

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—

寺石 眞弘・大谷 文夫・園田 保美・古澤 保

CONTINUOUS OBSERVATIONS OF THE CRUSTAL MOVEMENT AT OBSERVATION
NETWORK OF CRUSTAL ACTIVITIES AROUND THE HYUGANADA REGION OF
KYUSHU

—SECCULAR VARIATIONS AND SEASONAL VARIATIONS—

By Masahiro TERAISHI, Fumio OHYA, Yasumi SONODA and Tamotsu FURUZAWA

Synopsis

Continuous observations of crustal movements around the Hyuganada region of Kyushu, Southwest Japan, have been carried out for more than 10 years by a network composed of 6 observatories. Initial drifts in the ground-strain and ground-tilt records which remained at some observatories had disappeared and the deformation and tilt of its own crustal movement can be detected at each station. On the secular variations, the variation of rainfall tendency changes their trends in some components. At Miyazaki Observatory, the period when the running sums of precipitation increase corresponds to extension of 2 components of strainmeters and contraction of other 1 component and the directions and the sense of principal strain axes in the rainy year coincident with those of secular ones. The severe rain in 1993 affected at the most stations, especially at Isa Observatory. The seasonal variation patterns can be classified to some types according to the prime factor of the disturbance source, temperature, rainfall or both.

1. はじめに

日向灘地殻活動総合観測線は、日向灘における地震発生と地殻変動との関連を明らかにするため1984年度より3年計画で設置された、地殻変動連続観測を主体とした観測網である¹⁾。1976年11月以来観測を続けている宮崎観測所^{2), 3)}を中心に、以前より現地記録方式で連続観測を続けてきた楨峰観測室ほか計5観測点の観測データをNTT回線で宮崎観測所にテレメータして、集中記録している⁴⁾。これらの観測結果などは逐次報告してきている^{1), 5)}ので、各観測点の配置、観測坑道の形状、観測計器等の詳細については前報⁵⁾に委ね、本稿では観測線発足以降の連続観測データを中心に、各観測点での経年変化や季節変動について解析した結果を報告する。

2. 宮崎観測所における地殻変動連続観測結果

本観測坑道は全てコンクリート巻き立てで、坑口から100mの通路部分を経て観測本坑となっている。観測本坑付近のかぶりは約60mあるため、坑内の温度変化は年間0.08℃、降雨の際の変化量は0.03℃と非常に恒温状況の良い坑道である。直角二等辺三角形形状の坑道に設置された長スパン計器として伸縮計では

直交する2成分をE1, E2, 両者と45°の角をなすものをE3とし, 水管傾斜計も伸縮計3成分の各々に沿ってW1, W2, W3としている。また短いスパンの伸縮計は, 坑道のさらに奥に, E1と同方向のE4, E2と同方向のE5, 垂直成分のEVを設置している。ほかに水平振り型傾斜計2組, 各2成分(P1A:NS方向, P1B:EW方向及び, P2A:NS方向, P2B:EW方向)を設置している。これらの最近10年間の観測結果を日雨量と共にFig. 1に示す。また観測当初からのデータに365日移動平均(雨量は同日間の積算)し

MIYAZAKI

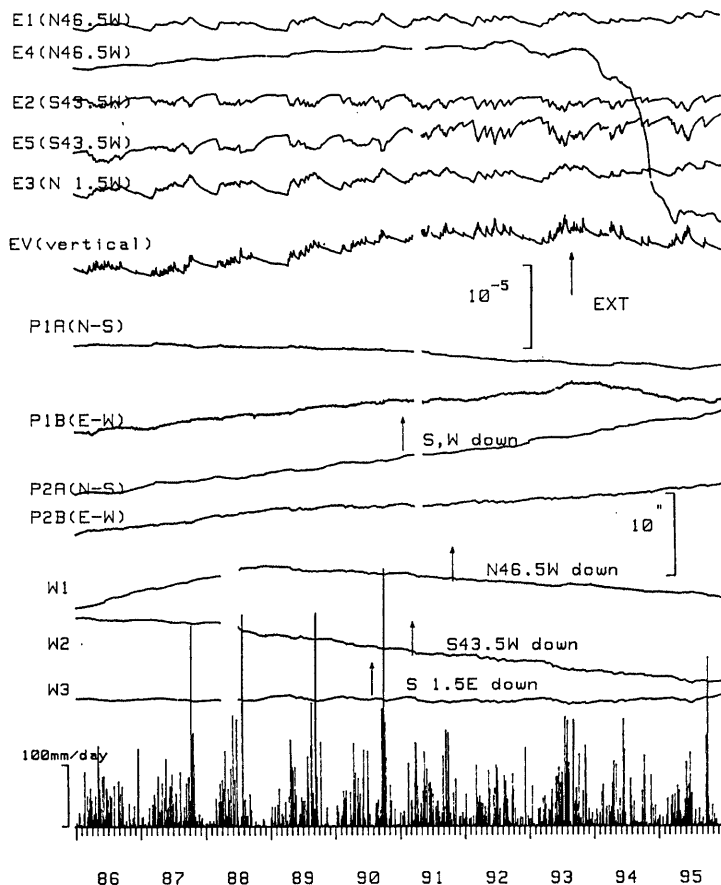


Fig. 1 Secular variations of ground-strains observed with extensometers (E1~5, EV) ground-tilts observed with horizontal pendulum tiltmeter pairs (P1, P2), water-tube tiltmeters (W1 ~ W3) and precipitation at the Miyazaki Observatory.

