

日本近海における津波マグニチュードの特性

羽 鳥 徳太郎*

1. はじめに

地震の規模と津波マグニチュードとの関係が、Iida (1956) によって初めて提示され、津波の観測データが震源メカニズムの情報に導入される契機となった。以後、津波の規模と断層運動との関連が検討されている。例えば、地震の規模と比べ、日本海の津波のマグニチュードが太平洋側の津波より上回ることが、断層の鉛直変位量から議論され (羽鳥, 1979a; Abe, 1985), また伝播距離の係数が相違することが示された (渡辺, 1995)。津波マグニチュードが異常に大きい津波地震が、発生件数の10~20%にのぼるといふ指摘がある (渡辺, 1994)。

筆者 (羽鳥, 1979b, 1986) は、津波の検潮記録から波高-震央距離図で津波マグニチュード (今村・飯田スケール, m) を定量的に区分し、津波エネルギーと関連づけた。本稿では過去約100年間 (1894-1995) に、日本近海で発生した大小133個にのぼる津波の観測データをもとに、津波マグニチュードと地震との関係、地域性を再検討し、最大波高との関連を考察する。

一方、津波の波高値から地震のモーメント・マグニチュードに相当するニュースケール M が提案され (Abe, 1983), その改良スケール M_0 (Watanabe, 1993; 渡辺, 1995) が示された。そこで従来からの津波マグニチュード, m スケールとの関係を比較検討してみた。

2. 津波マグニチュードの偏差分布

表-1は、過去100年間 (1894-1995) に日本近海で発生した津波のリストを示す。ここで M は地震の気象庁マグニチュード, m は津波マグニチュードを表す。波高は観測された最大値を示し, m 単位の波高値は平均海面上の遡上高, cm 単位のものは検潮記録上の最大全振幅値を示す。

津波マグニチュード m は、検潮器で観測された波高が震央からの距離 Δ^{-1} で減衰するとみなし、今村・飯田スケールで区分され、次の経験式 (羽鳥, 1986) で表された。

$$m = 2.7 \log H + 2.7 \log \Delta - 4.3$$

(単位 H : m , Δ : km)

ここで H は検潮記録上の最大全振幅値, Δ は震央から観測点までの海洋上の最短距離をとる。規模スケールは波高を2.24倍 (エネルギーにして5倍) の刻みで区分され, 0.5の間隔で求めた m 値を表-1に示した。

以上の観測データをもとに、津波の発生域を南千島~東北地方、関東~沖縄、日本海の3区域に分け、 M と m との関係を示したのが図-1である。ここで太い破線は経験式 (羽鳥, 1979b)

$$m = 3.03M - 21.73$$

を表し、細い点線は $M \pm 0.2$ の範囲を示した。主な観測値に示す数字は、津波の発生年である。地域別に観測データを分けてみると、過去100年間に南千島~東北地方沖で発生した津波数が、著しく多いことが改めて理解できよう。津波地震による1896年三陸津波と1984年鳥島近海津波のデータが、著しく突出している。また地震の規模と比べ、日本海側では津波マグニチュードの偏差が上回るものが多い。

*元東京大学地震研究所

表-1 日本近海で発生した津波の規模 (1894-1995)

