

宮崎地殻変動観測所における地震観測

—観測点の特性と周辺地域の地震活動—

古 澤 保・寺 石 眞 弘

CHARACTERISTICS OF SEISMIC WAVES OBSERVED AT THE MIYAZAKI CRUSTAL MOVEMENT OBSERVATORY AND SEISMIC ACTIVITY AROUND THE HYUGANADA REGION

By *Tamotsu FURUZAWA and Masahiro TERAISHI*

Synopsis

At the Miyazaki Crustal Movement Observatory, the earthquake observations are being carried out by the short-period seismographs, in addition to the observations of ground-strain and ground-tilt, since Nov., 1976. In this paper, the frequency characteristics of P and S waves, the comparison of arrival times of P and S initial motion with the JMA standard travel-time table, and the seismic activities in the Hyuganada region are described.

1. は じ め に

宮崎地殻変動観測所 (131°26'2E, 31°48'4N) では1976年11月の観測開始以来地殻変動連続観測と共に固有周期1秒の短周期地震計3成分による微小地震観測を実施している。記録は煤書きドラム方式と合わせて1978年12月からはトリガー方式によるアナログ磁気テープへの集録も行っている。

日向灘地域は M 6.0 以上の地震が1885年以来30個発生しており¹⁾ 我が国でも大地震発生の頻度が高い地域である。この地域の地震活動については茂木^{2), 3)} その他による研究があるが、何れも M 6.0 以上の大地震に限られており、常時の地震活動特に微小地震の発生状況は明らかではない。現在当観測所では1点のみの観測であるため震源決定を行うことができないが、昭和59年度より開始される第5次地震予知計画に基き日向灘地殻活動総合観測線として地殻変動と地震の観測網が設定される予定である。したがって今後の観測網の拡大及び観測データの自動処理システムの作成や解析に際しての基礎資料とするために、現在得られている観測記録と気象庁による震源情報を用いて、観測点の特性並びに周辺地域の地震活動の特徴について調べた結果を述べる。

2. 観測システムと解析データ

観測所の位置、概略及び観測坑道内の計器の配置等については既に報告されている⁴⁾ ので、ここでは記録方式を主とする地震観測システムについて述べる。

固有周期1秒の短周期地震計3成分 (感度: 3 V/kine) の記録は1976年11月からの観測開始当初は煤書記録のみ、1978年12月からは煤書き連続記録とトリガー方式による磁気テープ並びにペン・レコーダーへの記録を併用している。煤書記録は観測当初から現在まで 90 μ kine/mm, 1 mm/sec と同一感度、同一送り速度で行っている。このため (F-P) 時間によるマグニチュードの決定、S-P 分布、地震の規模別頻度分布の解析には主として煤書記録を用いた。