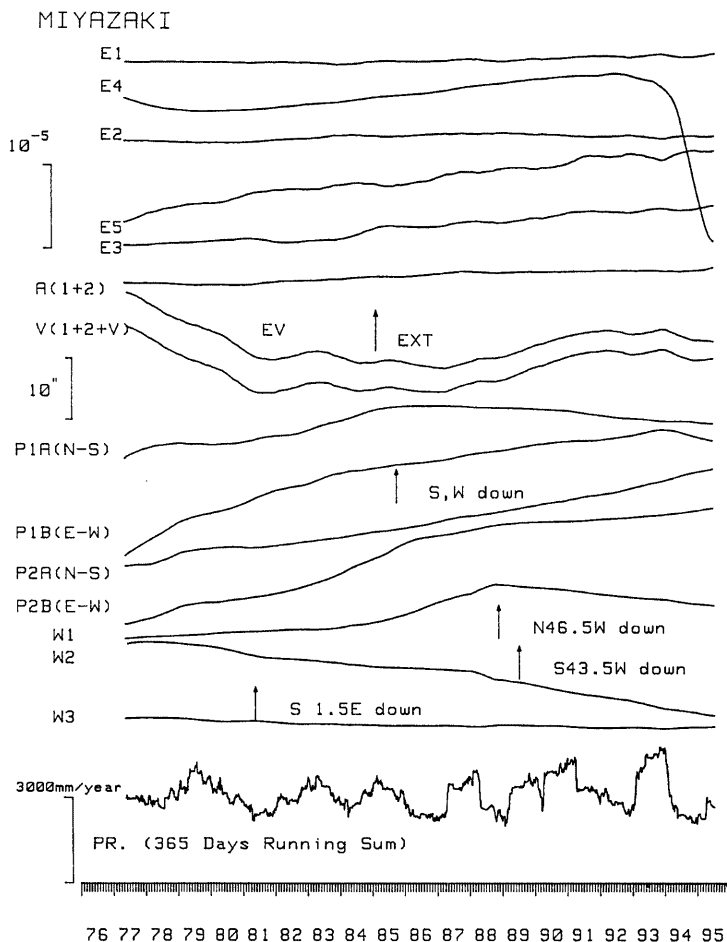


Fig. 2 365 days running mean of ground-strains and ground-tilts observed at the Miyazaki Observatory (365 days running sum about precipitation). "A" and "V" mean areal and volume strain respectively, calculated from the strains observed with the same suffix number instruments as in parentheses.

て、年周変化を取り除いたものを **Fig. 2** に示す。

2.1 伸縮変化

既に前報^{5),6)}でも述べてきているが、**Fig. 1**の伸縮変化にみられる短周期の変化は降雨によるものである。**Fig. 2**ではスムージングされこれらの変化が除かれているが、この一部、長スパン伸縮計E1,E2,E3を拡大スケールでプロットした**Fig. 3**をみると、経年変化に見られる数年周期の変動も雨量の移動積算値

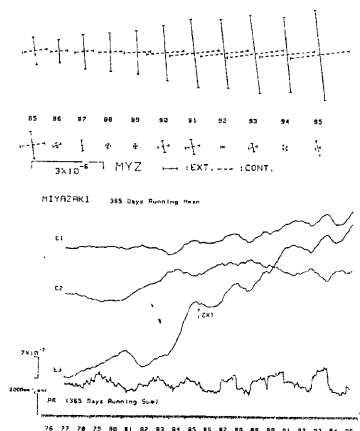


Fig. 3 upper : Principal strains calculated from 3 components ground-strain data at the Miyazaki Observatory, those are plotted at bottom of this Figure.

lower row ; the yearly principal strains.

top row ; the accumulated strains of yearly ones from 1985 to each year.

lower : 365 days running mean of ground-strains and running sum of precipitation for same length at the Miyazaki Observatory.

(Fig. 2 最下段)に対応していることが明瞭である。宮崎観測点の場合、降雨で受けた擾乱からの回復に時間がかかり、その影響が長時間に及ぶ。そのため、期間1年の移動平均でもその影響はとりのぞけない。このような降雨の影響による一時的な揺らぎはあるが、E1の1984年頃からの 1.04×10^{-7} /年の伸び、E3の1985年以降の 3.1×10^{-7} /年のような伸びの傾向はその後現在に至るまで変わっていない。一方E2成分は1984年頃から小さくなっていた伸びが更に1989年頃から逆に 5.4×10^{-8} /年の縮みに転じている。このためFig. 3に示すように、この3成分から求めた主歪軸の方向が半時計回りにやや傾いてきている。Fig. 3では最上段に1985年から積算した主歪、次の段に各年毎の主歪がプロットしてある。各年の主歪はまちまちで降雨の影響によるゆらぎがここでもみられ、1990年、1991年、1993年など多雨年における主歪解は積算の主歪の方向と一致している。

次に坑道の最奥部のE4であるが、1993年以降異常な縮み変化を示している。これは同じ基準尺で設置当初から続けている写真記録には現れておらず、電気回路基板の交換後も、同様の変動を記録し続けていた。一方降雨の影響による短周期的な変動や潮汐は同じ方向の長スパンE1と調和している。外見ではわからないが、差動トランス設置のための基板(土台)取り付け付近に問題があるかも知れない。なお、1995年以降はこの異常な縮みはおさまり、 10^{-6} /年程度の変化率に落ち着きつつある。

