

## 日向灘地殻活動総合観測線による地殻変動連続観測と地震活動

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M6.9, M6.7の地震が続けて発生した。一方宮崎観測所の地殻変動連続観測においては、歪の経年変化に数ヶ月前からそれまで(記録開始から地震前20年間)見られない変動が現れている。また、地震後の歪の経年変化は、2つの地震が発生した日向灘中央部の最も地震活動が活発な地域の積算地震数の変化と良い関係を示している。

キーワード：日向灘，歪，伸縮計，積算地震数

### 1. はじめに

日向灘地域は過去100年間にM>7の地震が10~20年間隔で発生しているが(古澤ら;1985),最近では日向灘の中央部に1996年10月,12月にM6.9, M6.7の比較的規模の大きい地震が連続して発生した。両地震では宮崎市で震度5弱となったほか,九州全域,中国,四国など広い地域で有感となり,九州の太平洋沿岸の気象庁検潮所で,10月の地震で最大14cm,12月の地震では最大15cmの津波が観測されている。今回,宮崎観測所で震源決定された震源データーを元に,2つの地震を含めた最近の日向灘地域の地震活動について,また先に報告した(寺石ら,1999)日向灘地殻活動総合観測線(以後,総合観測線と記述)の中で最も震源に近い宮崎観測所における地殻変動連続観測のその後の変動について報告し,地震活動と地殻変動との関連について考察する。

地震予知研究センター宮崎観測所(MCO)では,総合観測線の各観測点に地震計を設置し地震観測を行っている(高田ら,1987;古澤ら,1988)。これにより,1987年から独自の震源決定が可能になり,観測当初の日向灘地域の地震活動について既に報告もされている(古澤ら,1991)。さらに,1992年からは南九州地域の地震の検知能力と震源決定精度を向上させる目的で,火山活動研究センター・桜島観測所と協力

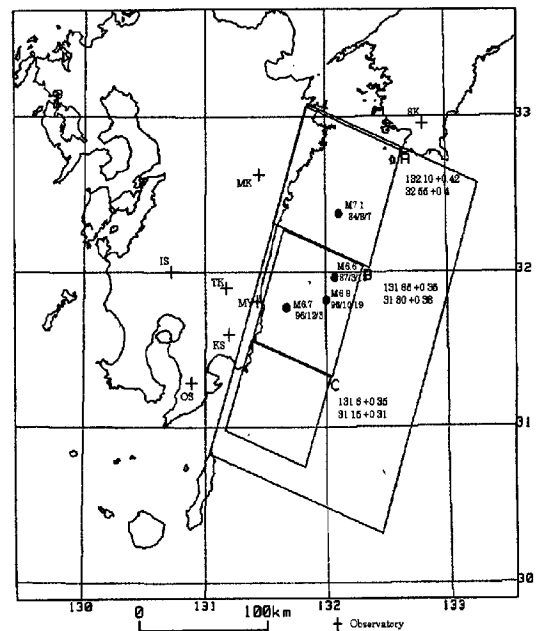


Fig.1 Location of seismic stations and epicenters of earthquakes occurred in Hyuganada region during the period of Nov.1976 - Dec.2001(M $\geq$ 6.5). Crosses show the stations within the Hyuganada Network. Wide squared area means the Hyuganada region, and this region is divided into three sections( small squared area of A,B,C).

して展開しているパソコン通信利用の南九州地震観測網の波形データが得られるようになった(森井ら,1993)。震源決定は S-P 時間により発震時を決定した後, P 波初動時刻と気象庁改定走時表を用いて行っている。またマグニチュードは JMA の値を

用い, JMA の震源データが無い場合のみ MCO の値を用いている。Fig. 1 に総合観測線の 7 観測点(+ )の配置と宮崎観測所で地殻変動及び地震観測を開始した 1976 年 11 月以降の M6.5 以上の地震をプロットした。大きな四角で囲んだ範囲は多くの地震が集

