

日向灘地殻活動総合観測線による地殻変動連続観測 ——1996年10月、12月の地震（共にM6.6）に関連した地殻活動——

寺石眞弘・大谷文夫・園田保美・古澤 保

要 旨

1996年10月19日、および12月3日に日向灘中部でM6.6の地震が続けて発生した。日向灘地殻活動総合観測線のうち、2つの地震に一番近い宮崎観測所の伸縮計記録では、地震発生の約18ヶ月前から歪変化率が増加し、地震発生後まで続いている。主歪解で見ると、南北伸張軸の値が、異常変動が始まる前の約5倍の $1.6 \times 10^{-6}/\text{year}$ となった。また、これらの地震以後、日向灘全域で地震活動が活発になった。

キーワード：日向灘地震、歪蓄積、地殻変動連続観測、前兆現象

1. はじめに

日向灘地殻活動総合観測線は、1976年から観測を開始した地震予知研究センター宮崎観測所（当時宮崎地殻変動観測所）を中心とした観測ネットワークとして、1984年から3年計画で設置された（高田ら、1987）。この観測線の主たる観測対象である日向灘の中部で1996年10、12月に、M6.6という比較的大規模の地震が連続して発生した。総合観測線の地震観測データ及び火山活動研究センター桜島観測所のパソコンネットワークのデータで決定した震源は、10月19日23時44分の地震は宮崎観測所からの距離52Kmの地点を震央として深さは22Km。12月3日7時17分の地震は宮崎観測所からわずか19Kmの地点を震央とし、深さ28Kmであった。これらの震央の位置を、総合観測線の各観測点位置とともに、Fig.1に示す。

M6以上という地震が45日の間隔で連続して発生したこと自体が目すべきことであるが、10月の地震では活発な前震活動が見られたこともこの地域の地震としては珍しいケースである。この地震では宮崎における有感の前震は5個を数え、次第にMが大きくなる傾向がみられ、直前の19日23時1分のM5.5（JMA）が最大の前震であった。

一方、総合観測線の各観測点での地殻変動連続観

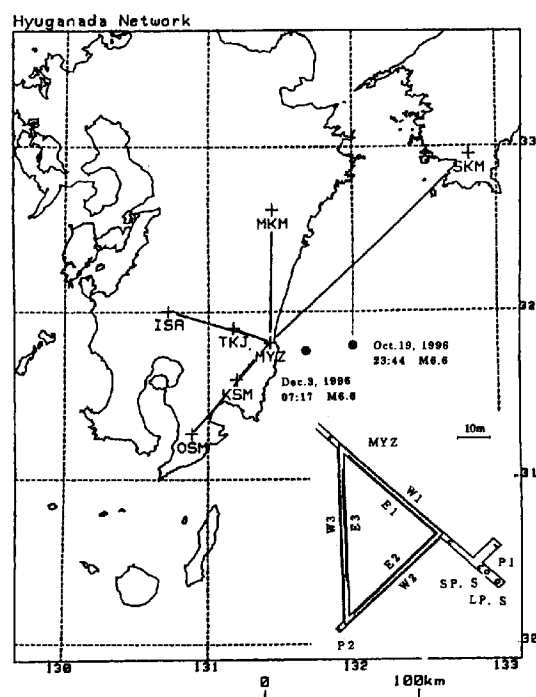


Fig.1 Location of the stations within the Hyuganada Network and epicenters of two M6.6 earthquakes (Oct.19 and Dec.3 1996). Insertion is a top view of observation vault of the Miyazaki observatory. E: Super-invar-bar extensometer. W: Water-tube tiltmeter.

測では、両地震時にはほぼ全ての成分で、歪、傾斜ステップが観測され、余効変動も幾つかの成分で観測された。両地震に対する、数日～数週間の短期間で前兆的な変動と言えるものは認められなかった(京大防災研究所宮崎観測所, 1997)。

本稿では両地震震源に最も近かった宮崎観測所における地殻変動連続観測データの解析結果について述べ、地震発生後の1年以上前から伸縮計による歪記録に変化が生じていることを指摘する。また、その後の日向灘地域の地震活動について報告する。

2. 宮崎観測所における地殻変動観測結果

本観測坑の主体となる長スパンの計器は、伸縮計ではE1, E2が直行する成分で、両者と45°の角をなすのがE3, それぞれ38.45mの長さを持つ。水管傾斜計も伸縮計に沿ってW1, W2, W3としている。さらに、坑道奥に短い9mスパンの伸縮計E4, E5, 垂直成分EVが設置され、水平振子型傾斜計2組、各2成分(P1A;NS, P1B;EW, P2A;NS, P2B;EW)が、Fig. 1の坑道内計器配置を示す地点に設置されている。Fig. 2はこれらの連続観測22年間の結果で、毎日0時の値