鉛直成分EVは1987年以降 1.04×10^{-6} /年の伸びであったが1992～1993年はほとんど伸縮なし、更に最近2

年ほどは逆に 1.0×10^{-6} /年の縮みに転じている。最近2年間の変化は、1993年から1994年にかけて極端な多雨から寡雨の時期でありその影響とも見られ、以後のデータの蓄積を待ちたい。

2.2 傾斜変化

最近の10年間の記録で顕著なのは、P1の東西成分が1993年8月頃から西下がり止まり1994年2月頃から東下がり転じていることである。Fig. 12には他点も含めて観測当初からの傾斜変化をベクトル図として移動平均によるものと並べて示すが、この変化がベクトルの反転として明瞭に現れている。概してP1の地点では降雨により西下りの傾向が強まり、その後の回復期には逆に東下りとなる。雨量の移動積算値にみられるように、1993年の多雨ののち、1994・5年と続いた寡雨で大きく現れた東下りの傾斜が継続していると考えられる。P1の地点は降雨時に多くの湧水が溜る堅坑のすぐそばで伸縮計でも最も降雨の影響を受けている場所である。一方この時P2及び水管傾斜計には異常な傾斜変化はみられない。P2は1985年まで一様な西南西下がりであったが1986年～1988年南西下がり、さらに1989年以降は一様に南南西下がりを示している。水管傾斜計は1989年に北下がりから東北東下がりに変化してからは一様な傾斜変化を示している。

3. 槇峰観測室における地殻変動連続観測結果

本観測坑は、網の目状に総延長 10 km をはるかに越える長大な鉱山廃坑の入口付近の一部を近年ライナープレートで巻立てをして⁵⁾使用している。そのため坑道奥と外部との間に気流があるため、年間の温度変化は 5.0℃ にもなり観測に及ぼす影響は大きい。1987 年に設置した水晶温度計による観測坑道内気温も含め、最近 10 年間の観測結果を Fig. 4 に、また Fig. 5 には 1974 年以後の 365 日移動平均の結果を示す。

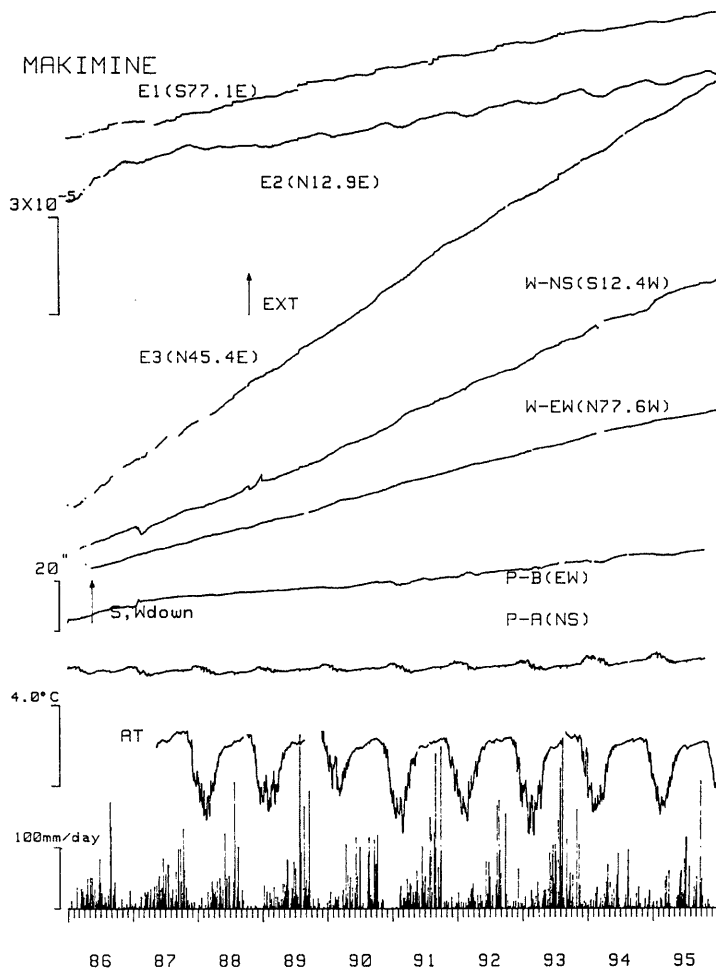


Fig. 4 Secular variations of ground-strains and ground-tilts, air temperature in the vault and daily precipitation observed at the Makimine Observatory.

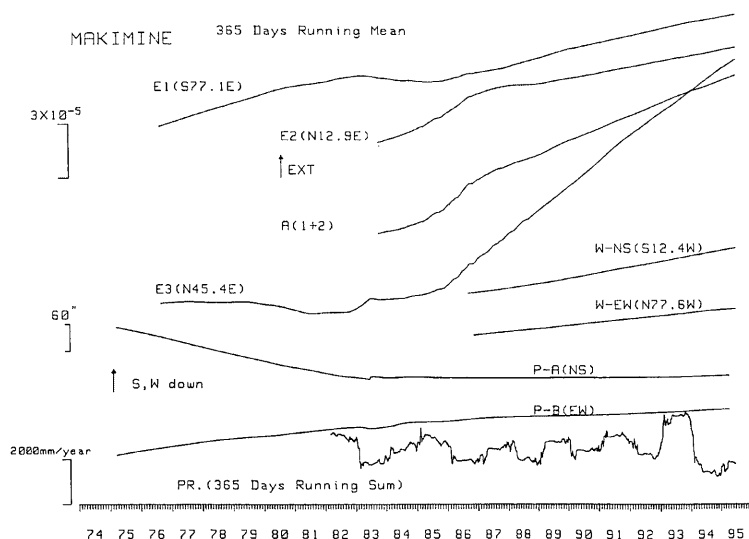


Fig. 5 365 days running mean of ground-strains, those of ground-tilts and running sum for the same length of precipitation at the Makimine Observatory.

