

伊豆半島における地震及び歪の観測

梅田 康弘・小泉 誠・斎田 市三

SEISMIC AND STRAIN OBSERVATIONS ON THE IZU PENINSULA

By Yasuhiro UMEDA, Makoto KOIZUMI and Ichizo SAIDA

Synopsis

The crustal activities in and around the Izu peninsula have been remarkably since 1972 off Izu-peninsula earthquake. The earthquake swarms have frequently occurred northeast area of the peninsula. The crustal movement in this area has been continuously upheaved since 1975.

Strain variations and seismic waves have been recorded at Kawazu and Yugashima observation stations from 1980 and 1982, respectively. During 1991 and 1992, strain and seismic sensors and recording systems at two stations were replaced by new types. This systems are introduced in this paper.

Most big event was the 1986 Izu-oshima eruption. A strain meter at Yugashima showed a good correlation with the cumulative discharge of magma. Broad-band seismometers recorded many precursory phases. We found the important relation that the duration time of precursory phase is proportion to the earthquake magnitude.

1. は じ め に

1969年5月の地震予知連絡会において、南関東（特に房総半島から三浦半島にかけて）の異常隆起が報告された。1973年には Sholtz et al¹⁾ がダイラタンシーモデルを提唱し、南関東一帯の異常隆起は M7 クラスの地震発生の可能性を示すものであること、また地震予知には地震波の速度比 (V_p/V_s) の変化の観測が有効であることを指摘した²⁾。全国大学の地震移動観測班は協力し関東一帯で地震波速度変化の検出を試みたが、残念ながら当時の観測精度では、その変化を検出することが出来なかった。

一方、伊豆半島とその周辺では1974年伊豆半島沖地震発生以来、**Fig. 1** に示すような地震が相次いで発生した。また伊豆半島中北部から東部にかけての異常隆起は1975年頃から始まり現在もなお進行している。この間この地域ではおびただしい群発地震が発生している。1986年11月には伊豆大島三原山の大噴火、1989年7月には伊豆東方沖の海底が噴火するなど伊豆半島とその周辺における地殻変動は極めて異常な状態が続いている。

1978年には、いわゆる東海地震に対する対策法も講じられ、当地域にける観測強化が急務となった。これに伴い我々の観測手法もそれまでの臨時観測から長期間の連続観測に切り換えるべく、1979~1980年に河津町、1982年に湯が島町に観測室を建設した。その後10年を経過し観測計器も旧式となったこともあり、1991~1992年には両観測室の測定機器やシステムを更新した。以下にその概要を報告する。

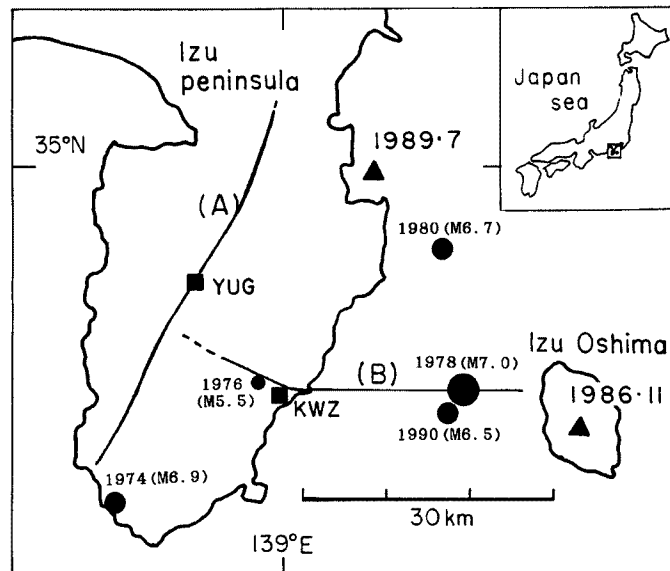


Fig. 1. A map showing observation sites (■), earthquake epicenters (●) and eruption points (▲). (A) and (B) are the tectonic line and earthquake fault of the 1978 near Izu-oshima earthquake (M 7.0), respectively.

