ノ河原での水流の厚さと流速はおのおの 1.7 m と 7.3 m/s 程度，稲穂小学校での流速は 4 m/s 程度であったと推定されている¹⁴⁾．

主に屈折効果により，津波は影にあたる奥尻島東岸に回り込み，エッジ波を形成した．このことは稲穂地区での津波来襲方向や図 4.3.1 の波打った打ち上げ高分布からもうかがえる．その他の例証として，奥尻港では，津波は北から来襲し，北防波堤の陸岸近くで工事途中のケーソンを飛ばした（4.9 を参照）．青苗では，西からの津波から 10～15 分経った頃，東からの津波に 1～4 区が襲われた．この東からの津波は，到達時間から推して，稲穂から回ってきたものと思われる．

島影に位置するにもかかわらず，初松前での打ち上げ高は 20 m 近くに達した．それもやや海に突き出た所である．これはきわめて特殊な事態と言わねばならない．その成因として，①奥尻海脚周辺の浅瀬による屈折集中，②島の南北端を回り込んだ津波の会合，等が考えられる．今のところ，①の可能性が高い．

奥尻港，松江漁港と青苗漁港では，外郭施設による打ち上げ高の低減効果が認められた．しかし，



写真 4.3.1 藻内の少し北での谷



写真 4.3.2 奥尻島千畳浜での地盤沈下

稲穂漁港ではその効果が認められなかった。これは、港の規模や津波周期等もさることながら、津波の来襲方向が原因していると思われる。

藻内西方沖約 15 km でかなりの規模の海底地滑りが発生した¹⁵⁾。これが藻内地区の高い打ち上げ高に関与しているかもしれない。海底地滑りの影響の検討が必要である。

奥尻島では地盤沈下が生じた。その例証を写真 4.3.2 に示す。藻内と群来岬の間に位置する千畳浜でのもので、海中に建物の基礎が見える。

4.3.2 古平～松前

古平から松前の北海道南西岸での津波打ち上げ高を図 4.3.2 に示す。本海岸での打ち上げ高は、非常に局所的な所を除いて 10 m 以下で、地震規模 ($M_s=7.8$) に見合った津波規模¹⁶⁾と言える。打ち上げ高が 5 m 以上の区間は、寿都から平浜辺りまでの延長約 100 km に及ぶ。この海岸線は推定波源の長軸とほぼ平行である。平浜以南から極端に打ち上げ高が小さくなる。奥尻海脚のレンズ効果のためであろう。

証言によれば(表 4.3.1 を参照)、津波は地震発生後 4～5 分で瀬棚町や大成町に到達した。この辺りの津波は引きから始まり、第 1 波か 2 波が最大であったようである。引きからの始まりは南に位置する江差港の検潮記録や奥尻島の地盤沈下と整合する。しかし、北に位置する岩内での検潮記録は押しから始まっており、初動が異なる。岩内と江差の間に初動の変化点が存在することになる。

本海岸の南端のやや東側に位置する松前郡吉岡では、津波は押しから始まり、最大津波高(推算潮位から波頂までの高さの最大)は 0.82 m で、7 波目に観測されており、周期は約 8 分であった。この津波の様子は瀬棚や大成辺りのものとはかなり異なる。江差と吉岡の間にも初動の変化点が存在することになる。

港の外郭施設の津波低減効果については、北から順に岩内港、港漁港、豊浜漁港、瀬棚港では認められたが、千走、太櫓と雲石の 3 漁港では認められなかった。

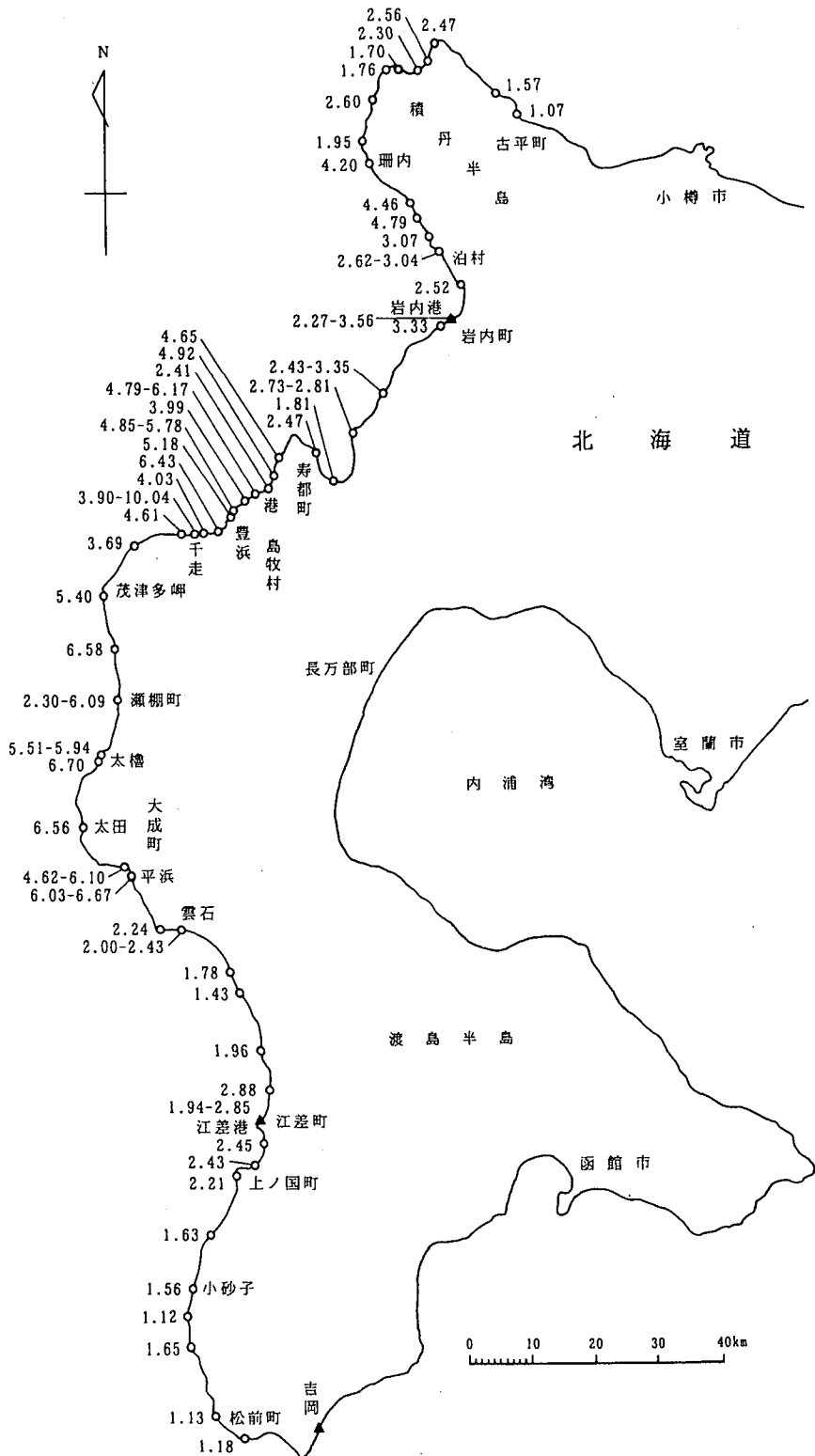


図 4.3.2 北海道南西岸での津波打ち上げ高

4.4 東北地方の津波

4.4.1 青森県

青森県沿岸での津波打ち上げ高を図 4.4.1 に示す。本海岸での打ち上げ高は日本海側で大きく、市浦村脇本で 1.85 m、小泊村で 1.62 m に達した。この値は北海道南西岸の上ノ国町から松前町にかけてと同程度である。津軽海峡に面した所では、下北半島北端に位置する大間町での 1.0 m が最大である。陸奥湾内では青森市の 1.01 m を除いて 0.5 m 以下で、太平洋側では津波はほとんど観測されなかった。

検潮記録によると、津波は竜飛に 12 日 22 時 44 分頃に到達し、押しから始まった。押しからの始まりは松前郡吉岡と同じである。最大津波高は、検潮井戸の設置位置や応答特性が強く原因しているのか、0.1 m 程度と非常に小さかった。

深浦でも津波は押しから始まり、12 日 22 時 43 分頃に到達した。最大津波高は 1 波目に観測され、0.25 m であった。第 1 波と 4 波の 2 度にわたって最大津波波高 0.48 m が観測された。この頃の津波周期は 10 分強で、松前郡吉岡でのものとはほぼ同じである。

大湊港は陸奥湾内の北東部に位置する。検潮記録から本港への津波到達時刻を判読することは難しい。ここでの津波は周期 30~40 分の共振を呈し、最大津波波高は 0.57 m に達した。通常の波高はも

