

## 2003 年 11 月, 2011 年 6 月アリューシャン列島地震津波の規模 —太平洋各地の波高偏差

羽 鳥 徳太郎\*

### 1. はじめに

アリューシャン・アラスカ島弧では、しばしば M8 クラスの巨大地震が発生し、それに伴う津波がハワイ・米国西岸や南米チリに大きな被害をもたらし、日本沿岸でも観測されている。主な津波について、波源のインバージョン解析が集録された (Johnson, 1999)。筆者 (Hatori, 2005) は、1788-2002 年間のアリューシャン・アラスカ津波による沿岸波高 2 乗値の累積値分布を調べ、その推移パターンから将来発生の可能性が、アラスカ半島とヤクタット付近で高いことを示した。

2003 年 11 月 17 日 06 時 43 分 (UTC) に、アリューシャン列島中部のラット島沖で中規模の地震が発生した。米国地質調査所 (USGS) の報告によれば、震央は  $51.40^{\circ}$  N,  $178.60^{\circ}$  E, 深さ 20 km, Ms 7.3 (Mw 7.7) であった。震源のメカニズム解によると (山中, 2003), 傾斜角  $14^{\circ}$  の低角逆断層型であり、最大食い違い 2.9 m である。地震に伴う津波が、太平洋の広範囲で観測された。2011 年 6 月 24 日 3 時 09 分 (UTC), 列島東部のアトカ島沖で地震が発生し ( $52.008^{\circ}$  N,  $171.860^{\circ}$  W, 深さ 62 km, Mw 7.2, USGS), 列島やハワイで小津波が観測された。

本稿では、アラスカ津波警報センター (WC/ATWC), ハワイ国際津波情報センター (ITIC) の報告をもとに、波源域と津波マグニチュードを解析し、周辺域の津波と比較検討した。アリューシャン・アラスカ津波が、遠く離れた場所で大きな波高に達するのは、指向性とレンズ効果でエネルギーが集まるため、とみなされている。ここでは、太平洋各地域の波高データを収集し、平均津波マグニチュードを基

準に各地の波高偏差の地域性を整理してみる。

### 2. 津波の波源域

図 1 には、2003 年 11 月ラット津波による 4 個所の検潮記録 (キリバチ, オーフォード, カルデラ, セーミヤ島) を示す。タイムスケールは UTC, 振幅は cm の単位で示されている。図 2 には、2011 年 6 月アトカ津波の検潮記録例 (アダック, ハワイ島ヒロ) を示す。2003 年津波では、アリューシャン列島のセーミヤ島で 07 時 30 分に押し波初動が記録され、発震時からの伝播時間は 47 分になる。最大波の全振幅値は 52 cm であった。そのほかの伝播時間は、アダック島 (Sweepers Cave) で 62 分, ハワイのホノルルでは 5 時間 32 分と報告された。3 観測点から逆伝播図を描くと、各伝播時間の最終波面は図 3 のようになる。図中の黒丸は、USGS による本震から 1 日間の余震 (Ms > 4.5) 分布を示す。各地の片振幅値は Table 1 に示した。

一方、2011 年津波の観測値は WC/ATWC によれば、各地の片振幅値 (平常潮位上) と伝播時間 (時:分) はつぎの通り。Adack 6 cm (1:03), St. Paul 9 cm (2:06), Nikolski 10 cm (1:04), Akutan 4 cm (1:34), Midway 4 cm (3:28), Kauai 4 cm (4:22), Hilo 6 cm (4:59)。

以上、逆伝播図と余震域を参照すると、2003 年津波の波源域は水深 3000 m コンターに沿い長さ 130 km, 幅 60 km, と推定される。2011 年津波の波源域は、それより約 700 km 東方に位置し、南北方向に長さ 60 km, 幅 30 km になる。なお余震分布 (M > 3.0, USGS) は本震から 1 日間を示す。Nikolski からの逆伝播図の波面は余震域に接するが、アダックからの波面は実測値より 3

