

伊豆諸島の岩礁における地殻変動観測及び三宅島噴火による 周辺海域の地殻変動[†]

寺井孝二*, 矢吹哲一朗*, 笹原 昇**, 河合晃司**
深野慶太**, 佐藤まりこ**, 仙石 新**

Crustal Movement Observation at Small Islands in Izu Shoto and Crustal Movements of Adjacent Sea Area by Miyake-jima Eruption[†]

Kouji TERAJ*, Tetsuichiro YABUKI*, Noboru SASAHARA**, Kouji KAWAI**
Keita FUKANO**, Mariko SATO** and Arata SENGOKU**

Abstract

On June 27, 2000, discolored sea water was found in the area west of the Miyake-jima and heavy earthquake swarm was observed between Miyake-jima and Kozu-shima since then.

Miyake-jima volcano erupted on July 8. The earthquake swarm and volcanic activity of Miyake-jima continued for more than three months.

GPS observation was carried out at small islands by Hydrographic Department in order to detect crustal movements of Miyake-jima, Kozu-shima and adjacent area.

1. はじめに

海上保安庁では地震予知計画の一環として、南関東の島嶼等の固定点においてGPSによる地殻変動監視観測を連続的に実施している。本観測は、電話回線により本庁からリモートで観測装置を操作し、データも電話回線を通じて取得する。本庁でデータ解析を行ってこれらの地点間の精密距離等を算出し、その変化を常時モニターしている。一方、観測点を常設できない岩礁等では定期的に観測装置を持って行きGPSによる同様な観測を1999年から実施してきた。

これにより伊豆諸島周辺における地殻の歪みの分布状態を把握することができるが、くしくも2000年6月の末から神津島東方海域等で群発地震

が発生した。これらの地震は7月はじめから起こった三宅島の噴火に関連したマグマ活動によるものと思われる。

三宅島噴火活動及び周辺での地震活動は9月に入って小康状態を保っているが、三宅島内では火山性ガスが大量発生したことから9月から全島民が避難し、2000年11月に入っても予断を許さない状態である。

水路部では岩礁等において1999年夏の1回目の観測からほぼ一年の期間をおき2回目の観測をこの6月半ばから実施した。そのGPS観測の結果は、その都度、地震調査委員会等に提出されており、本稿では観測の概要と11月までにGPS観測で把握した伊豆諸島周辺における地殻の歪みの分布状態を総括して報告する。

[†] Received 2000 December 27th. ; Accepted 2001 January 16th.

* 海洋研究室 Ocean Research Laboratory.

** 航法測地課 Geodesy and geophysics Division.

2. 三宅島噴火の概要

三宅島は、東京の南方約180kmに位置し、面積55.5km²、直径約9km、伊豆諸島で3番目に大きい島で、約4000人の人々が生活している。三宅島火山は、伊豆一小笠原海嶺と呼ばれる海底の高まりの上ののっており、三宅島は全島が1つの火山体(三宅島火山)からなり、最高点は標高813mに達する。

山麓での火山噴出物の研究によって、約3000年前の旧期カルデラ形成以降、1154年までに少なくとも13回の噴火があったことが判明している。それらの噴火は、山腹噴火(側噴火)とその後の山頂火口からの火山灰放出が特徴的で、噴火間隔は69—300年、平均約200年ごとに起きている。そして315年の休止期をおき、1469年の噴火以降は噴火の様式が変わり、主として山腹における短期間の噴火の繰り返しに変化した。噴火間隔は、21—69年、平均約50年ごとに起きている(一色, 1984)。

三宅島火山の最近の噴火様式は、玄武岩質マグマの特徴的な噴火様式であるスコリア噴出と溶岩流出を主としている。1940年・1962年・1983年の各噴火の詳しい観察によると、山腹地点で噴火が始まると、多数の小火口が山頂方向と山麓方向に次々に出現し(割れ目火口)、これらの火口から灼熱した火山弾やスコリアが空中へ噴き上げられる(溶岩噴泉)と同時に溶岩を流出し、1983年には割れ目噴火による噴火活動で大きな被害を出した(国土地理院, 1995)。

そして今回の噴火は、2000年6月27日に三宅島の西側で変色海域が見つかり、7月に入り数回の山頂噴火の後、8月18日に大規模な噴火を起こした。

噴煙の高さは8000メートル以上に達し、島の東部の三池地区、西部の伊ヶ谷地区には直径5cmを超える噴石が飛び、車のガラスが割れる被害が多発した。40cmほどの噴石により都道には大きな穴が開けられているのが見つかった。

さらに8月29日早朝、三宅島は再び大規模な噴煙を上げ、一部は火口からあふれるように山腹を

下り、北東側では海にまで達した。火山噴火予知連絡会では「弱い火砕流が発生した」と発表した。

10月に入り当面大規模な噴火の危険性はなくなったが、火山性のガスが発生し続けている。

3. 三宅島の火山活動及び周辺海域の地震活動の経過

2000年6月26日 午後6時半ごろから三宅島で火山性地震が増加。

気象庁が「噴火の恐れがある」との緊急火山情報を発表。

三宅村は住民2607名に避難勧告(6月29日に避難勧告全面解除)。

27日 三宅島西方沖約1.2kmの海底における噴火と思われる海面の変色域を確認。

7月1日 新島・神津島近海を震源とする地震が発生、神津島で震度6弱を観測。

以後、両島周辺で規模の大きな地震が多発。

4日 山頂直下を震源とする地震が増加し始める。

8日 三宅島山頂の雄山で噴火。噴煙の高さは800m、噴出物の量は約10万m³。火口の陥没が始まる。

14,15日 山頂で噴火。噴煙の高さは1500m、噴出物の量は約210万m³。

30日 三宅島近海で地震、震度6弱の揺れ。

8月8日 火口の陥没が直径約1.4キロ、深さ約450mまで進行。

10日 山頂で噴火。噴煙の高さは3000m、噴出物の量は約10万m³。

634人に避難勧告、泥流で都

Crustal Movement Observation at Small Islands in Izu Shoto and Crustal Movements of Adjacent Sea Area by Miyake-jima Eruption

- 道の一部も通行止め。
- 18日 式根島で昼前後に震度6弱の地震が2回発生。
午後5時過ぎ、最大規模の噴火。噴煙は8000m以上に達し、ほぼ全島に降灰、ふもとに噴石も飛ぶ。噴出物の量は約500万m³。
2162名に避難勧告。
- 29日 再び規模の大きな噴火。噴煙の高さは8000mになり、湿った低温で勢いのない火砕流が発生。
島の小中高の児童・生徒136人が定期船で東京へ避難。
- 30日 大雨注意報が出たため、全域に避難勧告が出され、都道にも通行禁止の措置。
- 9月1日 都が全島民の島外への避難を決定。
- 4日 防災関係者を除き、島外避難が完了。
- 10月に入っても三宅島では噴煙が継続し、火山性のガスが発生し続ける。防災関係者からも上陸できない日が多く、島は「無人の孤島」と化しつつあり、避難生活の長期化は必至の様相となった。