観測計器は直交する伸縮計2成分E1,E2, 両者と斜交するE3, 水管傾斜計の直交する2成分W1,W2, 水平振子型傾斜計1組 (PA:NS,PB:EW 成分) である。

3.1 伸縮変化

観測坑の改修工事等を境に経年変化の傾向が変わったことは前報で述べたが、基準尺の延長を行った1985年以降3成分共にほぼ単調な伸びを示している。特に1989年以後の移動平均値の変化は、全成分極めて一様である。E1は1985年以降 3.9×10^{-6} /年の伸び、E2は計器設置後続いていた大きな伸びが1987年に入って指数函数的に収まり、1988年約一年はほとんど伸縮無しの後1989年からは 3.2×10^{-6} /年の一様な伸びを示す。またE3の 10^{-5} /年台という大きな伸びはずっと続いている。

3.2 傾斜変化

水平振子型傾斜計の記録は、基礎台を構築しなおした1983年度末を境に傾斜の傾向が大きく変わっているが、構築以前の期間、以後の期間それぞれ一様な傾斜変化を示している。また1986年に設置した水管傾斜計も初期ドリフトはあまり見られず一様な変化である。Fig. 12に示したベクトル図によると、最近10年間でみられる変化は水管傾斜計では $13.3''$ /年の一様な北北西下がり、水平振子型傾斜計では1993年迄は $2.6''$ /年の西下がり、以後は南西下がりの傾向が見受けられる。

4. 宿毛観測所における地殻変動観測

本観測室では坑口から計器設置場所までの距離が短く、かぶりも浅いため温度変化は大きい。このため、

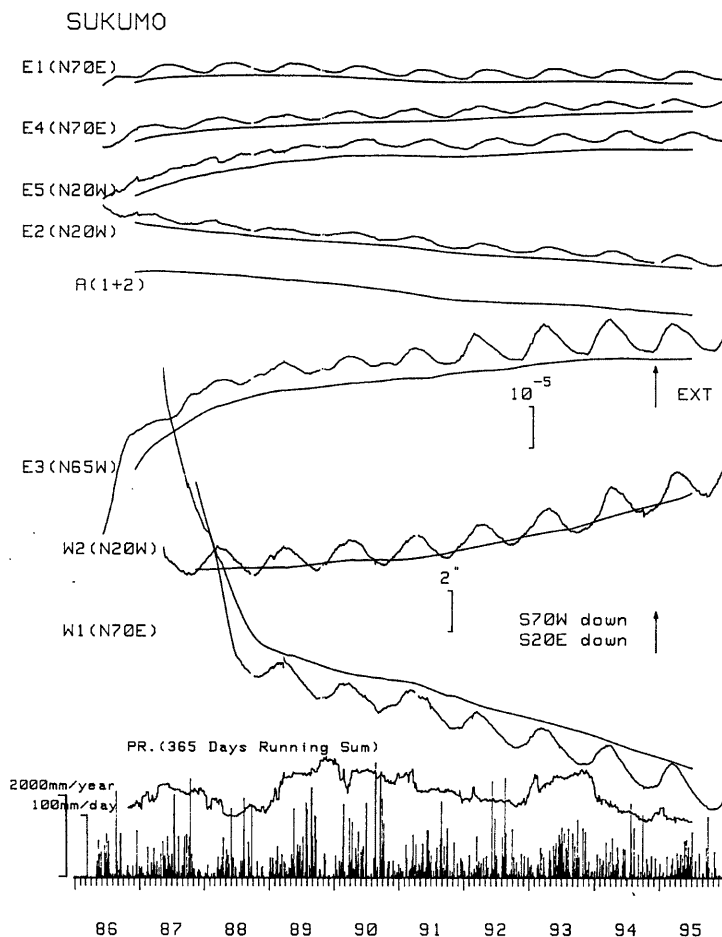


Fig. 6 Secular variations of ground-strains and ground-tilts and daily precipitation observed at the Sukumo Observatory. 365 days running mean of strains and tilts and running sum of precipitation are also plotted in parallel.

気温が主因と思われる毎年同じパターンの顕著な年周変化がみられる。Fig. 6 に原データと 365 日移動平均の結果を併せて示す。観測計器は、直交する 2 本の伸縮計 E1, E2 と各々の中央に中間センサー E4, E5, 坑口近くに斜めの成分 E3 を配し、水管傾斜計は E1, E2 と同じ並びに W1, W2 が設置してある。なお、伸縮計に中間センサーを設置している場合、本点並びに次節の伊佐においても同様であるが、末端・中間点いずれも、固定端との間の区間に対するひずみで表現している。

Fig. 7 は伸縮計の経年変化の拡大図であるが、初期ドリフト後各成分各々に違った変化がみられる。E1

は1989年までの初期ドリフトと思われる指数関数的な動きから、1990年～1991年8月が 8.2×10^{-7} /年の縮み、1991年9月～1991年9月が 2.5×10^{-7} /年の伸び、1993年10月～1995年6月は 3.3×10^{-7} /年の縮みと、ある時期を境に変化率が変わるような動きがみられる。E2成分は観測当初の短い期間初期クリープが見られたがその後 1.2×10^{-6} /年のような縮みを示している。入口に近くもともと外気温の影響を受けるE3は当初かなり大きなクリープであったが、1989年頃から 1.7×10^{-6} /年の一定の変化率で伸び、1994年頃からは急に変化率が小さくなり一時は縮み再び伸びに転じている。