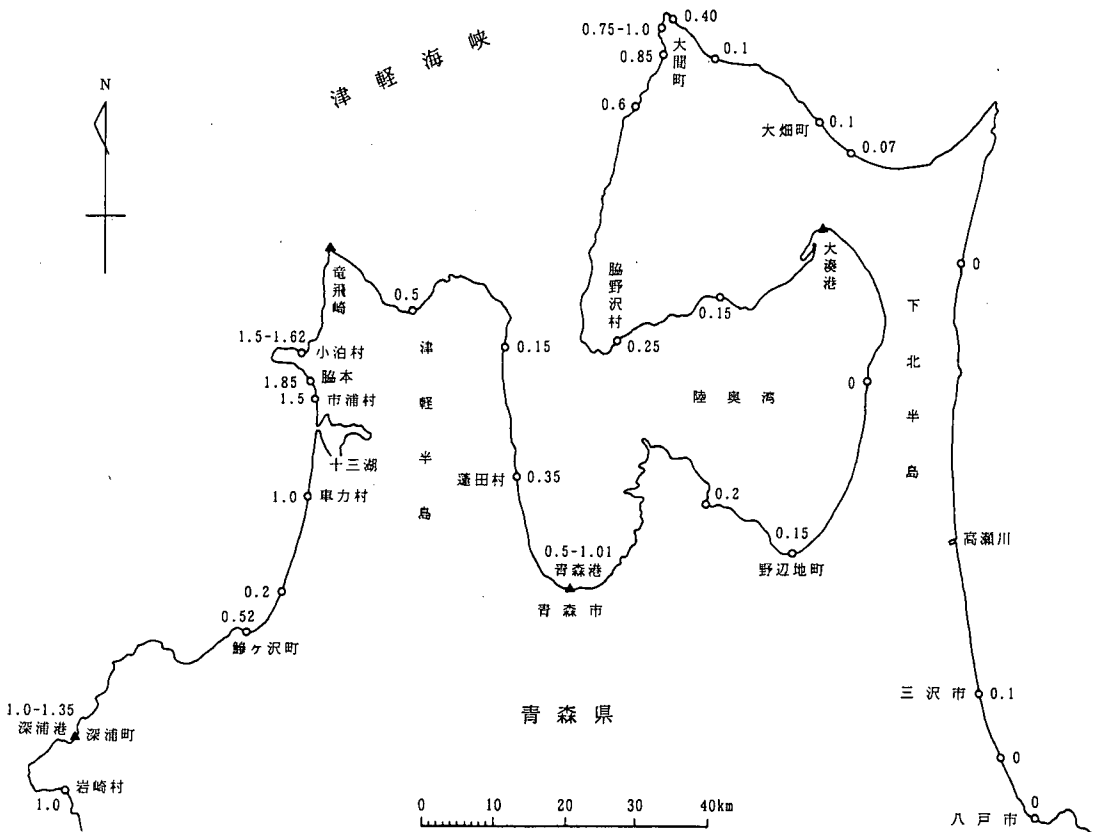


図 4.4.1 青森県沿岸での津波打ち上げ高

ちろんこれより小さいが、いつもこの程度の周期の湧水振動が励起されている所のようなのである。

4.4.2 秋田県

秋田県沿岸での津波打ち上げ高を図4.4.2に示す。本海岸での打ち上げ高は全般的に2 m以下で、日本海中部地震津波で打ち上げ高が大きかった峰浜村でやや大きく、3 m強であった。最大打ち上げ高が測定された地点は峰浜村の水沢川左岸で、3.47 mであった。男鹿半島に位置する加茂漁港と県南に位置する西目漁港では、外郭施設による打ち上げ高の低減効果が認められた。

検潮記録によると、津波は能代港に12日23時ちょうど頃に到達し、押しから始まった。最大津波

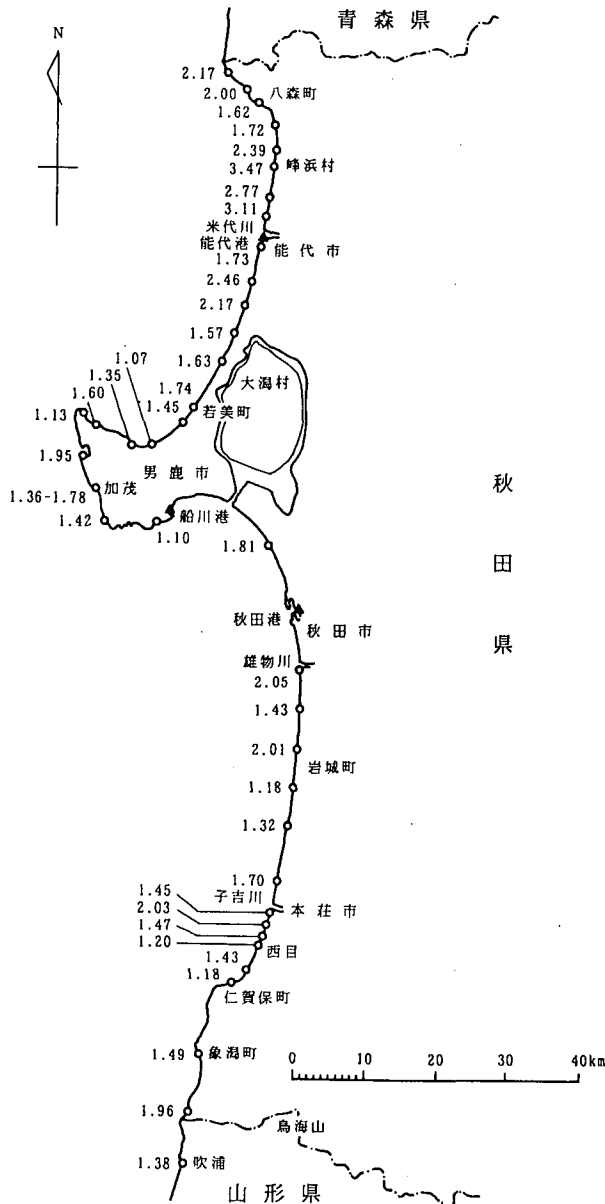


図 4.4.2 秋田県沿岸での津波打ち上げ高

高は翌日の午前1時12分頃に観測され、0.72 mであった。津波は13日の午前7時頃まで第1波と同じ0.55 m程度の津波高を有し、その後14日の午前7時頃まで続いた。初期の頃の津波波形は大きく乱れていたため、周期を決め難いが、14日頃の周期は30分程度であった。

秋田港でも津波は押しから始まり、12日23時18分頃に到達した。最大津波高は13日午前0時35分頃に観測され、0.35 mであった。この頃の津波周期は約20分であった。13日午前0時35分頃と午前11時頃の2度にわたって最大津波波高0.63 mが観測された。

4.4.3 山形県

山形県沿岸での津波打ち上げ高を図4.4.3に示す。本海岸での打ち上げ高も全般的に2 m以下で、新潟県との県境でやや大きく、3 m弱であった。湯ノ浜温泉の南に位置する金沢漁港と県南端に位置する鼠ヶ関漁港では、外郭施設による打ち上げ高の低減効果が認められた。

検潮記録によると、津波は酒田港に12日23時23分頃に到達し、押しから始まった。最大津波高は9波目辺りの13日午前4時18分頃に観測され0.58 mであった。周期は約33分ということになる。

新潟県北部の岩船での津波も押しから始まり、第1波が最大で、津波高は0.70 mであった。津波波高も1波目が最大で1.36 m、周期は17分強であった。新潟県境での打ち上げ高が大きかったことが検潮記録からもうかがえる。

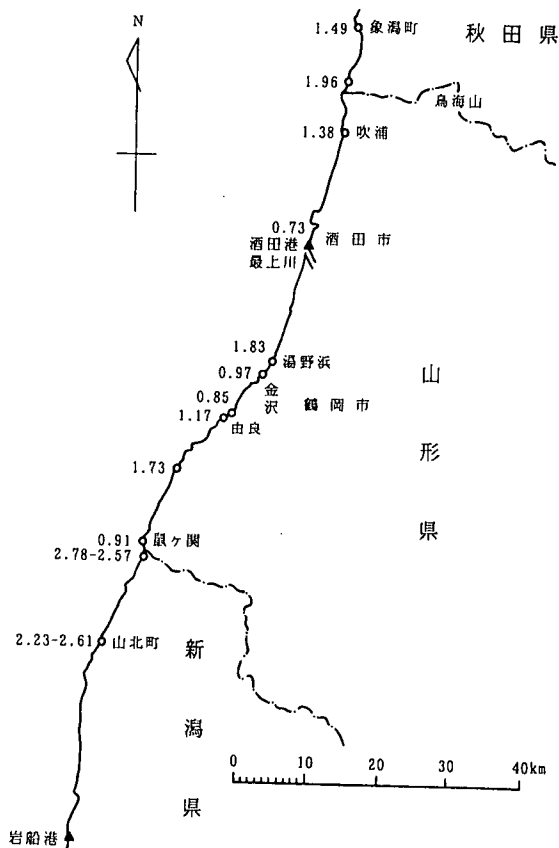


図 4.4.3 山形県沿岸での津波打ち上げ高

4.5 新潟県以西の津波

1983年の日本海中部地震のときと同様に、今回の津波でも新潟県以西の波源から遠い西日本の海岸でも、津波の被害を生じた場所が点々と分布している。ただ、今回の波源は、1983年の秋田沖よりも西日本からは遠かったので、津波の浸水高さはこれより下回ったところが多い。被害は船舶の破損が主なものであるが、島根半島と隠岐諸島の一部では住居の床上浸水を生じている。

本節では新潟県以西、山口県にいたる各県での津波水位・浸水高さの状況を分布図を用いて示す。図には証言や痕跡にもとづき、調査者が標尺と水準器（レベル）をもって測定をし、測定時の天文潮位補正をしてMSL（平均海面）基準面で津波による海面の到達標高をメートル単位で示した。