MCO 1986.12.26 - 2001.12.31

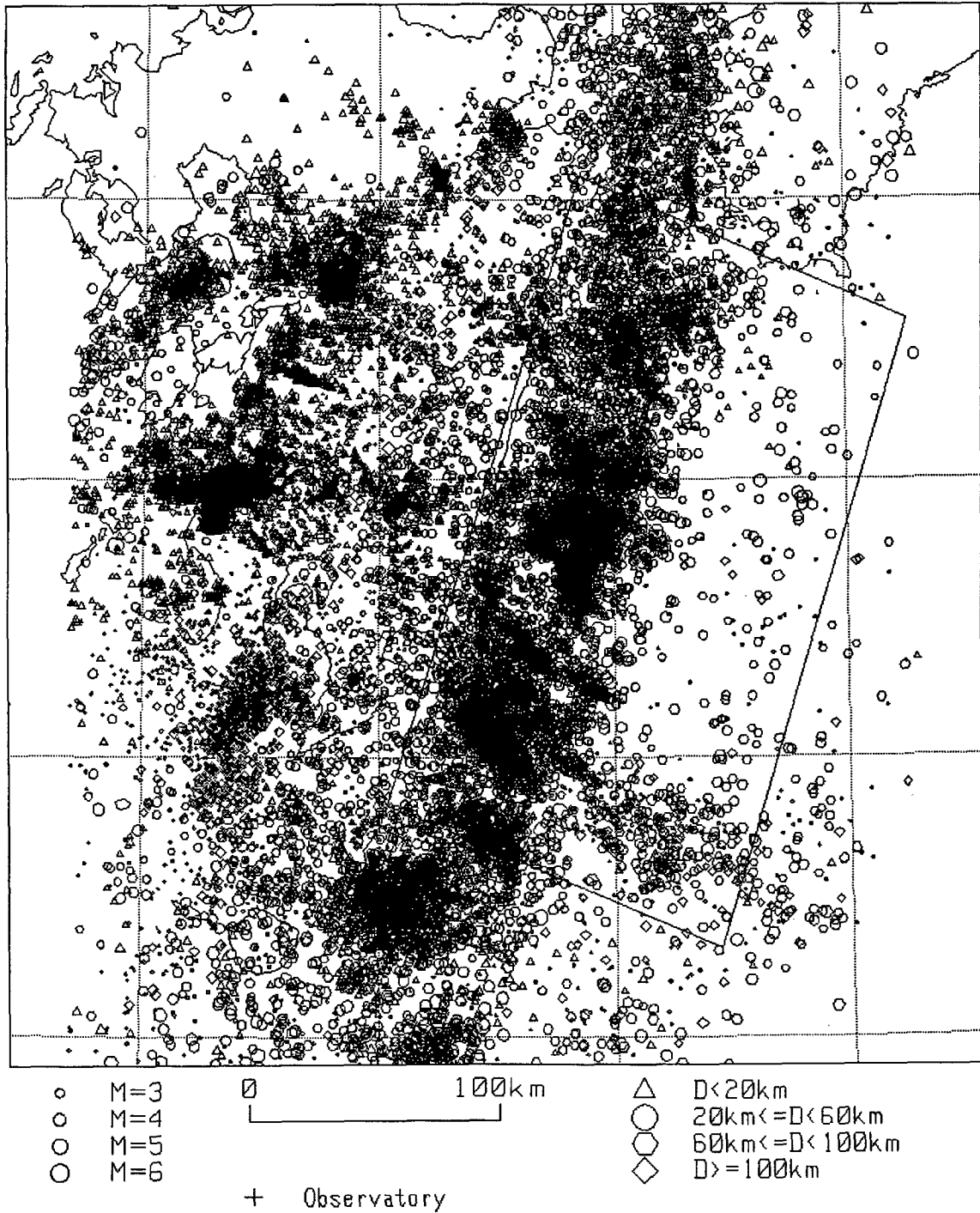


Fig.2 Epicenters distribution of earthquakes determined by the Miyazaki Observatory during the periods of Dec.26,1986 - 2001. Squared area means the Hyuganada region.

中している日向灘地域で、観測点配置による地震の検知能力を考慮した場合震源決定精度が比較的良好と考え得る範囲である。後述するが、この地域の地震活動は震央分布から3つの地震活動域に区分でき、この区域をA, B, Cの四角の枠で示す。

## 2. 地震活動

総合観測線における地震観測により震源決定が可能になった、1987年から2001年まで15年間の震央分布( $M \geq 2$ )を Fig. 2 に示す。

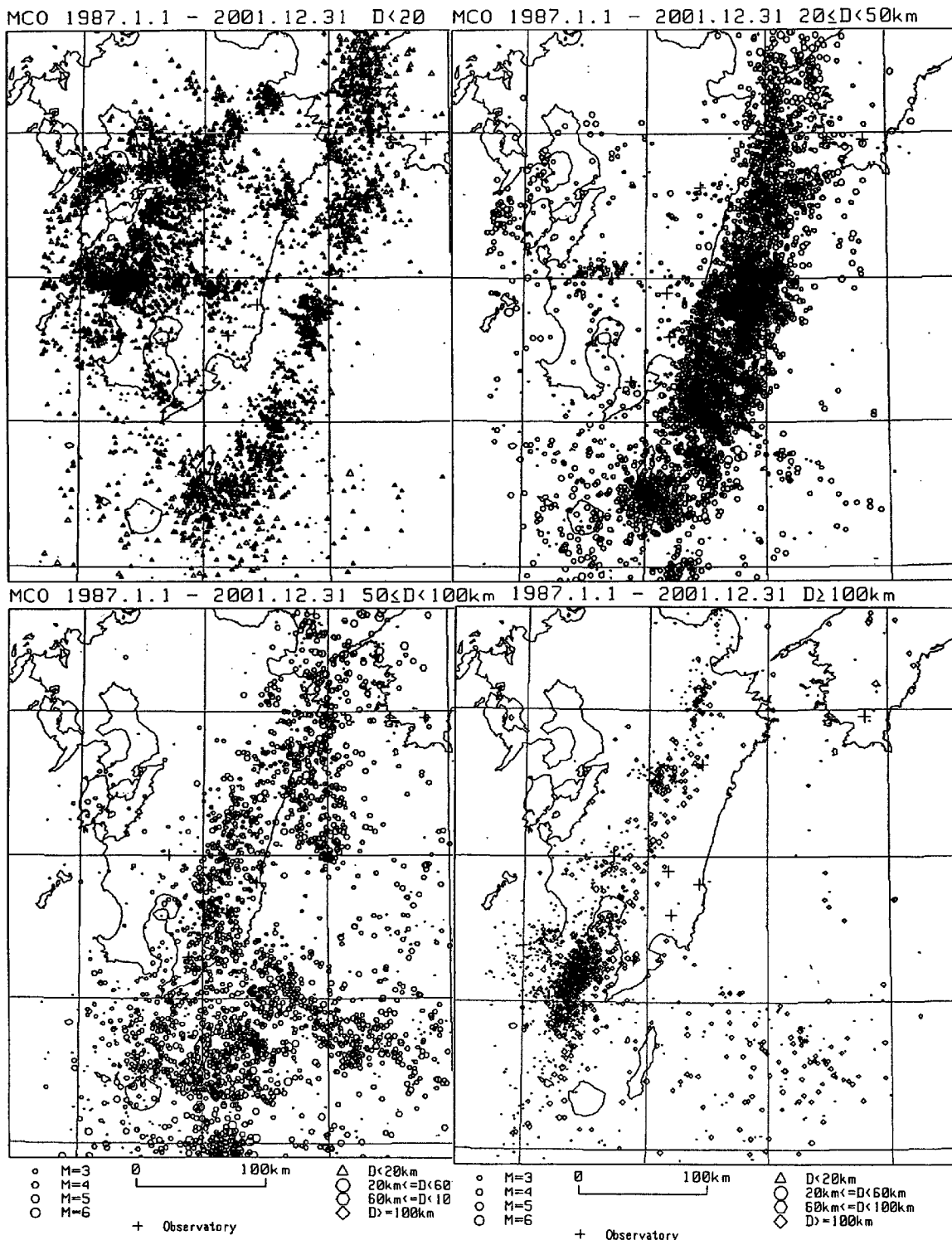


Fig.3 Epicenters distribution of earthquakes determined by the Miyazaki Observatory during the periods of 1987 - 2001( Depth:(1) $H < 20$ , (2) $50 > H \geq 20$ , (3) $100 > H \geq 50$ , (4) $H \geq 100$ )