一方、中間センサーでの変化はE4で1990年以降一様に 6.8×10^{-7} /年の伸び、E5では1990年から約2年毎に 1.2×10^{-7} /年の縮み、 9.7×10^{-7} /年の伸び、 4.0×10^{-8} /年の縮みと変化する。中間センサー取り付け点の両側のひずみを比較した場合に、直交2成分とも固定端側が伸び、検出端側が縮みと、逆センスになる状況は観測開始以来変わっていない。

傾斜変化は、水管傾斜計W1に初期ドリフトの大きな変化がみられたが1989年以降はW1,W2共に同じパターンの季節変化を示し、経年変化ベクトルは単調な東北東下がり、1993年半ば頃からやや傾斜速度が大きくなって来ている。

5. 伊佐観測室における地殻変動観測

本観測坑は宮崎観測所と同じ形状で、坑内温度変化も小さく恒温性がよく保たれた観測坑である。主な気象擾乱は降雨によるものであるが、移動平均により平滑化でき一様な経年変化を見ることができる。しかし1993年の年間雨量は平年の3倍にも達し、移動平均後もなお急激な変動が残る回復期を含め約2年間はこの擾乱の影響がみられる。Fig. 8の(a)に原記録を、(b)に365日移動平均した結果を示す。観測計器は伸縮計が直交する2成分E1,E2、これらと45°の角をなすE3、また各成分の中間にE4,E5,E6のセンサーを設けた。水管傾斜計は、伸縮計と同じ並びにW1,W2,W3である。

伸縮計の経年変化について詳細を見るため、移動平均の結果をさらに拡大してFig. 9に示す。E1はほぼ一様な伸びを示し、変化率は年 10^{-6} を少し上回る。E1とその中間センサーE4の調和性については、前報で述べた通り、1992年以降はほとんど同じひずみ変化を示している。この伸縮計に直交する成分E2もほぼ同じ経年変化をしているが、降雨の影響など短周期変化はE1とは逆センスに出ている。中間センサーE5では短周期変化の向きは長スパンE2と同じ向きであるが経年変化はE2と逆向きにでている。E3とその中間センサーE6は1993年の豪雨に対しても他の成分ほど大きな影響は受けておらず、E6は1991年以降は一様な 4.3×10^{-6} /年の縮み、E3はわずかな伸びを示している。

水管傾斜計では、前報⁵⁾において降雨の影響がW1とW2のみに出る場合とW2とW3のみに出る場合があることを指摘したが、1993年の豪雨に対してはW2とW3に非常に大きな影響が現れている。Fig. 12に示すベクトル図は直交する2成分W1とW2によるもので、豪雨の影響で南西下がりが一時的に大きくなり、その後回復期に北東下がりが見られ元の西下がりに戻ってきている。

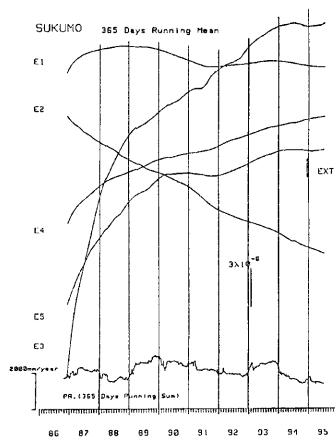


Fig. 7 365 days running mean of ground strains at the Sukumo Observatory with running sum of precipitation for the same length.

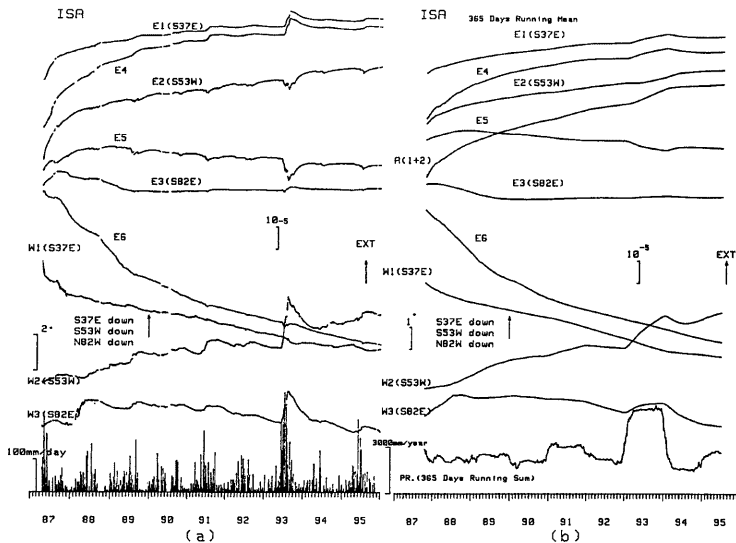


Fig. 8 (a) Secular variations of ground-strains and ground-tilts and daily precipitation observed at the Isa Observatory.
(b) 365 days running mean and running sum of the data at the Isa Observatory.