証言のなかには、海水の到達点については述べられず、ただ「海水が80 cm上下した」というような表現がなされた場合がある。このような証言では、この「80 cm」の値を津波波動の全振幅と考え、その半分の値（この場合では40 cm）を半振幅値とみなし、これを正味の津波高として図示した場所がある。また「そのときの潮より50 cm上昇した」というように、証言そのものが、その時点の天文潮汐を差し引いた正味の津波による水位上昇分を証言している場合もあった。このような証言を得た場所では、あえて、津波時の天文潮汐値を加えて、MSL基準の値に換算するということはせず、正味の津波高さ、つまり、津波によって生じた海水位上昇分をそのまま図中の津波高さの数字として0.1 m単位で示した。その場合、図中の数字には下線を引いて示した。結果的には、津波による水位上昇が50 cmに達しなかった場所の大部分では、この正味の津波高さで示すことになった。日本海は天文潮汐が大きくないことから、MSL基準値と正味の津波高さの差は大きくはならないが、それでも両者の間には最大20 cm程度の差がありうる。

1983年の日本海中部地震津波の時とは異なり、今回は西日本の大部分の海岸では津波による最大水位変位は深夜から未明にかけての時刻に起きているはずである。したがって、建造物内への浸水などの物証的な証拠がない場合に、証言者が一晩中水位変化を見ていて、その最大水位を正しく証言してくれた、などというケースはむしろまれであろう。どうしても証言者がたまたま見ていた短時間の様子から津波高さを判断したケースが多かったと推定される。特に津波高さの絶対値の小さい遠方の海岸の証言は、真値よりも小さくずれた値が求められた場合がいくつかあると認めざるを得ないであろう。

なお、複数の証言者のだれにも津波による潮位変化が気づかれなかった場所もあった。このような場所でも津波高さがゼロであったわけではないだろうが、津波が小さかった場所であったことにはなるだろう。津波高さ分布を示す各図ではこういう地点は黒丸で示しておいた。

4.5.1 新潟県

佐渡島と粟島を含む新潟県の海岸の津波浸水高さの調査は、阿部ら¹⁷⁾によって行われた。調査は新潟県の120か所について津波発生後2か月以内に行われた。その成果として、報告論文では測定時の天文潮位補正が行われ、TP基準の津波の浸水高さが1 cmの桁まで述べられている。ここではその数値を四捨五入して0.1 mまでの数値で図4.5.1に示す。最高値は、粟島の八幡浜と佐渡島岩谷口でのと

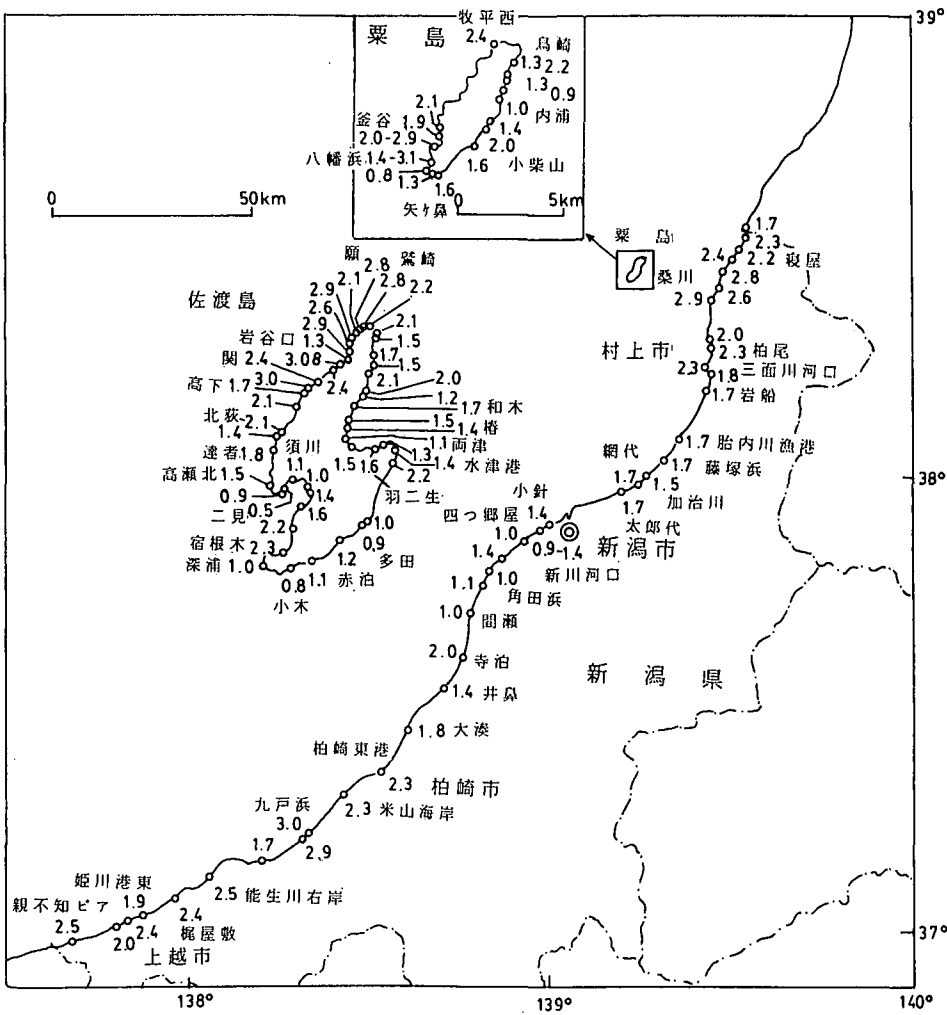


図 4.5.1 新潟県の津波高さ分布 (MSL 基準, m) (阿部ら¹⁷⁾によって都司作図)

もに 3.1 m であった。津波は島や波源に向かって突き出た岬の先端付近で高くなる、という傾向は日本海中部地震の津波のときにも現れたが、今回もその傾向を見ることができる。ただ今回の場合、直線状の海岸線である新潟県本土側でも津波高さが高くなったところがあり、県最北部の山北町桑川、大潟町九戸浜などで約 3 m に達している。全体として、佐渡北端の弾崎、鷲崎付近に集中した津波の高さは 1983 年より今回のほうが低い、新潟県本土海岸での津波の高さは、1983 年と同じか、これよりむしろ高かった場所が多い。

4.5.2 富山県、石川県

富山湾は湾の中央部に水深 1000 m を越える深い海溝状の構造があり、湾に入ってきた津波は両側海岸に発散して、湾奥には津波エネルギーがあまり多く到達しない。このため、富山湾の湾奥部にあたる富山県の海岸は、1983 年のときにもきわめて小さな津波しかこなかった。今回も全く同様であって、富山県は今回の津波によっても全く無被害の幸運な県となった。富山県海岸の組織的な調査はなされていないが、地方新聞などに載せられた消防署員の当日の潮位監視記事から朝日町宮崎港、岩瀬

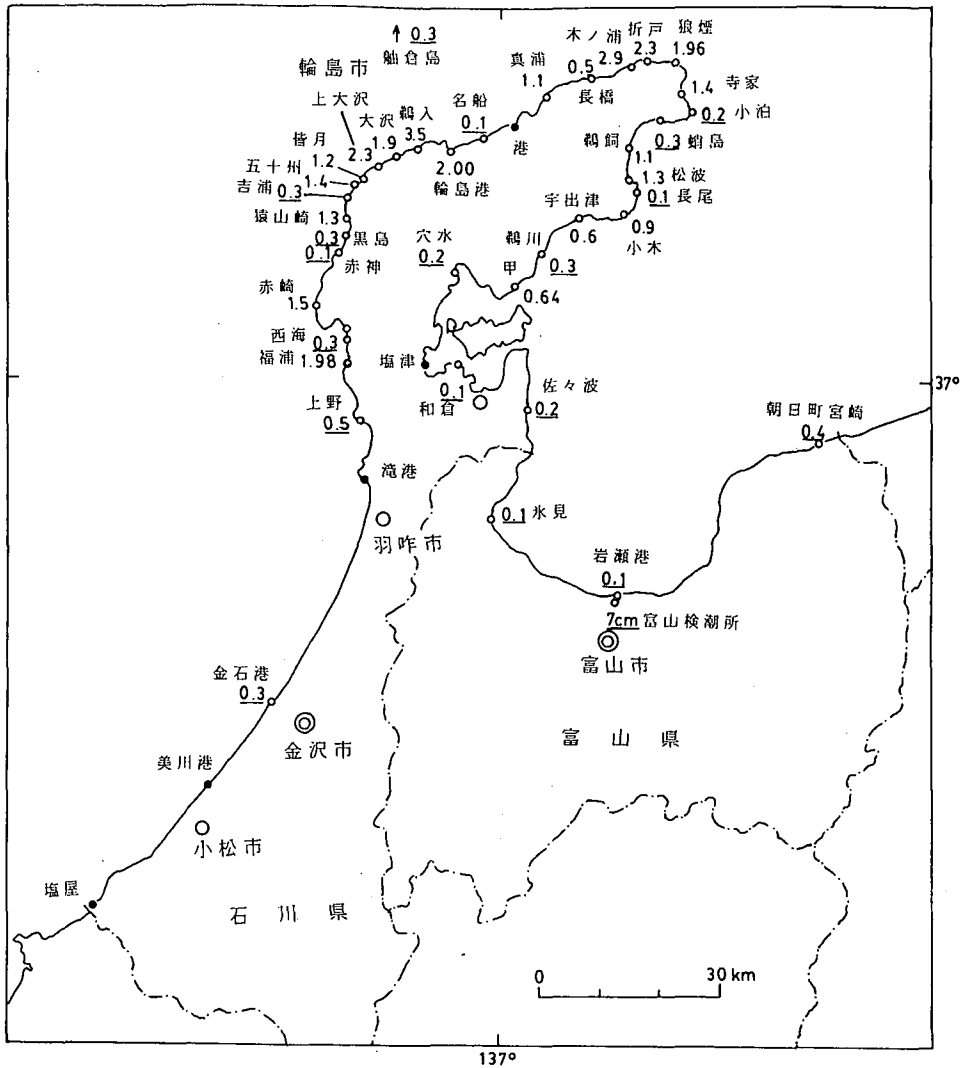


図 4.5.2 富山県、石川県の津波高さ分布 (MSL 基準, m) (黒丸は津波による海面異常に気づかれなかったところ。数字に下線を引いたのは津波による正味の水位上昇高さ, m)

