

26. 北海道東部・南千島の津波活動 (1893~1978年)

地震研究所 羽鳥徳太郎

(昭和54年10月8日受理)

1. はじめに

北海道東部から南千島に至る海溝ぞいの津波活動は、環太平洋のなかでもきわめて活発であり、筆者 (HATORI, 1971) は 1893 年以降この海域でおきた津波のデータを収集整理し、それぞれの波源域を推定してきた。その後、地震の空白域とみなされた根室沖に 1973 年根室半島沖地震がおこり、その余震も津波を伴い、1975 年 6 月には色丹島沖の津波で根室半島沿岸に軽い被害を受けた。さらに 1978 年 3 月にはエトロフ島沖で群発地震が発生し、津波が 2 回北海道沿岸で観測された。このように 1973 年の根室沖地震以後、この海域の地震活動が一段と活発化し、震源域が千島海溝にそって北東方向に移動している。

本稿では、まず 1975 年 6 月の色丹島沖津波について南千島のソ連の観測データを加え、津波波源の再検討を行った。また、1978 年 3 月の 2 個の津波について北海道・三陸沿岸で得られた検潮データから、それぞれの津波規模と波源域を調査した。これらの津波データを含め、1893 年以降、北海道東部・南千島沖の各種の津波について日本側とソ連の観測データを加え、津波規模を見直し、地震規模と対比して北海道東部と南千島の津波特性を検討した。また、この地域におけるマグニチュード $M > 7$ の地震の時間・空間分布をもとに、今後、津波発生の可能性の高い地域を考えてみたい。

2. 1975 年 6 月の色丹島沖津波

1975 年 6 月 10 日の 22 時 47 分ごろ、色丹島沖でおきた地震のマグニチュードは、気象庁の発表によると $M=7$ であったが、この地震に伴った津波は意外に大きく、根室の花咲検潮所では全振幅 180 cm の波高を観測し、港内の岸壁に潮が溢れた。また、色丹島では局地的に 3.5~4 m、クナシリ島で 2~3 m の波高に達した (СОЛОВЬЕВ, 1978)。津波のマグニチュード (今村・飯田スケール) は、各地の検潮記録の振幅から $m=1.5$ と見積もれる (Fig. 7)。

Fig. 1 は、この津波における北海道とソ連で観測した南千島 (ПОПЛАВСКАЯ ほか, 1978) の検潮記録を示す。両記録の振幅スケールはほぼ同じ大きさで示してあるが、タイム・スケールの長さは南千島の記録が短い。花咲の第 1 波の周期は 13 分と記録され、南千島の記録も津波の周期がかなり短いことを示している。ここで注目すべきことは、色丹島とクナシリ島で観測した津波初動が“引き波”で始まっていることである。Fig. 1 に示すように、北海道の記録はすべて押し波初動であり、波源域の海底変動が南側で隆起、北側では沈降したことを暗示している。このような引き波初動は、1969 年 8 月の色丹島沖 (北海道東方沖) 津波のとき、花咲と南千島で観測された例があるが (HATORI, 1970)、

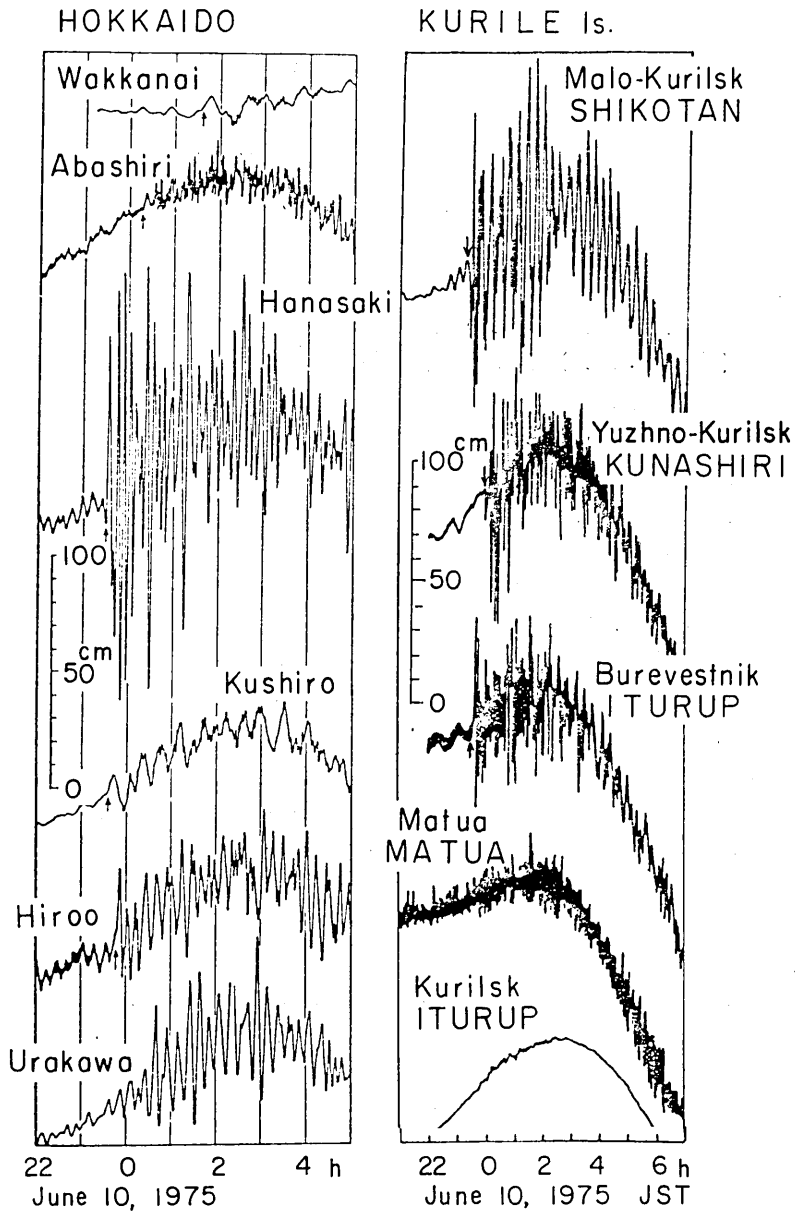


Fig. 1. Tide gauge records of the Shikotan tsunami on June 10, 1975 observed in the Hokkaido and Kurile regions (HATORI, 1975; POPLABSKAYA *et al.*, 1978).