Fig. 1 に現在稼動中の記録システムのブロック図を示す。地震計の出力はプリアンプで50倍に増幅された

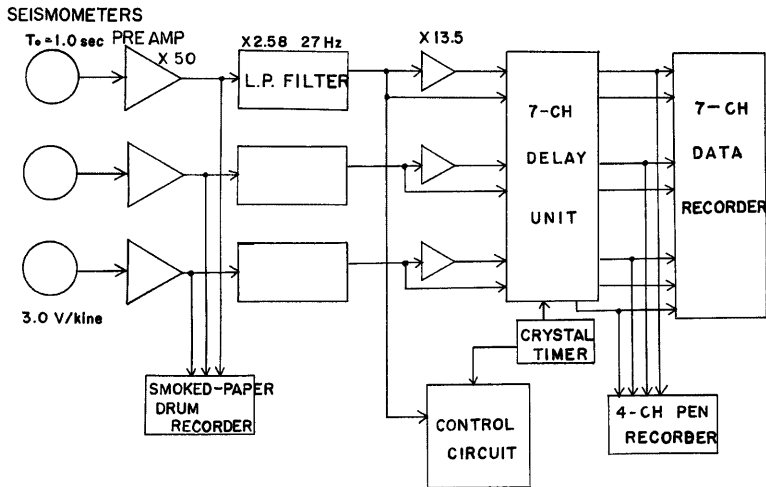


Fig. 1 Block diagram of short-period seismograph system

後、一部はローパス・フィルタを通して煤書記録として取出される。プリアンプの出力は 27.3 Hz のローパス・フィルタを経てさらに増幅して、8 ビット、200 Hz のサンプリングで AD 変換して 3072 ワードのシフトレジスタより成る 15.36 秒の遅延装置へ導かれ、その出力をデータレコーダーとペンレコーダーに記録する。遅延装置及びデータレコーダーは 7 ch あり、上下動並びに水平動 2 成分各々が 2 ch を使用し、1 つの ch の倍率を 1/13 に下げて記録することによってダイナミック・レンジを広げている。トリガー回路は上下動成分をローパス・フィルタの後から取出し、1 Hz LP, 1~5 Hz, 5 Hz HP の 3 つの周波数帯に分け、さらに振幅を 3 段階に分けて振幅レベルを判定し、集録時間、ペン・レコーダーの紙送り速度を制御している。

このようにして得られた磁気テープ記録は AD 変換した後周波数解析並びに particle motion による phase の識別に用いる。P 波、S 波の到着時刻の読取りにはペン・レコーダーの記録を使用した。

また現在地震観測は行っていないが、地殻変動の衛星観測点である槇峰観測室で、1981 年 7 月に約 1 ケ月間臨時観測を行った際の記録も比較のために使用した。

3. 観測点の特性

3.1 地震波形と周波数特性

宮崎地殻変動観測所で記録される地震波形は一般に得られる微小地震の波形に比べ非常に低周波である。また初動部分の particle motion を描かせると、直線性が非常に悪く P 波初動の到来方向の決定は殆ど不可能である。これは近畿地方の天ヶ瀬地殻変動観測所の地震波形の解析より得られている結果⁵⁾及び槇峰に於る結果と大きな相異を示す。Fig. 2, 3 に同じ地震の宮崎と槇峰で得られた地震波形と P 波初動部分及び上下動成分の S 波主要動部分のフーリエ・スペクトルの一例を示す。図の上部 3 成分が槇峰、下 3 成分が宮崎の波形を上から上下動、N-S, E-W の順に示す。スペクトルは破線が槇峰、実線が宮崎である。Fig. 2 は日向灘を震源とする $M=2.7$ 、深さ 50 km の地震で、槇峰から 98 km、宮崎から 79 km の距離にある。Fig. 3 は内陸部の深さ 10 km、 $M=2.4$ 、槇峰から 106 km、宮崎から 78 km の距離に震源を持つ地震である。何れも震源は JMA の地震月報に依る。それぞれの地震について宮崎の方が震源に近いにもかかわらずその

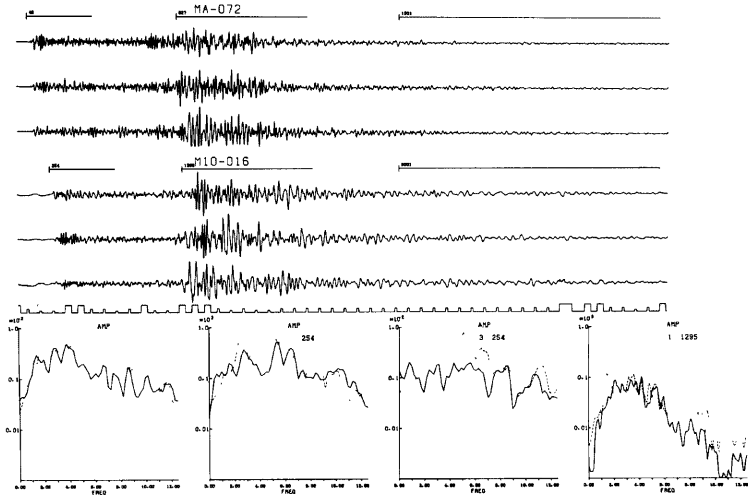


Fig. 2 Example of seismograms from earthquakes of Hyuganada and spectra observed at Miyazaki and Makimine

スペクトルは 2.5~4Hz 以上の高周波成分が大きく減衰していることがわかる。Fig. 3 の地震は宮崎の S 波の識別はやや困難であるが、S—P から判断して必ずしも宮崎の方が近いとは言えないが、高周波成分の減衰が特に顕著である。このような高周波成分の減衰特性は内陸部の深発地震の場合には顕著でないで、宮崎観測所周辺の地質構造に関連すると考えられる。また有感地震の際に観測所で感じられる震度が小さい傾向があり、地震工学の立場からも興味ある問題であり、今後詳しく検討する必要がある。

