

三宅島の地殻変動*

Crustal deformations of the Miyake-jima Island

国土地理院

Geographical Survey Institute

1. 最近のGPS観測結果

2000年9月以降の三宅島のGPS観測結果を第1-1～第1-2図に示す。依然として緩やかな島の収縮が続いており、脱ガスによるマグマの体積減少を反映した収縮と考えられる。

脱ガス期の、各期間ごとの力源を推定するインバージョン結果を第2図に示す。ここではプレート運動の影響を最小にする目的で、八丈島を参照点にとっている。脱ガス期においても、力源の位置はあまり移動せず、深さも安定して3km前後に求まっている。

2. 東京都による水準測量結果

東京都による水準結果およびGPSにより2000年6月から2002年1月間の地殻変動のモデルを計算した結果を第3図に示す。遠方から見た島全体の上下変動を知るため、GPS観測点である南伊豆―三宅4間の上下変動をGPSデータを用いてから計算し、島内の上下変動は水準測量により求めた。

この結果と、同期間のGPS観測による上下および水平変動に基づき、島内地下の球状収縮源(茂木ソース)と活動の最初に形成された阿古の直下から西方海域に伸びるダイクを仮定して、力源のインバージョンを行った。島の中央や南西部の地下4.5kmの場所に茂木ソースが求まった。総収縮量は、 $1.26 \times 10^8 \text{m}^3$ であり、これまでの推定結果とほぼ一致する。深さを代えて茂木ソース2つがある場合も考慮したが、1個に比べて結果が大きく改善されることはなかった。

3. 考察(ピストン降下による強制冷却脱ガスモデル)

東京都による水準成果により空間的に密に分布する地殻変動の様子が明らかになったが、比較的単純な球状収縮源による弾性変形により地殻変動がかなり良く説明されることが確認された。特に、大きな地殻変動が生じた2000年7-9月期、脱ガス期において、共通して収縮源がほぼ島の中心部の地下3-5km周辺に求まることから、地殻変動の力源はこのあたりにある球状マグマ溜まりと推定していいのではないかと推定している。

これまで、活動開始以後の現象を説明するモデルがいくつか提唱されているが、地殻変動や脱ガスについて考察するために、大湊(2001)によるピストン降下モデルにそって地殻変動を理解することを試みる。

大湊はマグマ溜まりと下降するカルデラを図のような圧力の減少する液体槽に摩擦を伴いながら間歇的に下降するピストンの運動と考え、傾斜観測パルスの発生などを説明している。

このモデルが正しいとすると、ピストン下降時にはマグマ溜まり内の圧力が一時的に増加し、それがマグマ溜まりの一時的な膨張となって観測されることが期待されるが、この間のGPS観測でも大きな収縮のトレンドの中に、7月9日頃、8月1日頃、8月19日頃など、収縮が停滞もしくは一時的な膨張が進行していたと考えられる時期がみられ、これらはピストン下降によって生じたマグマ溜まりの一時的な圧力増加を地殻変動という形で観測していたと考えられる。このように、ピストンモデルは地殻変動を説明すると考えられる。

* Received 9 Aug., 2002

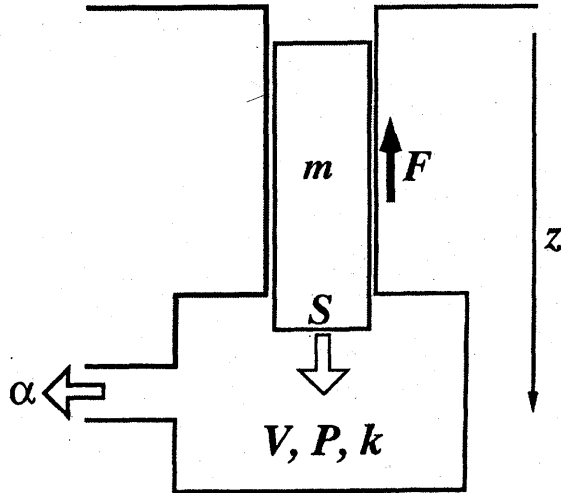
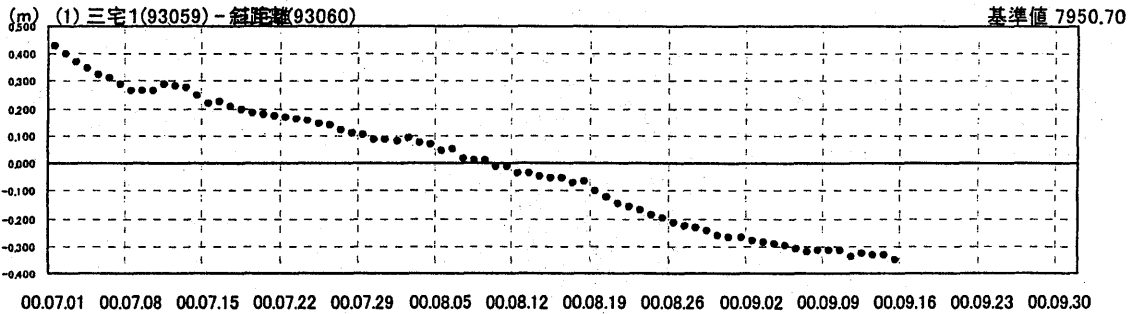