1973年根室沖津波ではすべての観測点が押し波初動であった。

各地の津波伝播時間において、もっとも早く検潮所で観測されたところは色丹島 Malo-Kurilsk で 33 分、つづいてエトロフ島 Burevestnik の 38 分、花咲では 43 分であった。クナシリ島の Yuzhno-Kurilsk には色丹水道から幅広い浅海域を伝わり、伝播時間

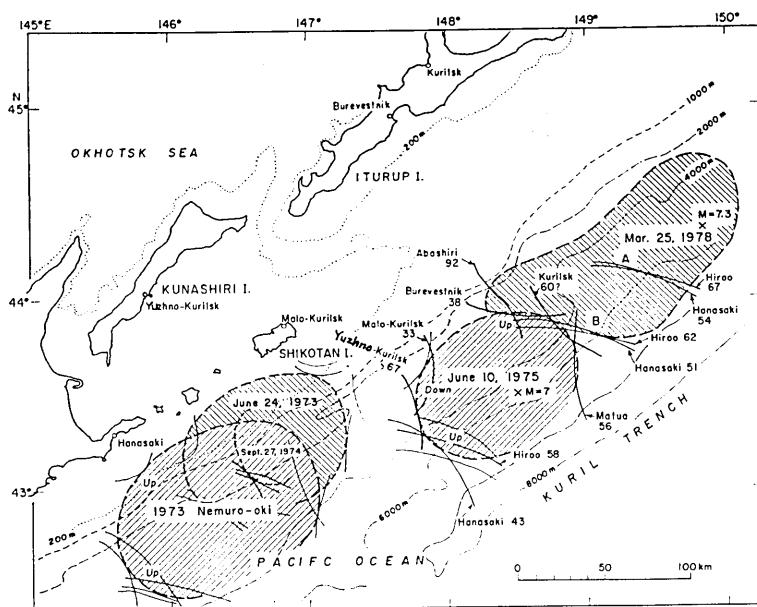


Fig. 2. Estimated source areas of the Kurile tsunamis generated from 1973 to 1978. The last wave fronts of the inverse refraction diagram are shown with the names of tide stations and travel time (min). A and B indicate the south end of the tsunami source areas on Mar. 23 and 25, 1978, respectively.

は 67 分を要した。これら各地の伝播時間のデータをもとに、逆伝播図の方法で波源域を推定すると Fig. 2 のようになる。さきに筆者 (羽鳥, 1975) は、北海道と三陸沿岸の検潮データから波源域を推定してみたが、海溝寄りかあるいは陸側の浅海域であるか判定がむずかしかった。しかし今回、南千島の観測データを加えたことにより、波源域が海溝寄りであることが確かめられた。これは、波源周辺の検潮記録において、津波の周期がきわめて短周期波であったことと符合する。

波源域の海底変動のパターンは、津波初動の押し引き分布から、Fig. 2 に示すように北東と南西側が隆起、北西側が沈降とみなせよう。波源の長さは 100 km、面積は $5.5 \times 10^3 \text{ km}^2$ と推定され、1973 年根室沖津波のものよりやや小型であるが、津波のマグニチュードは同等である。この津波が地震規模に比べて大きく、粘弾性的破壊による“津波地震” (KANAMORI, 1972) であったという見方もあるが (長宗・中礼, 1976; TAKEMURA, ほか, 1977), FUKAO (1979) はプレート上盤の高角逆断層でこの地震の発生機構を説明した。

3. 1978 年 3 月のエトロフ島沖津波

1978 年 3 月 22 日からエトロフ島沖で地震が群発し、23 日と 25 日の地震で津波が伴った。気象庁の地震月報によれば、津波を伴った最初の地震は、発震時 3 月 23 日 12 時 15 分、震央は $44^{\circ}48'N$, $149^{\circ}25'E$ 、深さ 60 km, $M=7.0$ である。2 回目の地震は 3 月 25 日 4 時 48 分におこり、震央は $44^{\circ}20'N$, $149^{\circ}49'E$ 、深さ 40 km, $M=7.3$ ときめられ、