日向灘を離れた九州西部から北部にかけて、また九州南端(種子島、屋久島)では震源精度の信頼性が落ちるが、深さ別に震央分布をみて見るとかなり顕著な活動が判別できる。Fig. 3 に深さの境界を20Km, 50Km, 100Kmとして、深さ毎の震央分布を示した。20Kmより浅い地震では、1990年に始まった雲仙岳の活動を含めた島原半島周辺の活動や別府-島原地溝帯の活動の他、熊本県東部の阿蘇山付近から南西方向の一带にも活動域が見られる。又1997年3月鹿児島県北西部で発生した地震(M6.5)では、5月にもその南西5Kmで再びM6.3の地震が発生し活発な余震活動が見られ、今でもその活動は続いている。さらに内陸部で霧島火山東麓の一群の活動は5Km以下と浅く、群発的に発生する傾向がある(古澤ら, 1993)。50~100Kmで発生する深い地震は日向灘沿岸からやや内陸部に入った陸側のほか、九州南端から日向灘南部にかなり広くばらばらについているが、この付近の地震に関しては観測点が直線状に並び、また減衰も大きくS波初動の識別が非常に困難であるため震源決定の精度が落ち、震源決定できない地震も多い。種子島付近の地震は定常的にある期間に集中して発生する傾向があり、最近では日向灘の2つの地震前日である1996年10月18日M6.2や1999年1月24日M6.2がある。さらに100Km以上の深い地震は、九州中央部を縦断する

広い範囲での活動と薩摩半島南端に一塊の活動域が見られる。この薩摩半島南端の区域について積算地震数から活動傾向を見ると、1998年終わり頃から地震数が少し増える傾向があるが、ほぼ定常的な地震発生となっている。日向灘で発生する地震の多くは深さ20~50Kmで、豊後水道から日向灘を通り種子島の東へと九州の東海岸線に沿って列なる。

## 2.1 日向灘地域の地震活動

1996年10月19日のM6.9の地震では、この地域では珍しく本震の半日前から前震活動が活発になり、その震央は本震の北西から南東方向に移動し、マグニチュードは次第に大きくなる傾向が見られるなど前震活動にも特徴が見られた。さらに、南方向に広がる傾向のあった余震活動は西方向に移動し、その西端(10月の地震の西約32Km)で12月3日再びM6.7の地震が発生した(京大防災研究所宮崎観測所, 1997)。余震活動は低調で12月の地震後急速に減少し始め、特に1997年3月26日鹿児島県北西部のM6.5の地震に対応するかのような余震の激減も見られた。

Fig. 1の大きな四角で示した日向灘地域の地震活動状況を詳しく見るため、 $M \geq 2$ の地震についてこの地域の震央分布(Fig. 4)と、時空間分布(Fig. 5)、積算地震数(Fig. 6)を示す。Fig. 4に示した日向灘

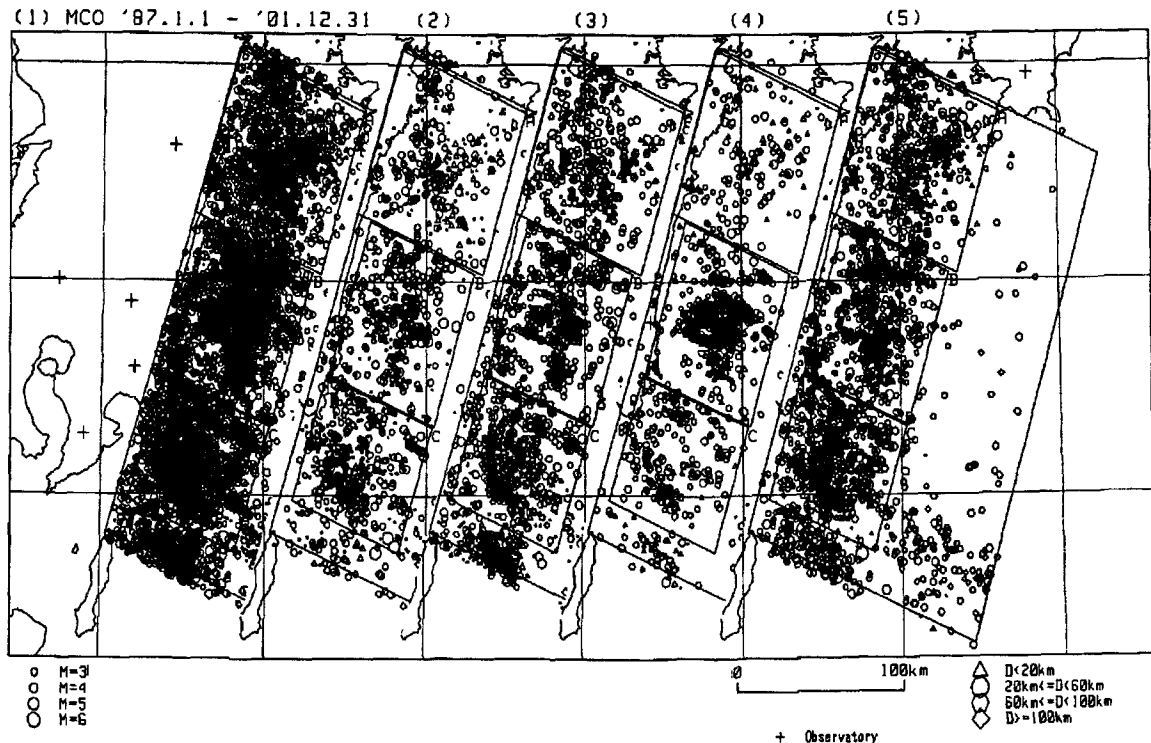


Fig.4 Epicenters of earthquakes occurred in Hyuganada region during the period of (1)1987 - 2001, (2)1989 - 1992, (3)1993 - Oct.18 1996, (4)Oct.19 1996 - 1997, (5)1998 - 2001.