図5 ピストンモデル。m:ピストン質量、S:ピストン断面積、V:マグマ溜り体積、P:マグマ溜り圧力、k:マグマの体積弾性率、F:火道とピストンの間に働く摩擦力、α:マグマ溜りからのマグマ流出率

大湊 (2001) より引用



一方、陥没火口の地形計測から、2000年7月上旬から8月中旬頃にかけて約6億 m^3 の物質が下降したことがわかっているが、これと同程度の体積のピストンの下部がマグマ溜りに吸い込まれていった(崩落)と考えざるを得ない。

マグマ溜りの大きさを確定する証拠は少ないが、大湊のピストンモデルでは、マグマ溜り内の圧力とピストンの間には摩擦の要素はあるもの一定期間経過後は静岩圧バランスが成立していることを仮定しているの、ここでもそれに従うとすると、ピストンが約500m下降したことによりマグマ溜りの静岩圧は ρgh で計算することができ、 $2.3 \times 10^3 \text{kg/m}^3 \times 9.8 \text{m/sec}^2 \times 500 \text{m} = 10^7 \text{N/m}^2$ となる。

一方、半径 a のマグマ溜りでは δP だけ圧力が増加して膨張する体積 δV は剛性率を μ として、

$$\delta V = \frac{\pi a^3 \delta P}{\mu}$$

で表される。 δV が約 $1.2 \times 10^6 \text{m}^3$ 、 μ が30GPa、 δP が 10^7N/m^2 であることを考えると、マグマ溜りの半径 a は約4.6kmとなる。半径と深さが同程度となるので、にわかには信じがたく、マグマ溜りの半径を小さくなる方向に修正する必要がありそうではあるが、それでもマグマ溜りの天井は相当浅いところにあることを示唆しており、マグマ溜りの上部では発泡がおきやすい条件が満たされていると考えられる。ちなみにマグマ溜りの体積は、約 10^{11}m^3 となる。

さて、ピストンの下部の $6 \times 10^6 \text{m}^3$ の物質が高温のマグマ溜りに突入したことになるが、おそらくマグマよりは低温であり、かつ軽いと想定される。コップに満たしたコーラの中に氷の塊を入れたと同様の状態が生じピストンの残骸は浮いているのではないか。マグマ溜りの中に浮いているピストンの下部は、おそらくやや崩壊しながらブロック状にマグマ溜りの中に浮いており、元々それほど深くは無い場所であるマグマ溜り上部のマグマを強制的に冷却し固化させることにより発泡を促しているのではないか。

ピストン下部がマグマ溜り内へ進入する

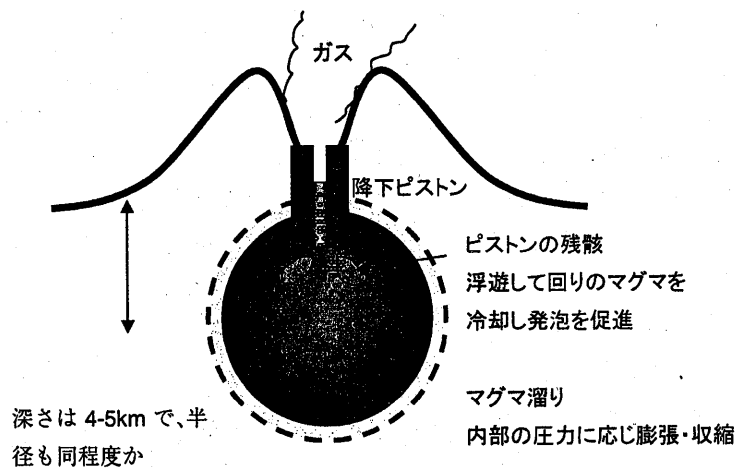
浮遊したピストンの残骸の冷却によって強制的にマグマが冷却され固化することにより発泡し脱ガスが生じている