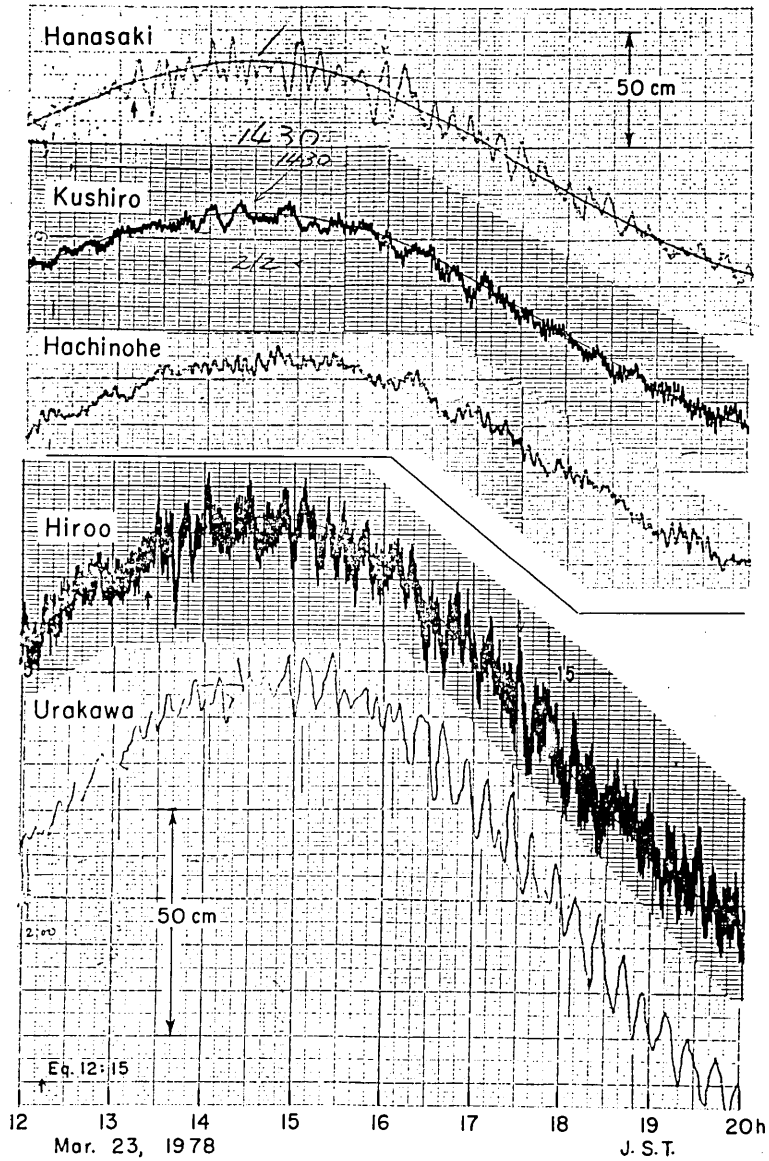


Fig. 3. Tide gauge records of the tsunami generated off Iturup Is. on Mar. 23, 1978.

この地震が本震とみなされている。

Fig. 3 は 3 月 23 日の津波における北海道沿岸の主な検潮記録を示す。これによると、花咲では地震の 54 分後に津波が押し波で始まり、最大波の全振幅は 26 cm である。なお、このほかに三陸沿岸の検潮記録も調べてみたが、津波は認められなかった。Fig. 4a, b は 3 月 25 日の津波記録を示す。花咲では地震の 51 分後に津波を観測し、最大波の全振幅は 40 cm である。Table 1 と 2 には、両津波の読取り値を示す。各地で観測した最大波の片振幅をもとに、筆者の方法（後述）で津波マグニチュード（今村・飯田スケール、

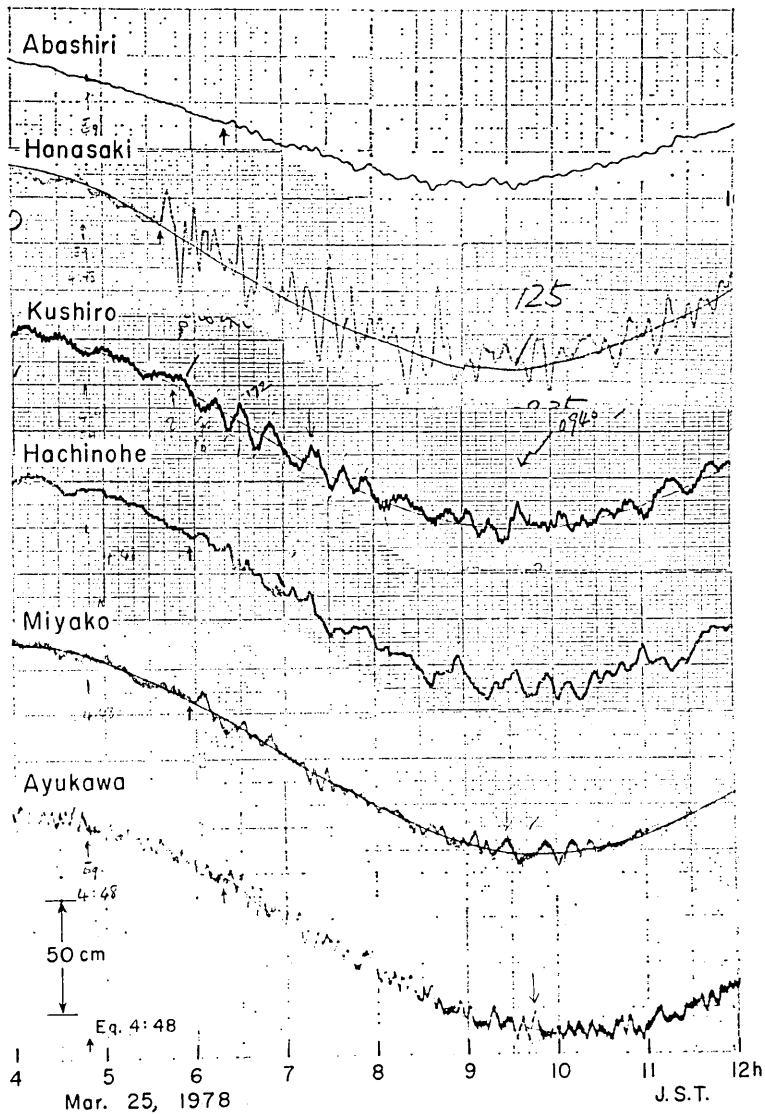


Fig. 4a. Tide gauge records of the tsunami generated off Iturup Is. on Mar. 25, 1978.

m) を推定すると、3月23日の津波は $m=0$ 、3月25日の津波では $m=1$ と格付けできる (Fig. 7)。両津波の規模は地震マグニチュードと比べて、やや標準を上回っているが (Fig. 9)、北海道沿岸では波源から離れていることもあって被害は出なかった。