6. 高城及び串間観測室における地殻変動観測

両観測坑は一方のみの坑道で、坑口からすぐに観測坑になっており温度変化も大きく、気温が主因と思われる明瞭な年周変化がみられる。Fig. 10 に高城、Fig. 11 に串間の観測結果を示す。観測計器は伸縮計1成分(E)水管傾斜計1成分(W)バブル傾斜計1組(NS,EW成分)、高城には水晶温度計も設置している。観測結果はすべて観測開始当初からの記録で、365日の移動平均の結果も併せてプロットした。高城、串間共に降雨の影響がみられるので、宮崎観測所の雨量データも併せてプロットした。

高城の伸縮変化及び温度変化のスパイク状の急激な変化は降雨によるものである。高城は通常全く湧水のない状態であるが、多雨時に水が流入している形跡がみられ、また水はすぐに排出されているようで温度は急激に上昇したすぐに元に戻る。伸縮、傾斜変化共にこの温度変化に対応した変化がみられる⁷⁾。特に伸縮変化とはよい相関を示している。これらの短周期の変動を取り除いた経年変化はほ

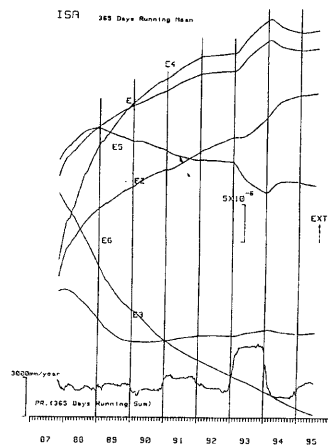


Fig. 9 365 days running mean of ground-strains at the Isa Observatory with running sum for the same length of precipitation.

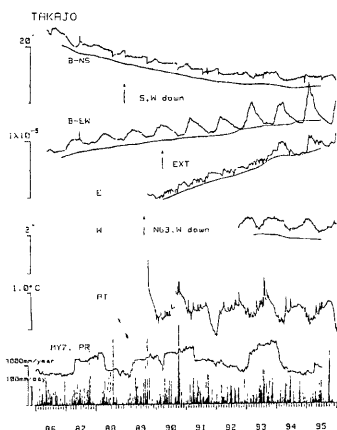


Fig. 10 Secular variations of ground-strains and ground-tilts observed at the Takajo Observatory with daily precipitation at Miyazaki. 365 days running mean of strains and tilts and running sum of the precipitation are also plotted in parallel.

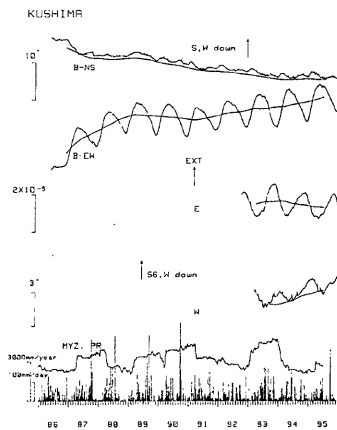


Fig. 11 Secular variations of ground-strains and ground-tilts observed at the Kushima Observatory with daily precipitation at Miyazaki. 365 days running mean of strains and tilts and running sum of the precipitation are also plotted in parallel.

は一樣で、 1.7×10^{-7} / 年の伸びとなっている。バブル傾斜計による傾斜変化は Fig. 12 にベクトルをプロットしたが、1991 年迄は北西下がりであったがその後西下りの傾向が強くなっている。1993 年の一時期北下がりが見られるが降雨によるものと思われる。水管傾斜計は目立った初期ドリフトはみられず周期的な季節変化を記録し、その経年変化にはやはり 1993 年の降雨の影響と思われる擾乱が見られる。傾斜方向は坑口方向が下がりを示し、バブル傾斜計とは調和的ではない。

串間観測室の伸縮計、水管傾斜計は設置後約 3 年の記録であるが、坑道方向に縮みと坑道奥方向（ほぼ南）が下がりを示している。バブル傾斜計は 1988 年から 1990 年にかけての一時期西下がりから北東下がりがみられるが、この前後では北西下がり为主だっておりこれも水管傾斜計とは調和的ではない。

7. 各観測点における季節変動

総合観測線を構成する各観測点では、観測坑の形状や地形、気象の状況により各観測点特有の季節変動が見られる。今までこういった季節変動を取り除いた経年変化について議論してきたが、今回各観測点の季節変動に注目してみた。観測結果からトレンドを取り除き短周期の変動を詳細にみるため、原観測値から 365 日移動平均値を差し引く操作を行った、代表的な伸縮変化について年毎に並べたものを Fig. 13 に示す、(a)宮崎、(b)檳峰、(c)宿毛、(d)伊佐、(e)高城・串間の結果である。