\*元東京大学地震研究所

分ほど短い。なお、2007年8月2日にアムチカ島沖でMw 6.7の地震が発生し(51.307°N, 179.971°W, USGS), 小津波を伴った(アムチカ島で片振幅3cm, 伝播時間14分, WC/

ATWC, ITIC)。同年12月19日に, その近くでMw 7.1の地震があったが, 津波の報告はない。

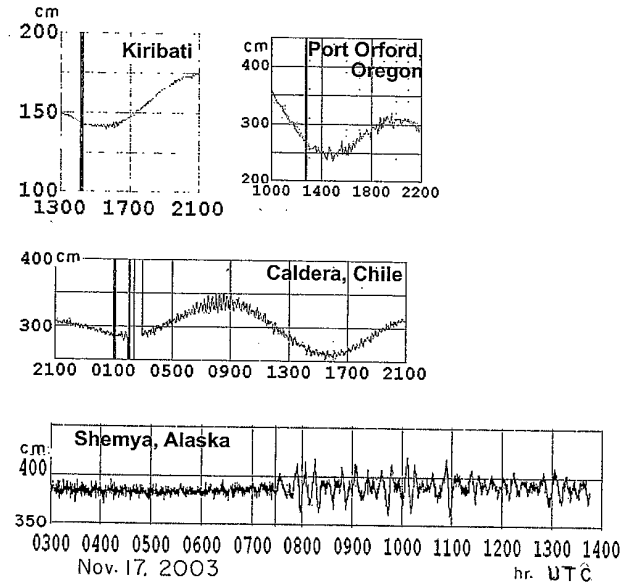


図1 2003年11月17日アリューシャン津波の検潮記録(ITICによる)

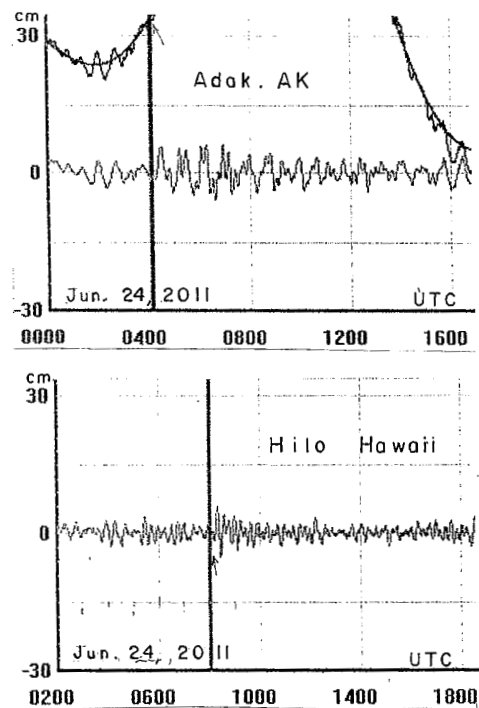


図2 2011年6月24日アリューシャン津波の検潮記録(WC/ATWCによる)