気象庁の地震観測によれば (地震予知情報室, 1978)、3月の群発地震の震源域は千島海溝に沿い、1975年6月の波源域 (Fig. 2) の東隣りに横たわる。北海道各地からの逆伝播図の最終波面は、3月23日の津波では A に、25日の津波で B に集まり、23日の波源域は25日のものの東半分を占めたかたちをとる。25日の波源域の長さは、いまのところ北端をおさえる津波データがないが、余震分布によれば (Fig. 2 には25日の地震の余震域を示す) 120 km と推定され、 $M=7.3$ の地震に予想される大きさである。

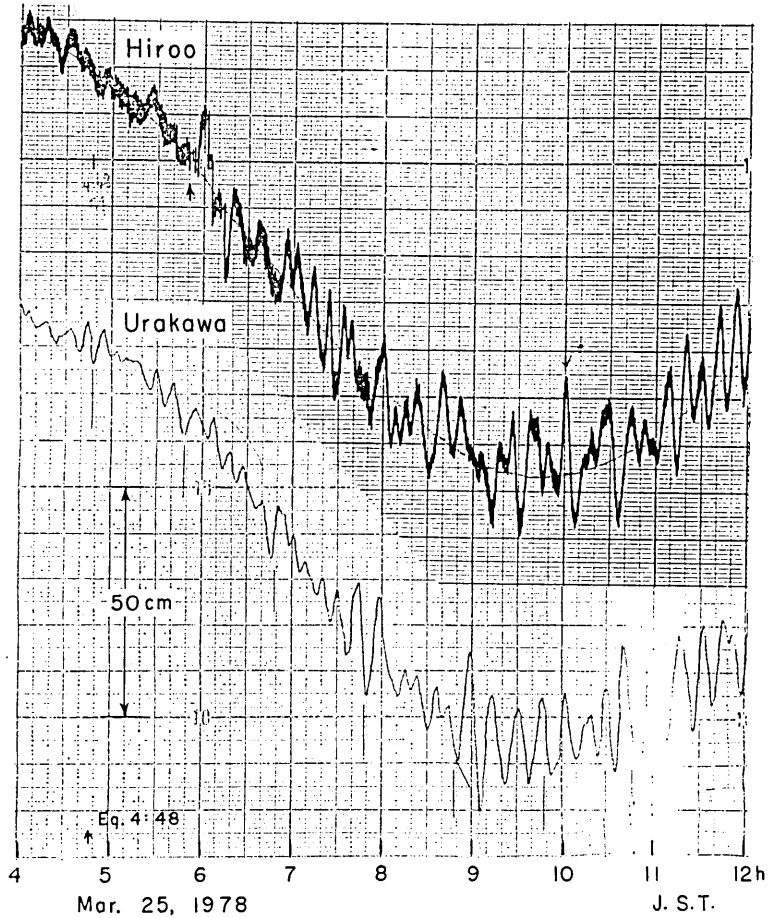


Fig. 4b. Tide gauge records of the tsunami generated off Iturup Is. on Mar. 25, 1978.

Table 1. The tsunami of 12: 15 (JST), March 23, 1978, as recorded by tide gauges. Wave originated near the earthquake epicenter ($44^{\circ}48'N$, $149^{\circ}25'E$, $d=60$ km, $M=7.0$, JMA) off the Iturup Island.

Tide station	Initial wave			Maximum wave		
	Travel time	Rise	Period	Double ampl.	τ	H
	min	cm	min	cm	h m	cm
Monbetsu	?					
Abashiri	?					
Hanasaki	54	9	13	26	2 48	12
Kushiro	?			12		6
Hiroo	67	7	8	23	5 15	14
Urakawa	?			18		10
Hachinohe	?					
Miyako	?					

H : Tsunami height above ordinary tides.

τ : Time interval between the arrival of front and maximum wave.

Table 2. The tsunami of 4: 48 (JST), March 25, 1978, as recorded by tide gauges. Wave originated near the earthquake epicenter (44°20'N, 149°49'E, d=40 km, M=7.3, JMA) off the Iturup Island.

Tide station	Initial wave			Maximum wave			
	Travel time	Rise	Period	Double ampl.	τ		H
	min	cm	min	cm	h	m	cm
Monbetsu	?						
Abashiri	92	2	9	5	1	36	3
Hanasaki	51	16	12	40	1	48	24
Kushiro	56?	5	20	14	1	31	9
Hiroo	62	14	12	28	4	10	21
Urakawa	?			29			17
Hachinohe	70	4	17	17	3	00	12
Miyako	68	6	12	10	3	30	7
Ayukawa	80	5	8	12	3	27	8

H: Tsunami height above ordinary tides.

τ: Time interval between the arrival of front and maximum wave.