年 月 日	波 源 域	マグニチュード			波 高
		M	m		
1894. 3. 22	根 室 沖	7.9	2.5	N	色 丹 島 3 m
1896. 1. 9	鹿 島 灘	7.0	0	N	鮎 川 28cm
1896. 6. 15	三 陸 沖	6.8	3.5	H	綾 里 白 浜 38m
1897. 2. 20	宮 城 県 沖	7.4	0	L	大 船 渡 1 m
1897. 8. 5	"	7.7	2	N	大 船 渡 3 m
1898. 4. 3	山 口 県 見 島	6.2	-1	H	見 島 40cm
1898. 4. 23	宮 城 県 沖	7.2	-1	L	鮎 川 20cm
1899. 11. 25	日 向 灘	7.1	-1	L	細 島 32cm
1901. 6. 15	岩 手 県 沖	7.0	0	N	田畑に浸水
1901. 6. 24	奄 美 大 島 沖	7.5	1	N	細 島 24cm
1901. 8. 9	青 森 県 東 方 沖	7.2	0	N	宮 古 60cm
1901. 8. 10	"	7.4	0	L	鮎 川 50cm
1911. 6. 15	奄 美 大 島 沖	8.0	1.5	L	加 計 呂 麻 島 3 m
1915. 11. 1	宮 城 県 沖	7.5	0	L	志 津 川 90cm
1918. 9. 8	ウ ル ッ プ 島 沖	8.2	3	N	ウ ル ッ プ 島 12m
1918. 11. 8	" (余震)	7.9	2	N	父 島 50cm
1923. 6. 2	茨 城 県 沖	7.3	-1	L	鮎 川 32cm
1923. 9. 1	関 東	7.9	2	N	熱 海 12m
1923. 9. 2	" (余震)	7.3	-1	L	房 総 洲 崎 30cm
1925. 5. 23	北 但 馬	6.8	-1	N	久 美 浜 1 m
1927. 3. 7	丹 後	7.3	0	N	丹 後 半 島 1.5m
1927. 8. 6	宮 城 県 沖	6.7	-1	N	塩 釜 15cm
1927. 8. 19	房 総 沖	6.9	-1	N	銚 子 30cm
1928. 5. 27	岩 手 県 沖	7.0	-1	N	石 巻 25cm
1931. 3. 9	青 森 県 東 方 沖	7.6	-1	L	八 戸 39cm
1931. 11. 2	日 向 灘	7.1	-1	L	室 戸 85cm
1933. 3. 3	三 陸 沖	8.1	3	N	綾 里 白 浜 29m
1933. 6. 19	宮 城 県 沖	7.1	-1	L	八 戸 18cm
1935. 7. 19	茨 城 県 沖	6.9	-1	N	小 名 浜 18cm
1935. 10. 13	三 陸 は る か 沖	6.9	-1	N	八 戸 33cm
1935. 10. 18	"	7.1	-1	L	八 戸 20cm
1936. 11. 3	宮 城 県 沖	7.5	0	L	女 川 90cm
1938. 5. 23	茨 城 県 沖	7.0	0.5	H	小 名 浜 83cm
1938. 6. 10	宮 古 島 近 海	7.7	1	N	平 良 1.5m