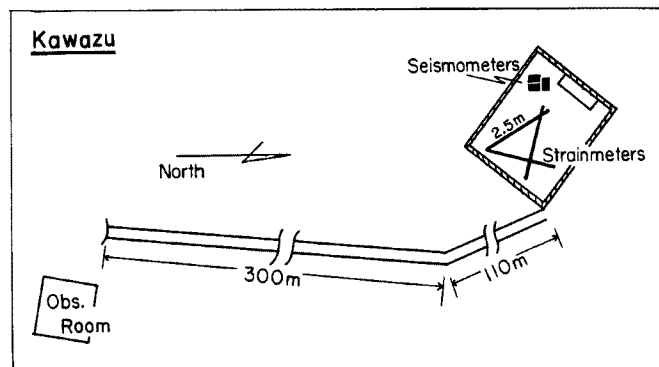


Fig. 2. A plane view of the observation vault at Kawazu.

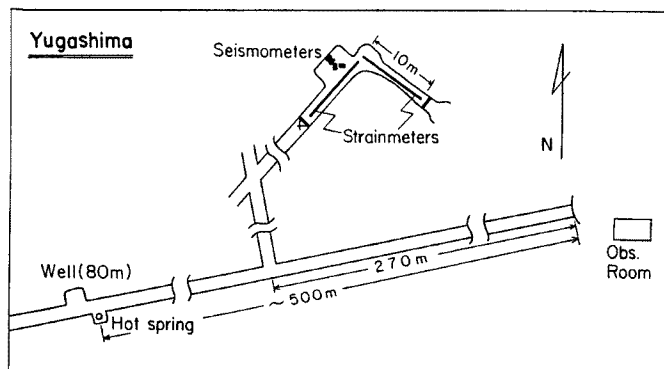


Fig. 3. A plane view of the observation vault at Yugashima.

2. 観測点の概要

Fig. 1 に (A) と示したのは伊豆半島を縦断するテクトニックラインである。これより東側でのテクトニックストレスの方向は北西—南東に対し、西側のそれはほぼ南北である³⁾。同図中 (B) は1978年伊豆大島近海地震の断層である。この断層は伊豆半島に上陸する辺りから方角を変え、テクトニックライン (A) と直交するように伊豆半島中央部に向かう。(A) と (B) の交叉する付近は広義の余震活動や誘発地震が発生することから「伊豆半島内の特異点」と呼ばれ、破砕が集中的に起こっている所と考えられている⁴⁾。湯が島と河津の2観測点はこの特異点を挟む位置にある。

河津観測室は凝灰岩を切り出した跡を借用している。1991年までの歪計 (長さ 2.5 m) は坑壁に貼りつけていたが、いくつもある坑口からの空気の入りを止めることができず、歪に対する気温変化の影響が大きかった。1991年には大きな石室の一部を断熱材で囲み、Fig. 2 に示すように 3.6 m × 3.0 m の部屋を作った。この凝灰岩のポロシティは16%と大きいので気温変化の影響を受けやすいと思われる。一方降雨の影響はほとんど無い。

湯が島 (Fig. 3) は金鉱山の廃坑を借用している。鉱脈は N50°W が卓越し、これに平行な破砕帯も多くみられ、降雨の影響は大きい。坑奥から 35°C 程度の温泉が湧き出ており、1989年頃まで温度測定を行っていたが、坑内落盤のため温度センサーの保守ができず、現在は中止している。同様の理由で深井戸の温度測定も中止している。

3. 歪変化の観測

歪用センサーは直径 10 mm のスーパーインバール (S・I) 棒を用い、相対変位摘出には差動トランスを使っている。検出部を Photo. 1 に示した。S・I 棒の両端の固定は次のようにした。まず整地した床面に直径 39 mm 深さ 100 mm のボーリングをし、上部 200~400 mm はさらに直径 50 mm の拡大ボーリングをする。このボーリング坑に、薄く接着用セメントを塗った直径 30 mm のステンレス製固定棒を打ち込む。こうすることによって、上部 200~400 mm は床面からフリーになるので、その分表面の影響を受けにくい。検出部のステンレス製ベース (70 mm × 130 mm) は写真に見るように、固定棒に唯一点で支持されている。

S・I 棒の中間支持はローラである。有感地震でも棒がずれたりしないように、ローラの中央部に、直径 10 mm の曲率を持たせた深さ 1 mm の溝が切り込んであり、S・I 棒はそこにはまるようになっている。