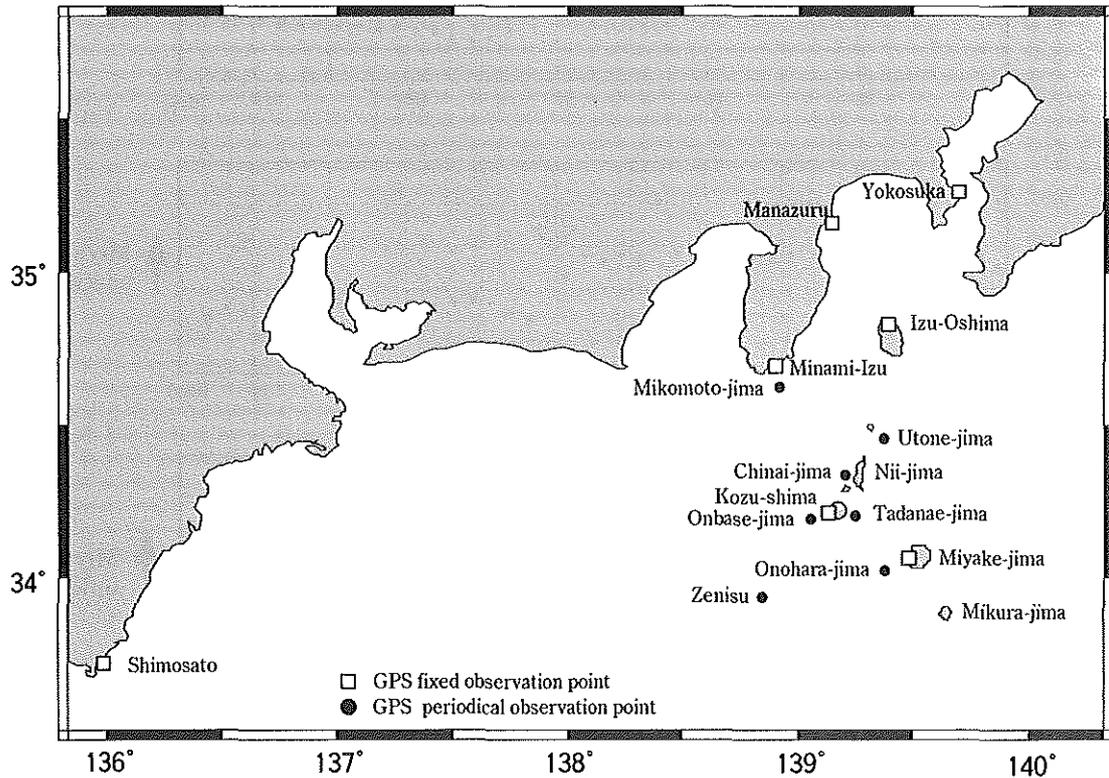


Fig. 1 GPS fixed observation points(□) and GPS periodical observation points(●) at small islands in Izu Shoto.

4. GPSによる観測の概要

水路部では、伊豆諸島周辺の地殻変動を把握するために、1999年6月から観測点を再整備した。定常的には、すでに観測を続けている下里（和歌山県）、真鶴（神奈川県）、伊豆大島に加え、新

に横須賀（神奈川県）、南伊豆（静岡県）、神津島、三宅島の4点に定常観測点が設置された。これら観測点での定常観測により地震活動が活発な伊豆諸島から巨大地震の発生が予測される相模湾北西部のプレート境界域を挟み、伊豆半島にいたる地殻変動を監視することができる。

さらに、相模湾から伊豆諸島周辺の海域で地域的な地殻の歪みを把握するため、伊豆諸島周辺の岩礁等に定期観測点を設置して定期的にGPS観測を実施している (Fig. 1)。この定期観測点は、神子元島、鵜渡根島、地内島、祇苗島、恩馳島、銭

洲、大野原島の7点で1999年6月から9月にかけて1回目の観測を行った。2000年は6月18日から11月11日までの間、大野原島観測点をはじめとして各定期観測点の2回目及び3回目の観測を順次実施した。