3.2 走時特性

現在計画中の地震観測網が完成した場合の震源決定をする際に問題になる速度構造を調べるため、JMA によって震源が求められている地震について市川・望月の走時表に基き P 波、S 波の初動の走時残差を求めた。

Fig. 4 は 1979~1983 年の震央距離 130 km 以下の地震について P 波初動の走時残差 (O—C) を深さ 50 km 毎に観測所からの方位に対してプロットしたものである。深さ 50 km 以下の浅い地震について 3 秒以上の遅れを示すものは、S—P 時間から見ると震源決定に問題があるようである。それらを除くと日向灘地域の地震に対してはほぼ標準走時表に適合する。観測所の西方の内陸部の地震に対しては約 1 秒の系統的な遅れが見られる。深さ 100 km 以上の地震の発生は内陸部に限られているが、系統的な遅れが明らかである。S 波に関してはデータ数が少なくなるが、P 波と同様の結果が得られる。

以上の傾向は震央距離の範囲を 300 km 程度まで拡げてみても殆ど変わらないが、観測所より N10°E~N40°E の方向から到来する波については P 波・S 波共顕著な遅れが存在する。Fig. 5 にこの方位の方向にある震央距離 300 km 以下の地震について P 波・S 波の初動の (O—C) 時間を示す。大きな遅れを示すのは震央距離 150 km 以上の地震で、瀬戸内海西部の周防灘周辺に震源を持ち、九州東海岸を海岸線に沿って伝播する波である。この遅れの原因が震源地域にあるのか、伝播経路にあるのかは明らかでない。

3.3 マグニチュード

煤書記録より振動継続時間 (F—P) を読み取り、JMA のマグニチュードと比較することによってマグニチュード決定の経験式を求めた。Fig. 6 に 1981 年 1 月~12 月の記録のうち S—P が 15 秒以下 (日向灘をカ

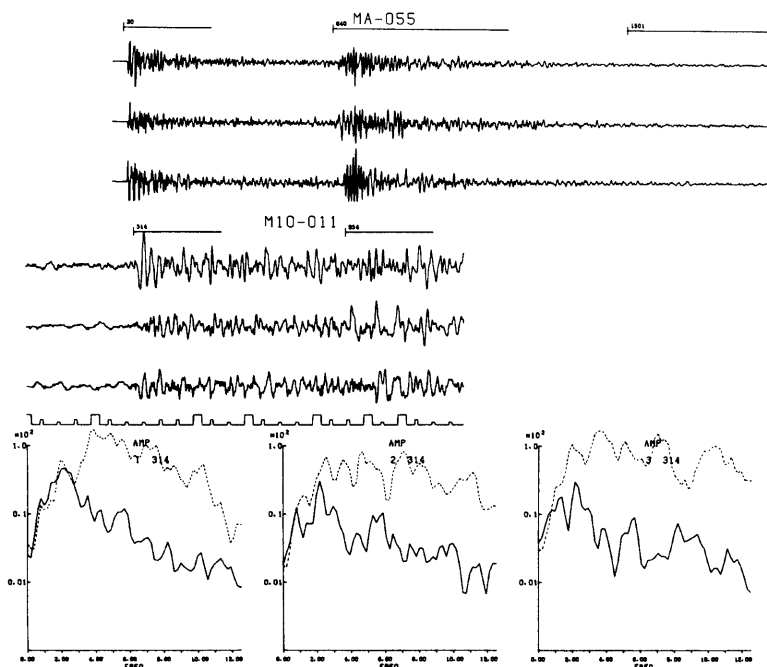


Fig. 3 Example of seismograms from earthquakes of the central Kyushu and spectra of P waves observed at Makimine and Miyazaki

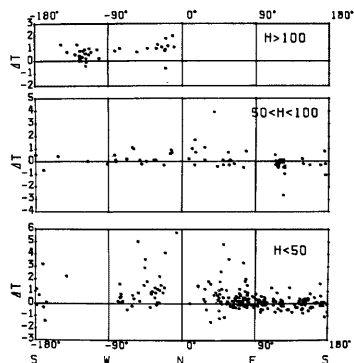


Fig. 4 Travel-time residual of P wave toward the epicentral azimuth from the Miyazaki obs

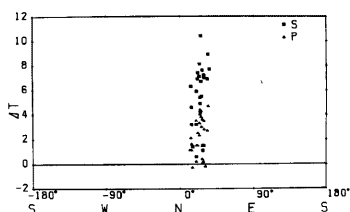


Fig. 5 Travel-time residual of P and S waves from earthquakes with the direction of N10°E to N40°E.