河津は断熱室を作る必要上、長い歪計の設置は困難であり長さ 2.5 m の3方向歪計を設置した。湯が島は直交する坑道2方向を利用して、長さ 10 m の2方向歪計と長さ 1 m の縦方向歪計算を設置した。気温と気圧

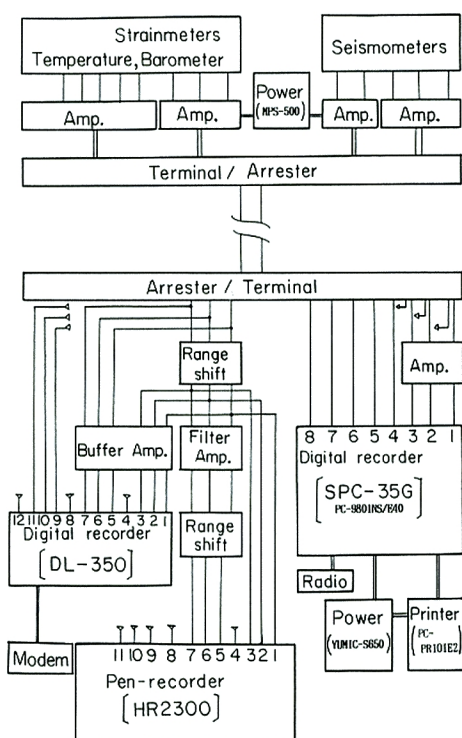


Fig. 4. Block diagram of observation system.

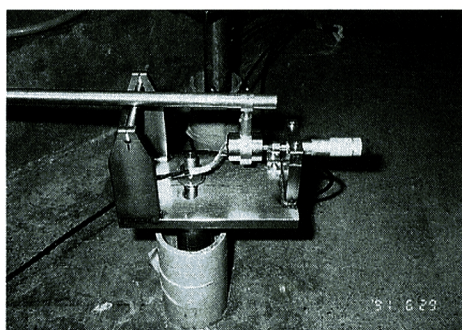


Photo. 1. Sensor portion of strain meter.

は両観測点とも測定しているが、雨量はその影響の大きい湯が島のみで計測している。

観測システム全体のブロック図を Fig. 4 に示した。記録はデジタル収録と打点式可視記録の2系統ある。前者は1時間1回の粗いサンプリングで感度も低いが、長期間をコンパクトに見るには都合良い。公衆回線を用いて阿武山観測所へデータ伝送できるようになっている。実際には1986年から1990年まで運用したが、1990年に京都大学の地震予知研究センターが発足してから、受量側の人的配置の変更もあって、現在は休止している。ペンレコーダの記録紙は1時間 10 mm で送られており、感度もブロック図に見るようにレンジシフト—フィルター付アンプ—レンジシフトのようにして高感度記録も行っている。記録システムは河津も湯が島もほぼ同じである。デジタルレコーダ DL-350 とペンレコーダ HR2300 のチャンネル構成及び測定感度等は Table 1 と 2 に示した。

Table 1. Recording items and sensitivity of digital recorder (DL-350)

Kawazu				Yugashima			
CH	Recording items	Range	Sensitivity	CH	Recording items	Range	Sensitivity
1	Strain, N30° W-Low	±5 V	2×10^{-6} strain/V	1	Strain, N42° E-Low	±5 V	1×10^{-6} strain/V
2	Ditto, N15° E-Low	Ditto	Ditto	2	Ditto, N56° W-Low	Ditto	Ditto
3	Ditto, N75° W-Low	Ditto	Ditto	3	Ditto, Vertical-Low	Ditto	1×10^{-5} strain/V
4	Temperature	±1 V	10.8°C/V	4	Temperature	±1 V	10.8°C/V
5	Strain, N30° W-Middle	±100mV	2×10^{-6} strain/V	5	Strain, N42° E-Middle	±100mV	1×10^{-6} strain/V
6	Ditto, N15° E-Middle	Ditto	Ditto	6	Ditto, N56° W-Middle	Ditto	Ditto
7	Ditto, N75° W-Middle	Ditto	Ditto	7	Ditto, Vertical-Mid.	Ditto	1×10^{-5} strain/V
8	Barometer	±1 V	50 mHg/V	8	Barometer	±1 V	50 mHg/V
				17	Precipitation		5 mm/Count

Table 2. Recording items and sensitivity of pen-recorder (HR-2300)