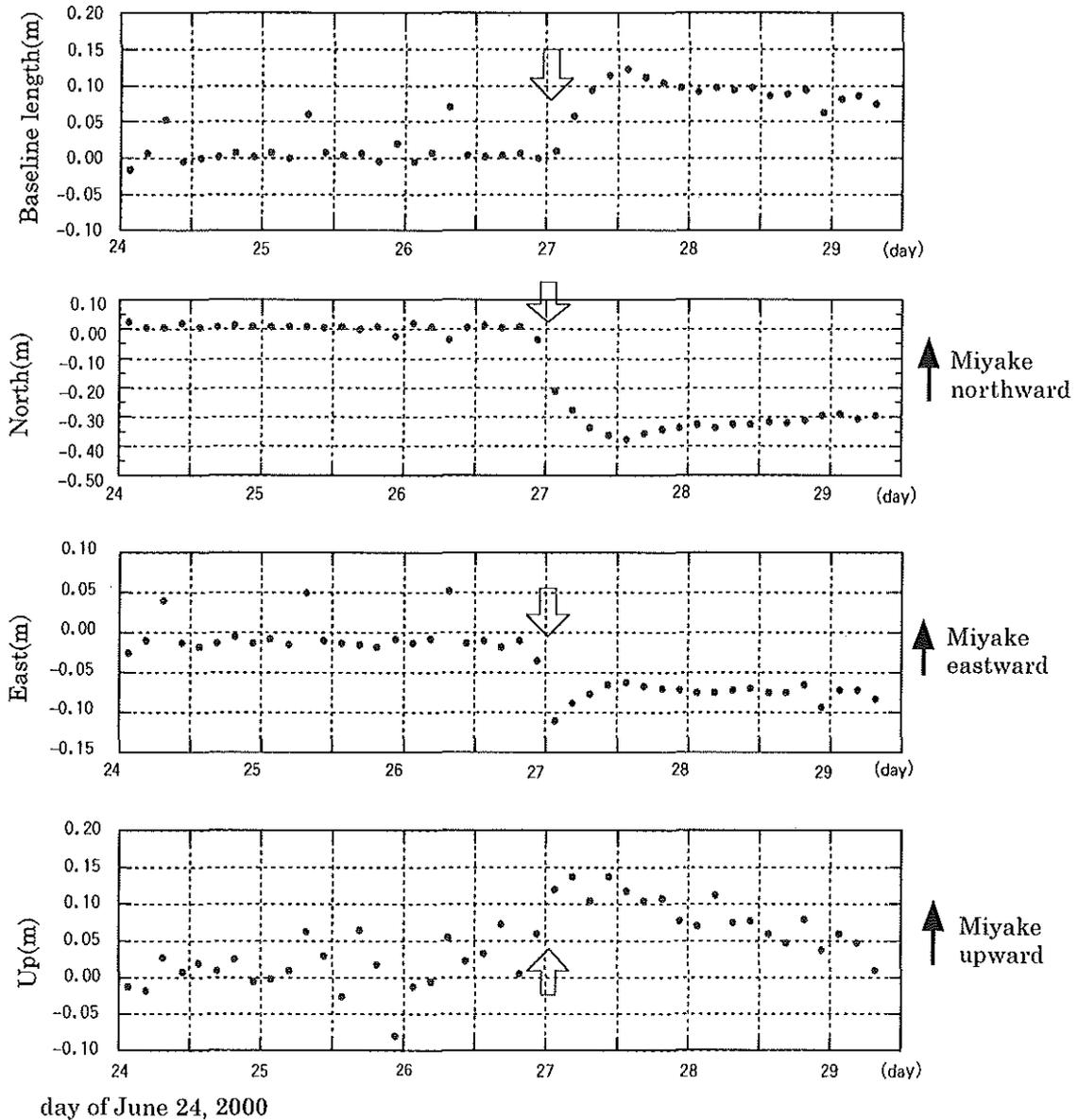


Fig. 2 Three-hour GPS analysis results of the baseline between Miyake-jima and Kozu-shima when Kozu-shima fixed. Crustal movement can be observed at the 0h June 27, 2000(↑).

5. 三宅島、神津島及び伊豆諸島周辺海域の地殻変動

火山性の地震活動は6月26日の夕刻から始まり、神津島と三宅島の各験潮所に設置されたGPSの観

測結果によると、同日深夜23時から翌日2時にかけて地殻変動が始まっている (Fig. 2)。

Fig. 2は神津島験潮所のGPS点を固定して三宅島験潮所のGPS固定点の変動を解析プログラム Bernese 4.0を使い3時間毎に解析した結果である。この図から27日0時前後から27日12時頃まで

*Crustal Movement Observation at Small Islands in Izu Shoto and Crustal
Movements of Adjacent Sea Area by Miyake-jima Eruption*

に、両観測点間の距離で約10cmのび、南北方向では南に約40cm、東西方向では西に約5cm、上下方向では上方に約10cm変動していることがわかる。

また、三宅島験潮所の験潮記録にも地震による地殻変動と思われる海面の変動が観測された (Fig. 3a)。観測記録では6月27日0時頃から推算潮位より観測潮位が下がり始め最大約15cmの潮位

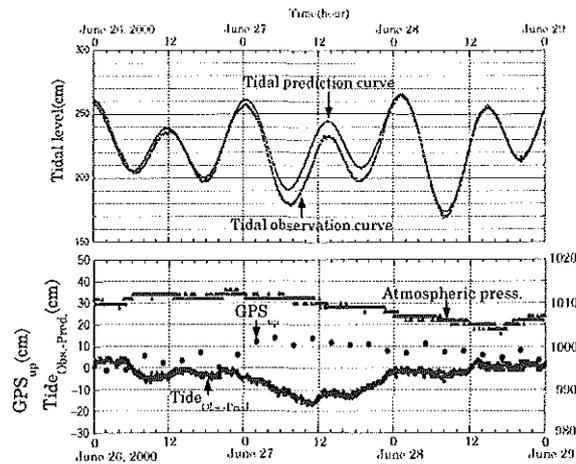


Fig. 3a Comparison among tidal observation data, prediction data and GPS data at Miyake-jima.

差が見られる。その後、27日23時頃には変化前の状態に戻っている。この記録はGPS観測結果とも整合的である。しかし、Fig. 3aの潮位変動には気圧の変化及び黒潮の影響による潮位差が含まれていることに注意する必要がある。地震による大きな上下変動が見られなかった神津島の27日前後の験潮記録では明らかに気圧の変化による潮位変動が見られるが黒潮の影響は見られない (Fig. 3b)。

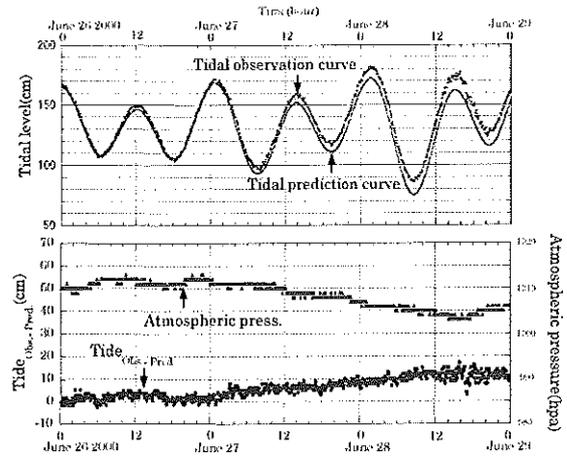


Fig. 3b Comparison between tidal observation data and prediction data at Kozu-shima.

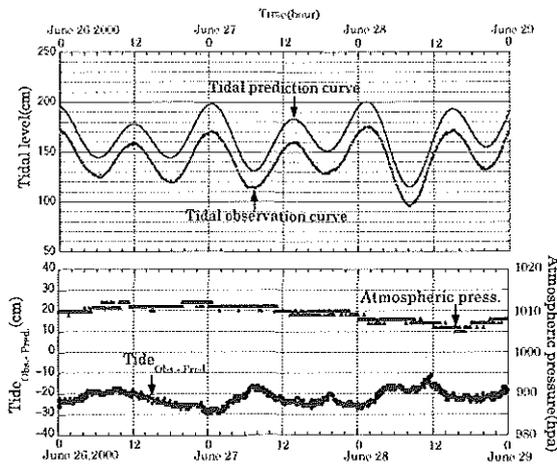


Fig. 3c Comparison between tidal observation data and prediction data at Hachijo-jima.

また、八丈島の験潮記録では黒潮の影響と思われる潮位変動が見られる (Fig. 3c)。黒潮の流路変動をみると6月中旬は三宅島の東方45Mにあった (海洋速報13号) が次第に流軸が東方に離れ7

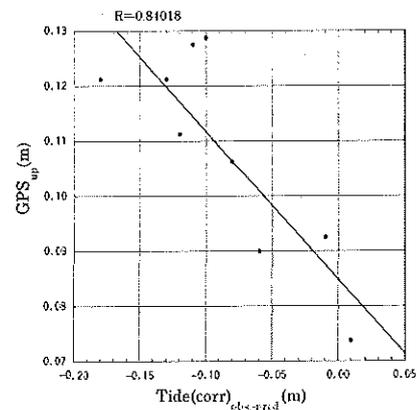


Fig. 3d Relation between GPSup and Tideobs.-pred. at Miyake-jima. Tide(corr) obs.-pred. is data corrected atmospheric pressure. The correlation coefficient is -0.84.