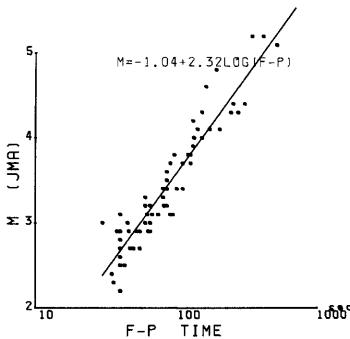


Fig. 6 Relation between the total duration of oscillation (F-P) and the magnitude determined by the JMA

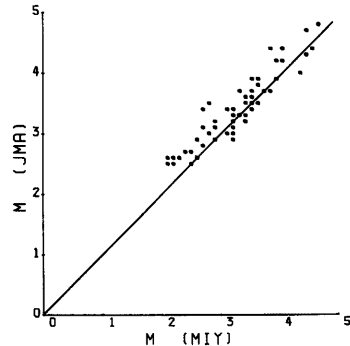


Fig. 7 Relation between M(JMA) and M(MIY)

パーする範囲)の地震について、JMA のマグニチュード M (JMA) が定まっている71個の (F-P) 時間と M (JMA) の関係を示す。この関係の最小二乗近似直線の式

$$M \text{ (MIY)} = -1.04 + 2.32 \log (F-P)$$

を宮崎観測所でのマグニチュード決定式とした。

次にこの式で求めた M (MIY) と M (JMA) を比較する。Fig. 7 に1982年1月～12月の73個の地震について求めた M (MIY) を横軸に、 M (JMA) を縦軸にプロットして示す。宮崎で決定したマグニチュードが若干小さいようであるが、一応この式をマグニチュード決定に用いることにした。

4. 地震活動

現在宮崎観測所では1点観測のため、独自で震源決定を行うことが出来ないので S-P 時間の頻度分布を求めて観測所周辺の微小地震活動を推定する。Fig. 8 は1977年から1983年までの煤書記録を用いて S-P 時間を読取ることができた地震のうち、ほぼ日向灘をカバーすると考えられる15秒以下の地震約3800個の S-P 時間の頻度分布を示す。6秒に最大のピークを有し、次いで10秒、5秒、8秒、12秒にもピークが存在する。煤書記録の紙送り速度は1mm/sec と遅いので、S-P 時間の読取精度は±1秒となりこれらのピークは必ずしも正確ではないが、この地域の地震が空間的に連続しているのではなく、いくつかのグループに分けられると考えてもよいであろう。S-P が3秒のものはその波形と発生時刻から工事に伴う発破と推定され、3秒以下の観測所近傍では殆ど地震が発生しなかったことになる。

次に若干大きな地震の地震活動と観測所で記録された微

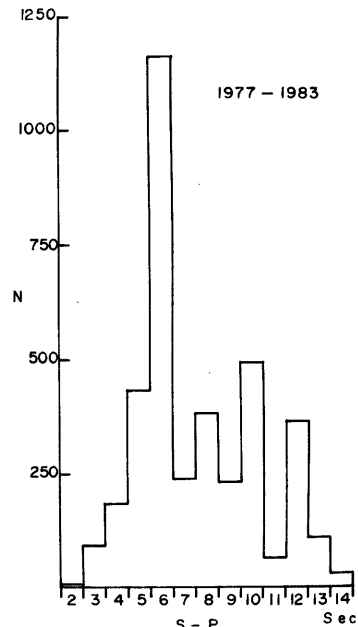


Fig. 8 Frequency distribution of S-P times of the earthquakes observed at Miyazaki Observatory