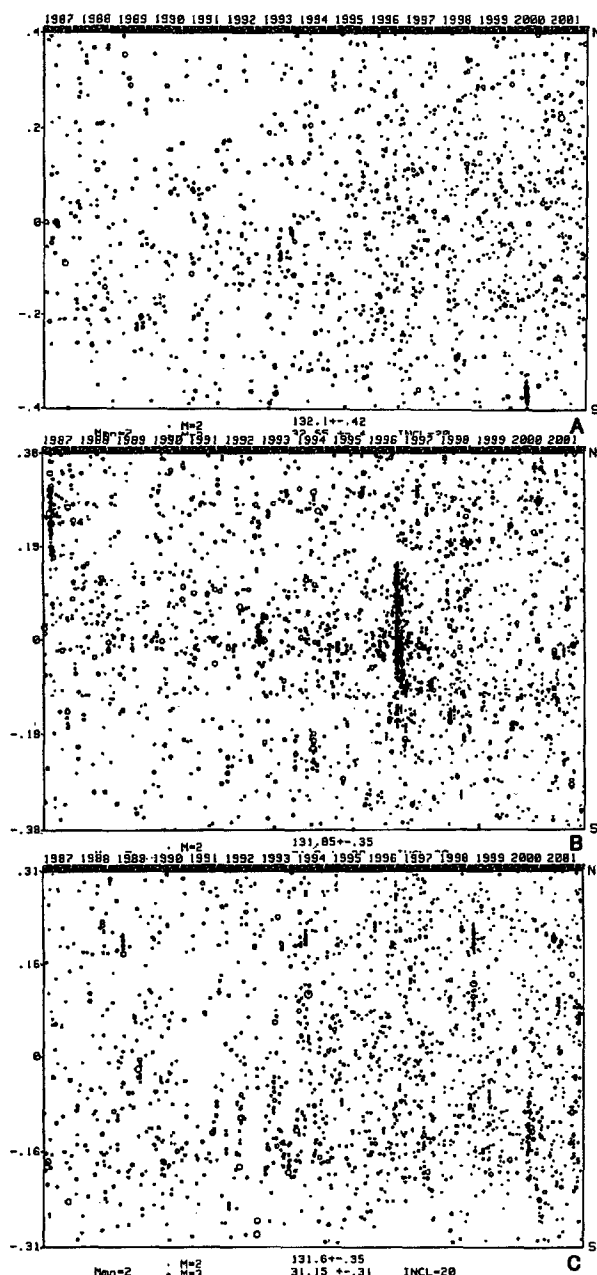


Fig.5 Space-time plot of seismicity of 1987 - 2001 in active zone showed by squared area (A),(B),(C) of Fig.1 along N20° E-S20° W section.

地域の震央分布は(2)1989年～1992年, (3)1993年～1996年10月18日, (4)1996年10月19日～1997年, (5)1998年～2001年のように, (4)1996年2つの地震及びその余震発生期間の前後を約4年間毎に期間を分けて示す。また, Fig. 4の(1)は1987年から2001年まで15年間の震央分布で, この地域の震央分布は Fig. 1で示した(A)(B)(C)の枠で囲まれるような3つの活動域に分けられる。時空間分布 (Fig. 5), 積算地震数 (Fig. 6)はこの(A)(B)(C)の各

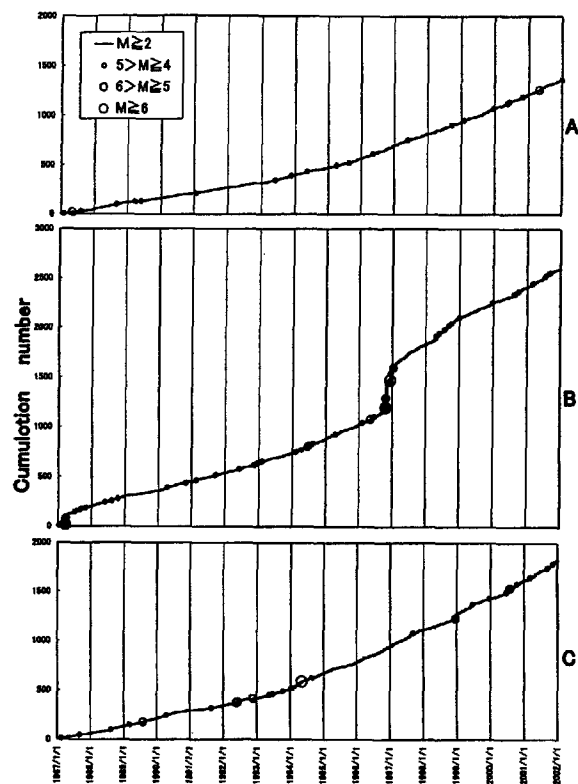


Fig.6 Diagrams of cumulative number of earthquakes in active zone showed by squared area (A),(B),(C) of Fig.1 for the time span 1987 - 2001.