Kawazu					Yugashima				
CH	Recording items	Color	Range	Sensitivity	CH	Recording items	Color	Range	Sensitivity
1	Strain, N30° W-Middle	Black	±100mV	8×10^{-8} str./25 mm	1	Strain, N42° E-Middle	Black	±100mV	4×10^{-8} str./25 mm
2	Ditto, N15° E-Middle	Brown	Ditto	Ditto	2	Ditto, N56° W-Middle	Brown	Ditto	Ditto
3	Ditto, N75° W-Middle	Red	Ditto	Ditto	3	Ditto, Vertical-Mid.	Red	Ditto	4×10^{-7} str./25 mm
4	Temperature	Orange	+0.6~+0.1	0.538°C/25 mm	4	Temperature	Orange	+0.3~-0.2	0.538°C/25 mm
5	Strain, N30° W-High	Yel-Gr	±100mV	1.6×10^{-8} str./25 mm	5	Strain, N42° E-High	Yel-Gr	±100mV	1.6×10^{-8} str./25 mm
6	Ditto, N15° E-High	Green	Ditto	Ditto	6	Ditto, N56° W-High	Green	Ditto	Ditto
7	Ditto, N75° W-High	Blue	Ditto	Ditto	7	Long Period Seis. -Z	Blue	±10 V	
8	Batometer	Purple	±1 V	10 mHg/25 mm	8	Barometer	Purple	±1 V	10 mHg/25 mm
9	Seismometer-X	Navy	±2 V	50 μ rad/25 mm					
10	Ditto-Y	Red-Pr	±2 V	50 μ rad/25 mm					
11	Ditto-Z	Black	±5 V						

4. 地震観測

1992年までは長周期地震計 ($T_0=5\sim 10$ s), 短周期地震計 ($T_0=1$ s) の2種類を用いて広帯域化をはかっていた。記録方式もアナログ磁気テープであったのを1992年に以下に述べるシステムに更新した。

地震計は村松式速度型強震計⁵⁾を採用し、河津はその3号機 (VS-3), 湯が島は1号機 (VS-1) を用いている。観測できる地動速度の上限は前者が 0.4 m/s, 後者が 1 m/s であり, 下限はいずれも 5×10^{-6} m/s ($500\ \mu\text{kine}$) 程度である。周波数特性は Fig. 5 に示したように3号機は600秒から1号機は50秒から 70 Hz までを

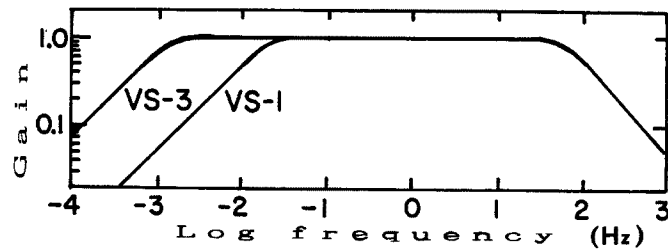


Fig. 5. Frequency response of seismometer.

Table 3. Recording condition of the SPC-35G

Used Channel	1~8 CH
Amp. Gain	$\times 2$
Sampling Freq.	100 Hz
High Pass Filter	0.0034 Hz
Record Range	5×10^{-3} m/s
Record Points	5000(50s)
Trigger	
Channel	1,2,3, CH
Condition	AND
Level	$2\%(2\times 10^{-5}$ m/s)
Delay	1000(10s)
File Name	KWZ or YUG
Print out	Yes

Table 4. Used sensor and sensitivity in the SPC-35G

Kawazu				Yugashima			
CH	Sensor	Comp.	Sensitivity	CH	Sensor	Comp.	Sensitivity
1	VS-3	X	1×10^{-3} V/m/s (10 V/kine)	1	VS-1	X	1×10^{-3} V/m/s (10 V/kine)
2	Ditto	Y	Ditto	2	Ditto	Y	Ditto
3	Ditto	Z	Ditto	3	Ditto	Z	Ditto
4	Ditto	X	25 V/m/s (0.25 V/kine)	4	Ditto	X	5 V/m/s (0.05 V/kine)
5	Ditto	Y	Ditto	5	Ditto	Y	Ditto
6	Ditto	Z	Ditto	6	Ditto	Z	Ditto
				7	1.0 sec.	Z	3×10^2 V/m/s (3 V/kine)
				8	10.0 S	Z	1×10^4 V/m