港、および氷見港での津波高さを得た (図 4.5.2)。

石川県 (能登半島) 以西、山口県までの調査は筆者らが^{18),19)}、延べ5度の調査旅行を1993年10月から12月までの間に行った。地震津波発生後3か月から5か月を経過していたので、津波による直接痕跡はきわめて数少なく、ほとんどが地元に住む人々の証言によって浸水高を推定したものであった。

輪島を中心とする能登半島の先端部の津波高は、輪島市鵜入 (うにゅう) 漁港で3.5mであったのを最高に、珠洲市木ノ浦でも2.9mに達していた。1983年と同程度の津波高であった、といえる。輪島を始め能登半島先端部は、1741年の「寛保元年・渡島大島地震」、および1833年の「天保4年山形県沖地震」の津波によっても大きな被害を生じている。日本海東縁に起きる地震津波は、隠岐諸島、島根半島とともに、能登半島先端部で大きな津波となって現れる、という法則は今回も明瞭に現れた。

石川県では、珠洲市片岩で1トン漁船1隻横転、0.3トン漁船1隻転覆、同市赤神で船外機船転覆1、輪島市大沢港で漁船転覆3、上大沢で漁船転覆流出2、輪島市河原田川河口でレジャーボート転覆7、富来町赤崎港で漁船転覆1、福浦で漁船転覆5の被害を出している。すべて、能登半島外洋側の海岸線上の港で被害が生じた。

羽咋市から金沢市、小松市から福井県境にいたる直線状の海岸線では津波は高くなかった。

4.5.3 福井県、京都府

福井県三国港から若狭湾中央部までは、能登半島の背後にあたるためか、津波高さが1mを大きく越えた場所はない(図4.5.3)。若狭湾内の舞鶴半島の外洋側に面した舞鶴市野原港は、1983年の津波のとき、海水が市街地に浸入して近畿地方最大の被災地となった。今回は、この野原港の約4km西にあたる、小橋(おばせ)で浸水高さが3.5mに達した。幸いにもこの集落は高さ4mの海岸道路面の背後にあったため、この集落の居住地の被害は生じなかった。舞鶴半島の外洋側、およびその西隣の小半島の先端付近にある宮津市島影(1.8m)で、1983年と今回ともに津波が高く現れたことは注目に値する。

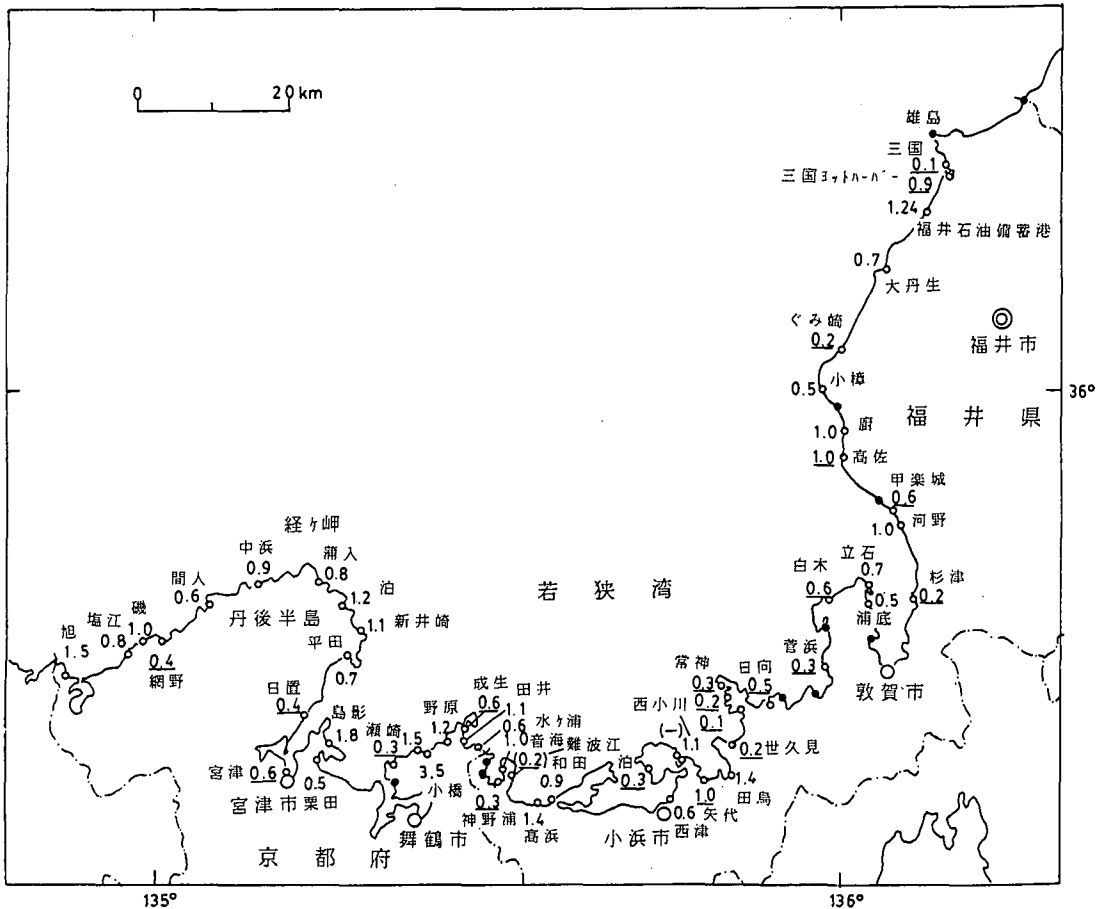


図 4.5.3 福井県、京都府の津波高さ分布 (MSL 基準, m) (黒丸は津波による海面異常に気づかれなかったところ。数字に下線を引いたのは津波による正味の水面上昇高さ, m)

なお、小浜湾内は穏やかであったが、その西となりの外洋に面した高浜港では、漁協建物敷地が浸水し、津波高さは1.4 mに達した。これは大きな値ではないが、この付近の海岸は「原発銀座」の異名があるほど原子力発電所の多い場所であるので、将来の津波が原子力発電所の施設に与える影響は再考する必要があるであろう。

福井県は被害が少なく、高浜町音海での漁船転覆1にとどまっている。

京都府は野原港が荷捌所前面浸水、丹後半島の中浜で漁船の船首が岸壁に乗り上げた。網野町でボート3隻が転覆した。

4.5.4 兵庫県、鳥取県

兵庫県、鳥取県とも海岸線は屈曲が少なく、津波が集中的に高くなった場所は現れていない。最大は兵庫県香住町鑑での1.8 m (図4.5.4)。ただ津波高さ1.0 mに過ぎなかった竹野港で、係留された漁船同士の衝突とかで、26隻に被害を生じた。鑑で漁船1隻が損傷。鳥取県は赤碓港で漁船1隻が転覆した。

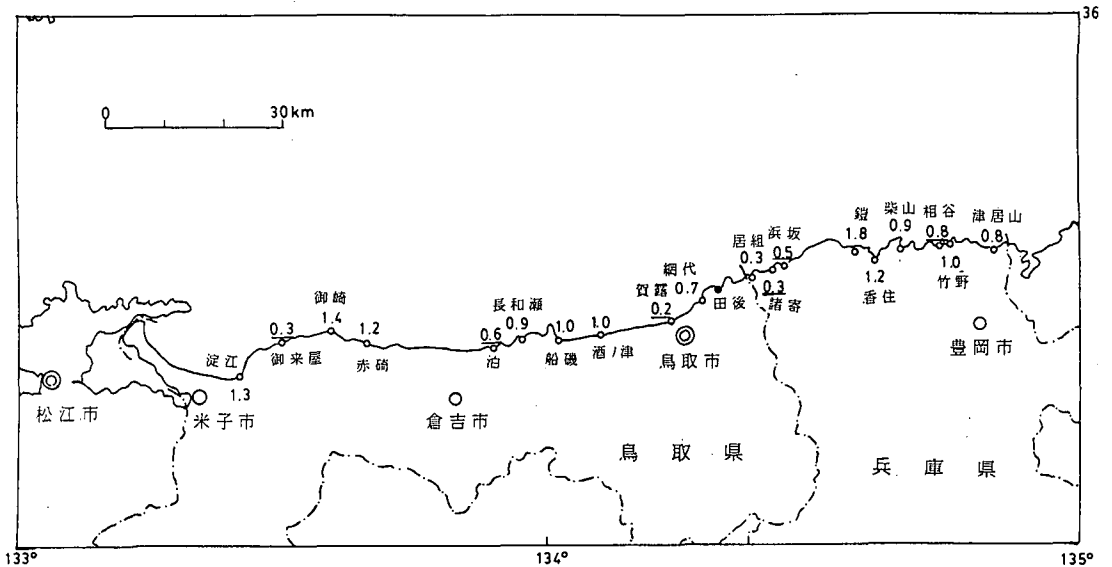


図4.5.4 兵庫県、鳥取県の津波高さ分布 (MSL基準, m) (黒丸は津波による海面異常に気づかれなかったところ。数字に下線を引いたのは津波による正味の水位上昇高さ, m)