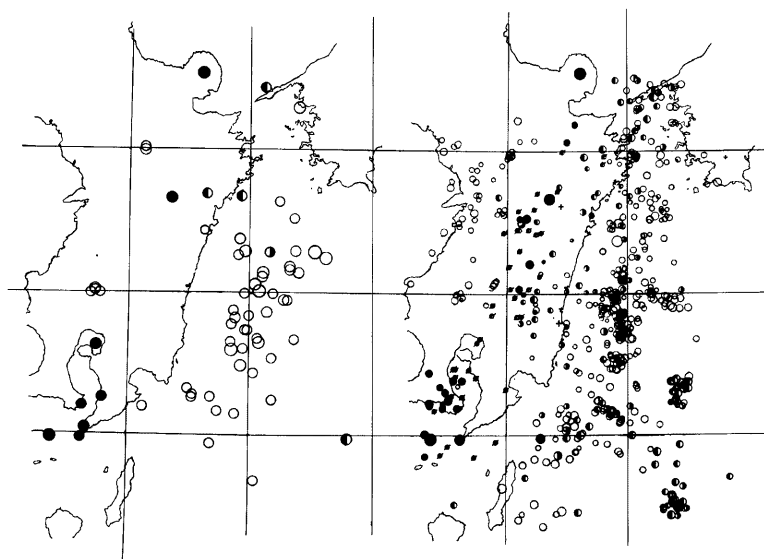


Fig. 9 Epicenters of earthquakes determined by JMA

Left: large earthquakes ($M \geq 5.5$) during the periods of 1926–1983

Right: earthquakes during 1977–1983

○: $H \leq 50$ km ●: $50 \text{ km} < H < 100$ km ●: $H \geq 100$ km

小地震の震源位置を推定するため、気象庁の地震月報に記載されている地震の震央分布を調べてみた。Fig. 9 の左図は1926～1983年の期間の $M \geq 5.5$ の地震をプロットしたものである（1926～1960年については「改訂日本付近の主要地震の表⁹⁾」による）。白丸は50km以下、黒丸は100km以上、半黒丸はその中間の深さの地震を表す。日向灘地域にかなり広い範囲にわたって浅い地震が分布している。内陸部ではえびの地域と阿蘇周辺にのみ浅い地震が発生している。また九州を縦断する線上に100km以上の深い地震が分布する。その中間部分にあたる海と陸の境界地域の観測所周辺には $M \geq 5.5$ の地震は全く発生していない。これらの地震の発生を海洋プレートの九州下部へのもぐり込みによって説明しようとする場合、この中間部分の空白を考察する必要があるであろう。

Fig. 9 の右図は宮崎観測所の観測期間に相当する1977～1983年の地震月報記載の地震について、内陸部の深発地震帯以東の日向灘地域の震央分布を深さ別、マグニチュード別を示す。記号は左図と同じである。最近7年間の地震の空間分布は過去60年間の大地震の分布とほぼ同じであるが、この期間に発生した $M \geq 5.5$ の浅い地震は1980年12月の日向灘北部の $M = 6.0$ のみである。一方深い地震は1983年8月の国東半島の $M = 6.8$ をはじめ4個発生しており、過去60年間に発生した8個のうち半分を占めている。このように大地震について日向灘地域で非常に少く、内陸部の深発地震の活動がやや活発化しているのが特徴的で興味深い。

より小さな地震に関しては日向灘中央部の 132°E , 32°N の周辺に最も多く集中しており、これは Fig. 8 の S-P 分布で最大のピークを示した6秒の地震に相当する。Fig. 9 では地震が重なり合って黒く見えるが、この地域の地震は殆ど全部50km以下の深さである。この地域の地震はマグニチュード3～4の大きさのものが、比較的平均的に月1回程度の割合で発生している。個々の地震に伴う余震活動は余り活発ではない。日向灘の北部では地震の数は少く、空間的に散らばって発生している。特に観測期間中の最大地震である

1980年12月の $M=6.0$ の地震はその周囲に地震が無く、観測所の記録の波形と $S-P$ から判断して余震とみなせる地震も殆ど無い完全な単発型である。また日向灘南東部の地震発生帯の最も外側の地域に深さ $50\sim 60\text{ km}$ の群発地震が発生している。即ち Fig. 9 の種子島東方の海域に1981年3月に2週間で $M=3.4\sim 4.9$ の地震が15個群発しているが、その前後にはこの地域に地震の発生は無い。さらにその北の海域でも1980年2月22日に4.9を最大とする $M=4$ クラスの地震が13個、その後1週間に21個、3月1日に4個発生し、その後全く無い。全体として海から内陸部へ向って震源が深くなっているのに、地震発生帯の最も海側の外側域でより深い震源を持つ群発地震の発生は非常に興味深い。