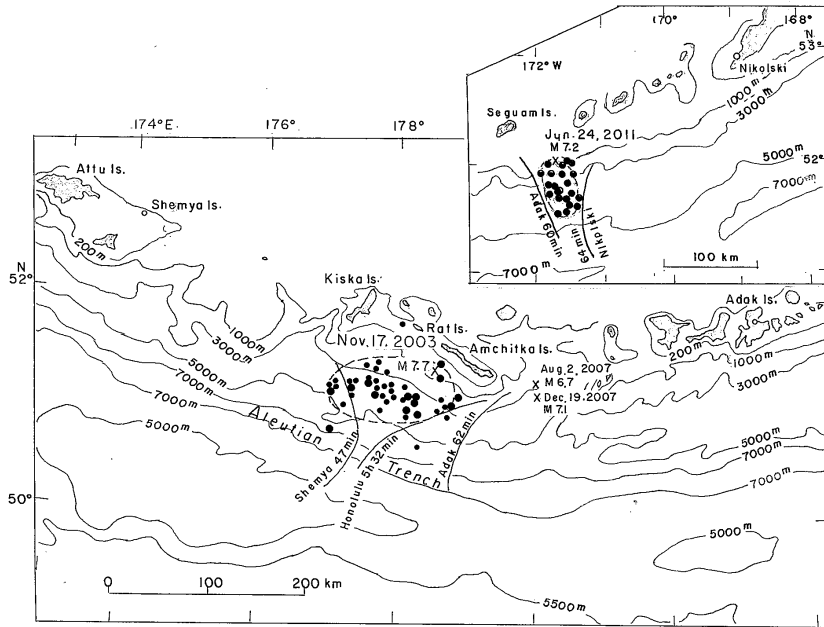


図3 2003年, 2011年アリューシャン津波の推定波源域と余震分布.

図4には1946年以降, アリューシャン列島における波源域分布 (Hatori, 1981; 羽鳥, 1988, 1998) に, 今回の波源域を加えて示す。発生年に地震と津波のマグニチュード  $M/m$  を付記した。1986年と1996年の波源域

は1957年津波 ( $m=3$ ) の波源域内でアダック島付近にあった。2003年津波の波源域はそれより西方のアムチカ島沖で, 1965年津波 ( $m=3$ ) の波源域内に, 2011年津波の波源は1957年津波の波源域内に位置する。

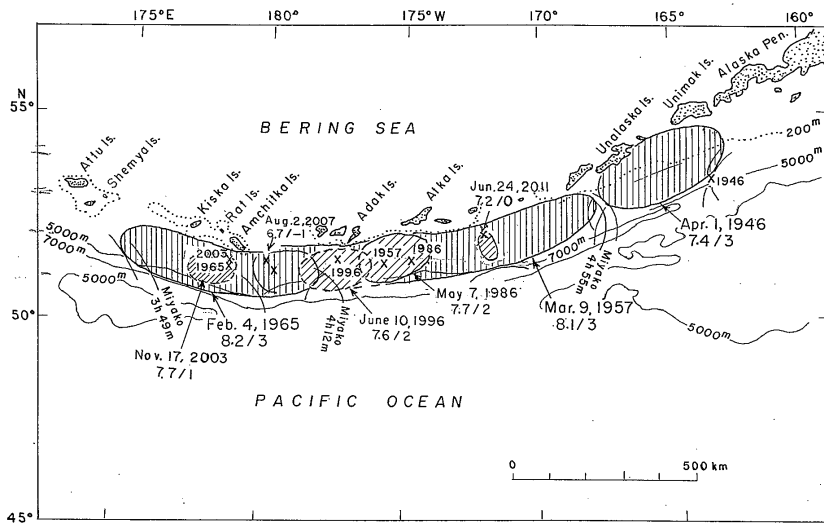


図4 アリューシャン列島の津波波源域分布 (1946-2011) 発生年に地震と津波のマグニチュード  $M/m$  を示す

### 3. 津波の規模

図 5 には、筆者の方法 (羽鳥, 1979) による津波マグニチュードの判定図 ( $\Delta$ -H 図) を示す。横軸に震央距離  $\Delta$ , 縦軸には最大波の片振幅値をとる。津波マグニチュードは、波高が距離  $\Delta^{-1/2}$  で減衰するとみなし、2.24 倍の刻みで区分してある。さきに 1946 年, 1957 年アリューシャン津波と 1964 年アラスカ津波の振幅値を  $\Delta$ -H 図を示し (Hatori,

1981), マグニチュードを判定した。図 5 には、5 例の津波の振幅値を示す。各マグニチュード値は 1965 年津波は  $m=3$ , 1986 年, 1996 年津波は  $m=2$  と判定した (羽鳥, 1988, 1998)。