月上旬以降は同島東方95Mに移動している (海洋速報14号)。Fig. 3dは三宅島験潮所におけるGPS観測の上下方向の解析結果(GPSup)と6月27日の気圧変化分を補正した三宅島の観測潮位と推算潮位

の変化量(Tide(corr)obs.-pred.)との相関をとったものである。この日の三宅島験潮所の気圧変動は4hPaであった。Fig. 3dによるとGPSupとTide(corr)obs.-pred.は相関係数が-0.84で良い相関関係にある。

その後、地殻変動は続き7月8日の三宅島雄山の噴火以後、地震活動も活発化して8月末まで続いた。9月以降は、GPSによる観測結果をみると地殻変動は低調になりその活動は終息したようにみえる(Fig. 4-6)。三宅島の上下変動に関しては6月27日深夜にかけて一度10cm近く隆起したがその後もとに戻り始め、9月にかけてさらに沈降し10月末までに約55cm沈降している(Fig. 4)ことが分

かった。なお、以下に掲げるFig. 4-6のGPS解析結果はそれぞれ南伊豆点を固定したときの三宅島固定点の動き、南伊豆点を固定したときの神津島固定点の動き及び神津島点を固定したときの三宅島固定点の動きである。GPSデータの解析はBernese 4.0で行った。

いずれの結果からも6月27日から大きな地殻変動が生じた後、9月に入り動きは停滞し大きな変動は見られない。しかし、気象庁発表の火山観測情報によると8月末から三宅島の火山ガスは増え続け10月末になっても多量に放出されていることから、この時期でも三宅島の火山活動は続いていると思われる (Fig. 7)。

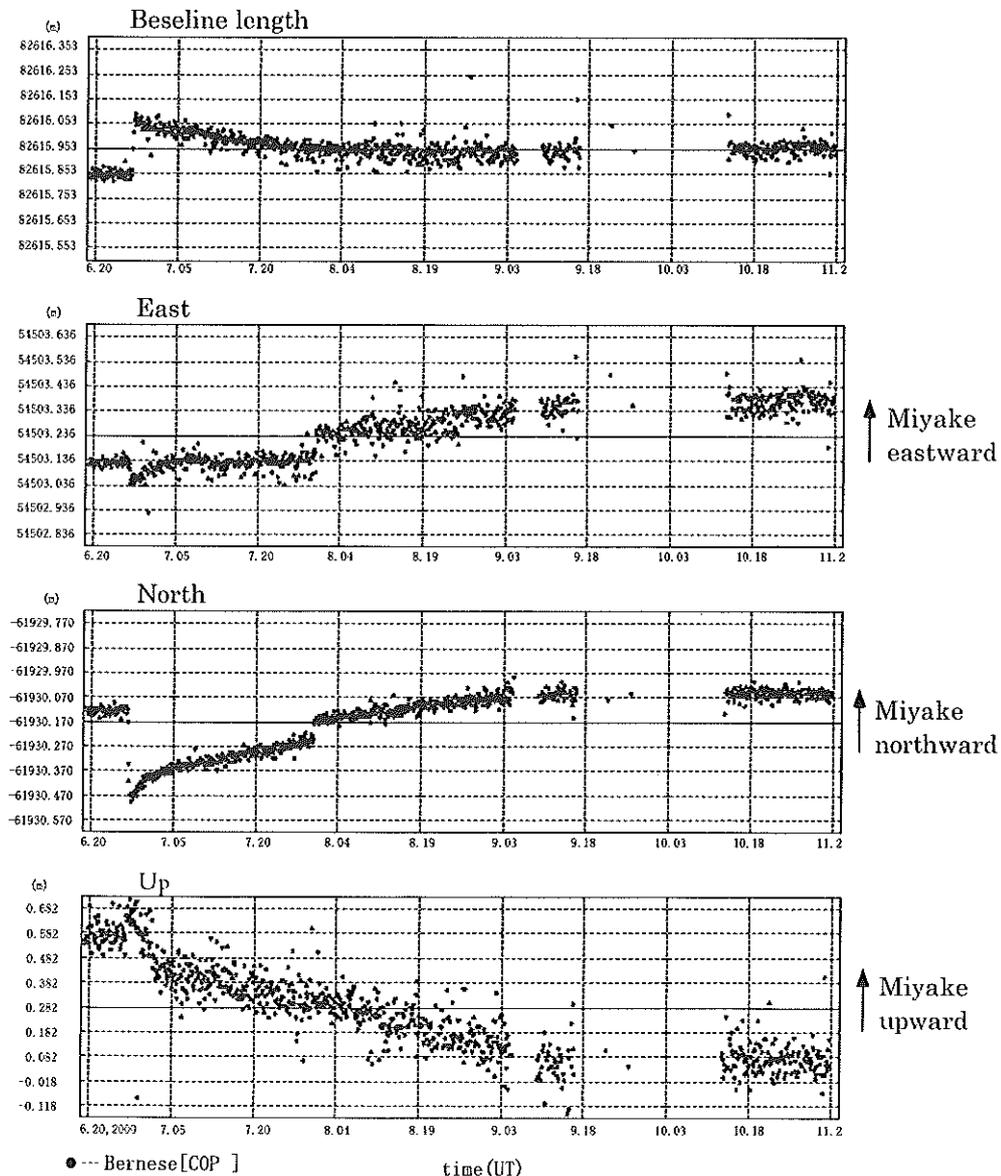


Fig. 4 Three-hour GPS analysis results of the baseline between Miyake-jima and Minami-Izu when Minami-Izu is fixed.