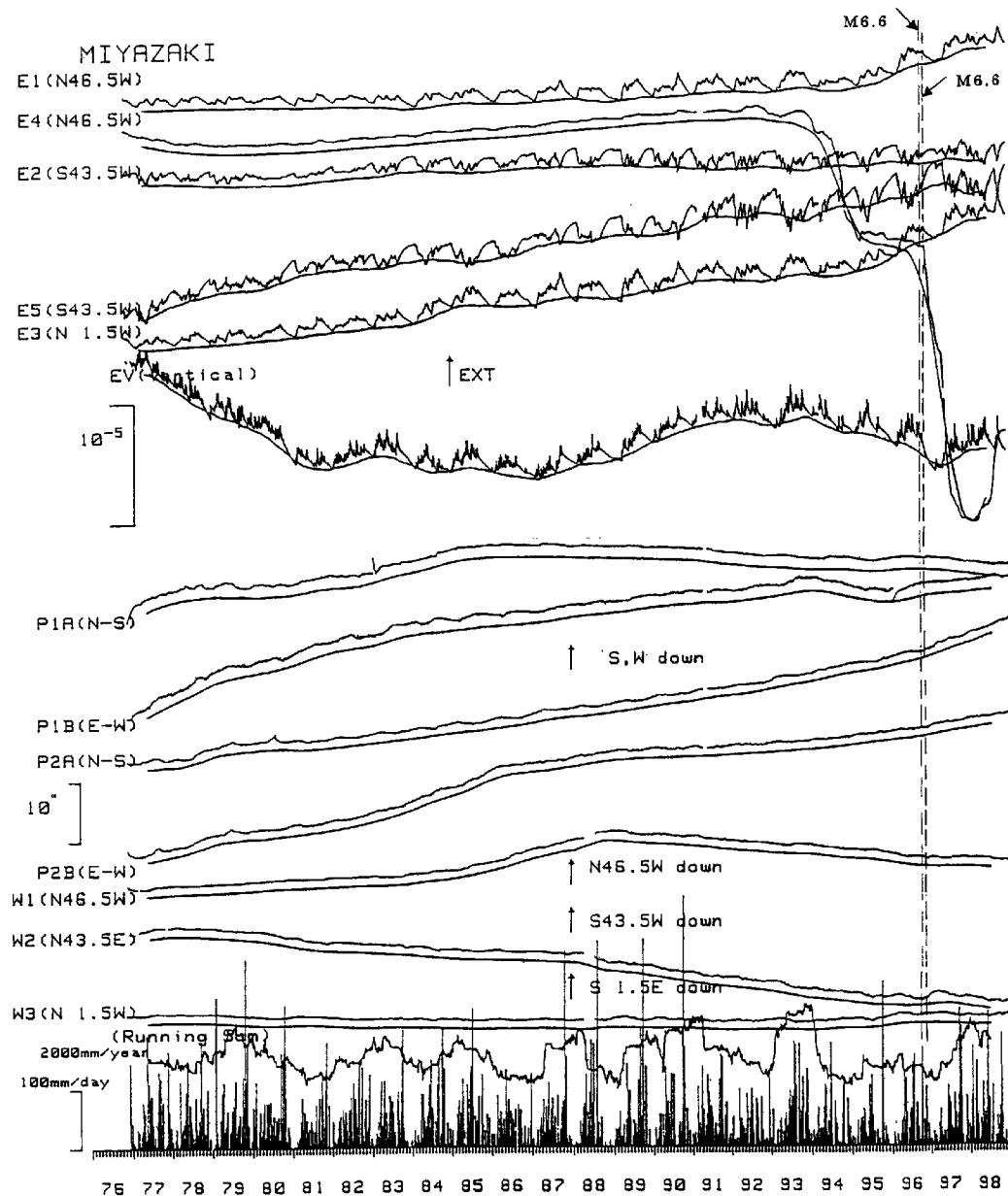


Fig.2 Secular variations of ground-strains and ground-tilts and daily precipitation observed at the Miyazaki Observatory. 365 days running mean of strains and tilts and running sum of precipitation are also plotted in parallel.