年 月 日	波 源 域	マグニチュード			波 高
		M	m		
1938.11. 5	福 島 県 沖	7.5	1	N	小 名 浜 107cm
1938.11. 5	"	7.3	0	N	塩 釜 112cm
1938.11. 6	"	7.4	1	N	鮎 川 126cm
1938.11. 7	"	6.9	0	H	鮎 川 125cm
1938.11.14	"	7.0	0	N	小 名 浜 71cm
1938.11.22	"	6.9	-1	N	小 名 浜 29cm
1938.11.30	"	6.9	-1	N	女 川 18cm
1939. 3.20	日 向 灘	6.5	-1	H	室 戸 80cm
1939. 5. 1	男 鹿 半 島	6.8	-1	N	土 崎 27cm
1940. 8. 2	積 丹 半 島 沖	7.5	2	H	利 尻 島 3 m
1941.11.19	日 向 灘	7.2	1	H	油 津 1 m
1943. 6.13	青 森 県 東 方 沖	7.1	-1	L	八 戸 60cm
1944.12. 7	東 南 海	8.0	2.5	N	新 鹿 10m
1945. 1.13	三 河 湾	6.8	-1	N	蒲 郡 65cm
1945. 2.10	青 森 県 東 方 沖	7.1	-1	L	八 戸 35cm
1946.12.21	南 海 道	8.1	3	N	串 本 袋 6.6m
1947.11. 4	留 萌 沖	6.7	1	H	利 尻 島 2 m
1948. 4.18	南 紀 沖	7.0	0	N	印 南 60cm
1952. 3. 4	十 勝 沖	8.2	2.5	N	仙 鳳 跡 6.5m
1952. 3.10	" (余震)	6.8	-1	N	八 戸 30cm
1953.11.26	房 総 沖	7.5	2	H	銚 子 外 川 3 m
1956. 3. 6	網 走 沖	6.3	-1	H	網 走 40cm
1958.11. 7	エトロフ島沖	8.1	2	N	エトロフ島 5 m
1959. 1.22	福 島 県 沖	6.8	-1	N	鮎 川 45cm
1959.10.26	"	6.8	-1.5	N	鮎 川 11cm
1960. 3.21	岩 手 県 沖	7.2	0.5	N	女 川 1 m
1960. 3.23	"	6.7	0	H	鮎 川 27cm
1960. 7.30	"	6.7	-1.5	N	久 慈 18cm
1961. 1.16	茨 城 県 沖	6.8	0	H	小 名 浜 45cm
1961. 1.16	"	6.4	0	H	小 名 浜 40cm
1961. 1.16	"	6.5	-1	H	小 名 浜 36cm
1961. 2.13	北 海 道 東 方 沖	7.0	-0.5	N	色 丹 島 1 m
1961. 2.27	日 向 灘	7.0	0	N	土 佐 清 水 96cm
1961. 7.18	屋 久 島 沖	6.6	-0.5	H	土 佐 清 水 20cm

年 月 日	波 源 域	マグニチュード			波 高	
		<i>M</i>	<i>m</i>			
1961. 8.12	釧 路 沖	7.2	-1	L	花 咲	14cm
1961.11.15	釧 路 沖	6.9	-1	N	花 咲	13cm
1962. 4.12	宮 城 県 沖	6.8	-0.5	N	鮎 川	50cm
1962. 4.23	広 尾 沖	7.0	-1.5	L	広 尾	12cm
1963. 2.13	台 湾 沖	7.2	-1	L	花 蓮	40cm
1963.10.12	エトロフ島沖	6.3	-2	N	Kurilsk	5 cm
1963.10.13	" (本震)	8.1	3	N	ウルップ島	5 m
1963.10.20	" (余震)	7.2	2	H	ウルップ島	15m
1964. 5. 7	男鹿半島沖	6.9	-0.5	N	深 浦	90cm
1964. 6.16	新 潟 県 沖	7.5	2	H	府 屋	6 m
1964. 7.24	シンシル島沖	7.0	-1	N	マ ツ フ 島	15cm
1964.12.11	秋 田 県 沖	6.3	-2	N	深 浦	10cm
1965. 6.11	色 丹 島 沖	7.2	-0.5	N	花 咲	8 cm
1966. 3.13	与 那 国 島 沖	7.8	0	L	石 垣 島	20cm
1968. 1.29	色 丹 島 沖	6.9	0	H	花 咲	26cm
1968. 4. 1	日 向 灘	7.5	1.5	N	高 知 浦 尻	3.1m
1968. 5.16	十 勝 沖	7.9	2.5	N	大 槌 湾	5.7m
1968. 5.16	" (余震)	7.5	1	N	宮 古	104cm
1968. 6.12	" (余震)	7.2	1	H	鳥 ノ 越	156cm
1969. 4.21	日 向 灘	6.5	-1	H	室 戸	20cm
1969. 8.12	色 丹 島 沖	7.8	2.5	N	色 丹 島	5 m
1970. 7.26	日 向 灘	6.7	-0.5	H	土 佐 清 水	44cm
1971. 8. 2	襟 裳 岬 沖	7.0	-0.5	N	広 尾	30cm
1971. 9. 6	サハリン南西沖	6.9	1	H	サハリン西岸	2 m
1972. 2.29	八丈島東方沖	7.1	0.5	H	布 良	30cm
1972.12. 4	"	7.2	1	H	串 本	48cm
1973. 6.17	根 室 半 島 沖	7.4	2	H	浜 中	4.5m
1973. 6.24	" (余震)	7.1	0.5	N	花 咲	108cm
1974. 5. 9	南 伊 豆	6.9	-2	L	御 前 崎	20cm
1974. 9.27	根 室 沖	6.6	-1	N	花 咲	35cm
1975. 6.10	色 丹 島 沖	7.0	1.5	H	色 丹 島	5.5m
1976. 1.21	エトロフ島沖	6.5	-1	H	エトロフ島	18cm
1978. 1.14	大 島 近 海	7.0	-1	N	大 島 岡 田	68cm
1978. 3.23	エトロフ島沖	7.0	0	N	花 咲	26cm