ブロックについてのプロットで, 時空間分布は南北方向への投影で示す。これらの図から見える各ブロックの特徴及び地震活動の状況は次のように要約できる。

(A): 時間・空間的に集中する活動はなく, 地震の分布はかなり散らばっている。地震数は少なく, M4クラスの地震もほとんど余震を伴わず, 単発的に発生している。1995年半ば頃から地震の発生率は増えてきているが, 空間的に分散する傾向は変わっていない。また隣接する中部(B)の活動との対応等は見られない。最近のこの地域の大きな地震では 1984年8月7日 M7.1(132° 09.3' E, 32° 22.8' N, H=33km JMA)がある(古澤ら; 1985)。

(B): 最も地震活動が活発で, 1987年3月18日に発生した M6.6の地震(132° 04' E, 31° 58' N, H=48km JMA)や, 1996年10月, 12月の地震が含まれる大きな塊を形成しているが, 1987年の M6.6を含む32° N付近と, 1996年2個の地震の震源域を含む大きな塊と, その南側の定常的に地震の発生が見られる小さな塊とに細分できる。この区域では1994年頃から地震活動の高まりが見られ始め, さらに1996年5月頃から発生率が高まり10月, 12

月の地震に至っている。余震活動は急速に治まり1997年にかけて活動はやや静穏化しているが、1998年には数個の余震を伴ったM4クラスの地震が発生し一時的に活動が高まっている。これらの地震活動はM6.9, 6.7両地震の余震域の北と南側で活発になり、特に南側に多く発生している。1999年以降の地震発生率は1996年M6.9の地震前の発生率と同じ程度で推移しているが、2000年半ば頃まではM4クラスの地震がほとんど発生していない。2000年8月以降、M4クラスの地震が定常的に発生するようになり活動はやや活発になっている。これらの地震はほとんど余震を伴わず単発的で、M4クラスの地震発生の頻度は1991~1992年の状況に似通っている。

(C)：やや群発的な活動が見られる地域で、中部(B)と同じ様に1994年頃から発生率が高くなっているが、1995年から1998年にかけてM4以上の地震はほとんど見られない。その後1998年終わり頃からM4~5クラスのやや大きな地震が発生するようになり、2000年半ば頃からはM4クラスの地震が定常的に発生している。

次に、地震積算数の変化を比較し地震活動について各ブロック間の関連性を調べてみる。(B)区域で2つの地震が発生した時期を挟んだ前後約4年間、(C)区域ではM4以上の地震がほとんど起こっていないのが目につく。(A)区域では他の区域との相互関係は認められない。また、(B)(C)両区域とも2000年半ば頃頃から地震活動が活発になっているが、単発ではあるが(A)区域でもM5の地震が発生するなど、日向灘全域で地震の発生数が増えていると思われる。総じて、各ブロック間の相互関係はあまり見られず独自の活動をしているように見える。

### 3. 地震(M6.9, 6.7)に関連したと思われる地殻活動

日向灘で発生した1996年の2つの地震(M6.9, 6.7)に関連して数日~数週間の短期間では前兆的な変動と言えるものは認められなかったが、震源に最も近い宮崎観測所(10月の地震の震央距離52Km 深さ28Km, 12月が震央距離19Km, 深さ29Km)において、歪の経年変化にそれまでとは違った変動が検出された(寺石ら, 1999)。これらの異常変動は38mスパンの伸縮計E1及びこれと45°の角をなすE3, 伸縮計E1と同じ方向でスパン9mの伸縮計E4による観測結果で、1996年10月の地震の約13ヶ月前となる1995年9月頃から経年変化にそれまでとは違った大きな伸びの変動が顕著に現れている。ただし、この経年変化は365日の移動平均処理であ

り、6ヶ月前の生データまで含まれるので、生データとしては地震の約7ヶ月前からの変動となる。以前の報告(寺石ら, 1999)では地震発生前18ヶ月前からこの変動が生じ始めたとしたが、さらなる記録の蓄積を得、再検討した結果13ヶ月前のほうが妥当だと思われる。

Fig. 7に宮崎観測所の観測坑道と観測計器の配置を、Fig. 8に観測当初から2001年12月までの約23年間の伸縮計全成分の記録で、毎日0時の値と、年周変化を取り除くため365日の移動平均した結果も併せて示した。これらの記録のうち伸縮計E4については、差動トランス取り付け部分の金属腐食が原因と思われる異常が見られたため(寺石ら, 1996)、全ての解析区間についてプロマイド記録の読み取り値を採用した。また降雨量は月間雨量を棒グラフで、365日移動積算値と共に示した。さらに地震と関連があると思われる変動を詳しく見るため、長スパン伸縮計3成分と短スパンE4について取り上げ1984年以降の経年変化をFig. 9(2)に示した。年間3000mmを超える降水量の影響は365日移動平均処理を行った経年変化にもなお残っているが、1995年9月頃からの変動は明らかに降雨によるものとは違っているのが判る。それまで伸縮計の経年変化は、降雨の移動積算値に対応したような変化率の増減が在るもののほぼ一様な変動をしていた。1995年9月頃から伸縮計E1, E3, E4の経年変化は大きな伸びを示し始め、2つの地震以降もこの3成分は同じ

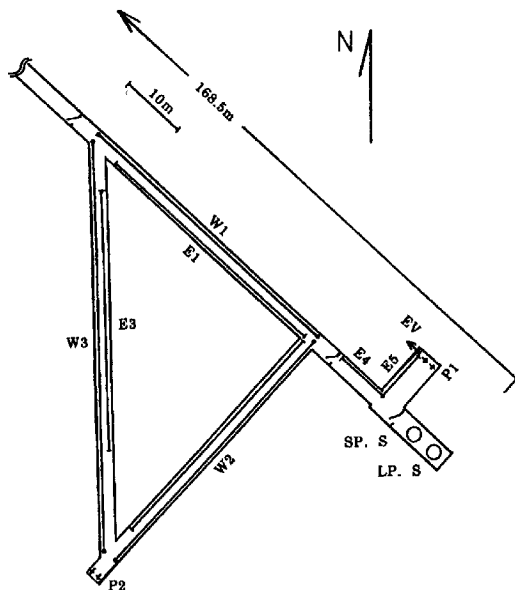


Fig.7 Top views of observation vaults of Miyazaki observatory.