と、365 日移動平均して年周変化を取り除いた結果を示した。また、毎日の 24 時間雨量を棒グラフで、雨量の 365 日間移動積算値も併せて示した。

連続観測のうち特に伸縮変化には、降雨の影響による伸張（収縮）とそれからの回復を繰り返すことによる短周期の大きな変動を示す。移動平均でそれをとりのぞいてみた経年変化でも降雨の多寡による影響は多少残るが、全体として伸縮・傾斜とも安定した記録が得られている(大谷ら, 1992)。伸縮計 E4 の 1993 年末からの異常な収縮の変動については、光学記録に加え、差動トランスによる電気変換に移行する上での機械的な問題かと思われる。

なおこのグラフでは、今回の地震に限らず、歪ステップおよび地震直後数時間程度で治まる余効的変動など、“広義の co-seismic”ともいうべき変動は含めずに解析している。つまり、テクトニックな意味では地震発生による歪解放分を含まず、歪蓄積分のみをグラフ化していることになる。

2.1 地震発生前 18 ヶ月から生じた歪変化率の増加

Fig. 2 に示した連続観測結果のうち、1996 年 10 月、12 月の地震の約 18 ヶ月前となる 1995 年 4 月頃から、伸縮変化にそれまでの経年変化とは違った大きな伸びの変動が顕著に現れている。そこで主な伸縮計 3 成分 E1, E2, E3 について、各年毎に降雨が及ぼす影響を調べると共に、この 3 成分の経年変化(365 日移動平均)を使った各年毎の主歪解を求めて検討を行った。

Fig. 3 には経年変化の異常が明瞭に現れている E3 成分について生データを各年毎に示し、その年の総雨量を付記した。また、Fig. 4 には Fig. 2 から歪の主要 3 成分と積算雨量を再掲し、最近 20 年間の各年毎の経年変化による主歪解と対比させた。

宮崎では年間 3000mm を超える降水量を記録する年も多く、その影響は大きい。詳細は前報(寺石ら, 1996)で取り上げ、E3 成分については Fig. 3 に示したが、他の成分も含め、降雨の時期や量の違いによって年毎に違った季節変化を示す。Fig. 4 でそれが経年変化に及ぼす影響を見ると、E3 の場合、積算雨量が多くなっている 85 年、87-88 年、90-91 年、93 年はそれぞれ移動平均値のグラフで凸状の部分に対応する。しかし、全体のトレンドに対しては、雨量が直接効いているのではないことが分かる。むしろ、95 年、96 年はどちらかといえば少雨の時期にあたり、この時期のひずみ速度の増加は降雨の影響による見掛け上のものである可能性はない。E1 成分についても同様の状況であり、この歪変化も有意だと考えられる。

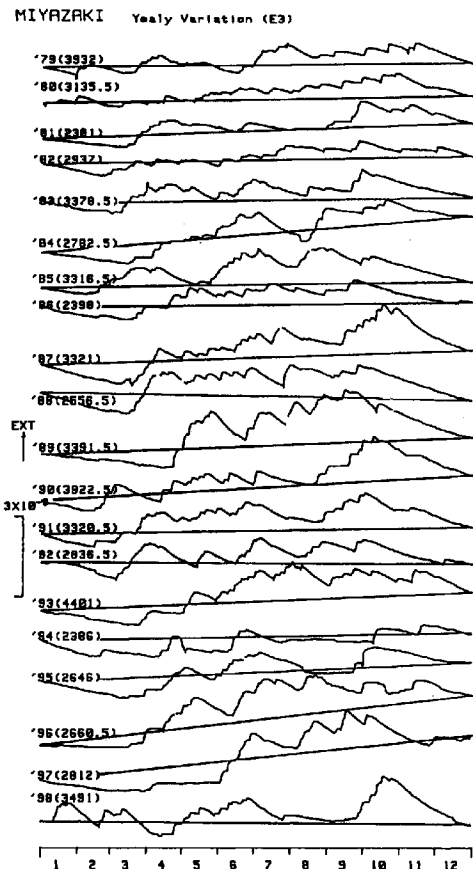


Fig.3 Yearly variations of ground-strain changes.

量的には、伸縮計 E3 では、観測開始から 1994 年までの 17 年間の変化率は $3.7 \times 10^{-7}/\text{year}$ で 1995 年 4 月頃から伸びの変化率が大きくなり始め、1996 年、1997 年はそれまでの変化率の 3.8 倍である $1.4 \times 10^{-6}/\text{year}$ となっている。同じように伸縮計 E1 も 1994 年までは $6.8 \times 10^{-8}/\text{year}$ のほぼ一様な経年変化率が $1.0 \times 10^{-6}/\text{year}$ の伸びに、比率からいえばそれまでの 14 倍にもなっている。両者はほぼ同じ時期、95 年 4 月頃から歪率が増加している。