カバーしている。

記録装置はノート型パソコンを用いた東京測振社製の SPC-35G である。16ビット A/D 変換ボードと 40 MB のハードディスク付きである。記録の条件は河津・湯が島共ほぼ同じで **Table 3** に示した。トリガーレベルは 2×10^{-5} m/s (2 kine) 以上だから小地震は記録しないが、地震計の周期特性が長周期まで延びているので、遠方の大・中地震の表面波でしばしばトリガーがかかる。トリガー毎に波形を自動的にプリントアウトさせているので、それを見た上必要なデータをフロッピーディスクにコピーして回収することになっている。SPC-35G のチャンネル構成及び感度は **Table 4** に示した。なお関東・東海における広帯域強震観測は上記2観測点の他、伊豆長岡町と横須賀市でも行っている。記録方式は異なっており、前者はデジタル磁気テープ、後者は IC カードに収録している。

5. 歪の観測結果

(1) 噴火と歪

1986年の伊豆大島、三原山噴火の時、50 km 離れた湯が島での歪変化を **Fig. 6** に示す。同図の歪変化のすぐ下に噴出量⁶⁾も示した。噴火は同年11月15日から初まり、19日から21日正午すぎまではいったん停止し

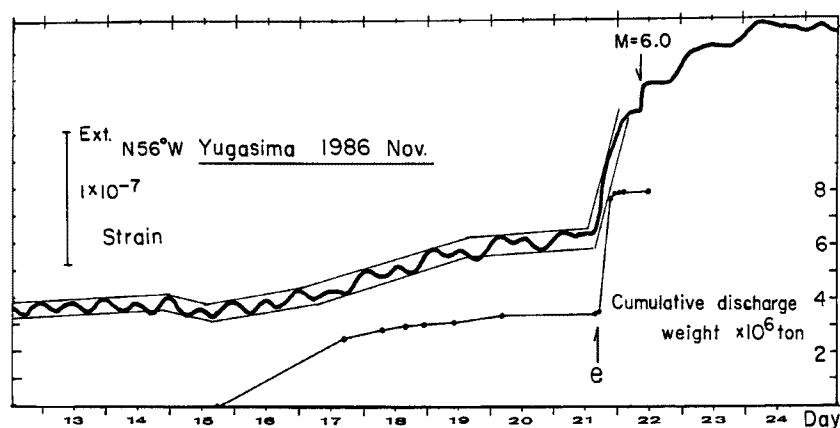


Fig. 6. Strain variation at Yugashima during the eruption of Izu-oshima. (after Umeda et al., 1991)

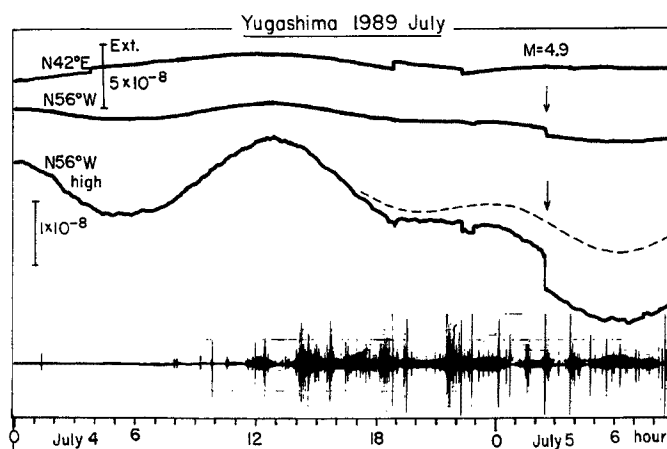


Fig. 7. Strain variation at Yugashima during the earthquake swarm. (after Umeda et al., 1991)

ていたが、21日14時から山腹噴火が初まった。図に見られるように、湯が島の N56°W の歪変化は噴出量と非常に良い相関がある。すなわち、噴出量の大きい時は歪は大きく伸び、噴出停止のときは伸び歪も止まっている。このことは噴火によって三原山直下の地殻応力が開放されたときに伸びが観測されることを示している。さらに大噴火の2時間前から伸びが観測されており⁷⁾、この時からマグマが上昇し応力開放がなされていたと思われる。