年 月 日	波 源 域	マグニチュード			波 高	
		M	m			
1978. 3.25	エトロフ島沖	7.3	1	N	花 咲	40cm
1978. 6.12	宮 城 県 沖	7.4	0.5	N	気 仙 沼	120cm
1979. 2.20	三陸はるか沖	6.5	-0.5	H	鳥 ノ 越	24cm
1980. 2.23	根 室 沖	6.8	-1	N	花 咲	22cm
1980. 6.29	伊豆東方沖	6.7	-1.5	N	大 島 岡 田	56cm
1981. 1.19	宮 城 県 沖	7.0	0	N	釜 石	37cm
1982. 3.21	浦 河 近 海	7.1	0	N	浦 河	156cm
1982. 7.23	茨 城 県 沖	7.0	0	N	鮎 川	36cm
1982.12.28	三宅島近海	6.4	-0.5	H	八 丈 島	40cm
1983. 5.26	日本海中部	7.7	3	H	峰 浜 村	15m
1983. 6.21	" (余震)	7.1	0.5	N	吉 岡	98cm
1984. 3.24	エトロフ島沖	7.1	0	N	花 咲	19cm
1984. 6.13	鳥 島 近 海	5.9	0	H	八 丈 島	1.5m
1984. 8. 7	日 向 灘	7.1	-1	N	室 戸	23cm
1984. 9.19	房 総 沖	6.6	0	H	八 丈 島	24cm
1986.11.15	台 湾 沖	7.8	1	L	花 蓮	200cm
1989.10.29	三陸はるか沖	6.5	-1	H	久 慈	25cm
1989.11. 2	"	7.1	1	H	久 慈	105cm
1990. 2.20	大 島 近 海	6.5	-2	N	布 良	32cm
1990. 9.24	東海はるか沖	6.6	-1	N	神 津 島	30cm
1991.12.22	ウルップ島沖	6.8	1	H	花 咲	22cm
1992. 7.18	三陸はるか沖	6.9	0	N	田 老	105cm
1993. 2. 7	能 登 沖	6.6	-0.5	H	輪 島	50cm
1993. 7.12	北海道南西沖	7.8	3	H	奥 尻 島	32m
1994. 4. 8	三陸はるか沖	6.6	-1	N	大 船 渡	20cm
1994.10. 4	北海道東方沖	8.1	3	N	色 丹 島	10m
1994.12.28	三陸はるか沖	7.5	1.5	N	久 慈	170cm
1995. 1.17	兵庫県南部	7.2	-1.5	L	淡 路 深 日	65cm
1995.10.18	喜界島近海	6.7	1	H	喜 界 浦 原	3 m
1995.10.19	"	6.6	0	H	喜 界 浦 原	1.6m
1995.12. 4	エトロフ島沖	7.2	1	H	花 咲	34cm