E2 成分については、他の 2 成分と同時期からの明瞭な変化というのは読み取れない。しかし、この成分は、E1 成分と並び、Fig. 4 の最下段に示すように、平常、伸縮計 3 成分から計算される主歪解からいえば節線の方向に近く、絶対値として大きな値を示していない。従って、この主歪パターンで蓄積されている歪が、その蓄積速度を増したと考えれば、この方向に大きな変化が出なくても矛盾はしない。量的に細かく比較すると、1994 年迄は $10^{-8} \sim 10^{-7}/\text{year}$ オーダーの伸びが、1996 年 1 年間は逆に 2.7×10^{-7} の縮み、1997 年以降は元に戻って 1.6×10^{-7} の伸びに転じている。したがってこの成分も 96 年始めに節

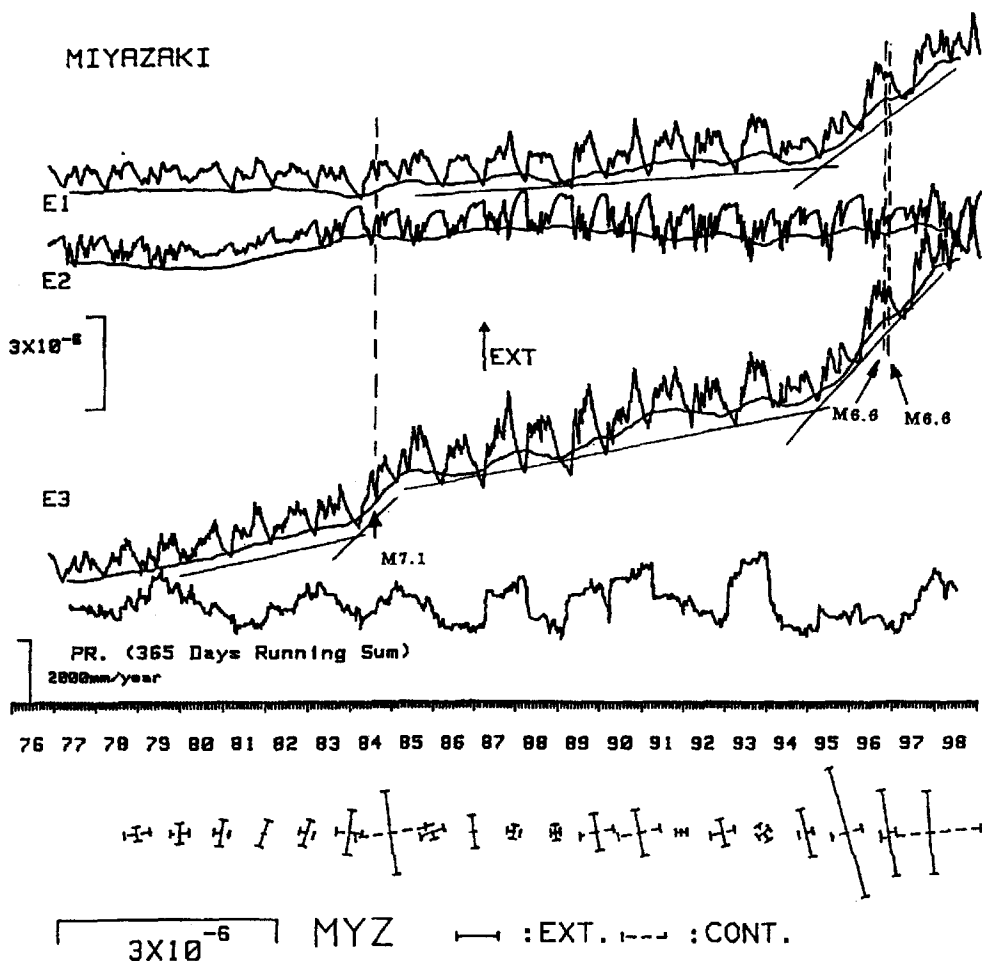


Fig.4 Upper : Secular variations and 365 days running mean of 3 components ground-strains and 365 days running sum of precipitation observed at the Miyazaki Observatory.
Lower : The yearly principal strains calculated from 365days running mean data of 3 components ground-strains(E1,E2,E3).