宮崎、伊佐の観測点は坑内温度変化が小さいため、季節変動の主因は降雨によるもので多雨時期の遅速や期間、量の違いにより年毎に違った季節変動を示している。

これに対し坑内温度変化の大きい他の観測点では、主に気温変化と降雨に対応した季節変動を示してい

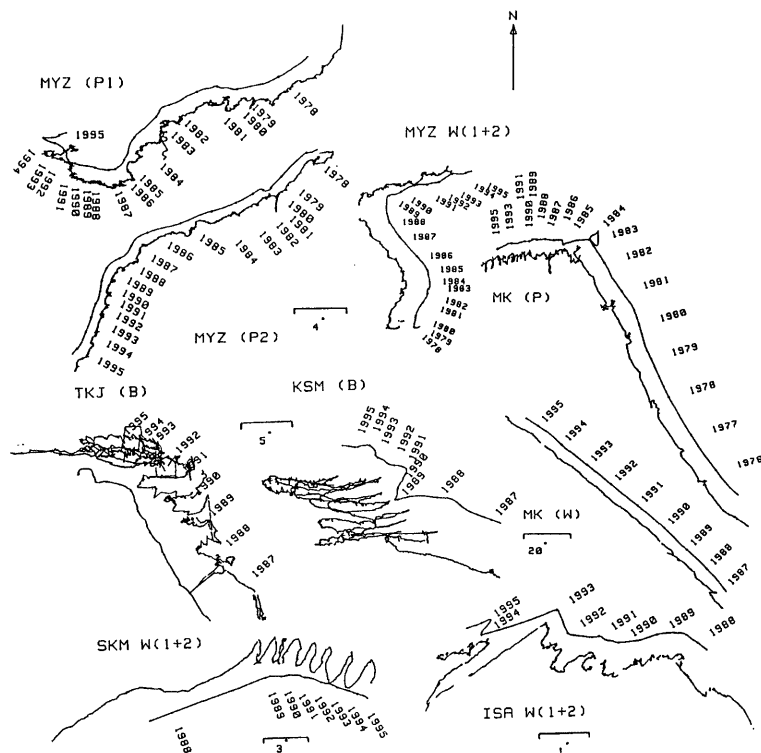


Fig. 12 Vector diagrams of secular variations of ground-tilts observed at each station in the Hyuganada Network and those of 365 days running mean.

る。Fig. 13(c)に見られるように宿毛では降雨の影響は小さく短期間で回復するため、気温変化によると思われる季節変動が顕著できれいなカーブを描いている。3成分を比較すると各観測計器の季節変動のパターンの位相はずれていて、坑道内部で温度変化に時間的なずれがあると思われる。現在観測坑入口付近と奥の2カ所に水晶温度計を設置し、温度変化の詳細について調査中である。

槇峰の場合、坑道内の気温変化はFig. 4に示されるように、冬季半年は2月ごろを底とするV字型の傾向に短周期の大振幅の変化が重畳し、夏季半年はほぼ単調に上昇するトレンドで重畳する短周期変化の振幅もごく小さい。これは、観測坑道周辺を流れる、外部と廃坑奥部との間の、冬季は外から内へ、夏季は内から外への気流が存在し、冬季は外気温の反映、夏季は地下坑道内気温が反映しているためと考えられる。このため伸縮計等には、冬季は緩やかなカーブを描く変動に外部の温度変化に対応した短周期の変動が重なり、夏季は安定した一様な変動が現れている。またE1, E3成分には降雨の影響によるステップ状の変動がみられる。

気温以上に降雨の擾乱が大きい高城は、気温による季節パターンがかなり崩れ宮崎以上に年毎の変動は違っている。年周変化量約 1.5×10^{-6} に対し降雨の影響量はその半分程度にもおよび、 $6 \sim 8 \times 10^{-7}$ とな

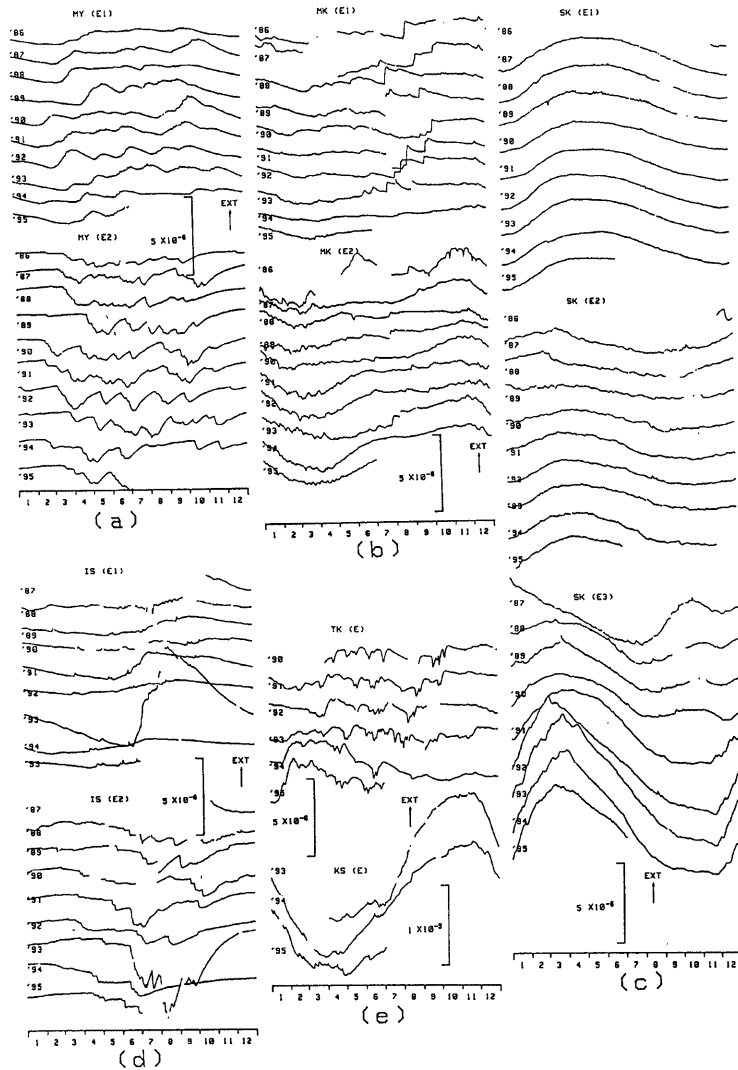


Fig. 13 Seasonal variations of ground-strains at each station in the Hyuganada Network. (subtract 365 days running mean data from original data)

っている。

串間の観測坑のかぶりは12 m程度で年間の温度変化が大きいと思われ、伸縮計及びバブル傾斜計の東西成分に大きな季節変動がみられ、伸縮計にみられる季節変動は年間 10^{-5} のオーダーである。