最近7年間で最も活動的な地域である $S-P$ が6秒近傍の地震の活動の特徴をみるため b 値を求めた。そのため $S-P$ が7秒以下の全ての地震について M (MIY) を決定し、その規模別頻度分布を求め Fig. 10 に示す。累積度数から直線になる $2\leq M\leq 5$ の範囲について最小2乗法で求め $b=0.78$ を得た。 b 値については多くの研究があり、日本各地域について求められているが^{(7),(8),(9)}、 $b=0.78$ の値はかなり小さい値である。 b 値決定の元になるマグニチュードの決定法に多少の不安はあるが、この地域で $M=3\sim 4$ の地震の発生頻度が高く、しかも余震活動が低く、群発的傾向を有することの現われを示していると考えられる。

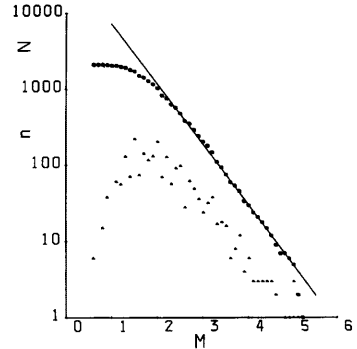


Fig. 10 Cumulative frequency distribution (N) versus magnitude M (MIY)

5. ま と め

1977年～1983年の7年間の宮崎地殻変動観測所での地震観測データの解析及び JMA の震源データより、日向灘周辺の地震活動と観測所の特性に関して次のことが得られた。

- (1) 日向灘地域では最近大地震の発生が非常に少い。
- (2) 小地震の発生は日向灘中央部に最も多く、観測所の記録では $S-P$ 時間6秒に相当する。この地域の地震の b 値は小さく、 $M=3\sim 4$ 程度の地震の発生頻度がかなり高い。また余震活動が低く、単発的発生傾向を持つ。
- (3) 日向灘地域は深さ 50 km 以下の地震が殆どであるが、内陸部の 100 km 以上の深発地震帯との中間部分の地震活動が非常に低い。また日向灘の地震発生帯の海側の外帯に深さ $60\sim 70\text{ km}$ の群発地震の発生が見られる。
- (4) 観測所で得られる地震波形の特徴として、 4 Hz 以上の高周波成分の極端な減衰がある。これは観測所周辺の地質構造（第三紀宮崎層群；砂岩と泥岩の互層）に起因するものと考えられる。
- (5) 波の走時については、日向灘の地震に関しては P 波、 S 波共に市川・望月の走時表に合致する。また周防灘周辺の地震より、九州の東岸の海岸線沿いに伝播してくる波は P 波、 S 波共系統的に大きく遅れる。

宮崎地殻変動観測所で観測される地震の中で、 $M\geq 3.0$ と定められる地震でも JMA によって震源決定されていないものが1981年19個、1982年23個あり、今後震源決定を行い得る観測網の整備を行い、ここに挙げた種々の問題を詳細に検討していく必要がある。

終りに御指導いただいた高田理夫教授並びに観測及び記録の読取りに御協力いただいた園田保美技官に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 宇津徳治：日本付近の M 6.0 以上の地震および被害地震の表：1885年～1980年，震研彙報，第57号，Part 3, 1982, pp. 401-463.
- 2) Mogi, K.: Some Features of Recent Seismic Activity in and near Japan (2), Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 47, 1969, pp. 395-417.
- 3) 茂木清夫：西日本（九州—中国西部）にみられる最近の地震活動の移動について，地震予知連絡会会報，第21巻，1979, pp. 142-143.
- 4) 高田理夫・古沢 保・竹本修三・尾上謙介・寺石真弘・園田保美：宮崎地殻変動観測所における地殻変動観測（第1報），京大防災研究所年報，第22号 B-1, 1979, pp. 61-77.
- 5) Furuzawa, T., Some Problems of Seismic Data Processing (Part 2), Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 24, 1974, pp. 127-145.
- 6) 改訂 日本付近の主要地震の表（1926年-1960年），気象庁地震月報別冊第6号，1982.
- 7) 宇津徳治：地震の規模別度数分布に関する諸問題 (I), 北大地球物理学研究報告，17, 1967, pp. 85-112.
- 8) 宇津徳治：地震の規模別度数分布に関する諸問題 (II), 北大地球物理学研究報告，18, 1968, pp. 53-69.
- 9) Mogi, K.: Regional Variations in Magnitude-Frequency Relation of Earthquakes, Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ., Vol. 45, 1967, pp. 313-325.