4.5.5 島根県、山口県

島根県の隠岐諸島とその背後の島根半島が、波源から遠く隔たっているにもかかわらず津波が大きく現れることは、すでに日本海中部地震の直後にも指摘され、数値計算によっても裏付けられている²⁰⁾。また、歴史的にも1833年の天保4年山形県沖地震の津波で、隠岐島前西ノ島で8尺(2.4 m)の高さまで津波が上がったことが知られている²¹⁾。1983年の日本海中部地震の津波のときには、隠岐諸島と島根半島で多数の浸水家屋を出したことから、島根県が、秋田、青森、北海道について4番目に被害の大きな県となった。

日本海東縁に起きた地震によって生じた津波が隠岐諸島で高くなる理由は、単に「島で津波が高く現れる傾向がある」という一般法則にのみよるのではない。最近我々が行った日本海全域にわたる津波の伝播計算の結果によると、日本海中央部にある大和堆の浅海域に達した津波のエネルギーは、単にレンズ効果でエネルギーを背後に集めるだけではなく、大和堆・隠岐諸島を結ぶ湾曲した海嶺に沿って、その集中したエネルギーを誘導する役目も果たす。このため、もし大和堆がなかったならば、韓国東岸に達するはずの津波エネルギーのかなりの部分が、進路を曲げられて隠岐諸島に集中的に押し寄せることが示された。震源と大和堆の総体的な位置関係から、この効果は、1983年の津波の方が大きかった、と推定される。

図 4.5.5 に島根県、および山口県での津波の高さの分布を示す。隠岐諸島では島後の大津久、島前の西ノ島の耳浦キャンプ場で 2.6 m に達した。

島根半島側では、美保関町の軽尾、雲津、島根町佐波で 2.5 m をこえ、特に佐波では、3.4 m に達して、海岸の家屋の床上浸水、養魚用ポンプ施設の破壊、養魚水槽ハウスの大破、などの被害を生じた。

隠岐諸島では五箇村重栖で小型船沈没 17、久見で漁船 7、8 隻転覆、西郷町中村で 3 隻、大久で 1 隻が転覆した。中之島知々井、菱浦で床上浸水家屋があった。

島根半島側でも美保関町法田、島根町佐波、鹿島町などで床上浸水家屋を生じた。美保関町才浦で漁船転覆 1、鹿島町御津で漁船転覆 2、自動車 2 両が流失した。

山口県では、奈古港の荷捌所が全面冠水して、海水が海岸道路を越えて反対側の住家 1 戸の敷地が浸水した。

4.6 人的被害

1993年8月31日現在で北海道警察本部が身元の確認のできた死者は、青森県大間港で水死した一人を含め、200人であった。行方不明が29人、さらに身元不明者が2名となっている。

200人のうち、142名が津波が原因、55名が地震が原因、原因不明が3人となり、津波での死者が多い²²⁾。

地震での死者の多いところは、土砂崩れで埋没した洋々荘である。24名中20名が圧死、全身打撲などである。またこのうち22名は、宿泊客であった。

このほか地元以外で亡くなった人は、住所と死体発見場所から推定すると、約6名である。すなわち200人中、自分の居住地で亡くなった人が172名である。地元不案内であるからではなく、津波襲来があまりにも早かったことが原因であると言えよう。

図 4.6.1 は、被害の大きかった青苗 5 区の被害者発生状況を東京大学社会情報研究所の調査²³⁾から引用したものである。黒く塗ってある世帯が死者の出た世帯、白抜きが全員無事であった世帯、×印は当時留守であった世帯である。先端まで 400 m 程度の、高さ 3 m の砂州の上に展開していた所で、その北端は高台へと通じていた。この地区は周囲を 4.5 m の防潮堤で守られてはいたが、津波はその上をはるかに越え、発震後 4~5 分後に襲来した。高台から遠くの人が比較的助かっているのに、高台近くに住む人の被害率が大きい。



図 4.6.1 奥尻島青苗 5 区の人的被害分布

同報告書には、生死を分けた原因が詳細に調べられている。犠牲となった原因は、(1)老齢や身体障害のため避難できなかった人、(2)津波を予想しなかったため、避難しなかった人、(3)避難しようとしたがいろいろな原因のため、避難が遅れた人、(4)歩いて避難したり、遅れて車で避難した人、(5)いったん避難したのに再び戻って被害にあった人（以上青苗）、とに分類されている。そのほか、(6)津波と知って船の処置に浜へ出かけ、そのために遭難したと思われる人（瀬棚町で3名）がいる。

その後、奥尻町役場で取りまとめた平成6年6月1日現在の被害状況地区別集計表によると、次のとおりである。死者行方不明は海栗前（のなまえ）4人、稲穂11人、勘太浜1人、球浦3人、奥尻6人（そのほか町外者23人）、谷地3人、初松前32人、富里1人、青苗107人、藻内6人、これに島外者を加えると計197名であった。なお、重傷者は50名、軽傷者は96名である。このうち、地震による死亡者は、奥尻で発生しており、他のほとんどは津波が原因である。

4.7 家屋被害

北海道南西沖地震における被害の特徴の一つは、津波そのものや漂流物による家屋被害が目立ったことである。例えば、奥尻島青苗五区では津波により80棟以上存在した家屋群のすべてが破壊され、青苗漁港の臨港地区では漁船や箱型作業船が漂流して家屋群を破壊した。

4.7.1 家屋被害の概況

北海道庁が公表した1993年11月25日現在での家屋被害を表4.7.1に示す²⁴⁾。これには、北海道以外での被害は含まれていない。なかでも、奥尻島での被害が大きく、その数値を括弧内に示す（1993年8月31日現在）²⁵⁾。全壊、半壊と一部破損については、地震によるのか、火事や津波によるのか、

表 4.7.1 1993年北海道南西沖地震による家屋被害状況 (1993年11月25日現在)

区分			件数		区分			件数	
住家被害	全壊	棟数	594	(426)	住家被害	床下浸水	棟数	146	(19)
		世帯数	607	(424)			世帯数	149	(19)
		人員	1 644	(1 218)			人員	402	(48)
	半壊	棟数	400	(55)		計	棟数	6 204	(893)
		世帯数	408	(55)			世帯数	6 646	(891)
		人員	1 276	(185)			人員	19 281	(2 602)
	一部破損	棟数	4 854	(345)	非住家被害	全壊	公共建物	11	
		世帯数	5 256	(345)			その他	552	(341)
		人員	15 327	(1 006)		半壊	公共建物	27	
	床上浸水	棟数	210	(48)			その他	153	(4)
		世帯数	226	(48)		計	公共建物	38	
		人員	632	(145)			その他	705	(345)

表からはわからない。奥尻島の数値の中には、住家・非住家を含めて、189棟²⁴⁾の焼失家屋が含まれている。全壊家屋を見る限り、半数程度が津波によると言えようか。

4.7.2 津波の浸水深と流速

現地調査データに基づいて、本項と次項にわたって、津波の浸水深と流速、浸水深と家屋の被害程度の関係を検討する。これらの関係が明らかになれば、津波の流速や流体力と家屋の被害程度の関係、漂流物の移動速度、ひいては漂流物の衝突力等が定量的に評価できるようになるからである。

これまでに津波の浸水深と流速の関係が検討されたことがないでもない²⁶⁾。しかし、両者が共に実津波の実測より評価された場合の関係はこれまでにない。長波理論からは、流速は浸水深の平方根に比例し、流体力は2乗に比例すると推察される²⁷⁾。段波の衝撃波力については、その成立が確認されている²⁸⁾。

浸水深 h と流速 u の関係を直接に意識して現地調査が行われた最初の津波は、1992年インドネシア・フローレス島沖地震津波と思われる²⁹⁾。その津波と北海道南西沖地震津波で得られた浸水深と流速の関係を図 4.7.1(a)と(b)に示す。ただし、流速は、流れ方向に見て、家屋等の前面と背面または側面に残された津波痕跡から両面間の水位差を割り出し、ベルヌーイの定理を用いて評価している。この評価法から、得られる関係は陸上の定常的な流れに適用できるものである。(a)と(b)の違いは、浸