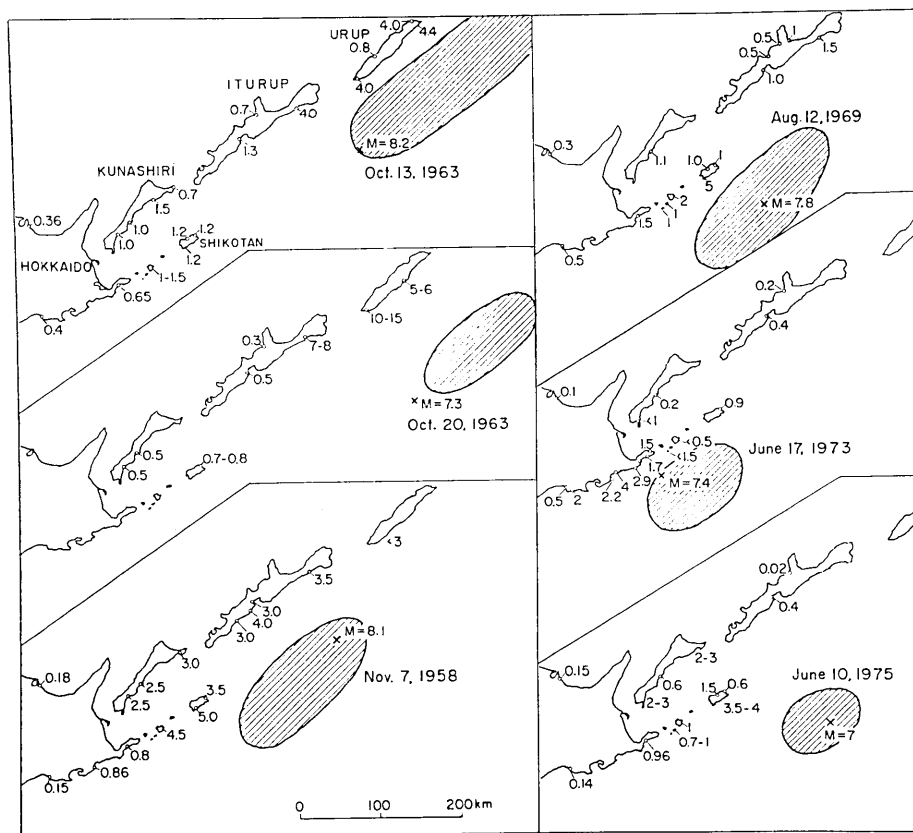


Fig. 5. Distributions of tsunami height (unit: m) and the source area for various Kurile tsunamis.

Table 3. Source dimensions of the tsunamis generated in the Hokkaido and Kurile regions.

Date (JST)	Location	M	m	L (km)	S $\times 10^3 \text{km}^2$	Reference
1893 June 4	Shikotan	7.5	1.5	(150)		HATORI (1974)
1894 Mar. 22	E. Hokkaido	7.9	2.5	220	14	"
1918 Sept. 8	Urup	8.2	3	(370)		HATORI (1971)
1918 Nov. 8	"	7.5	2?			
1952 Mar. 4	Tokachi-oki	8.1	2.5	160	8.8	HATORI (1973)
1952 Mar. 10	Hiroo-oki	7.0	-1			
1958 Nov. 7	Iturup	8.1	2	200	11	FEDOTOV (1962)
1958 Nov. 13	"	7.5	0?			
1961 Feb. 13	Shikotan	7.2	-0.5	50	1.2	HATORI (1971)
1961 Aug. 12	Nemuro-oki	7	-1	35	0.7	HATORI (1969)
1961 Nov. 15	"	6.9	-1	40	0.8	"
1962 Apr. 23	Hiroo-oki	7.0	-1.5	40	0.9	"
1963 Oct. 12	Urup	7.2	-1			SOLOVIEV (1965)
1963 Oct. 13	"	8.2	2.5	300	30	"
1963 Oct. 20	"	7.3	2	120	4.7	"
1964 July 24	Simushir	7	-1	50	1.5	HATORI (1971)
1965 June 11	Iturup	7.2	-0.5	60	1.9	"
1968 Jan. 29	Shikotan	6.9	0	70	2.2	"
1969 Aug. 12	"	7.8	2	200	13	HATORI (1970)
1971 Aug. 2	Erimo-oki	7.0	-0.5	40	1.0	HATORI (1972)
1973 June 17	Nemuro-oki	7.4	1.5	130	7.2	HATORI (1974)
1973 June 24	"	7.1	0.5	80	3.1	"
1974 Sept. 27	Shikotan	6.7	-1	50	1.5	HATORI (1975)
1975 June 10	"	7	1.5	100	5.5	"
1978 Mar. 23	Iturup	7.0	0	(80)	(3.2)	Present paper
1978 Mar. 25	"	7.3	1	(120)	(6.6)	"

M : Earthquake magnitude.

m : Tsunami magnitude (Imamura-Iida's scale).

L : Length of the major axis of source area. (): Uncertainty.

S : Area of the tsunami source.

4. 津波の規模

以上述べた3個の津波データを加え、最近86年間(1893~1978年)における北海道東部・南千島の津波の規模、波源域の大きさはTable 3のようになる。なお、津波のマグニチュード m は、後で述べる筆者の方法できめ直した値で示してある。

ここで近年の南千島の津波について、推定波源域とソ連のデータ(SOLOVIEV, 1978)を加えた波高分布をFig. 5に示す。1963年ウルップ沖地震の最大余震($M=7.3$)でおこされた10月20日の津波は、ウルップ島で10mをこえる波高が測定され(SOLOVIEV, 1965)、地震の規模に比べて異常に大きい津波であった。今村・飯田スケールの定義に従えば、津波マグニチュードは $m=3$ と格付けされる筈である。しかし、この津波は減衰が早く、波源から少し離れた色丹島・クナシリ島では50~80cmの波高にとどまった。

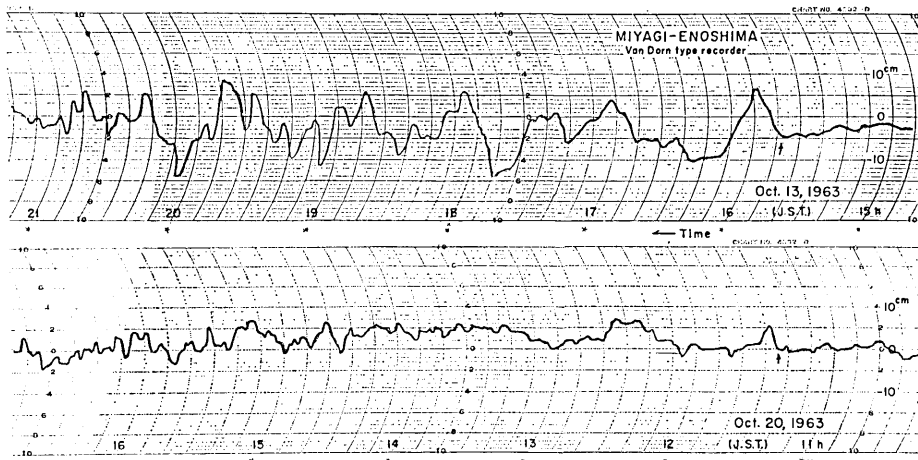


Fig. 6. Records of the 1963 Urup tsunamis observed at Miyagi-Enoshima (above: the tsunami accompanied by the main shock of Oct. 13; below that of the largest aftershock on Oct. 20, 1963).