目があるといえないこともない。

上記主歪パターンでの定性的な解釈では、E1で変化が生じていることの説明がつかないが、定量的には、観測結果から主歪を計算していくと、1995年以降、特に1996年には、E1にも大きな変化が生じた結果、Fig.4最下段に示すように歪主軸がわずかに反時計周りに回転して、主伸張量が大きく増加したという結果となり、従来からの歪蓄積パターンをほぼ踏襲しながら、この時期、その量を増したと解釈できる。

2.2 傾斜変化

傾斜変化には、2つの地震に関しての前兆的な変動や経年変化に、伸縮変化に対応するような急激な変動は見られなかった。Fig. 5に水管傾斜計の直交する2成分W1,W2及び、水平伸子型傾斜計2組P1,P2による傾斜ベクトルを示す。観測当初からのデータ

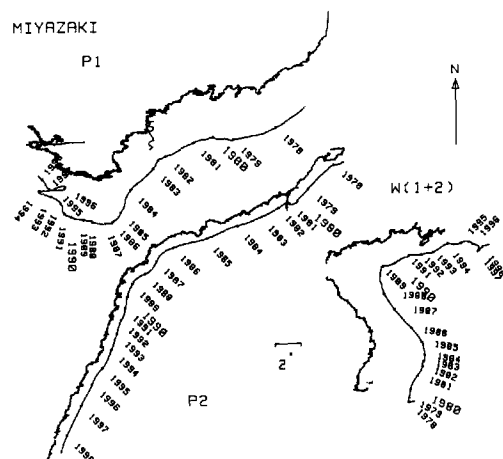


Fig.5 Vector diagrams of secular variations of grand-tilts and their 365 days running mean data. W(1+2) is drawn from W1 and W2 data.

で毎日0時の値と、365日移動平均値を合わせてプロットした。水管傾斜計による傾斜変化は、1989年に北下がりから東下がりに変化して以降は一般的な傾斜変化をしている。水管傾斜計各成分共2つの地震時にはステップや数日間の余効変動が観測されたが、12月の地震後約1ヶ月間これまでとは違った動きが見られた。経年変化のベクトル図で明らかな様に、それまで一様な東下がりが地震後約1ヶ月南下がり続き、その後南下がりを回復する形で北東下がりになり、1998年以後元の東下がりとなっている。この東北下がりの期間も含めると、地震発生後約1ヶ月半の間、定常の傾斜変化とは違った傾斜変動を示し、その後地震発生前の傾斜に戻ったことになる。

水平伸子型傾斜計P1については、1993年の4000mmを越える豪雨を契機に西北西下がりから東下がりへ傾斜傾向が変わっていたが、1995年末に振子の吊り線が切断したため、1996年以降は再設置後のドリフトである西下がりが大きく現れている。又P2は、1989年以降南南西下がりであるが、特に南下がりの傾斜率が大きくなってきている。

3. 日向灘地域のその後の地震活動

1996年10月、12月の地震の余震活動は低調で、急速に減少し定常の状態に戻っている。特に1997年3月26日の薩摩地方のM6.5の地震に対応するかのよう静穏化に向かった。しかしその後の周辺の地震活動はそれ程衰えず、1997~1998年にかけてこの2つの地震の予震域に隣接した地域、特に北側および南側の地域で数個の余震を伴ったM3~4クラスの地震が発生している。Fig. 6に宮崎観測所で震源決定した、10月の地震の発生以降の震央分布を、1996年12月までと1997年、1998年の3つの期間に分けて示す。さらに、同図中央に枠で示した、両地震の活動域を囲む範囲内について、1990年から1998年までの最近9年間の時空間分布（南北投影）をFig. 7に示した。

上記枠内で顕著な地震は、2つの地震の余震域から少し北にはずれた北緯32°付近では、1997年5月にM3.8、少し東に移動した地点でM3.6、同年8月にM3.0、1998年4月にM4.0、9月にはM4.8が2回、12月にM4.0など数個の余震を伴った地震が発生した。同じく枠内で余震域の南側では1997年1月にM5.0、少し北に上がり1998年4月にM3.8を最大に20個余りの地震が発生するなど、余震域の南と北側に分か