2003 年津波の振幅値 (黒丸) は大幅にばらつくが  $m=1$ , 2011 年津波は  $m=0$  と判定され、両津波ともハワイの振幅値が突出している。地震の規模と比べ、2003 年津波は小さく、2011 年津波は標準的である。

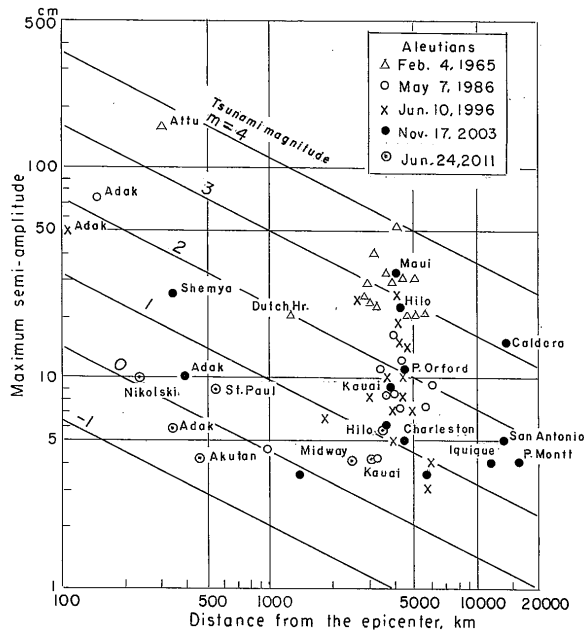


図 5 津波の最大片振幅値と震央距離の関係  
津波マグニチュードで区分

### 4. 太平洋域の波高偏差

Table 1 には、2003 津波のデータを加え、アリューシャン・アラスカ津波のカタログ (Cox and Pararas Carayannis, 1976) と検潮記録 (Spaeth and Berkman, 1965) から、太平洋各地の遡上高 (または最大波の片振幅値) およびマグニチュードの偏差値を示す。なお波高データに、カムチャツカ・千島列島 (Soloviev, 1978) と日本での観測値 (Hatori, 1965; 羽鳥, 1988, 1998) を補足した。今回の津波では、日本の記録は報告されていな

い。津波マグニチュードの偏差値とは、マグニチュード判定図 (図 5) において、1 箇所の観測点で求めたマグニチュード値  $m'$  と多数観測点の平均マグニチュード  $m$  (各津波のマグニチュード値) との差を表す。距離による波高の減衰効果を除いて、指向性の地域差を見るものである。なお、遡上高については、1/2 の高さを片振幅値として取り扱った。マグニチュード偏差  $m' - m$  について、1 階級の差は波高で約 2 倍、3 階級差では平均波高より 10 倍ほど大きい。

以上、各地域のマグニチュード偏差の分布

Table 1. Wave-heights of the Aleutian-Alaska tsunamis and deviation values from the average tsunami magnitude.