8. まとめ

総合観測線として各観測点で地殻変動連続観測が展開され始めてから10年余りの経過の中で、初期ドリフトと思われる大きな変化も長期のものでは4～5年のがあったが、これらもおさまり、各観測点固有の変化がみられるようになった。

年周変化を移動平均で取り除いて、経年変化をみた。Table 1にまとめた経年変化率は最近10年で一様な変化をしている期間（最近の経年変化として代表されると思われる期間）についての回帰係数である、表中には取り上げた期間を記す。

次に連続観測で得られた経年変化や年周変化についてまとめた。

- 1) 経年変化を $10^{-6} \sim 10^{-7}$ のオーダーで詳しくみると、一見一様な変化の中にも、ある時期を境に変化率が変わったり伸縮や傾斜の方向が僅かに変化している。これらの変化の節目は降雨量の変化に対応していることが多いが全ての場合に当てはまっておらず、また他の成分にも同時に現れるわけでもない。テクニクな歪場について検討する場合注意が必要である。

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

Observatory & period	component	rate $\times 10^{-7}/y$ $\times 10^{-2}/y$	Observatory & period	component	rate $\times 10^{-7}/y$ $\times 10^{-2}/y$
MIYAZAKI			SUKUMO		
85/7～95	E1	1.01	89/7～91/6	E1	-7.79
	E2	-0.26	91/7～95	〃	0.217
	E3	2.86	88/1～95	E2	-11.5
	A (1-2)	0.76	89/1～95	E3	14.6
85/7～92/6	E4	4.59		E4	6.76
85/7～95	E5	4.24	90/1～95	E5	4.79
85/7～91/12	EV	7.42	91/7～95	A (1+2)	-9.21
92/1～95	〃	-3.62	89/1～95	W1	-86.0
85/7～95	〃	5.17	88/1～91/6	W1	-86.0
85/7～91/12	V (1+2+V)	8.57	91/7～95	〃	76.6
92/1～95	〃	-3.21	ISA		
85/7～95	〃	5.94	91/7～95	E1	13.5
85/7～95	P1A	-32.9	91/1～95	E2	26.0
	P1B	58.0		E3	2.32
	P2A	97.2	91/7～95	E4	14.6
86/1～88/12	P2B	98.0	89/1～95	E5	-12.5
89/1～95	〃	37.0	91/7～95	E6	-42.8
89/1～95	W1	-52.2	90/1～95	A (1+2)	40.6
89/1～95	W2	-92.0	89/1～95	W1	-41.8
85/7～95	W3	-4.1		W2	41.2
MAKIMINE				W3	-18.7
85/7～95	E1	39.5	TAKAJO		
87/1～88	E2	26.0	87/7～95	BN	-165
89/1～95	〃	31.5		BE	133
86/1～95	E3	133	90/7～95	E	17.1
89/1～95	A (1+2)	68.6	KUSHIMA		
85/7～95	PA	39.9	89/1～95	BN	-97.4
	PB	259		BE	78.8
86/7～95	Wns	1180			
	Wew	692			

- 2) 宮崎観測点の場合では、移動年間積算雨量の増加時期が、E 1, E 3 の経年変化の伸び、E 2 の同縮みと対応し、雨量の減少がそれぞれの逆センス期におおむね対応している。また、多雨年の主ひずみ解が積算主ひずみの向きと一致する。
- 3) 最近の経年変化に目だつ急激な変動は、1993 年の南九州地方の豪雨によるもので、年間雨量が通常の 3 倍にもなっている伊佐観測点をはじめ各観測点で少なからず影響を受けている。
- 4) 各観測点における季節変動について検討した。気温の影響が主因の宿毛では毎年同じ季節変動を示し、槇峰、高城、串間では気温変化の影響に加え、降雨の影響や特異な坑内温度変化により特有の季節変動をしている。宮崎、伊佐では降雨の影響が主で、降雨の時期や量の違いによって毎年少しづつ違った変動を示している。

最後に槇峰観測所の記録を交換していただいている(株)菱新 槇峰事業所の中村和雄氏には深く感謝致します。また伊佐観測室での観測、データ転送に当たりお世話になっております桜島観測所の皆様には日頃のご協力を深く感謝致します。

参考文献

- 1) 高田理夫・古澤 保・大谷文夫・寺石真弘・園田保美：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, 1987, pp. 29-40.
- 2) 高田理夫・古澤 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），京都大学防災研究所年報，第 22 号 B 1, 1979, pp. 61-77.
- 3) 高田理夫・古澤 保・大谷文夫・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 2 報），京都大学防災研究所年報，第 26 号 B 1, 1983, pp. 63-76.
- 4) 古澤 保・大谷文夫・寺石真弘：地殻変動連続観測データ処理システム，測地学会誌，第 33 巻，1987, pp. 299-306.
- 5) 大谷文夫・寺石真弘・園田保美・古澤 保：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 35 号 B 1, 1992, pp. 299-312.
- 6) 古澤 保・大谷文夫・寺石真弘：地殻伸縮ひずみと降雨の関係について—宮崎地殻変動観測所の場合—，測地学会誌，第 32 巻第 1 号, 1986, pp. 56-63.
- 7) 古澤 保・大谷文夫・寺石真弘・園田保美：熱膨張率の異なる 2 種のスーパー・インヴァール棒伸縮計の比較観測，測地学会誌，第 39 巻第 4 号，1993, pp. 363-376.