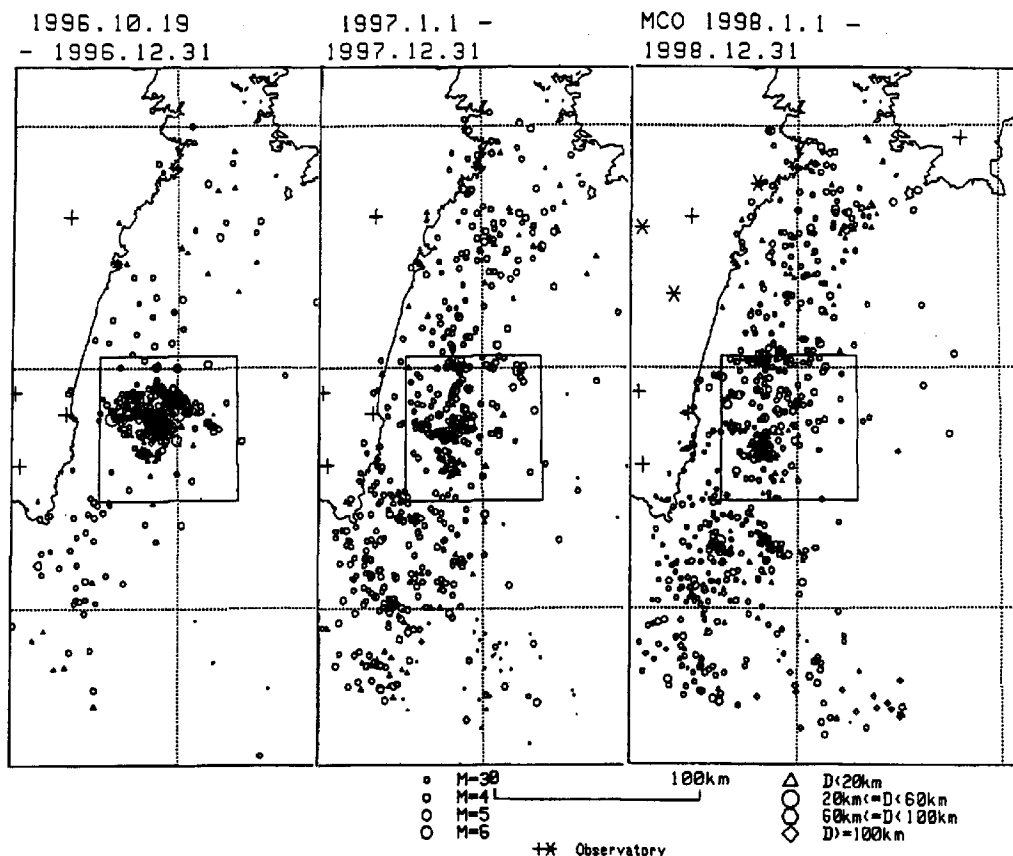


Fig.6 Epicenter distribution of earthquakes determined by the Miyazaki Observatory.

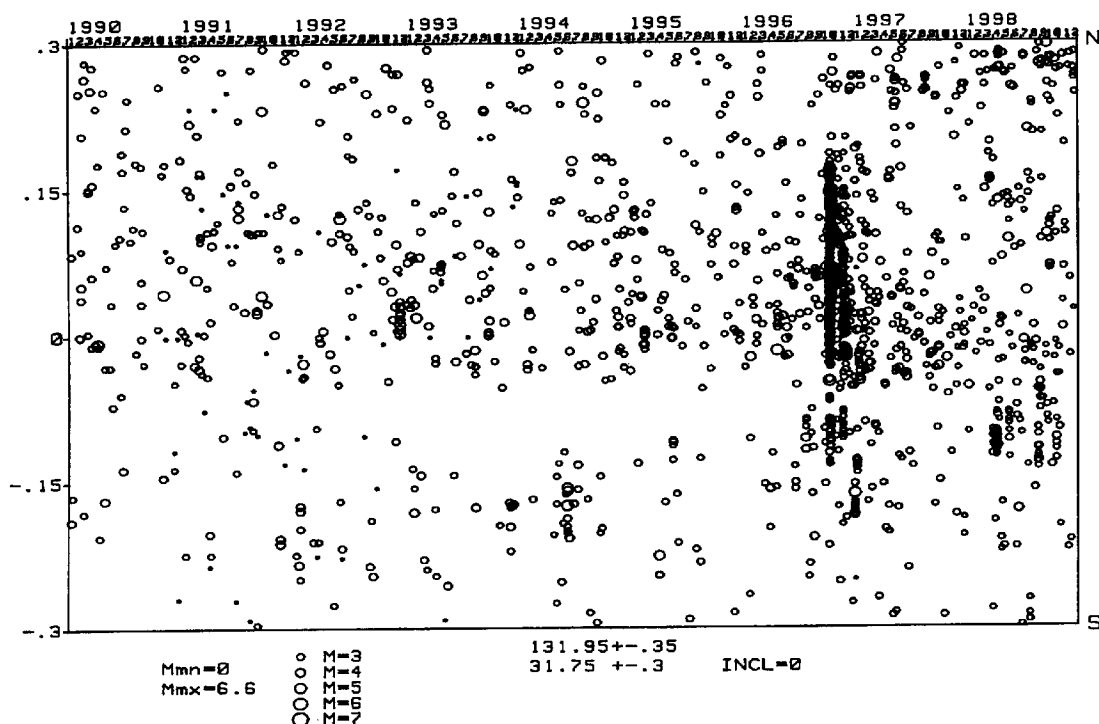


Fig.7 Space-time plot of seismicity in the rectangle region of Fig.6 along N-S section for 1990-1998.