W: Watertube tiltmeter,

E: Super-invar bar extensometer,

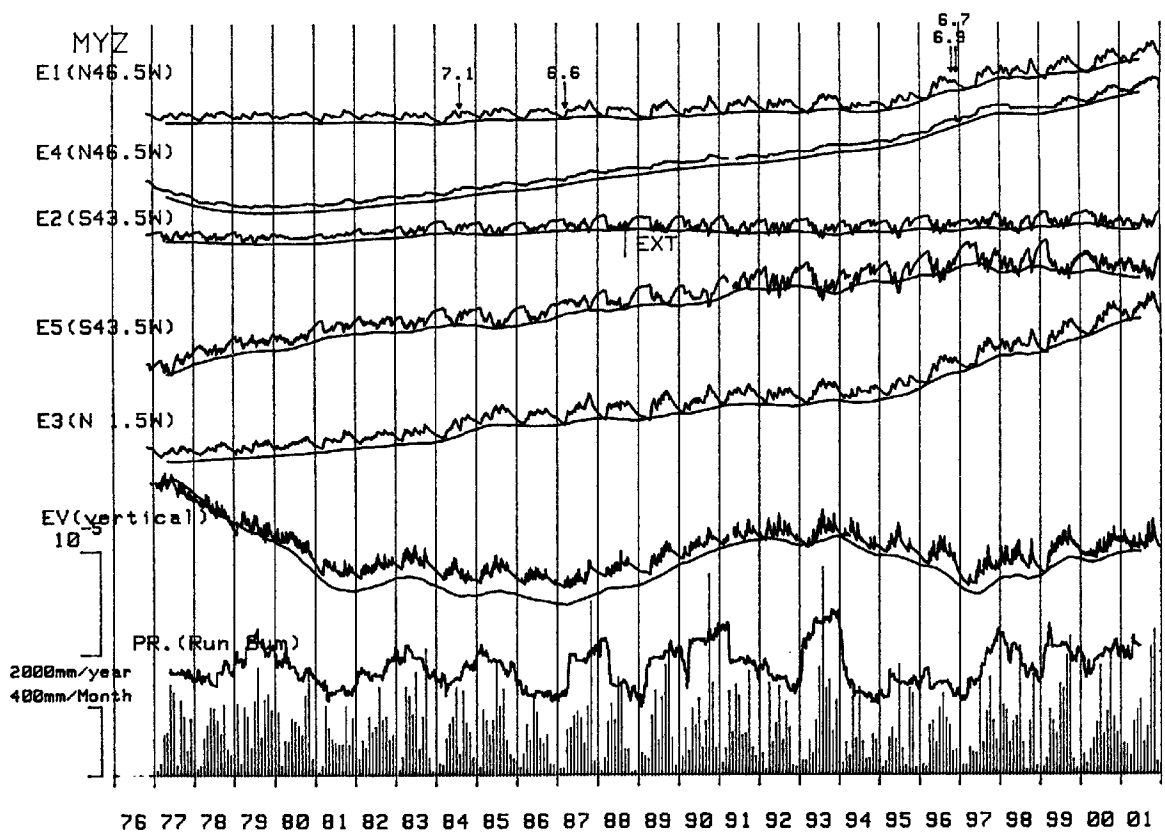


Fig.8 Secular variations of ground-strains and daily precipitation observed at the Miyazaki Observatory. 365 days running mean of strains and running sum of precipitation are also plotted in parallel.

時期を境に変化率が大きく変動している。これらの経年変化は Fig. 9(2)に①~⑥及び Q の記号で示したように、変化率が大きく変わる時期を節目として期間を区切ることができる。これらの期間を2つの地震の時期と対応付けると経年変化の変動は次のように区分できる。

- ①：変化率が増加する以前の通常の期間。
- ②：変化率が増加し始めて2つの地震が発生するまでの期間。
- ③：地震後もなお継続して変化率の増加が見られた期間。
- ④：変化率の増加が止まり、以前の変化率と同じ、もしくは以前より変化率が小さくなった期間。
- ⑤⑥：2つの期間に分け得るか見方にも依るが、再び変化率が増加した期間。
- Q：地震後の長期的な余効変動の影響等が考えられる、一時的に増加率が止まった期間。

Table1に主成分の長スパン3成分について、これら各期間の最小二乗法による直線近似で得た平均歪量をまとめて掲載した。これによると、伸縮計 E1 は異常変動が始まる以前の11年間の平均変化率は  $9.9 \times 10^{-8}/\text{year}$  であったのが、②③で示した地震前後

の変化率が増加した期間では15倍の  $1.5 \times 10^{-6}/\text{year}$  となっている。その後1998年から約1年間は地震前の変化率に戻るような変化を見せ  $9.9 \times 10^{-9}/\text{year}$  と小さくなっているが、1999年1月頃から再び増加し始め変化率  $4 \sim 9 \times 10^{-7}/\text{year}$  (⑤⑥の期間)である。伸縮計 E1 と同じ方向の短スパン E4 と、 $45^\circ$  の角をなす E3 も Table1 で示したように同じ様な変動をしている。E1 と直交する (E3 とは  $45^\circ$  の角をなす) 成分 E2 は、降雨の影響と思われる変化率の増減はあるがほぼ一様な経年変化を示し、特に異常とされる変動は見当たらない。各期間の平均歪量を使って伸縮計 E1, E2, E3 の主要3成分による主歪解と、両地震時の歪ステップの主歪解を Fig. 9(2) の下部に示したが、主歪の主軸は通常の期間①が  $2.86 \times 10^{-7}/\text{year}$ 、地震前後の変化率が増大した期間②③はそれぞれ7.6倍の  $2.17 \times 10^{-6}/\text{year}$ 、5.3倍の  $1.52 \times 10^{-7}/\text{year}$  となっている。