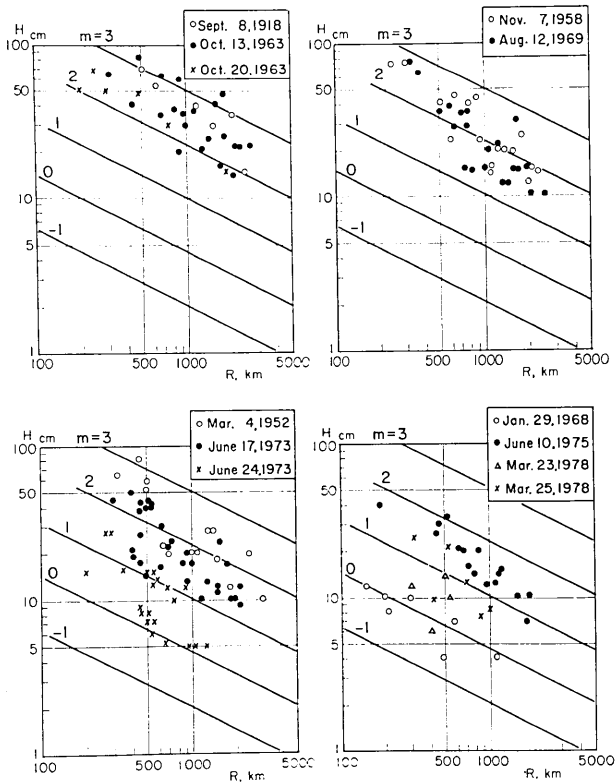


Fig. 7. Attenuation of the maximum wave height (semi-amplitude) with distance from the epicenter. m : tsunami magnitude denoted by the Imamura-Iida scale.

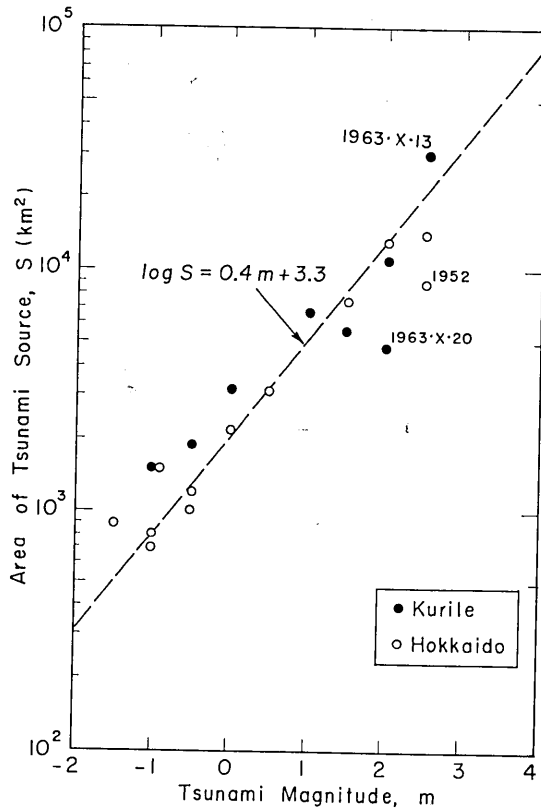


Fig. 8. Relation between tsunami magnitude and the area of tsunami source.

Fig. 6 は、宮城県江ノ島にある地震研究所の津波観測所で得られた 1963 年 10 月 13 日の本震と、10 月 20 日の余震に伴った両津波の記録を示す。いずれも、Van-Dorn 型長波計による同じ測器で観測した記録である。図示のように、10 月 20 日の津波は本震による津波より格段に小さく、本震の津波規模より下回ったことは明白である。

Fig. 7 はこの海域の主な津波について、震央から陸棚にそった伝播距離 R と、検潮儀で観測した津波の高さ (最大波の片振幅) H との関係を示す。この図に、津波マグニチュードで区分した $H-R$ 線*を示す。広域の津波データを用いたこの方法によれば、津波マグニチュードは ± 0.5 の精度で決定でき、1963 年 10 月 13 日ウルフ沖の本震による津波のマグニチュードは $m=2.5$ 、10 月 20 日の余震の津波では $m=2$ と格付けされる。

津波の波源域は、Fig. 2 に示したように波源周辺の津波伝播時間をもとに、逆伝播図から推定されているが、北海道・南千島の波源面積 $S(\text{km}^2)$ と津波マグニチュード m との関係は Fig. 8 のようになる。ここで破線で示す $\log S=0.4m+3.3$ なる関係式は、全国の津波データから得られたもので、北海道・南千島の津波も大局的には上式で表わせ

* 震央から陸棚の縁 (または島弧) にそった伝播距離 $R=1,000 \text{ km}$ において、津波の高さ $H=50 \text{ cm}$ のとき津波マグニチュードを $m=3$ と定め、この点を基準に H/\sqrt{R} 線を描き、波高が 2.24 倍、エネルギーにして 5 倍ごとに津波マグニチュードが 1 階級変る。

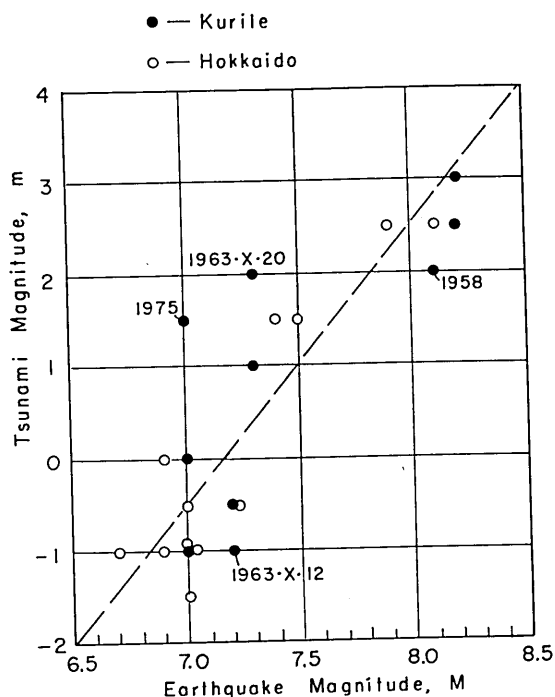


Fig. 9. Relation between earthquake magnitude (20-sec surface-wave magnitude) and tsunami magnitude.