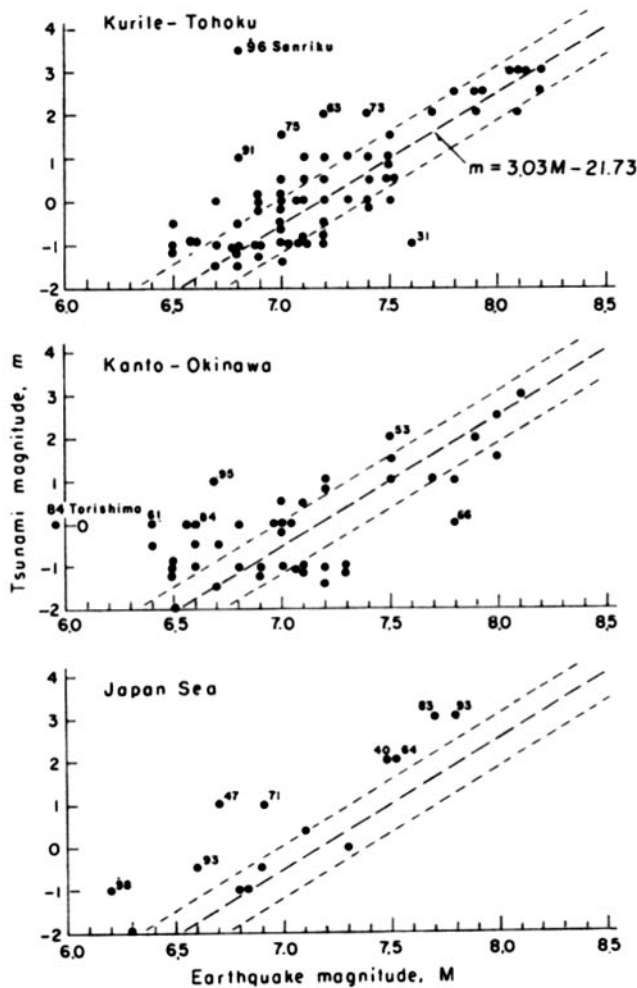


図-1 地域別、地震マグニチュード M と津波マグニチュード m との関係

図-1において、津波マグニチュードが点線で示す $M \pm 0.2$ 範囲内におけるものを、地震の規模と比べて標準的とみなしてNとする。また津波マグニチュードが上回るものをH、下回るものをLと区分して表-1に示した。その地理的な偏差値分布は図-2のようになる。太平洋側の津波では、 $M 8$ クラスの地震による津波のマグニチュードは、おおむね標準的な規模になっている。しかし、海溝付近で発生する津波のマグニチュードは、標準以上のものがある。北海道東方沖～南千島の地震は、発生数の27%の津波が標準のマグニチュードよりも大きく、三陸沖では18%になる。津波地震はこの中に含まれ、海溝沿いに

発生している。

一方、日本海側の地震では、津波マグニチュードの偏差値が大きいものが62%もある。これらの地震は、沿岸域で震度5～6が記録されており、津波地震ではない。しかし、津波が高角断層で起こされるものが多く、底角断層のものに比べて海底面の鉛直変位が大きくなり、津波波高が2倍程度上回る。

奄美大島沖津波は地震の規模と比べて多様である。1995年10月喜界島近海地震では、予想外の津波が海岸に遡上した。それに対して、台湾沖地震による津波は、前報(羽鳥, 1994)で示したように、平均以下の規模のものが多い。