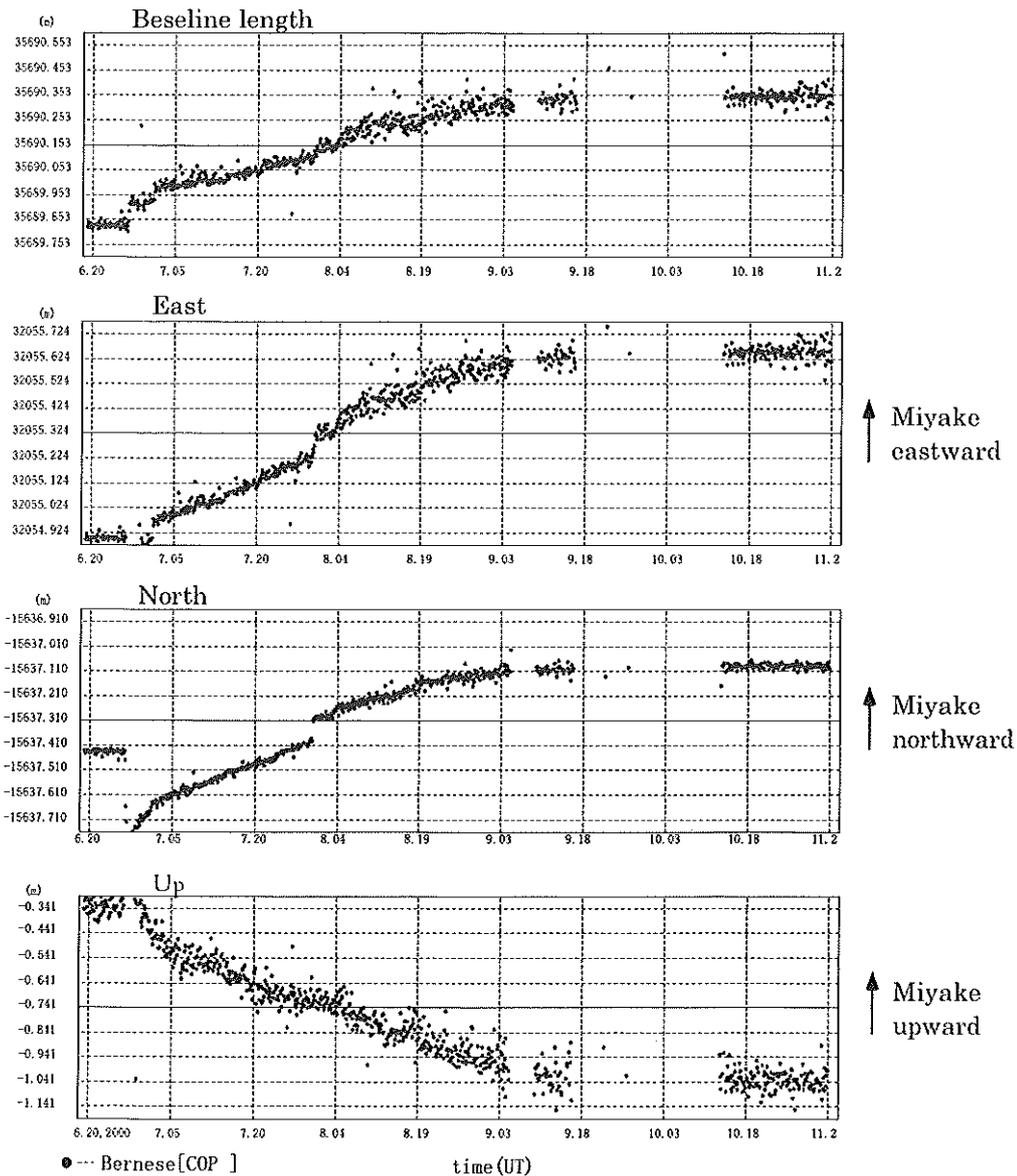


Fig. 6 Three-hour GPS analysis results of the baseline between Miyake-jima and Kozu-shima when Kozu-shima is fixed.

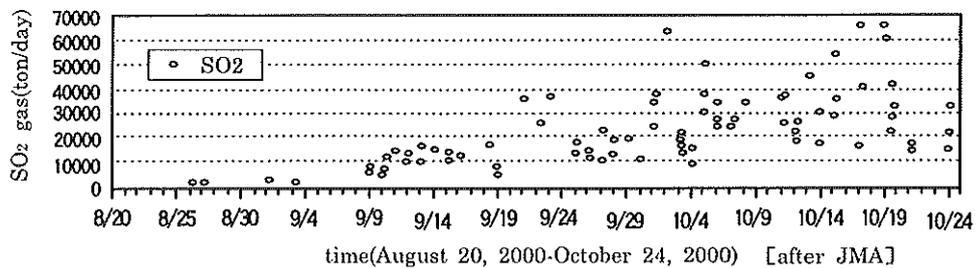


Fig. 7 The quantity of release of SO_2 gas from the crater of Miyake-jima volcano derived from the observation carried out by the Meteorological Agency.

Crustal Movement Observation at Small Islands in Izu Shoto and Crustal Movements of Adjacent Sea Area by Miyake-jima Eruption

伊豆諸島周辺に配置された定期観測点を下里GPS点を固定して解析した結果から神津島東方のマグマ活動を示唆する新島の北東への移動、神津島の南西への移動が捉えられた(Fig. 8-12).

Fig. 8は1999年6月と2000年8月に実施したGPS観測の比較による神子元島の動きであるが一連の群発地震による影響は見られない。Fig. 9は1999年7月と2000年8月に実施したGPS観測の比較による神津島周辺の恩馳島、祇苗島及び銭洲の動きで、まさに群発地震による地殻変動の最中の結果で神津島周辺の南西方向への動きが捉えられた。Fig. 10は1999年6月と2000年8月に実施したGPS観測の比較による新島周辺の鵜渡根島及び地内島の動きで、三宅島の噴火に伴い三宅島西方への海底がマグマの貫入によって押し広げられた影響と考えられる。

なお、大野原島は2000年6月に2回目のGPS観測を実施したが、その後三宅島の噴火及び神津島東方の群発地震により大きな地殻変動が起こったため地殻変動が終息した後11月に再度GPS観測を実施した。1999年6月と2000年6月の観測の解析結果を比較したところ大きな変動は見られなかったが、2000年6月と2000年11月の観測結果の比較から三宅島噴火及び一連の群発地震による影響とみられる地殻変動が観測された。Fig. 11に示した下里GPS点を固定した大野原島の動きは、2000年6月と2000年11月の観測を比較し5か月間の地殻変動を算出したものである。

Fig. 12は一連の地殻変動前後の期間に国土地理院により実施されたGPS観測を同院が解析した結果で、電子基準点「静岡清水町」を固定し解析ソフトBerneseで算出した伊豆諸島周辺の地殻変動を示している。Fig. 12からも三宅島西方から神津島東方の海底へのマグマの貫入により、北東-南西方向に地殻が押し広げられたと考えられる。

神子元島(Fig. 8)を除き、ここに掲載した観測結果は、明らかに三宅島噴火及び神津島近海の群発地震に関連したマグマの活動による影響を大きく受けた伊豆諸島周辺海域の地殻歪みを示している。

なお、岩礁等の定期観測データは最寄りの固定点である南伊豆、神津島あるいは三宅島を基点としてGPSurvey 2.35で解析した。南伊豆、神津島及び三宅島固定観測データは下里固定点を基点としてBernese 4.0で解析した。最終的に岩礁等の定期観測点はベクトル合成で下里からの変動量として求めた(Fig. 8-11, Table 1)。