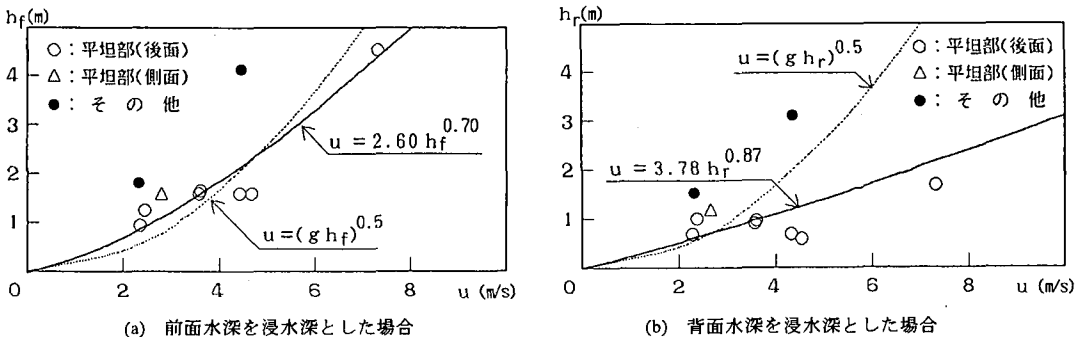


図 4.7.1 実津波の浸水深と流速の関係

水深としておのおの前面と背面または側面のものを採用している点にある。図中の白丸は、ほぼ平坦か、周囲に比べてやや高所の頂部辺りに位置する家屋等から、つまり海水が滞留しにくい所で得られたものである。三角は、低い方の浸水深として、側面のものを採用した場合である。黒丸は、すぐ背後が崖であったり、周囲が防波堤等で囲まれていて、海水が滞留しやすい所で得られたものである。図より、黒丸が孤立していることが判断される。背面の浸水深に海水滞留の影響が現れたためであろう。(a)と(b)中の実線は、黒丸を除いた場合の回帰曲線で、おのおの次式である。

$$u = 2.60h_f^{0.70} \tag{4.7.1a}$$

$$u = 3.78h_r^{0.87} \tag{4.7.1b}$$

ここで、添字 f と r は前面と背面の別を示す。両式共に h のべき指数が推定値の 0.5^{27} より大きい。式(4.7.1a)と(4.7.1b)は、データ数が少ない上、流速は津波波形や底面勾配等に強く依存するかもしれない、暫定的なものである。参考までに、式(4.7.1a)のべき指数は Hatori²⁹が採用した Forchheimer の流速評価式のべき指数と同じである。また、Manning の粗度係数として $0.023 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ を採用すると、本データでの陸上津波の平均的な水面勾配は約 $1/280$ ということになる。各図中の破線はフルード数が1の流れを示す。海水の滞留性の弱い所での津波の流れは、限界流に近い射流であることが判断される。

式(4.7.1a)の物理性は式(4.7.1b)に比べて劣る。ベルヌーイの定理から推して、前面浸水深 h_f に真に対応する流速は零近くのはずだからである。とは言え、既往の津波被害に関する諸検討結果が最大浸水深と関係づけられていることを考えると、浸水深の流速への換算式としては、式(4.7.1a)の方が便利だろう。

式(4.7.1b)の使い道は存在する。家屋等への抗力を考える場合、浸水部分の投影面積の算定では、前面ではなく、背面での浸水深を用いる必要がある。それは、式(4.7.1a)で推定された流速を、式(4.7.1b)を変形した次式に代入して推定され得る。

$$h_r = 0.217u^{1.15} \tag{4.7.1c}$$

その他、式(4.7.1b)は定常的な流れでの漂流物の移動速度としても用いられ得る。定常的な流れでは、漂流物の移動速度 \approx 流速と考えられるからである³⁰。

上記二つの考えに従い、式(4.7.1a)と(4.7.1c)を用いて、抗力 F_D を家屋等の前面での浸水深のみで表現すれば、次式となる。

$$F_D = \rho C_D u^2 A / 2 = 2.20 \gamma C_D h_f^{2.21} B / g \tag{4.7.2}$$

ここで、 ρ は流体の密度、 γ は流体の単位体積重量、 C_D は抗力係数、 A と B はおのおの浸水部分の投影面積と幅、 g は重力加速度である。抗力は浸水深のほぼ2乗に比例しており、長波理論からの推察²⁷と合致している。

抗力係数をパラメータに、式(4.7.2)の計算例を図4.7.2に示す。ただし、流体の単位体積重量は 1.03 tf/m^3 、幅は単位幅を考えている。

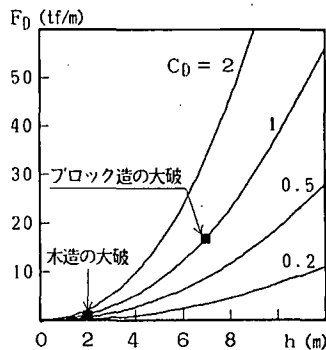


図 4.7.2 抗力と浸水深の関係

4.7.3 浸水深と家屋の被害程度

津波の打ち上げ高や浸水深の実データは比較的多く、沿岸での津波形態、家屋被害、集落被害、防潮林の効果、漁船・養殖筏の被害、津波の音等との関係が詳細に論じられている^{27),31),32)}。前項で示したように、浸水深は流速や流体力に換算可能であり、これらの打ち上げ高や浸水深での議論は物理的に有意である。本項では、家屋被害に的を絞って、北海道南西沖地震津波で得られたデータを加えて、その被害程度と浸水深の関係や被害程度の時間的変遷について論じることとする。北海道南西沖地震津波による家屋被害の各論については、参考文献33)を参照されたい。

前項の図 4.7.1 で示したように、同じ浸水深でも、海水の滞留性が強い所とそうでない所では、流体力が違う可能性がある。家屋の被害程度を浸水深で議論する時は、この場所区分を行ってする必要があろう。また、家屋の被害程度はその造りによって大きく異なる。造り別に議論せねばなるまい。

図 4.7.3 は浸水深と家屋の造り別の被害程度の関係を示す。黒塗りは北海道南西沖地震津波で得られたデータ、白抜きはそれ以外の津波で得られたデータであることを示す。家屋の被害程度は次のように分類している。

全壊：柱もすべて破壊されている。

大破：壁はもちろん、柱のかなりの部分が折れるか失われている。

中破：柱は残っている。壁の一部は破壊されている。

小破：窓等は破壊されても、壁は残っている。

浸水：機械的損傷はない。

ただし、全壊と大破は、いずれにしても修復不可能であるから、まとめて大破とし、中破は柱や壁の一部が被害を受けたが、柱の補強・付け替えも可能で、修復可能な被害程度をいい、小破と浸水は、わずかな補修で利用可能であるから、まとめて小破としている。

上段は鉄筋コンクリート造の家屋である。浸水深5mでも、被害はほとんど生じない。北海道南西

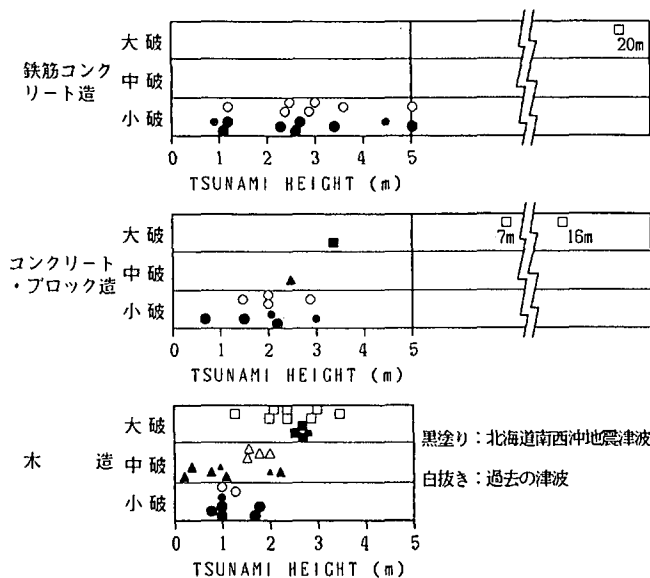


図 4.7.3 津波浸水深と家屋の造り別の被害程度の関係

沖地震津波と過去の津波の被害傾向に違いはない。

中段は石、煉瓦やコンクリート・ブロック造の家屋である。データ数が少なくて明言はできないが、浸水深が3mを超えると中破以上の被害が始め、7mを超えると大破に至るようである。過去の傾向との目立った違いは見られない。

下段は木造家屋である。浸水深が1.5mを超えると中破に至り、2mを超えると大破に至るようである。過去の傾向との違いは中破で見られる。北海道南西沖地震津波では、高々0.25mの浸水深で中破に至っている。最近では、土壁が減り、薄板の間に防音材や断熱材を入れた家屋が増え、強度的に弱体化したため、漂流物の衝突に耐えきれなかったのであろう。

前項の結果を用いて、家屋が大破する時の流速と抗力の計算例を示す。家屋として、畳6枚分の幅(≒10.8m)を有し、平面形状がほぼ正方形の木造家屋を考える。図4.7.3によると、木造家屋は浸水深が2mを超えると大破に至る。よって、この時の流速は、式(4.7.1a)より、

$$u = 2.60 \times 2^{0.70} = 4.22 \text{ m/s} \quad (4.7.3)$$

上記の浸水深2mは家屋前面でのものと考えられる。背面での浸水深は、式(4.7.1c)より、

$$h_r = 0.217 \times (4.22)^{1.15} = 1.14 \text{ m} \quad (4.7.4)$$

家屋の平面形状より、抗力係数は1~2程度を採用すればよからう。よって、家屋に働く抗力は、

$$F_D = 0.5 \times (1 \sim 2) \times 1.03 \times (4.22)^2 \times 1.14 \times 10.8 / 9.8 = 11.5 \sim 23.0 \text{ tf} \quad (4.7.5)$$

日本の木造家屋は、流速が4.2m/s以上か単位幅当たり1~2tf強以上の抗力が働く時、大破に至るようである。

表4.7.2に家屋の造り別の大破に至る流速と単位幅当たりの抗力を示す。ただし、浸水深を除いて、計算条件は上記の計算例と同じであり、抗力は家屋にとって厳しい評価側の値を採用している。抗力については、黒四角で図4.7.2中にも示してある。

表4.7.2 家屋の造り別の大破に至る流速と抗力

家屋の種類	流速(m/s)	抗力(tf/m)
鉄筋コンクリート造	10.2以上	16.9以上
コンクリート・ブロック造	10.2	16.9
木造	4.2	1.06

4.8 水産被害

北海道南西沖地震による水産被害の特徴は、津波による漁船や漁具の流出に加えて、荷捌場、冷凍冷蔵・製氷施設等に甚大な被害が生じたことにより、奥尻島を中心とした渡島半島日本海沿岸域の漁業活動に壊滅的な被害をもたらしたことである。