1989年7月に伊豆半島東方沖で、次に述べる群発地震に続いて海底噴火があった。このときは噴火に伴った歪変化は全く観測されなかった。海底噴火という劇的な現象ではあったが、地学的には小規模なものと考えられた⁷⁾。

(2) 群発地震と歪変化

当地域ではしばしば群発地震が発生しており、伊東市鎌田にある気象庁の観測点で (S-Ptime) ≤ 6 秒の地震回数が2000回を越えたのは、1977年～1989年の13年間に14回ある⁸⁾。その内2回は1978年伊豆大島近海地震と1980年伊豆半島東方沖地震である。他はすべて群発地震であり、当地域はいかに群発地震が多いかわ

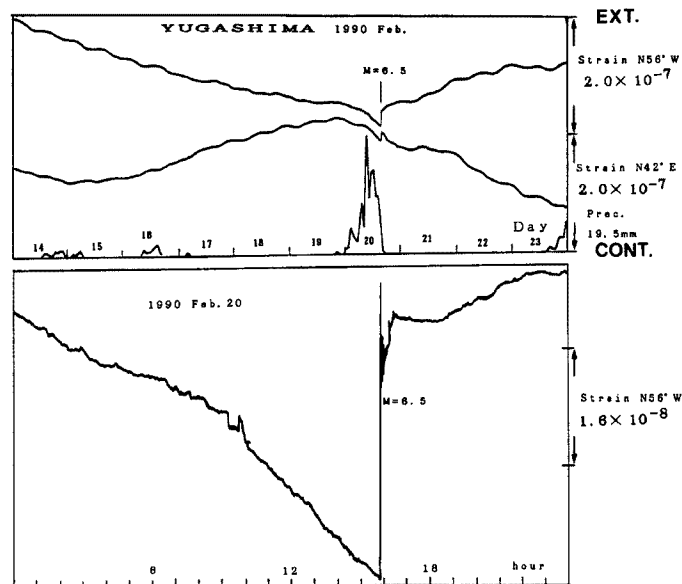


Fig. 8. Strain variation before and after the 1990 near Izu-oshima earthquake. (M 6.5)

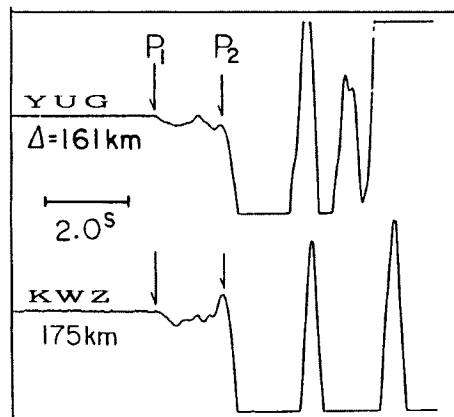


Fig. 9. Initial portions of vertical seismograms of the 1984 western Nagano earthquake (M 6.8)

かる。この中でも最大回数となったのは1989年6月30日～9月28日の25097回であり⁸⁾、この時の最大マグニチュードは5.5であった。湯が島の歪変化で、この群発地震の初まり付近を Fig. 7 に示した。図の最下段は短周期地震計による地震波形であり、黒くなっているのは地震がたて続けに発生したためである。7月4日8時頃から小さな地震が発生しはじめ、その日の午後急激に数が増えている。歪 N56°W の高感度は、もし何事もなければ点線で示した曲線のように地球潮汐を描きながら推移していく予定であった。相続く地震のためストレインステップを伴いながら、次第に縮みが進行していった様子がわかる。このように、群発地震の場合の歪変化は co-seismic なものが主で、前兆変化を検出することは難しい。

(3) 1990年伊豆大島付近の地震 (M 6.5) と歪

湯が島に歪計を設置し、高感度記録をはじめて以来、最も地殻で発生した最大の地震である。近くとは言え震央距離は 35 km あった。Fig. 8 に示したように、残念ながら前日からの雨の影響が大きく、前兆変化は観測することができなかった。ストレインステップは 3.2×10^{-8} に達した。