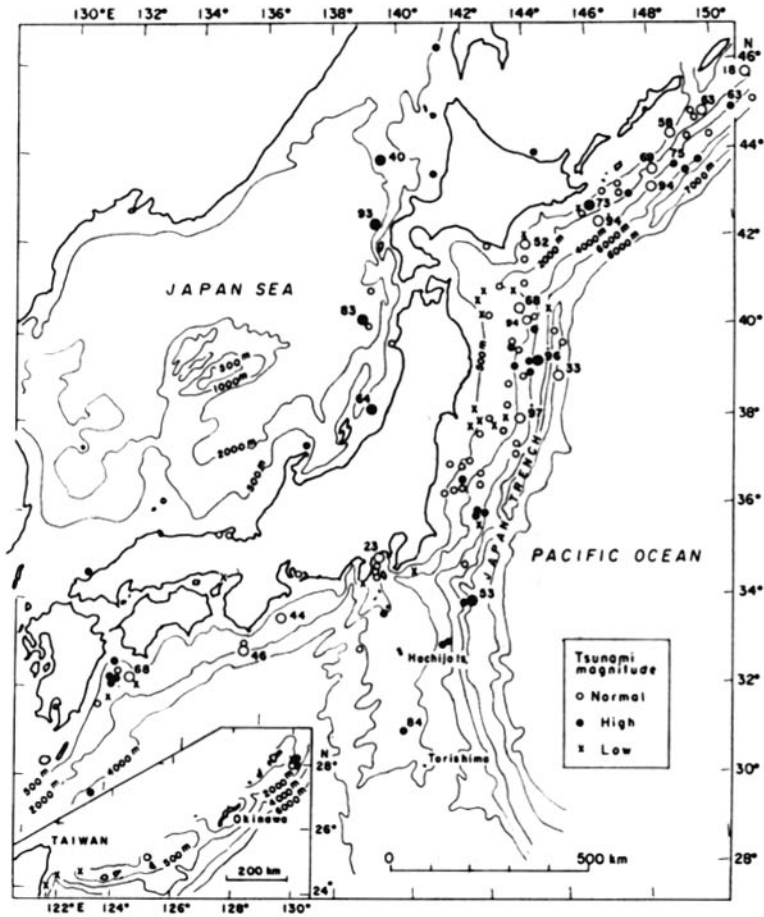


図-2 地震の規模で区分した津波マグニチュードの偏差値分布 (1894-1995)

3. 津波・地震のマグニチュードと最大波高

津波マグニチュードは、遠隔地の波高観測値を含めて判定されるが、波源域に近い沿岸で、局地的に波高がマグニチュードの平均値より突出することがある。とくに地震の発生時には、地震のマグニチュード M から最大波高を予測することは、防災上きわめて重要である。

表-1に示す観測データをもとに、津波マグニチュードと最大波高 H との関係を見ると図-3のようになる。ここで、波源域に面した沿岸での波高分布から得た、次の経験式(羽鳥, 1986)を太い破線で示す。

$$\log H = 0.37m - 0.11$$

細い点線は、 $m \pm 0.5$ の範囲を示した。その結果、観測値はほぼ点線内にあり、太平洋と日本海側の津波とで差が出ていない。しかし、低周波性の津波地震による津波(二重丸)の波高が突出している。なお、八丈島東方沖・南千島津波の波高値が著しく小さいものは、波源付近の観測値が得られていないためである。以上の経験式は、中南米・アリューシャンなど環太平洋で発生した、津波のデータを加えて得た式(羽鳥, 1995)とほとんど差がない。