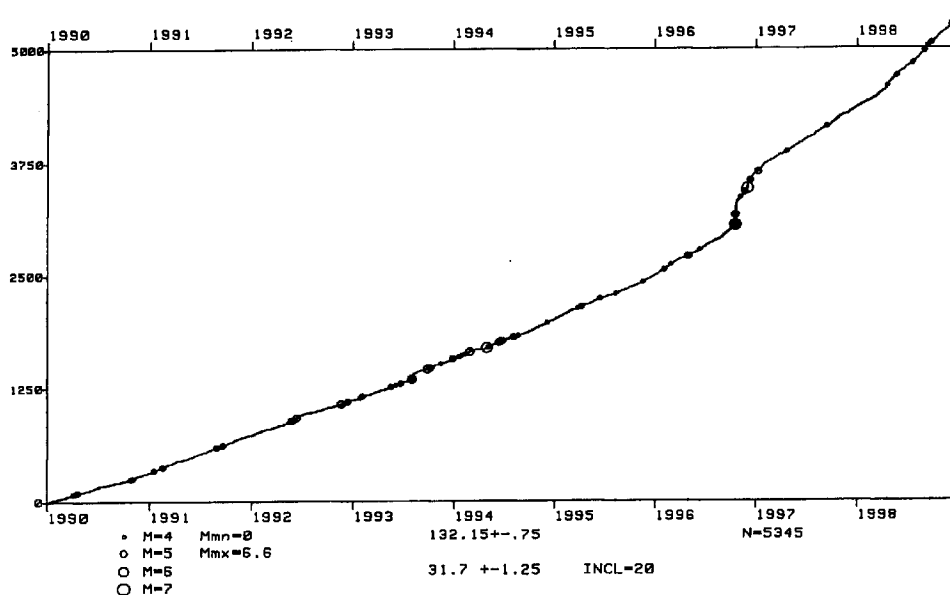


Fig.8 Diagrams of cumulative number of earthquakes in the Hyuganada region of Fig.6 for the time span from 1990 through 1998.

れて、ときおり発生している。また、中央枠から南側に外れた都井岬の沖で、1998年12月16日にM5.5及びM4.1、21日にはその東側で最大M3.8であるが、30個余りの地震が発生している。

Fig. 8には、Fig. 6の震央分布で示した日向灘の領域について、最近9年間の積算地震数の変化を示

す。両地震の余震がほぼ治まって来た1997年の地震発生数は、地震発生前と同じ程度の発生率まで減少してきたが、1998年に入ると4月、更に12月の地震を契機に発生率が高くなってきている。地震活動の活性化は、Fig. 6の震央分布で1997年と1998年を比較してもわかるが、2つの地震の活動域（枠内）

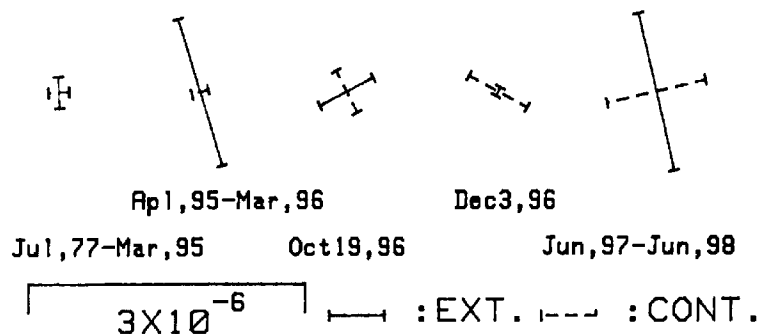


Fig.9 Principal strain rates in three periods calculated from 365 days running mean data of ground-strain observed by three components of extensometers(E1,E2,E3), and principal axes of strain step at two M6.6 earthquakes (Oct. 19, Dec. 3, 1996).