Tide station	Apr. 1, 1946		Mar. 9, 1957		Mar. 27, 1964		Feb. 4, 1965		Nov. 17, 2003	
	$m=3$		$m=3$		$m=4$		$m=3$		$m=1$	
	H	$m'-m$	H	$m'-m$	H	$m'-m$	H	$m'-m$	H	$m'-m$
	m		m		m		m		m	
Attu			0.6	0.1	0.4	-0.6	3.2	0.6		
Shemya							10	3	0.26	0.5
Adak			4	0.2	0.3	-0.9			0.1	-0.5
Dutch Harbor			0.7	0.2	0.4	-1.1	0.2	-1		
Unimak	30	2.6								
Kodiak			0.2	-0.7	6.1	0.8	0.1	-1.5		
Cordova					4.2	-0.3				
Yakutat	0.33	-0.2	0.4	0.3	2.2	0				
Sitka	0.39	0.1	0.43	0.5	1.9	0.3				
Neah Bay	0.18	-0.5	0.2	-0.2	0.85	0.2				
Astoria			0.1	-1	0.5	-0.5				
Charleston									0.05	0.1
Port Orford									0.11	1
Crescent City	1.11	1.9	0.7	1.5	6.3	2.6				
San Francisco	0.3	-0.2	0.28	0.4	1.3	0.9				
Santa Cruz	3.5	2.4								
San Luis	1.32	2.2								
Los Angeles			0.44	1	0.6	0.1				
Ensenada			0.6	1.5	>1.4	1.1				
Acapulco			0.3	0.8	0.6	0.3				
Acajutla					0.2	-0.9				
Puntarenas			0.1	-0.5	0.2	-0.9				
Bahia Soland					0.4	0				
La Libertad	0.7	1.1	0.4	1.3	0.6	0.5				
Talara	0.5	2	0.5	1.3	0.57	0.5				
Callao			0.2	0.5	1.1	1.4				
San Juan					1.1	1.4				
Arica			1.3	2.8	1.1	1.5				
Iquique									0.04	0.3
Antofagasta	0.9	2.5			0.5	0.5				
Caldera									0.15	2.1
Valparaiso	0.75	2.2	1.2	2.8	0.9	1.2				
San Antonio									0.05	0.7
Talcahuano			0.9	2.5	1.7	1.9				
Puerto Montt									0.04	0.5
Midway			0.4	0.3	0.1	-2.2				
Kauai	2.5-13.5	3.8	16	3.7			1.1	0.2	0.09	0.7
Oahu	0.5-10.5	3.6	7	3.2						
Honolulu	0.62	1.1	0.6	0.9	0.5	-0.2	0.1	-1.1	0.04	-0.3
Maui	2.5-10	3.7	3.6	2.3	3.7	1.4			0.33	2.2
Hilo	8	3.5	4.2	2.6	2.1	0.7	0.3	0.3	0.22	1.8
Jonston Is.			0.1	-1.1	0.2	-1.2				
Wake Is.			0.4	0.5	0.15	-1.5				
Christmas Is.			0.4	0.7	0.1	-2			0.04	-0.2
Kwajalein			0.3	0.2	0.1	-1.9				
Guam			0.1	-1	0.1	-1.8				

Table 1. (continued)

Tide station	Apr. 1, 1946		Mar. 9, 1957		Mar. 27, 1964		Feb. 4, 1965		Nov. 17, 2003	
	$m=3$		$m=3$		$m=4$		$m=3$		$m=1$	
	H	$m'-m$	H	$m'-m$	H	$m'-m$	H	$m'-m$	H	$m'-m$
	m		m		m		m		m	
Petropavlovsk					0.06	0	0.08	-2.3		
Shumshu Is.					0.7	0.3	0.2	-0.8		
Paramushir Is.					0.8	0.4	0.1	-1.7		
Etorofu Is.					0.7	0.4	0.15	-1		
Kunashiri Is.					0.75	0.5	0.15	-0.9		
Hanasaki	0.15	-0.6	0.25	-0.2	0.36	-0.4	0.21	-0.4		
Kushiro			0.11	-1.2	0.42	-0.2				
Hakodate			0.17	-0.6	0.38	-0.4	0.17	-0.2		
Hachinohe	0.2	-0.2	0.14	-0.8	0.6	0.2	0.48	0.6		
Miyako	0.17	-0.4	0.1	-1.2	0.14	-1.6	0.1	-1.3		
Ofunato					0.75	0.5	0.38	0.3		
Ayukawa	0.56	1.1	0.28	-0.5	0.26	-0.8				
Onahama			0.16	-0.6	0.35	-0.4	0.2	-0.4		
Choshi	0.05	-1.9	0.25	-0.1	0.36	-0.3				
Kushimoto	0.35	0.5	0.48	0.8	0.45	0	0.55	1		
Tosa-Shimizu			0.34	0.4	0.24	-0.7	0.36	0		
Aburatsu			0.22	-0.1	0.39	-0.1	0.32	0.4		
Naze					0.2	-0.9	0.4	0.8		
Hirara					0.2	-1.2				

H: Maximum run-up height or semi-amplitude.  
 $m'$ : Tsunami magnitude estimated by the observation station.  
 $m$ : Average magnitude (Hatori, 1981 and present study).