4.8.1 水産被害の概要³⁴⁾

北海道南西沖地震による水産被害は、被害件数3844件、被害額約137億円に達する。その内訳を図4.8.1~4.8.2に示す。ここで、水産被害は、①漁船、②共同利用施設(地方公共団体や漁業協同組合等が所有する施設で、漁業者の共同利用に供する倉庫、加工施設、作業所、荷捌場、養殖施設、給水給油施設、冷凍冷蔵・製氷施設、干場、通信施設等)、③その他施設(個人、企業所有の施設)、④漁具(網)、⑤水産製品、⑥その他、に分類されている。

水産被害の著しい市町村の被害件数と被害額は、奥尻町1984件、約70億円、島牧村457件、約

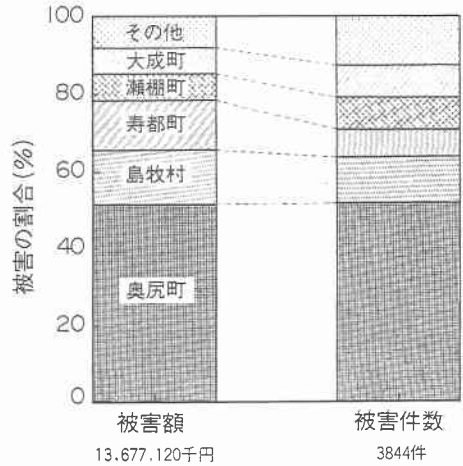
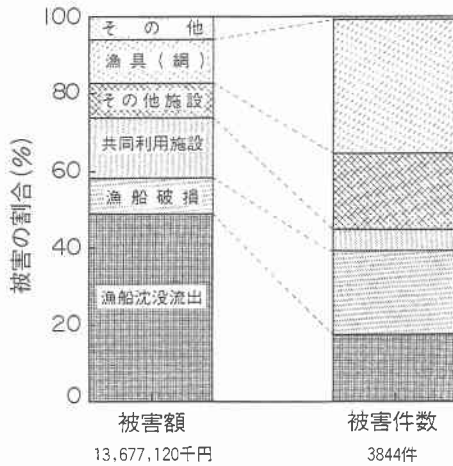


図 4.8.1 北海道南西沖地震による水産被害（項目別） 図 4.8.2 北海道南西沖地震による水産被害（市町村別）

19億円、寿都町 279 件、約 18 億円、瀬棚町 314 件、約 10 億円、大成町 325 件、約 9 億円である。特に、津波の波源域に最も近い奥尻町は、被害件数、被害額ともに北海道における水産被害の約 5 割を占めており、漁船保有数の大半に相当する 591 隻（沈没流出 421 隻、破損 170 隻）が被害を受けるとともに、938 件の漁具被害、46 箇所の共同利用施設、405 箇所のその他施設が被害を受けた。

被害件数の約 4 割、被害額の約 6 割を占める漁船被害は、津波が夜間に来襲したこと、津波来襲時間が地震発生後 5～10 分であったことから、漁港内に係留または上架中の漁船を港外に避難させる余裕がなく、1514 隻（沈没流出 676 隻、破損 838 隻）の漁船が被災し、被害額約 80 億円に達した。また、漁具（網）の被害は 1332 件、被害額約 15 億円、荷捌場、冷凍冷蔵・製氷施設等の共同利用施設の被害は 211 箇所、被害額約 21 億円、その他施設の被害は 753 箇所、被害額約 12 億円、その他被害として 34 件、被害額約 8 億円に達した。前述の漁船被害と併せて、渡島半島日本海沿岸域の主産業である漁業に壊滅的な被害をもたらした。



写真 4.8.1 陸上に打ち上げられた漁船（青苗漁港）

4.8.2 漁船被害の特徴

(1) 漁船被災率^{35),36)}

港内津波遡上高と漁船被災率の関係を図 4.8.3 に示す。ここで、漁船被災率は、当該漁港に係留または上架していた在港漁船数に対する被災漁船の割合と定義し、津波来襲時の在港漁船数は被災市町村への聞き取り調査から把握した。山本ら³⁷⁾は、日本海中部地震津波による漁船被害調査結果に基づき、漁船被災率は、港内最高水位（港内最高水位を推定することは困難であるため、実質的には港内津波遡上高）と強い相関があり、港内最高水位が岸壁天端高にほぼ相当する 1.5 m を超えると漁船被害が生じ始め、3 m を越えると 1/3 以上の漁船が被災したことを報告している。また、首藤³⁸⁾は、明治 29 年三陸大津波、昭和 8 年三陸大津波、日本海中部地震津波による漁船被害調査結果から、津波による漁船被害は津波高が 2 m くらいから生じ始め、5 m を越すと被害が著しくなることを報告するとともに、最近の津波による漁船被害の特徴として、大型漁船の方が無動力船、船外機船等の小型漁船より被災しやすいことを指摘している。北海道南西沖地震津波による漁船被災率は、図 4.8.3 に示すように、山本ら、首藤が報告した漁船被災率の傾向とほぼ同様な結果が得られた。

(2) 漁船破損率^{35),36)}

港内に来襲した津波エネルギー（便宜的に、港内津波遡上高の 2 乗値で示す）と漁船破損率の関係を図 4.8.4 に示す。ここで、漁船破損率は、日本海中部地震津波による漁船被害調査結果に基づき、破損の程度を滅失、大破、中破、小破の 4 段階に区分し、下記のように定義した。

$$\text{漁船破損率} = (\text{滅失} \times 1.0 + \text{大破} \times 0.85 + \text{中破} \times 0.5 + \text{小破} \times 0.15) / \text{在港漁船数 (係留数 + 上架数)}$$

坂井ら³⁹⁾、秦ら⁴⁰⁾は、漁船破損率は港内に来襲した津波エネルギーとほぼ比例して増大する傾向にあることを報告しているが、北海道南西沖地震津波による漁船被害では、図 4.8.4 に示すように、港内に来襲した津波エネルギーが日本海中部地震津波と同程度であっても、津波が夜間来襲したこと、波源域に近く津波来襲時間が 5～10 分程度であったこと、などの津波来襲状況の相違により、漁船の沖合への避難や復旧作業ができず、日本海中部地震津波より、はるかに大きな漁船破損率を示した。

(3) 被災漁船の破損度³⁵⁾

被災漁船の破損の程度を検討するために、被災漁船の破損度を下記のように定義した。被災漁船の規模と破損度の関係を図 4.8.5 に示す。ここで、日本海中部地震津波では無動力船、船外機船を小型

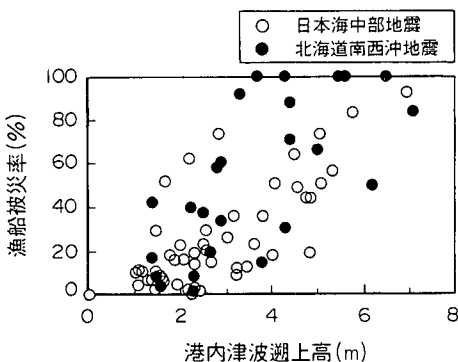


図 4.8.3 港内津波遡上高と漁船被災率の関係

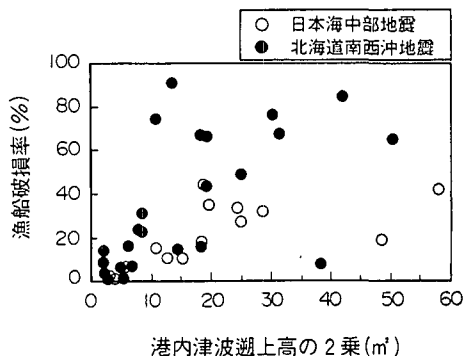


図 4.8.4 津波エネルギーと漁船破損率の関係

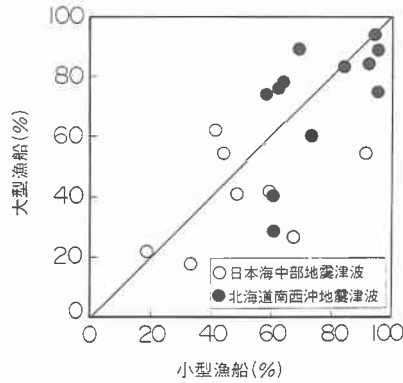


図 4.8.5 漁船の規模と被災漁船の破損度の関係

漁船としており、北海道南西沖地震津波では3トン未満を小型漁船としている。

破損度 = (滅失 × 1.0 + 大破 × 0.85 + 中破 × 0.5 + 小破 × 0.15) / 当該漁港における被災漁船数

被災漁船の破損度は、図 4.8.5 に示すように、被災漁船の規模による相違が見られないことから、漁港内に係留または上架された漁船は、ひとたび被災すれば漁船の規模によらず、同程度の被害を受けることが窺われる。

4.9 津波による特徴的な構造物被害

津波による被害やその形態等は人、家屋、防災構造物等といった項目ごとにすでに詳しく分類されている⁴⁾。今回の津波で特徴的だった構造物の被害例を列举すれば、次のようである。

① 奥尻港北防波堤の陸岸近くで工事途中のケーソンが被災した。基部に近いほど、被害が大きかった。その状況を写真 4.9.1 に示す。この被災は津波特性の一面を物語るものである。波浪の場合、砕波後の波高は水深に規定され、波力は基部に近づくほど小さくなる。しかし、津波の場合は、エッジ波の形成や集中効果により、波高は基部に近づくほど大きくなり得て、波力も大きくなり得る。