る。この中で、1952年十勝沖津波と前記の1963年10月20日の津波の面積が標準を下回る。

1963年10月20日と1975年6月の色丹島沖津波が、地震規模と比べて大きいことを述べてきたが、この海域の津波と地震マグニチュードとの関係はFig. 9のようになる。ここで、破線は全国のデータから得た平均的な関係を示したもので、両津波が異常に大きく、また1958年エトロフ沖津波が標準を下回っていることを示している。北海道東部の津波が標準的で、南千島の津波に異常のものが多く傾向がみられる。なお、1963年10月20日の地震は、1975年6月の地震と同様に、急傾斜の断層面がすべった高角逆断層タイプの地震とみなされている (FUKAO, 1979)。

5. 津波活動域の移動

Fig. 10は検潮データから解析した波源域をまとめたもので、上図は1973年根室沖津波以前、下図はそれ以後1978年までの波源域の分布を示す。ここに各波源には津波の発生年月日、地震マグニチュード M およびカッコ内に津波マグニチュード m を示してある。波源域は海溝にそってきれいに並び、1894年の根室沖津波以後80年ちかく、この根室沖海域が地震の空白域であった。その予想された場所に1973年の根室沖地震がおり (宇津, 1972)、注目を浴びたことは周知の通りである。そして余震分布の広がりから、空白域は埋められたという見方がある (関谷ほか, 1974; SUZUKI, 1978)。しかし、この海域

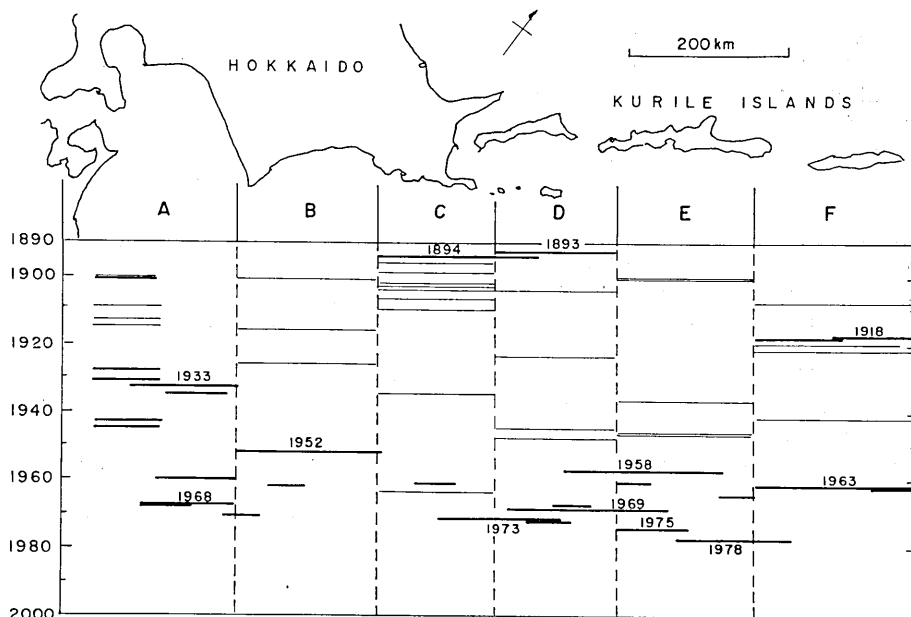


Fig. 11. Space-time diagram of the earthquakes having magnitude $M \geq 7$ in the Hokkaido and Kurile regions. Thick lines show the tsunamigenic earthquake.

86 年間における北海道東部～南千島沖津波の規模および波源域の見直しを行った。十勝～根室沖では、地震規模に見合う標準的な規模をもつ津波が多いが、南千島では予想をこえる規模の津波がおこる傾向があり、津波予報にあたっては注意を要する。

1973 年根室沖以後、津波活動は海溝にそい北東方向に移動し、波源域は $M 8$ 前後の地震の震源域に重複している。すでに地震の空白域が解消されたとみなされる場所に、 $M 7 \sim 7.3$ の地震が繰り返し、津波マグニチュード $m 1 \sim 1.5$ の津波が発生したことは、本州沿岸の地震活動にはあまり例をみない注目すべき現象である。

最近 86 年間における北海道～南千島海域でおきた $M 7$ 以上の地震の時間・空間分布によれば、ごく最近色丹島～エトロフ島間の地震活動が活発化し、波源域がこの海域で密に重複分布したことにより、十勝沖とウルップ島沖の津波活動の低調が目立つ。ことに根室沖では 1973 年地震後も 1894 年津波の波源域の西半分が地震空白域として、とり残されたかたちをとり、今後十勝沖にかけて、 $M 7.5$ の地震、津波マグニチュードにして $m 2$ 程度の津波がおこる可能性が高い注目すべき海域と思われる。

謝 辞

今回、1978 年 3 月のエトロフ沖津波の解析にあたっては、北海道開発局・気象庁・水路部のご好意により提供された検潮記録を用いた。ここに記して深く感謝の意を表します。