6. 断層及びダイク貫入モデル計算による地殻歪みとGPS観測結果の整合性

1999年7月と2000年8月に実施した神津島及びその周辺の岩礁(祇苗島、恩馳島、銭洲)におけるGPS観測結果を検討するため地震の震源分布を用いて地殻変動の原因である断層運動、ダイク貫入モデル(ソースモデル)を仮定し、三宅島・神津島周辺海域における地殻変動の水平変位ベクトルを計算した。Fig. 13の①~④は今回仮定した断層またはダイクの貫入の場所を示している。①は7月15日の地震(M6.3)による右横ずれ断層モデルで、②は7月30日の地震(M6.4)による左横ずれ断層モデルである。三宅島・神津島間の群発地震については③の右横ずれ断層・ダイクの貫入モデルと④のダイクの貫入モデルの2つを仮定した。各モデルのパラメータは①については国土地理院のモデルを採用し、それ以外は地震の震源分布と大きさを参考にして神津島周辺のGPS観測結果となるべく一致するように決定した。特に三宅島・神津島間の群発地震の震源分布の近くに位置する祇苗島と式根島及び震源分布からかなり離れたところにある銭洲の3地点の観測データを説明できるモデルを探した。

ソースモデルによる計算結果を下里を固定点としてFig. 13に示す。岩礁等におけるGPS観測点でのモデル計算結果と8月に実施した神津島周辺の岩礁等(神津島、恩馳島、祇苗島及び銭洲)におけるGPS観測結果及び国土地理院による式根島のGPS観測結果(6/10-24 ~ 9/1-3)もあわせて示す。

Fig. 13から計算結果とGPS観測結果が良く一致していることが分かる。式根島の観測結果とモデ

ルによる計算結果が異なっているが、これは祇苗島と式根島の変動が特徴的で両観測結果を同時に満たすモデルの選定が非常に難しいためである。この地域は③、④のソースに支配されており、これらの位置とソースのタイプを上記のように仮定した限りにおいては祇苗島と式根島の変位を同時

に満たすことは難しい。よりよい一致の実現には観測データのインバージョン解析により、より適切なソースモデルの推定が必要である。なお、図には示していないがモデルによる計算結果と10,11月に行った三宅島を除く他の観測点のGPS観測結果とも調和的である。

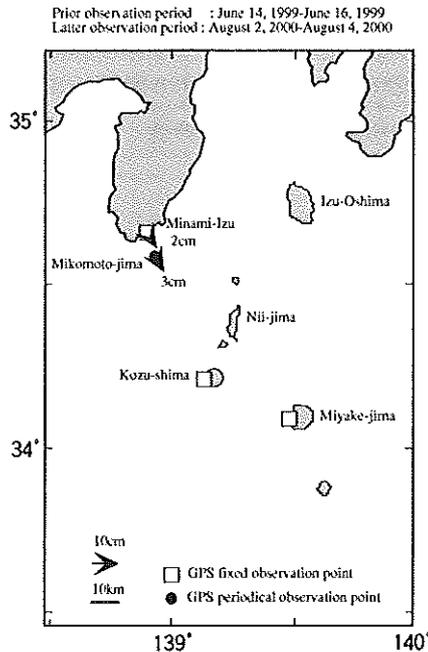


Fig. 8 Crustal movements of Mikomoto-jima and Minami-Izu for about one year. Shimosato is fixed.

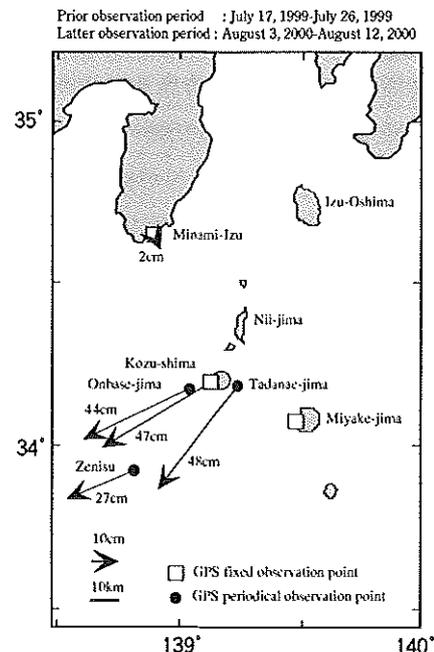


Fig. 9 Crustal movements of Zenisu, Onbase-jima, Tadanai-jima, Koze-shima and Minami-Izu for about one year. Shimosato is fixed.

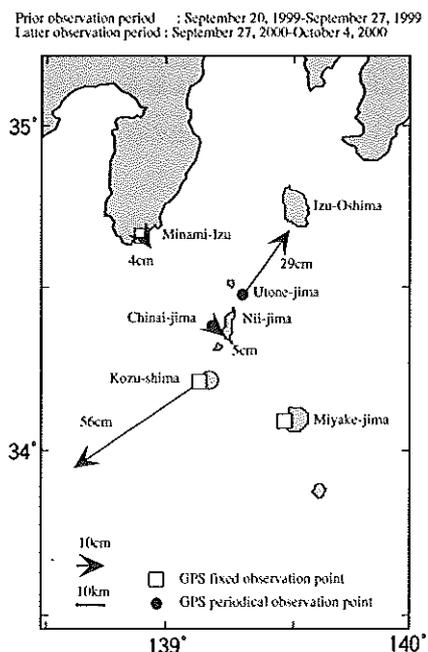


Fig. 10 Crustal movements of Utone-jima, Chinai-jima, Koze-shima and Minami-Izu for one year. Shimosato is fixed.

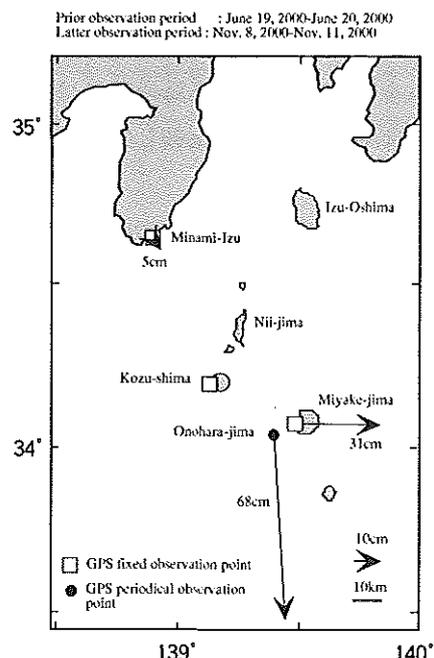


Fig. 11 Crustal movements of Onohara-jima, Miyake-jima and Minami-Izu for five months. Shimosato is fixed.