② 青苗5区の天端高4.5mを有する西側防潮堤は、推定で4mを超える越流水深の津波に襲われた。しかし、裏側の落差が1m程度で、裏側に被覆工が施されていたためか、裏側が掘れず倒れなかつた。



写真 4.9.1 奥尻港北防波堤の被災状況



写真 4.9.2 青苗5区での防潮堤の状況
(東京大学 都司嘉宣氏提供)



写真 4.9.3 大成町平浜での被災状況



写真 4.9.4 打設不良の例



写真 4.9.5 青苗漁港東護岸の一部折損



写真 4.9.6 風による家屋の被災例 (西から東を望む)

った。一方、津波が抜け出た東側防潮堤は背後から襲われたこと、落差が2m以上と大きかったためか、海側の基部が洗掘されて一部が倒壊した。この防潮堤は1983年日本海中部地震津波後に嵩上げされたが、継目部に問題はなかった。青苗5区での防潮堤の状況を写真4.9.2に示す。背後からの流れによる被災ということでは、戻り流れによる落石防止工の転倒が目立った。ただし、その転倒は洗掘が原因ではなく、流体力によるものである。

③ ちょっとした防潮堤や護岸の隅角部（Ⅰ型）、海岸線の凹部（Ⅱ型）、消波工や被覆工の切れ目部（Ⅲ型）、斜路部（Ⅳ型）で防災構造物や背後の家屋等の被害が目立った。例えば、北海道本島の島牧村栄磯地区（Ⅱ型）、瀬棚町三本杉地区（Ⅰ、Ⅳ型）、大成町平浜地区（Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ型）や奥尻島海栗前地区（Ⅳ型）等である。写真4.9.3は大成町平浜での例を示す。凹部、消波工の途切れ、小さな斜路がある所で、パラペットが破壊され、背後の家屋も被災した。

④ コンクリート構造物の被災原因に打継目の処置、打設や配合の不良が目立った。日頃は外力の働かない部分で、予想外ではないが、大きめの外力が働いて、施工の悪さが露呈した。写真4.9.4は奥尻島稲穂漁港での打設不良の例である。

⑤ 青苗漁港の天端高4.6mを有する東護岸の一部が、漂流物の衝突によるとしか考えられないような壊れ方をした。その状況を写真4.9.5に示す。破壊部は堤頂部で、施工不良等の問題のない部分

であり、港内側の東護岸直角方向に60m程度移動していた。

⑥ 津波で誘起された風によると思われる家屋被害が見られた³³⁾。写真4.9.6にその例(ほぼ写真中央に位置する2階屋)を示す。青苗4区南端の道路沿いの家屋で、浸水深は1mにも満たないにもかかわらず、2階部分が破壊されている。津波によると思われる風の例証を写真4.9.7に示す。2階2重窓ガラスの外側のガラスが小石の飛来により破損している。小石が2重窓ガラスの間に残っているのも見える。これは青苗1区南端に位置する奥尻町集落センター北隣の家屋でのものである。

⑦ 大規模な土砂移動による構造物基礎の露出。写真4.9.8は北桧山町太櫓での例で、津波で上部構造も破壊しているが、厚さ1m程度に及ぶ土砂移動が生じ、構造物の基礎が露出している。



写真 4.9.7 風で飛来した小石によるガラスの破損



写真 4.9.8 土砂移動による構造物基礎の露出

参考文献

- 1) 松富英夫：歴史津波，日本海中部地震震害調査報告書，土木学会，pp.112～114，1986
- 2) 宇佐美龍夫：新編 日本被害地震総覧，東京大学出版会，p.434，1987
- 3) 渡辺偉夫：日本被害津波総覧，東京大学出版会，p.206，1985
- 4) 羽鳥徳太郎：日本海の歴史津波，月刊海洋科学，海洋出版，Vol.16，No.9，pp.538～545，1984
- 5) 羽鳥徳太郎：山陰地方の津波の特性，津波工学研究報告，No.11，pp.33～40，1994
- 6) 羽鳥徳太郎：1993年2月能登半島沖地震による津波，津波工学研究報告，No.11，pp.41～46，1994
- 7) 羽鳥徳太郎：三陸沖歴史津波の規模と推定波源域，地震研究所彙報，Vol.50，pp.397～414，1975
- 8) 羽鳥徳太郎・片山通子：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.49～70，1977
- 9) 羽鳥徳太郎：歴史津波，イルカぶっくす，p.125，1977
- 10) 大竹政和：日本海東縁部の大地震の発生系列，地震学会講演予講集，pp.37，1993
- 11) 羽鳥徳太郎：日本海中部地震と歴史津波，予防時報，No.135，pp.22～27，1983
- 12) 羽鳥徳太郎：北海道渡島沖津波（1741年）の挙動の再検討－1983年日本海中部地震津波との比較－，地震研究所彙報，Vol.59，pp.115～125，1984
- 13) 首藤伸夫・松富英夫：北海道南西沖地震津波の特徴と今後の問題，海岸工学論文集，41巻，pp.236～240，1994
- 14) 松富英夫・首藤伸夫：津波の浸水深，流速と家屋被害，海岸工学論文集，41巻，pp.246～250，1994
- 15) 例えば，朝日新聞：1993年7月27日の朝刊
- 16) 羽鳥徳太郎：津波の規模階級の区分，地震研究所彙報，Vol.61，pp.503～515，1986
- 17) 阿部邦昭・泉谷尊司・砂子 浩・石橋邦彦：北海道南西沖地震津波の新潟県における浸水深の分布，東京大

学地震研究所彙報, Vol.69, 1994

- 18) 都司嘉宣・加藤健二・荒井賢一: 1993年北海道南西沖地震による津波 その2, 平成5年北海道南西沖地震・津波とその被害に関する調査研究, 文部省科学研究費突発災害研究成果, No.B-5-2, pp.65~78, 1994
- 19) 都司嘉宣・加藤健二・荒井賢一・上田和枝: 北海道南西沖地震津波の西日本海岸での浸水高, 月刊海洋, 号外7, pp.192~200, 1994
- 20) Tsuji, Y.: Comparison of observed and numerically calculated heights of the 1983 Japan Sea Tsunami, Sci. Tsunami Hazards, 4, 2, pp.91~110, 1986
- 21) 都司嘉宣: 隠岐諸島の津波の歴史, 月刊地球, 9, 4, pp.229~234, 1987
- 22) 北海道新聞社: 1993年7月12日北海道南西沖地震全記録, 北海道南西沖地震の犠牲者名簿, pp.66~69, 1993
- 23) 東京大学社会情報研究所「災害と情報」研究会: 1993年北海道南西沖地震における住民の対応と災害情報の伝達—巨大津波と避難行動—, p.372, 1994
- 24) 石山祐二: 平成5年北海道南西沖地震・津波とその被害に関する調査研究, 文部省科学研究費突発災害調査研究成果, No.B-5-2, p.196, 1994
- 25) 奥尻町災害復興対策室: 奥尻からの被害報告, はまべ交信, 第2号, pp.19~22, 1994
- 26) 例えば, Hatori, T.: A study of the damage to houses due to a tsunami, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.42, pp.181~191, 1964
- 27) Shuto, N.: Tsunami intensity and disasters, Tsunamis in the world, pp.197~216, 1993
- 28) 松富英夫: 砕波段波衝突時の圧力分布と全波力, 海岸工学論文集, 38巻, pp.626~630, 1991
- 29) 松富英夫: フローレス島東北部の津波とその被害, 月刊海洋, Vol.25, No.12, pp.756~761, 1993
- 30) 松富英夫・白鳥雅之: サージ・フロントに伴う流木の最大衝撃力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 41巻, pp.811~815, 1994
- 31) 首藤伸夫: 津波発生及び来襲時の音響—その1 明治三陸大津波時の分類—, 津波工学研究報告, 7号, pp.1~43, 1990
- 32) 首藤伸夫: 津波発生及び来襲時の音響—その2 昭和三陸大津波による沿岸での音響発生条件—, 津波工学研究報告, 10号, pp.1~12, 1993
- 33) 首藤伸夫: 北海道南西沖地震津波による家屋の被害, 津波工学研究報告, 11号, pp.11~28, 1994
- 34) 北海道南西沖地震災害対策本部: 平成5年度北海道南西沖地震に係る被害状況報告(平成5年9月15日現在), 1993
- 35) 明田定満・谷野賢二・水野雄三・佐藤 仁: 防波堤による津波被害の低減効果について, 開発土木研究所月報, No.494, pp.21~30, 1994
- 36) 明田定満・谷野賢二・水野雄三・佐藤 仁・寺内 啓: 港湾漁港施設による津波被害の低減効果について, 海岸工学論文集, 41巻, pp.1176~1180, 1994
- 37) 山本正昭・中山哲蔵・坂井 淳・三橋浩次: 日本海中部地震津波による漁港内の漁船被害, 第32回海岸工学講演会論文集, pp.460~464, 1985
- 38) 首藤伸夫: 津波災害の変遷と対策上の問題点, 第35回海岸工学講演会論文集, pp.237~241, 1988
- 39) 坂井 淳・林 勝美・村野忠夫: 日本海中部地震津波来襲時における港内係留漁船の状況等について, 第29回全国漁港建設技術研究発表会講演集, pp.62~74, 1984
- 40) 秦 英樹・堀越伸幸・西 祐司: 日本海中部地震津波について, 第31回全国漁港建設技術研究発表会講演集, pp.77~103, 1986
- 41) 例えば, 首藤伸夫: 津波被害と津波防災, 津波講演会講演集, pp.20~28, 1994