一方、地震のマグニチュード M と最大波高 H との関係(図-4)は、地震の深さや断層運動の条件で観測値が大幅にバラつく。 $m \sim$

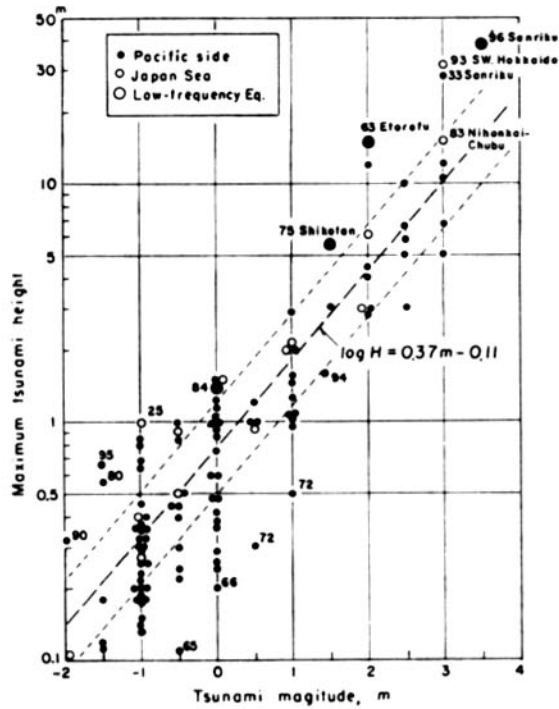


図-3 津波マグニチュード m と最大波高の関係

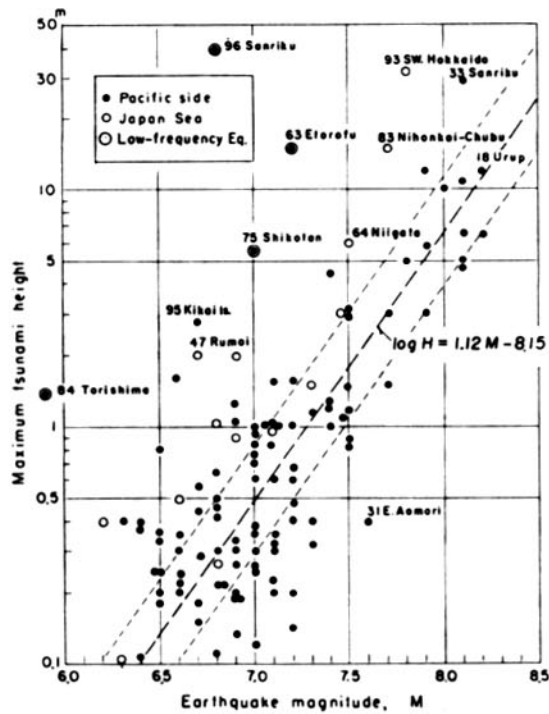


図-4 地震マグニチュード M と最大波高の関係

M 式と $m \sim H$ 式から m を消去すると、太い破線で示す次式を得る。

$$\log H = 1.12M - 8.15$$

細い点線は、 $M \pm 0.2$ の範囲を示した。日本海側の津波（白丸）は、上式より波高値が上回る傾向がみられる。とくに、 $M7.0$ 前後の低周波地震による津波では、波高値が平均より10倍を超えるものがある。

4. m と M_i スケールの関係

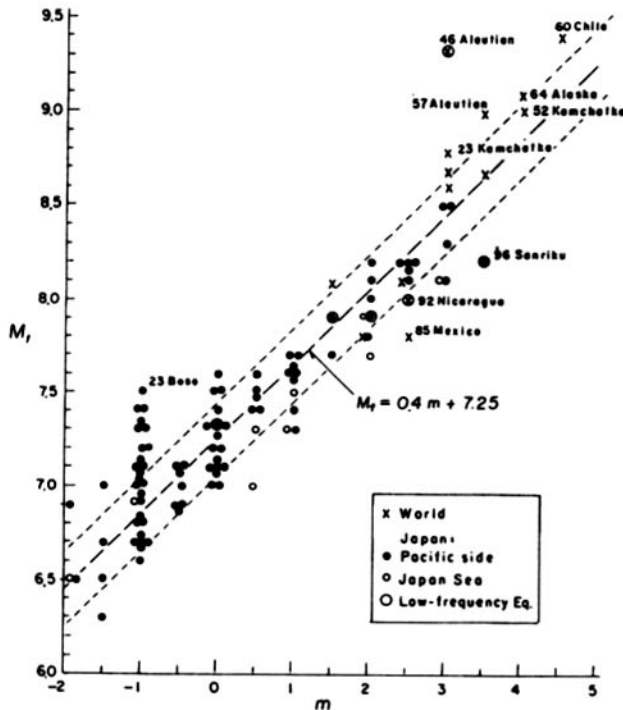
津波マグニチュード M_i と M_0 スケールは、波高の観測データをもとに、断層運動の大きさに関連づけて作られ、地震のモーメント・マグニチュード M_0 に対応する数値で示された。環太平洋の主な巨大地震（Abe, 1983）と、1894年以降日本周辺で発生した地震の規模が、 M_i スケールで格付けられている（阿部, 1988）。