*Crustal Movement Observation at Small Islands in Izu Shoto and Crustal
Movements of Adjacent Sea Area by Miyake-jima Eruption*

Block	Station	Eastward(+) m	Northward(+) m	Distance m	Direction °
A	Minami-Izu(Shimosato)	0.009	-0.014	0.017	149
	Mikomoto-jima(Shimosato)	0.015	-0.021	0.026	146
	Kozu-shima(Shimosato)	-0.402	-0.240	0.468	239
	Onbase-jima(Shimosato)	-0.392	-0.193	0.437	244
	Tadanae-jima(Shimosato)	-0.291	-0.384	0.482	217
	Zenisu(Shimosato)	-0.246	-0.102	0.266	247
	Mikomoto-jima(Minami-Izu)	0.006	-0.007	0.009	141
	Kozu-shima(Minami-Izu)	-0.411	-0.225	0.469	241
	Onbase-jima(Minami-Izu)	-0.401	-0.179	0.439	246
	Tadanae-jima(Minami-Izu)	-0.300	-0.370	0.476	219
	Zenisu(Minami-Izu)	-0.255	-0.088	0.270	251
	Onbase-jima(kozu-shima)	0.010	0.046	0.047	12
	Tadanae-jima(kozu-shima)	0.111	-0.145	0.183	142
	Zenisu(Kozu-shima)	0.156	0.137	0.208	49
B	Minami-Izu(Shimosato)	0.024	-0.031	0.039	142
	Kozu-shima(Shimosato)	-0.464	-0.311	0.559	236
	Utone-jima(Shimosato)	0.169	0.240	0.294	35
	Chinai-jima(Shimosato)	0.039	-0.026	0.047	124
	Kozu-shima(Minami-Izu)	-0.488	-0.280	0.563	240
	Utone-jima(Minami-Izu)	0.145	0.271	0.307	28
	Chinai-jima(Minami-Izu)	0.015	0.005	0.016	72
	Utone-jima(Kozu-shima)	0.633	0.551	0.839	49
	Chinai-jima(Kozu-shima)	0.503	0.285	0.578	60
C	Minami-Izu(Shimosato)	0.027	-0.038	0.047	144
	Miyake-jima(Shimosato)	0.314	-0.004	0.314	91
	Onohara-jima(Shimosato)	0.045	-0.677	0.678	176
	Miyake-jima(Minami-Izu)	0.287	0.034	0.289	83
	Onohara-jima(Minami-Izu)	0.018	-0.639	0.639	178
	Onohara-jima(Miyake-jima)	-0.269	-0.673	0.725	202

Table 1 This table shows displacement vector from the standard observation period to the comparison observation campaign. A station in parenthesis represents a fixed point. Stations in block A were occupied in the period of Mikomoto-jima, Onbase-jima, Tadanae-jima and Zenisu executed in August, 2000. Stations in block B were occupied in the period of Utone-jima and Chinai-jima executed in September, 2000. Stations in block C were occupied in the period of Onohara-jima executed in November, 2000.

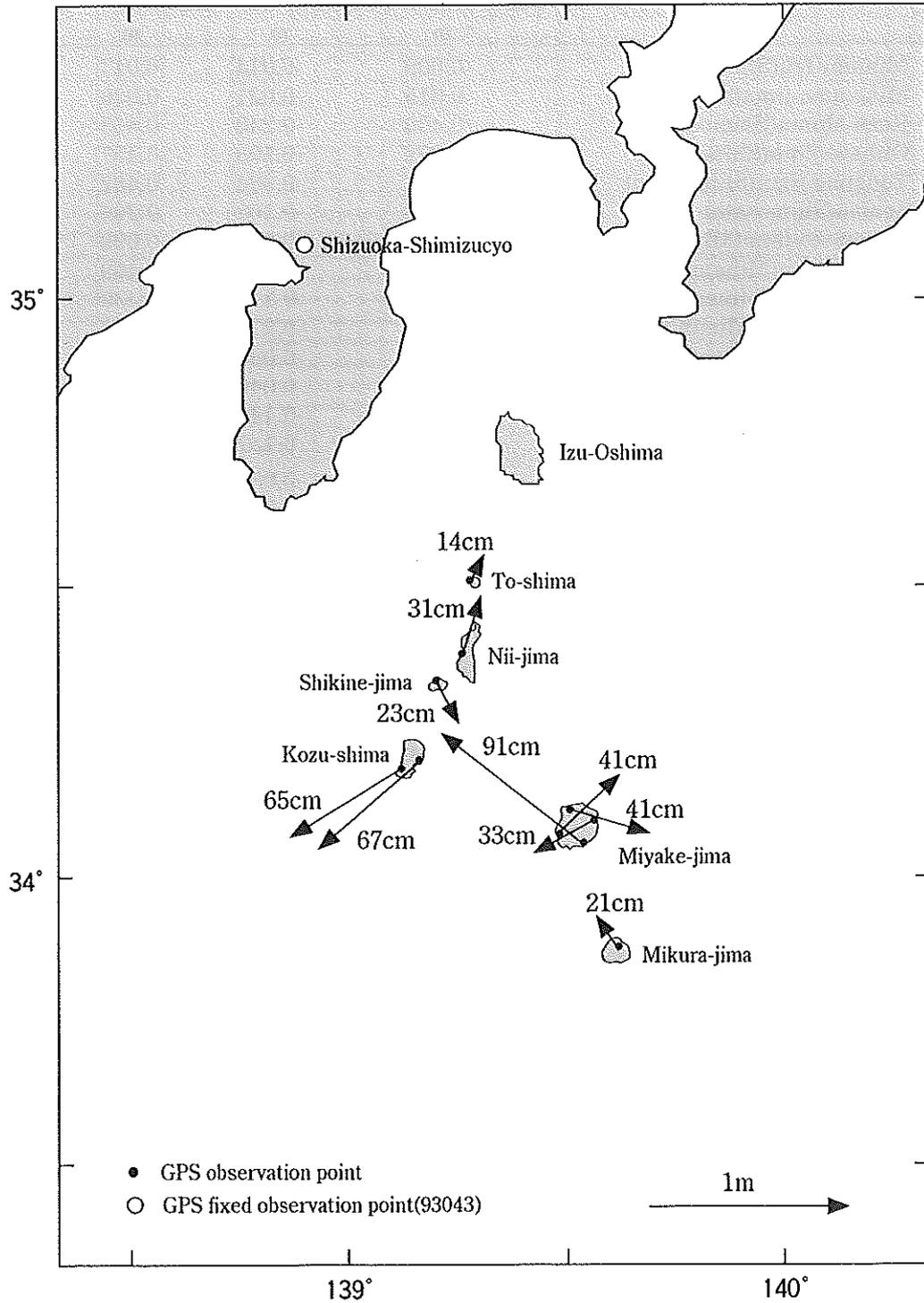


Fig. 12 Crustal movements derived from comparison among GPS observation results before and after the Miyake-jima eruption carried out by the Geographic Survey Institute(GSI). Latter observation period is the end of October when crustal movements became dull. GSI carried out analysis. Position of Shizuoka-Shimizucyo is fixed.