#### 4. 地震活動と歪経年変化の関連

##### 4.1 活動域(B)での地震活動の推移

日向灘地域の中で最も活動が活発で宮崎観測所に

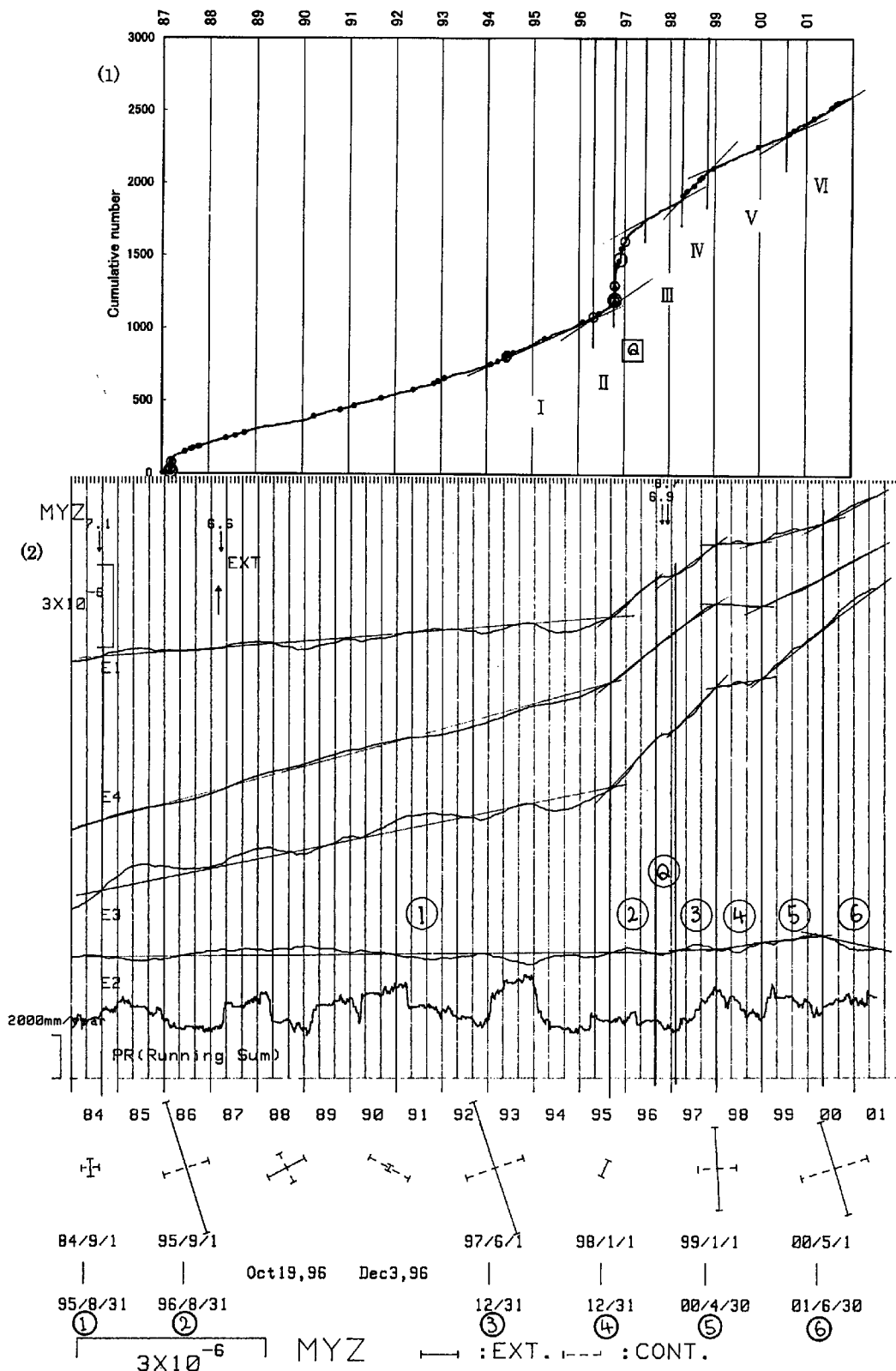


Fig.9 (1)Diagrams of cumulative number of earthquakes in active zone showed by squared area (A). (2)Upper: 365 days running mean of 4 components ground-strains and 365 days running sum of precipitation observed at the Miyazaki Observatory.

Lower : Principal strain rate in six periods calculated from 365days running mean data of three components ground-strains(E1,E2,E3), and principal axes of strain step at two earthquakes(Oct.19,Dec.3,1996:M6.9,M6.7).



Table.1 Strain rates derived from recurrence line of 365 days running mean data.

	Period	E1(/year)	E2(/year)	E3(/year)	E1	E3
①	84/9/1~95/8/31	9.92E-08	-1.33E-08	2.85E-07		
②	95/9/1~96/8/31	1.50E-06	-7.60E-08	1.94E-06	①の15倍	①の6.8倍
③	97/6/1~12/31	1.52E-06	-2.98E-07	1.91E-06		
④	98/1/1~12/31	9.92E-09	2.49E-07	2.24E-07		
⑤	99/1/1~00/4/30	3.94E-07	2.88E-07	1.31E-06	①の4倍	①の4.6倍
⑥	00/5/1~01/6/30	8.85E-07	-4.73E-07	1.33E-06	①の9倍	①の4.7倍

近い(B)ブロックは、積算地震数の変化 Fig. 6 から割合ははっきりとした活動状況の変化が区分できる。これら地震活動期間の違いを Fig. 9(1)に示し、Table2 にそれらの区間の平均地震数を記載した。各期間の地震活動をまとめると、2つの地震発生以前の活動として、

- I. やや地震数が増え始めた期間。
  - II. さらに地震活動が活発化した期間。
- に区別できる。さらに Q で示した、2つの地震発生から余震活動など一連の活動の期間を経て、
- III. 2つの地震の余震が治まり、やや静穏化した期間。
  - IV. 2つの地震の活動域周辺で数個の余震を伴った M4 クラスの地震が発生し、活動が活発化した期間。
  - V. 2つの地震以後では最も活動が治まっている期間で、I の期間と同じ地震発生率になっている。
  - VI. 単発ではあるが M4 クラスの地震が定期的に発生する傾向があり、地震数も増えてきている期間。のように区分できる。