6. 地震の成長過程に関する基礎データ

大地震の波形を震源近くで記録することにより、地震の成長過程に関する研究を進めるのが、当地における広帯域強震観測の主な目的である。1984年長野県西部地震 (M 6.8) の湯が島と河津における記録から、P波の部分を拡大したものを Fig. 9 に示した。図中 P_1 , P_2 と示したように、この地震はマルチプルショックである。 P_1 から初まる小さな波は初期破壊によるものであるが、この地震以外にも主震ではしばしば観測される。非常に興味深いことは、初期破壊の継続時間は地震規模に比例することであり、Fig. 10 には他の地震例も合わせてこの事実を示した。この図の直線は、初期破壊の継続時間が長いほど結果として地震規模が大きくなることを示している。このような重要な観測事実を基に、UMEDA^{9),10)} は地震の成長過程に関する新しいモデルを提唱した。

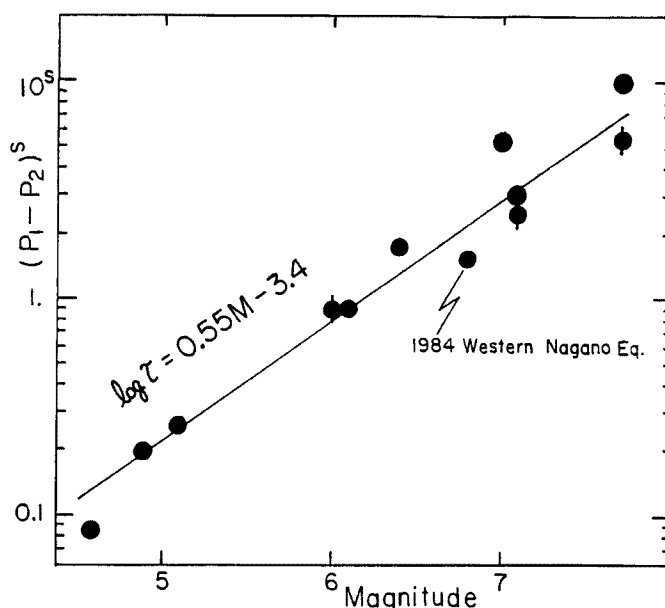


Fig. 10. Duration time of the preliminary phase as a function of earthquake magnitude. The base figure taken from Umeda (1992).

謝 辞

この観測研究は地震予知計画の一環である「南関東・東海地域総合観測研究」として実施しているものである。当地域における諸観測に関しては、土地の借用、観測の維持、管理について以下の各位に多大のご協力を戴いている。静岡県地震対策課、内外鉱業株式会社持越鉱業所、河津石材、伊豆長岡町温泉事業共同組合、渡辺栄様、森うら様。

又、防災研究所の職員、伊藤潔、浅田照行、中村佳重郎、伊藤勝祥、飯尾能久、渡辺邦彦、小泉尚嗣の各氏には観測室建設から保守に至るまで多方面にわたり多くの協力を戴いている。厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) Scholz, C. H., L. R. Sykes and Y. P. Aggarwal: Earthquake prediction; a physical basis, Science, 181, 1973, pp. 803-809.
- 2) 力武常次：ショルツ書簡，地震予知連絡会10年のあゆみ，1979, pp. 40-41.
- 3) 中野佳昭，杉田理，井口博夫，小林洋二：岩脈群からみた伊豆半島のテクトニクス，月刊地球，14, 1980, pp. 103-109.
- 4) 茂木清夫：伊豆一最近の地殻活動一，地震予知連絡会10年のあゆみ，1979, pp. 121-140.
- 5) 村松育栄：速度型強震計の製作，地震，30, 1977, pp. 317-338.
- 6) 遠藤邦彦，千葉達朗，谷口英嗣，隅田まり，太刀川茂樹，宮原智或，宇野リベカ，宮地直道：テフログロノロジーの手法に基づく1986～1987年伊豆大島噴火の経緯と噴出物の特徴，火山，33, 1988, pp. S 32-S51.
- 7) Umeda, Y., K. Ito and T. Asada: Changes in crustal strain and hot spring temperature as related to volcanic eruptions, J. Phys. Earth, 39, 1991, pp. 231-243.
- 8) 津村建四郎：伊豆半島付近の地震活動一主な活動時の対応一，月刊地球，140, 1991, pp. 78-86.
- 9) Umeda, Y.: High-amplitude seismic waves radiated from the bright spot of an earthquake, Tectonophysics, 175, 1990, pp. 81-92.
- 10) Umeda, Y.: The bright spot of an earthquake, Tectonophysics, 211, 1992, pp. 13-22.