は図 6 のようになる。アリューシャン列島では、セーミヤ島、ウニマク島で偏差値が局地的に突出しているが、そのほかの島では平均値以下である。米国カリフォルニア州での偏差値が比較的大きい。クレセントシティでは、1964 年アラスカ津波で市街地が甚大な浸水被害に見舞われ (首藤, 2003), 偏差値は 2.6 に達した。津波のシミュレーション解析で、指向性が検証されている (今村・他, 1987)。メキシコでの偏差値は 1 階級大きい地点もあるが、中米では平均値以下である。南米のエクワドル・ペルーの偏差値は 1—2 階級大きく、チリでは各津波とも 2—3 階級

も上回っている。

一方、ハワイ諸島では 1946 年津波で大被害を出して、偏差値は 3 階級以上に達し、そのほかの津波でも大きい。しかし、グアム、ウエーク、ミッドウェーなど中部太平洋諸島の偏差値は、平均値またはそれ以下であった。日本では、1965 年津波の偏差値が平均値以上であり、波源域が南西方向に向いて、指向性を受けたことを示唆する。それに対して、1964 アラスカ津波など西経域で発生した津波では、偏差値は平均値またはそれ以下になっている。

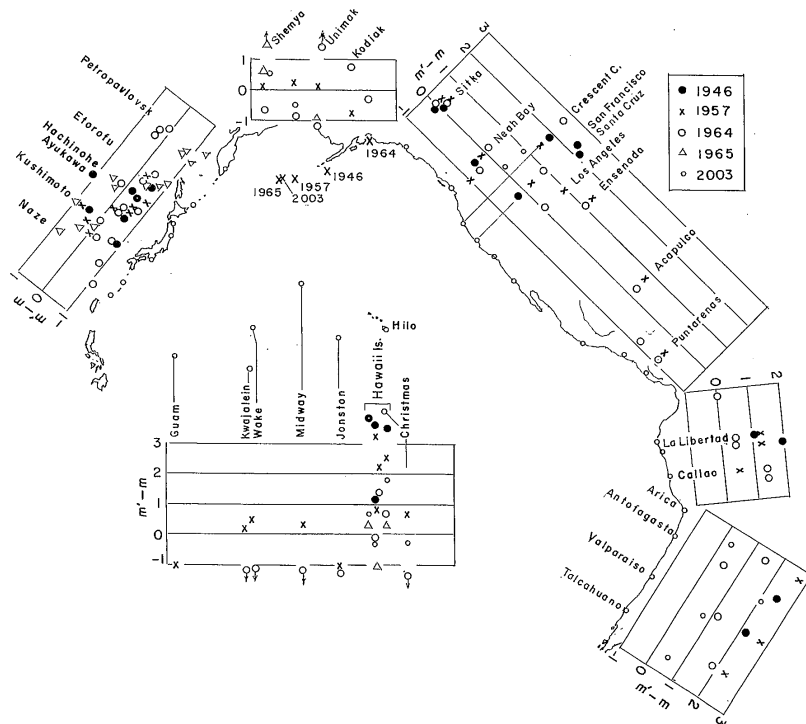


図 6 アリューシャン・アラスカ津波によるマグニチュード偏差 ( $m' - m$ ) 分布  
 $m'$ : 観測 1 地点での津波マグニチュード,  $m$ : 平均マグニチュード値