#### 4.2 活動域(B)の地震活動と歪の経年変化

地震活動域(B)における積算地震数の変化 Fig. 9(1)と歪の経年変化 Fig. 9(2)を比較すると、2つの地震後の地震活動変化と歪変化率が増加し始めた以降の経年変化は良く似たような変化をしている事が判る。Fig. 9 の場合(1)と(2)の時間軸は、M6.9 の地震の発生した 1996 年 10 月と経年変化の歪変化率が増加し始めた 1995 年 9 月をそろえて掲載しているが、いくつか時間軸を変えてみた結果この時間軸でそろえるのが一番良い類似を示した。このように地震発生と歪変化率の増加の時期をそろえると多少のずれはあるが、

- ・ IV の地震活動が活発になった時期と、③歪経年変化で地震後の変化率の増加が続いた期間。
- ・ V の地震活動が地震前の発生率に戻った期間と、④歪変化率の増加が止まった期間。
- ・ VI のやや活動が活発化し定期的に M4 クラスの地震も発生し始めた期間と、⑤⑥の再び変化率が増加し始める期間。

等、地震の発生率と経年変化率の増減が適合する期間が見られる。定量的な相関の一致までは言えないが、今後のデータの蓄積によってはより詳細な関連が解明できる可能性がある。

Table.2 The number of day average earthquakes

	Period	地震数/day
1	94/1/28 ~ 96/5/2	0.40
2	96/5/2 ~ 96/10/18	0.62
3	97/6/18 ~ 98/4/18	0.54
4	98/4/18 ~ 98/11/18	0.84
5	98/11/18 ~ 00/8/1	0.40
6	00/8/1 ~ 01/12/31	0.51

#### 5. まとめ

日向灘地域の地震活動は震源分布から北部、中部、南部の3つの地震活動域に分けられ、各ブロックで特徴のある地震活動が見られる。各ブロック間の相互関係はあまり見られず、各ブロックとも独自の活動をしていると思われる。その中で最も地震活動が活発な中部では 1996 年 10 月、12 月に M6.9 及び M6.7 の地震が発生し、余震活動の治まったその後も 1998 年には活動域の周辺で活動が活発になるなど地震活動は活発である。

宮崎観測所における伸縮計による歪観測では、伸縮計 3 成分の経年変化に 1995 年 9 月頃から異常な変化率の増加が現れている。この変動は 1996 年 2 つの地震(M6.9, M6.7)発生の 13 ヶ月前から生じ始め、経年変化が 365 日移動平均処理であることから、生データでは 7 ヶ月前からの変動となる。2 つの地震以降もこの伸縮計 3 成分の経年変化は同じ時期を節目として、長期的な降雨の影響による揺らぎとは違った経年変化率の変動が見られた。またこれらの経年変化は、中部ブロックでの積算地震数の変化において時間軸を 13 ヶ月ずらしたもの(1996 年 10 月と経年変化の 1995 年 9 月をそろえる)と良い関係を示した。

今回の解析で日向灘中部の地震活動域の活動と、宮崎観測所における伸縮記録の関連性が視える状況がでて来たが、定量的な検討を行い地震活動と歪記

録との相関を検討するには至っていない。現在日向灘中部の活動域では、2000年の半ば頃からM4クラスの地震が定期的に発生し地震数も増えている。一方3成分の歪経年変化も1999年頃から伸びの変化率が増えているが、今後さらなるデータの蓄積によっては伸縮記録に現れる異常変動と日向灘地域の地震活動との関連が裏付けられ、これらの異常変動が地震発生にともなう応力変化の影響として関係付けられる可能性が期待される。

#### 参考文献

- 古澤 保・大谷文夫・寺石眞弘・高田理夫(1985)：1984年8月7日日向灘地震に関連した地殻変動と地震活動，京都大学防災研究所年報，第28号B-1，pp. 31-39.
- 寺石眞弘・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-1996年10月，12月，の地震(共にM6.6)に関連した地殻活動-
- 高田理夫・古澤 保・大谷文夫・寺石眞弘・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.
- 古澤 保・大谷文夫・寺石眞弘・園田保美(1988)：日向灘地殻活動総合観測線による地震の検知能力について，京都大学防災研究所年報，第31号B-1，pp. 41-46.
- 古澤 保・森井 互・寺石眞弘(1991)：日向灘地域の地震活動(1987-1990)，京都大学防災研究所年報，第34号B-1，pp. 297-304.
- 森井 互・市川信夫・古澤 保(1993)：NTTの公衆デジタル回線網を使用したデータ通信システム，京都大学防災研究所年報，第36号B-1，pp. 393-400.
- 古澤 保・寺石眞弘・森井 互(1993)：宮崎県西南部における地震活動，京都大学防災研究所年報，第36号B-1，pp. 263-268.
- 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.

### Crustal Movement and Seismic Activities at Observation Network of Crustal Activities Around the Hyuganada Region of Kyushu

Masahiro TERAISHI, Fumio OHYA, Yasumi SONODA and Tamotsu FURUZAWA

#### Synopsis

Two earthquakes occurred with magnitude 6.9 and 6.7 at the central part of Hyuganada Sea, east off Kyushu, on October and December, 1996. Seismic activities and crustal movement before and after these earthquakes are examined by using data at Miyazaki Observatory, DPRI, Kyoto Univ., where 52 km and 19 km respectively apart from the epicenters of each event. Secular variations of continuous strain observations revealed increase in strain rate at 13 months before the occurrence of the first event. The major axis of the principal strain rate is expansion of  $2.17E-6$ /year in north-south direction that is seven times of the value before the appearance of this acceleration of strain accumulation. It is reported about the change after that crustal deformations and the recent earthquake activities of the Hyuganada region, and examined about the one with the relation of the crustal movement and the earthquake activities.

**Keyword** : Hyuganada, strain, extensometer, cumulative number of earthquakes