Crustal Movement Observation at Small Islands in Izu Shoto and Crustal Movements of Adjacent Sea Area by Miyake-jima Eruption

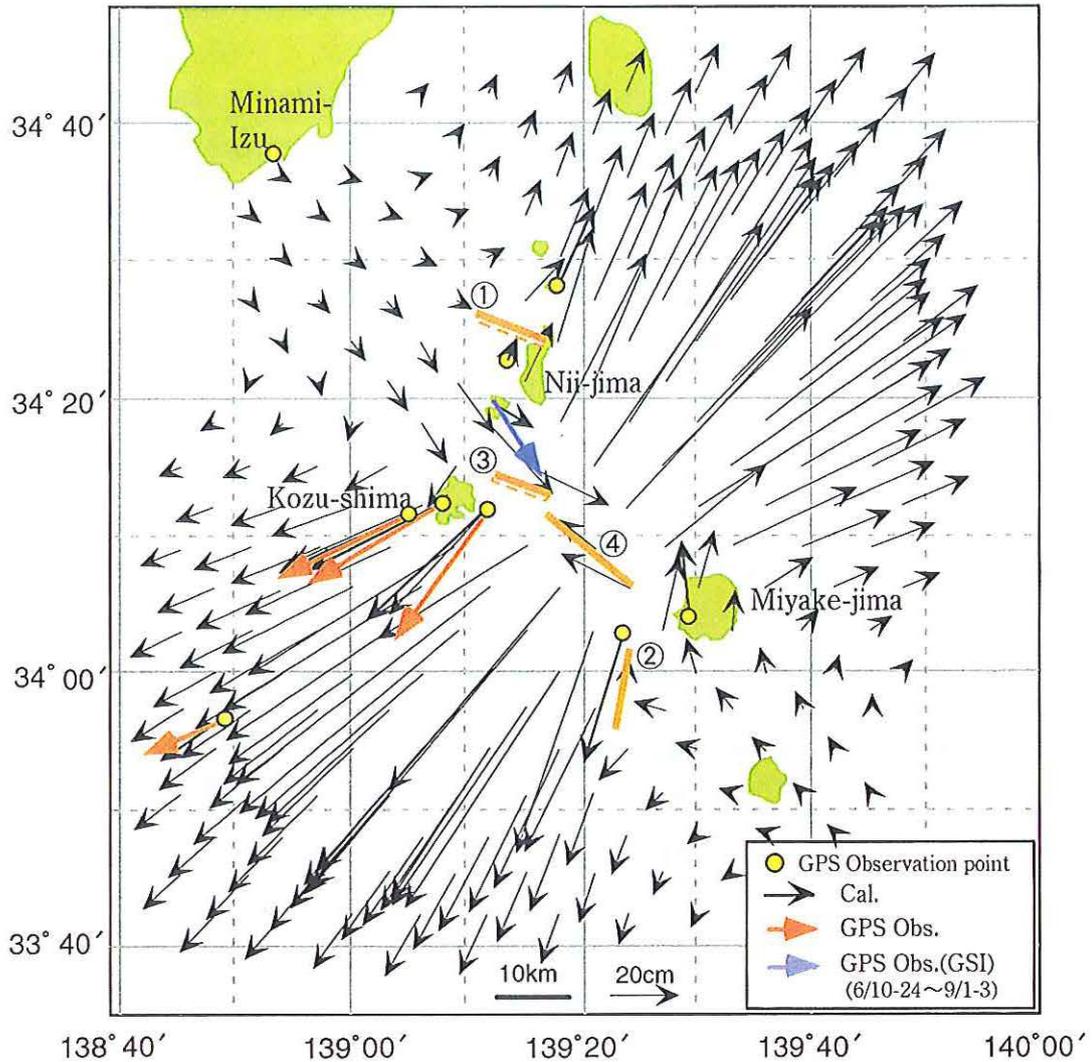


Fig. 13 Calculated horizontal displacement vectors by using the source model in August, 2000. Position of Shimosato is fixed.

- ① Right strike-slip fault model : L.10.0 W.5.0 Dep.0.3 Dip 78 Disl.0.48
- ② Left strike-slip fault model : L.11.0 W.7.0 Dep.1.0 Dip 90 Disl.1.5
- ③ Right strike-slip fault and Dyke model : L.8.0 W.10.0 Dep.3.0 Dip 80 Disl.4.0 Open.1.2
- ④ Dyke model : L.15.0 W.15.0 Dep.5.0 Dip 90 Open.8.0

L. : Length of the fault [km]
 W. : Width of the fault [km]
 Dep. : Depth up to the top of the fault [km]
 Dip : Dip angle [degree]
 Disl. : Dislocation [m]
 Open. : Opening crack [m]

7. まとめ

GPS観測の解析から神津島東方のマグマ活動を示唆する新島の北東への移動、神津島の南西への移動が捉えられた。今回の群発地震による広域的な地殻変動を見てみると北西-南東方向では小さく、北東-南西方向に大きく現れており、ダイクの貫入により地殻が三宅島・神津島間を中心として北東-南西方向に押し広げられたことが分かる。

8. おわりに

GPSによる地殻変動観測結果は地震の予知に直接つながらないが、2000年6月末から始まった神津島東方及び伊豆諸島周辺の群発地震に関連したマグマの活動によると思われる地殻変動を的確に捉えた。GPS観測結果は直接のマグマの動きを示すものではないが、その影響によるものと思われる地殻変動をリアルタイムに認識し、地殻の歪みを把握するために今後も多くの情報を我々に与えてくれる。

12月に入り、9月以来いまなお島外で生活を強いられている三宅島民の物理的にも精神的にも大きな苦痛を思うとき、三宅島の噴火とその火山性ガスの心配がなくなり三宅島に無事帰島できる日が1日も早く来ることを祈ってやまない。

また、本稿作成にあたり気象庁及び国土地理院の観測の解析結果を使わせていただき感謝いたします。

要 約

2000年6月27日、三宅島の西方の海域で変色水が発見され、その後、三宅島と神津島間で地震が多発した。7月8日に三宅島が噴火した。群発地震と三宅島の火山活動は3か月以上も続いた。水路部では三宅島、神津島及び周辺海域の地殻変動を把握するために伊豆諸島の岩礁等においてGPS観測を実施した。

引 用 文 献

- 一色直記：三宅島火山の過去3000年間の活動。火山噴火予知連絡会報，29，1-3，(1984).
国土地理院：火山土地条件図「三宅島」，(1995).
気象庁：火山観測情報，第311号，(2000).
国土地理院：三宅・神津島周辺のGPS連続観測データ，(2000).
海洋速報 平成12年第13, 14号.