だけでなく、日向灘全域に波及している。

4. まとめ

宮崎観測所の地殻変動連続観測記録に、1996年10月19日、12月3日（共にM6.6）の日向灘地震に関連していると考え得る伸縮変化が検出された。この変動が始まった時期は生データでは降雨による擾乱が大きいため明瞭ではなく、365日移動平均により短周期変動を除いた経年変化のトレンドから推定すると地震発生の約18ヶ月前の1995年4月ごろからと考えられる。この経年変化にもなお降雨の影響が含まれているが、1995年以降は例年と比べ降水量が少なく降雨の影響による見掛けの変動ではない。

Fig. 9に

I. 観測開始から経年歪の rate が大きく変るまでの期間。

II. 経年歪が変り始めてから、1996年10月の地震が起る直前までの期間（1年間）。

III. 1996年12月の地震後から1998年迄の期間（1年間）。

の三つの期間について、伸縮計3成分を使った年間移動平均値により経年歪の主軸解を示した。さらに、両地震時の歪ステップの主軸解も合わせて示す。なお、Iの期間についてはII、IIIとの比較のため年間 rate で示す。

3期間の蓄積歪はいずれもその主軸方向は北北西—南南東であるが、観測開始以来18年間の主歪 rate 3.3×10^{-7} が、地震発生前には約5倍の 1.6×10^{-6} になった。この歪 rate は、12月の地震後も変わっていない。地震時の解放歪の主軸解は、10月の地震では3期間の蓄積主軸に対して垂直、12月の地震時は反時計廻りに 45° 回転した解になっている。

また、同じような伸縮変化が別の時期にも見られる。Fig.3で示した伸縮計E3の年毎プロットでは

1984年の大きな伸びの変動でFig.4の主歪解でも主歪 1.2×10^{-6} の大きな変化が現れている。そして、伸縮変化の大きな伸びが始まった時期から約200日後、1984年8月4日にM7.1の地震（宮崎観測所からの震央距離90km）が、日向灘の北部で発生している。この時には、伸縮計E1,E2に異常変化の節目らしきものは見えるものの変化量は少なく、主歪の大きな伸びはE3の影響を大きく受けたものである。マグニチュードは大きいですが、宮崎観測所からの震央距離90kmを考慮すると、地震との関連づけには慎重な検討が必要である。

解析上の問題点として、降雨による短期擾乱はある程度シミュレート出来るが（古澤ら、1986）、本稿でとりあげたような1年以上の長周期変動に重畳する擾乱成分の量的な評価（宮崎観測所の場合、経年変化に残る降雨の影響の分離）をどのように行なうかが今後の課題である。

日向灘地域の最近の地震活動は、両地震の活動域に限らず、日向灘全体で活発である。両地震の余震は急速に減少したが、両地震の活動域及び日向灘地域においては、1997年はそれ程発生率は低下せず、1998年に入ると再び発生数が増え始めている。

参考文献

- 高田理夫・古澤 保・大谷文夫・寺石真弘・園田保美(1987): 日向灘地殻活動総合観測線, 京都大学防災研究所年報, 第30号B-1, pp.29-40.
- 京都大学防災研究所地震予知研究センター宮崎観測所(1997): 1996年10月19日および12月3日に発生した日向灘の地震(共にM6.6)について, 地震予知連絡会会報, Vol.57, pp.628-637.
- 大谷文夫・寺石真弘・園田保美・古澤 保(1992): 日向灘地殻活動総合観測線による地殻変動連続観測, 京都大学 防災研究所年報, 第30号B-1, pp.

299-312.

寺石真弘・大谷文夫・園田保美・古澤 保 (1996) :
日向灘地殻活動総合観測線による地殻変動連続観
測－経年変化と季節変動－, 京都大学防災研究所

年報, 第 39 号 B-1, pp. 227-240.

古澤 保・大谷文夫・寺石真弘 (1986) : 地殻伸縮ひ
ずみと降雨の関係について－宮崎観測所の場合－,
測地学会誌, 第 32 巻第 1, pp. 56-63.

**Continuous observations of crustal movements at the observation network of crustal activities
around the Hyuganada region of Kyushu**

－ Crustal deformations related to the occurrences of two M6.6 earthquakes in Hyuganada in 1996 －

Masahiro TERAISHI, Fumio OHYA, Yasumi SONODA and Tamotsu FURUZAWA

Synopsis

Two M6.6 earthquakes occurred at the central part of Hyuganada Sea, east off Kyushu, on October and December, 1996. Continuous strain observations in the vault at Miyazaki Observatory, DPRI, Kyoto Univ., where 52 km and 19 km respectively apart from the epicenters of each event, revealed increase in strain rate at 18 months before the occurrence of the first event. The major axis of the principal strain rate is expansion of 1.6×10^{-6} /year in north-south direction that is five times of the value before the appearance of this acceleration of strain accumulation.

Keyword: Hyuganada; strain accumulation; continuous observations of crustal movements; precursory phenomena of earthquake occurrence;