### 5. むすび

WC/ATWC の観測値をもとに、2003 年 11 月 17 日、2011 年 6 月 24 日のアリューシャン津波の規模を解析した。津波の逆伝播図と余震分布を参照すると、2003 年津波の波

源域は水深 3000 m 等深線に沿って長さ 130 km、2011 年津波は南北方向に 60 km、それぞれ大規模な 1965 年、1957 年津波の波源域内に推定された。Δ-H 図によれば、津波マグニチュードは 2003 年津波  $m = 1$ 、2011 年津波は  $m = 0$  と判定され、地震の規模と比べ 2003

年津波は小さい。

一方, 5例のアリューシャン・アラスカ津波について, 太平洋各地の波高データから, 平均津波マグニチュードを基準に各地の波高偏差の地域性を検討した。その結果, 米国カリフォルニアと南米チリでのマグニチュード偏差は2—3階級(波高にして5—10倍)大きい。ハワイ諸島の偏差値は3階級以上に突出している。日本では, 1965年津波による偏差値がやや大きく, そのほかの津波では平均値またはそれ以下になり, 指向性の効果は比較的小さい。

## 謝辞

本解析にあたり, 東大地震研究所院生(2003年当時)の室谷智子さんから, 2003年ラット地震の余震データを戴いた。記して感謝します。

## 参考文献

- Cox, D.C., and G. Paras-Carayannis, 1976: Catalog of tsunamis in Alaska, World Data Center A, NOAA, Report SE-1.
- Hatori, T., 1965: On the Aleutian tsunami of February 4, 1965, as observed along the coast of Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Vol. 43 pp. 773-782.
- 羽鳥徳太郎, 1979: 津波の規模階級とエネルギーとの関係, *地震研究所彙報*, Vol. 54, pp. 531-541.
- Hatori, T., 1981: Tsunami magnitude and source area of the Aleutian-Alaska tsunamis, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Vol. 56, pp. 97-110.
- 羽鳥徳太郎, 1988: 日本沿岸におけるアリューシャン津波の様相—1986年5月7日の津波

を中心に, 東北大津波防災実験所研究報告, No. 5, pp. 1-14.

羽鳥徳太郎, 1998: 日本沿岸における1996年6月10日アリューシャン津波の様相, *地震* 2, Vol. 51, pp. 75-82.

Hatori, T., 2005: Distribution of cumulative tsunami energy from Alaska-Aleutians to western Canada, K. Satake (ed.), *Tsunamis: Case studies and Recent Developments*, 193-201. 2005 Springer.

今村文彦・後藤智明・首藤伸夫, 1987: 遠地津波に対する伝播計算の検討—1964年アラスカ津波の外洋伝播計算, *東北大津波防災実験所研究報告*, No. 4, pp. 61-100.

ITIC, 2003: Rat Islands, Aleutian Islands 17 November 2003, *Tsunami Newsletter*, Vol. 35 (5).

ITIC, 2007: Andreanof Islands, Aleutian Islands, 2 August 2007, 03:22 UTC, Mw 6.7, *Tsunami Newsletter*, Vol. 39 (3).

Johnson, J.M., 1999: Heterogeneous coupling along Alaska-Aleutians as inferred from tsunami, seismic, and geodetic inversions, *Advances in Geophysics*, Vol. 39, pp. 1-116, Academic Press.

Soloviev, S.L., 1978: Principal tsunami data in the Pacific coast of USSR, 1737-1976, *Acad. Nauka, Moskva*, 136pp. (in Russian).

Spaeth, M.G. and S.C. Berkman, 1965: The tsunami of March 28, 1964 as recorded at tide stations, USGS, Rockville, Maryland 20852.

首藤伸夫, 2003: 米国クレセント市における1964年アラスカ津波, *津波工学研究報告*, No. 20, pp. 61-99.

山中佳子, 2003: 11月17日アリューシャンRat島の地震(Ms7.3), *EIC地震学ノート*, No. 143.