文 献

- 阿部勝征・横山 泉, 1974, 根室沖に期待される地震, 地震予知連絡会会報, 11, 45-47.
 FUKAO, Y., 1979, Tsunami earthquakes and subduction processes near deep-sea trenches, *J.*

- Geophys. Res.*, 84, 2303-2314.
- HATORI, T., 1969, Dimensions and geographic distribution of tsunami sources near Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 47, 185-214.
- HATORI, T., 1970, An investigation of the tsunami generated by the east Hokkaido earthquake of August, 1969, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 48, 399-412.
- HATORI, T., 1971, Tsunami sources in Hokkaido and southern Kurile regions, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 49, 63-75.
- 羽鳥徳太郎, 1972, 1971年8月2日襟裳岬沖と1972年2月29日八丈島沖の津波一波源域と津波初動方向の分布, 地震 ii, 25, 362-370.
- 羽鳥徳太郎, 1973, 1952年十勝沖津波の波源の再検討, 地震 ii, 26, 206-208.
- 羽鳥徳太郎, 1974, 1973年根室半島沖津波の波源域と1894年津波との比較, 地震研究所研究速報, 13, 67-76.
- 羽鳥徳太郎, 1975, 1973年根室半島沖津波とその後の津波活動, 地震 ii, 28, 461-471.
- 北海道部会報告(宇津ほか), 1977, 地震予知連絡会北海道部会報告—北海道東部における地震予知上の問題, 建設省国土地理院編, 1, 45-64.
- KANAMORI, H., 1972, Mechanism of tsunami earthquakes, *Phys. Earth Planet. Interiors*, 6, 346-359.
- 気象庁地震課・地震予知情報室, 1978, 1978年3月の北海道東方沖の地震について, 地震予知連絡会会報, 20, 4-5.
- 長宗留男・中礼正明, 1976, 1975(昭和50)年6月10日の北海道東方沖の地震の大きさと津波の規模, 験震時報, 40, 105-107.
- 岡谷 博・久木壯一・望月英志・小林悦夫・粟原隆治・徳永規一・岸尼政弘, 1974, 1973年根室半島沖地震と北海道南方海域の巨大地震, 験震時報, 39, 33-39.
- SHIMAZAKI, K., 1974, Nemuro-oki earthquake of June 17, 1973—A lithospheric rebound at the upper half of the interface, *Phys. Earth Planet. Interiors*, 9, 314-327.
- SOLOVIEV, S.L., 1965, The Urup earthquake and associated tsunami of 1963, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 43, 103-109.
- SUZUKI, S., 1978, Lateral variation of the upper mantle structure around northern Japan and its application to hypocenter determination, *J. Faculty of Science, Hokkaido Univ.*, Ser. VII (Geophysics), 5, 79-120.
- TAKEMURA, M., KOYAMA, J., and Z. SUZUKI, 1977, Source Process of the 1974 and 1975 earthquakes in Kurile islands in special relation to the difference in excitation of tsunami, *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. 5, Geophysics, 24 (4), 113-132.
- 宇津徳治, 1972, 北海道周辺における大地震の活動と根室南方沖地震について, 地震予知連絡会会報, 7, 7-13.
- ПОПЛАВСКАЯ, Л.Н., и др., 1978, Сильные землетрясения в районе Малой Курильской гряды, Землетрясения в СССР в 1975 о., «Наука», Москва, 106-110.
- СОЛОВЬЕВ, С.Л., 1978, Основные данные о цунами на Тихоокеанском побережье СССР, 1737-1976 гг., Изучение цунами в открытом океане, «Наука», Москва, 61-136.
- ФЕДОТОВ, С.А., 1962, Определения областей возникновения волн цунами при Камчатском землетрясении 4 ноября 1952 г. и Итрупском землетрясении 6 ноября 1958 г., Изв., АН СССР, сер. геофиз., 10, 1333-1339.

26. *Tsunami Activity in the Hokkaido and Kurile Regions
(1893~1978).*

By Tokutaro HATORI,
Earthquake Research Institute.

Adding tsunami data reported by the U.S.S.R. sources, tsunami magnitude and the source area of the tsunamis generated in the Hokkaido and Kurile regions during the period from 1893 to 1978 are re-examined. The source dimension and magnitude of the tsunamis generated in the Hokkaido region corresponds well with the earthquake magnitude. However, the tsunamis in the Kurile region have varied behaviors. The two Kurile tsunamis of Oct. 20, 1963 and June 10, 1975 were especially abnormal in comparison with other tsunamis accompanied by similar earthquake magnitude.

In most cases, the initial motion of the tsunamis was observed with upward direction, but the Kurile tsunamis of Aug. 11, 1969 and June 10, 1975 began with a conspicuous downward motion at the Hokkaido and Kurile tide stations.

The source areas of the tsunamis that accompanied large earthquakes ($M > 8$) line up along the continental slope near the Kurile trench and the 1973 Nemuro-oki tsunami was generated in the seismic gap between the 1952 Tokachi-oki and the 1969 Shikotan earthquakes. However, the source area of the 1973 tsunami occupies only the eastern half of the 1894 tsunami source. After the 1973 Nemuro-oki tsunami, the tsunami activity moves to the northeastern direction along the Kurile trench. These source areas fall in the southern part of the source areas of the 1958 Iturup and the 1969 Shikotan tsunamis. In the space-time diagram of the earthquakes having a magnitude of $M \geq 7$, remarkable gaps can be seen in the west side of the 1973 tsunami source and off Urup Island. It is possible that a future tsunami of magnitude $m \sim 2$ may be generated, accompanying the release of seismic energy in the two regions.

[校正時の追記]

この論文の脱稿後、1980年2月23日に $M 7.2$ の地震が色丹島沖に発生し、花咲で 10 cm の津波が観測された。いまのところ詳しいことはわからないが、今回の地震は1973年根室半島沖地震と1975年6月10日の地震との間の、空白部 (Fig. 2) を埋めるようなかたちを起こされたようである。