そこで今村・飯田スケールで表す津波マグニチュード m と、 M_i との関係をみると図一

5のようになる。なお、 M_0 スケール（渡辺, 1995）との比較は、 M_i 値と近似しているのが省略する。ここで太い破線は経験式（渡辺, 1984）を表し、細い点線で $m \pm 0.5$ の範囲を示した。大多数の津波マグニチュードは、点線内に入っている。外国の津波の多くは、 M_i 値が大きく、津波地震による1946年アリユーション津波の値が突出している。その他の津波地震の M_i 値はほぼ平均的であるが、日本海側の津波では下限値になるものが多い。

5. むすび

過去約100年間（1894-1995）に、日本近海で発生した133個の津波のマグニチュードと地震の規模との関係および地域性を検討した。 $M8$ クラスの地震に伴う津波は、地震の規模に見合う標準的なマグニチュード（ $m2.5 \sim 3$ ）のものが多い。しかし南千島～三陸沖間で発生した56例の地震のうち、約24%の津波



図一5 津波マグニチュード m と M_i スケールの関係

のマグニチュードが平均値を上回っている。日本海側の13例の地震では、津波マグニチュードの上回るものが62%にのぼり、地震の規模と比べ波高が2倍程度高い。またM7前後の低周波地震で、最大波高が平均値より10倍を超えるものがある。最近、P波から地震のマグニチュードを求める手法が試みられているが(例えば吉田・横田, 1994), 津波地震の判別も重要な課題であり、併せて期待したい。

参 考 文 献

- Abe, K., 1983 : A new scale of tsunami magnitude M . Tsunamis-Their Science and Engineering, Edited by K. Iida and T. Iwasaki, Proc. Inter. Tsunami Symp. of IUGG Tsunami Comm., TERRAPUB (Japan), pp.91-101.
- Abe, K., 1985 : Quantification of major earthquake tsunamis of the Japan Sea, Phys. Earth Planet. Inter. Vol.38, pp.214-223.
- 阿部勝征, 1988 : 津波マグニチュードによる日本付近の地震津波の定量化, 東大地震研究所彙報, Vol.63, pp.289-303.
- 羽鳥徳太郎, 1979a : 北海道の歴史津波, 月刊海洋科学, Vol.11(1), pp.13-22.
- 羽鳥徳太郎, 1979b : 津波の規模階級とエネルギーとの関係, 東大地震研究所彙報, Vol.54, pp.531-541.
- 羽鳥徳太郎, 1986 : 津波の規模階級の区分, 東大地震研究所彙報, Vol.61, pp.503-515.
- 羽鳥徳太郎, 1994 : 台湾・フィリピン・インドネシアにおける津波規模の特性, 地震2, Vol.47, pp.155-162.
- 羽鳥徳太郎, 1995 : 中米における津波規模の特性, 津波工学研究報告, 東北大学工学部, No.12, pp.67-74.
- Iida, K., 1956 : Earthquakes accompanied by tsunamis occurring under the sea off the islands of Japan, J. Earth Sci., Nagoya Univ., Vol. 4, pp. 1-43.
- 渡辺偉夫, 1984 : 改訂津波表から得られる日本および周辺における津波発生の特徴, 地震2, Vol.37, pp.607-619.
- Watanabe, H., 1993 : Amplitude coefficient of maximum tsunami by traveling distance and tsunami magnitude, Proc. of IUGG/IOC Inter. Tsunami Symp. Wakayama, pp.271-276.
- 渡辺偉夫, 1994 : 日本および世界で発生した津波地震の分布, 月刊地球, Vol.16(2), pp.91-96.
- 渡辺偉夫, 1995 : 日本近海で発生した津波のマグニチュード決定式の地域性, 地震2, Vol.48, pp.271-280.
- 吉田康宏・横田崇, 1994 : P波から決めたマグニチュード, 日本地震学会講演予稿集, No.2, p.11.