というモデル化が可能であるとする、

ピストン下部の侵入以後は、脱ガスという現象は、突発的な大事件(ここではピストンの下降と残骸の進入)が発生し、その後は安定的な状態へ指数関数的に推移するという経過が予想され、その変動は減衰曲線にのる可能性が高いと考える。この減衰曲線はピストンの残骸の指数関数的な温度上昇(それは同時に周囲のマグマの冷却と固化でもある)を反映していると考えられる。

また、GPSによれば、2001年9月はじめころに指数関数が一度リセットされたように見えるが、これは、小規模なピストンの再進入が起きたか、マグマ溜り内のピストンの残骸の最崩壊が起き、冷却効率が一時的に上昇した等の原因で説明が可能である。

次に、以上を要約したモデルの概略を示す。

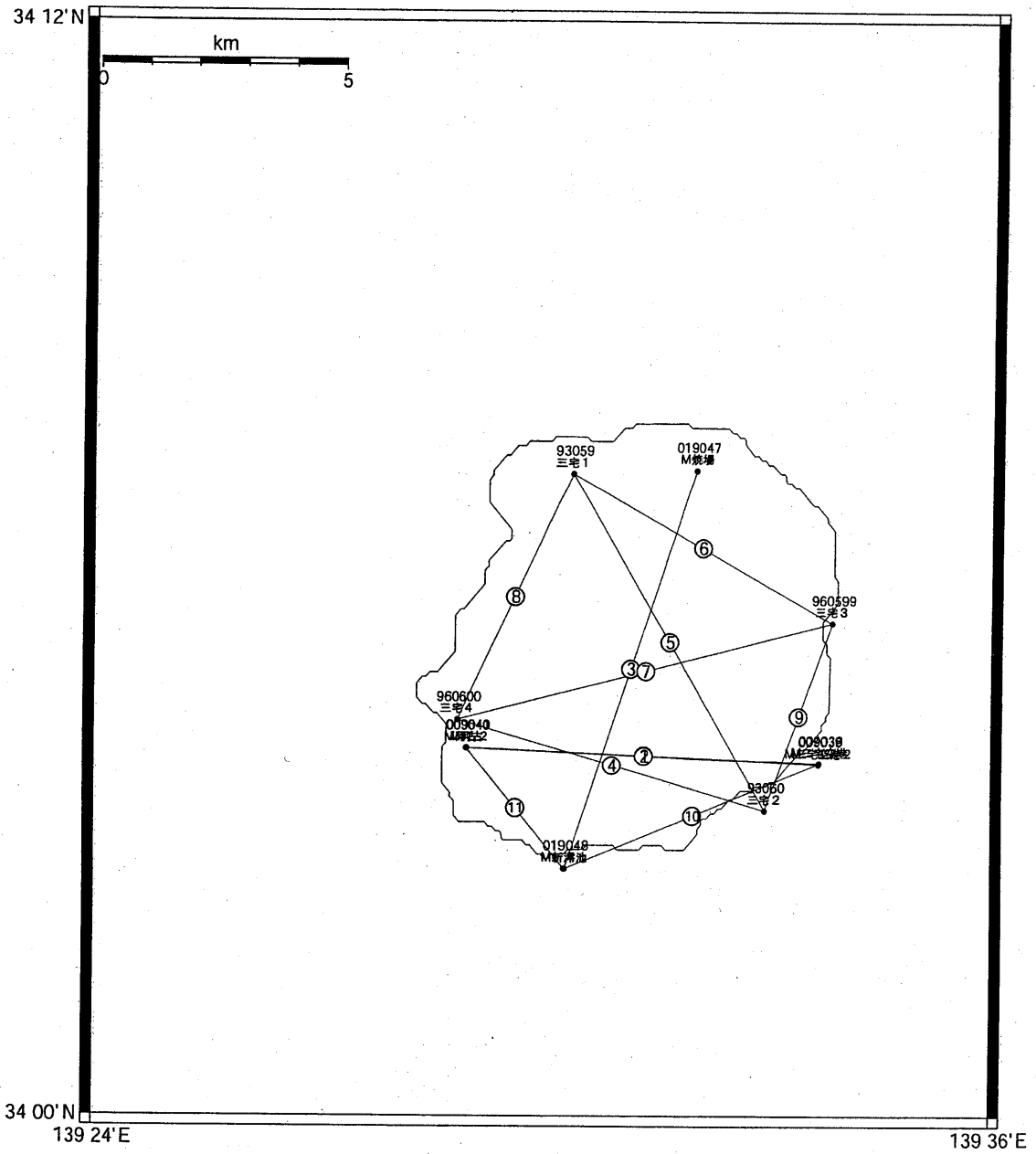


ピストン降下による脱ガスモデル

謝 辞

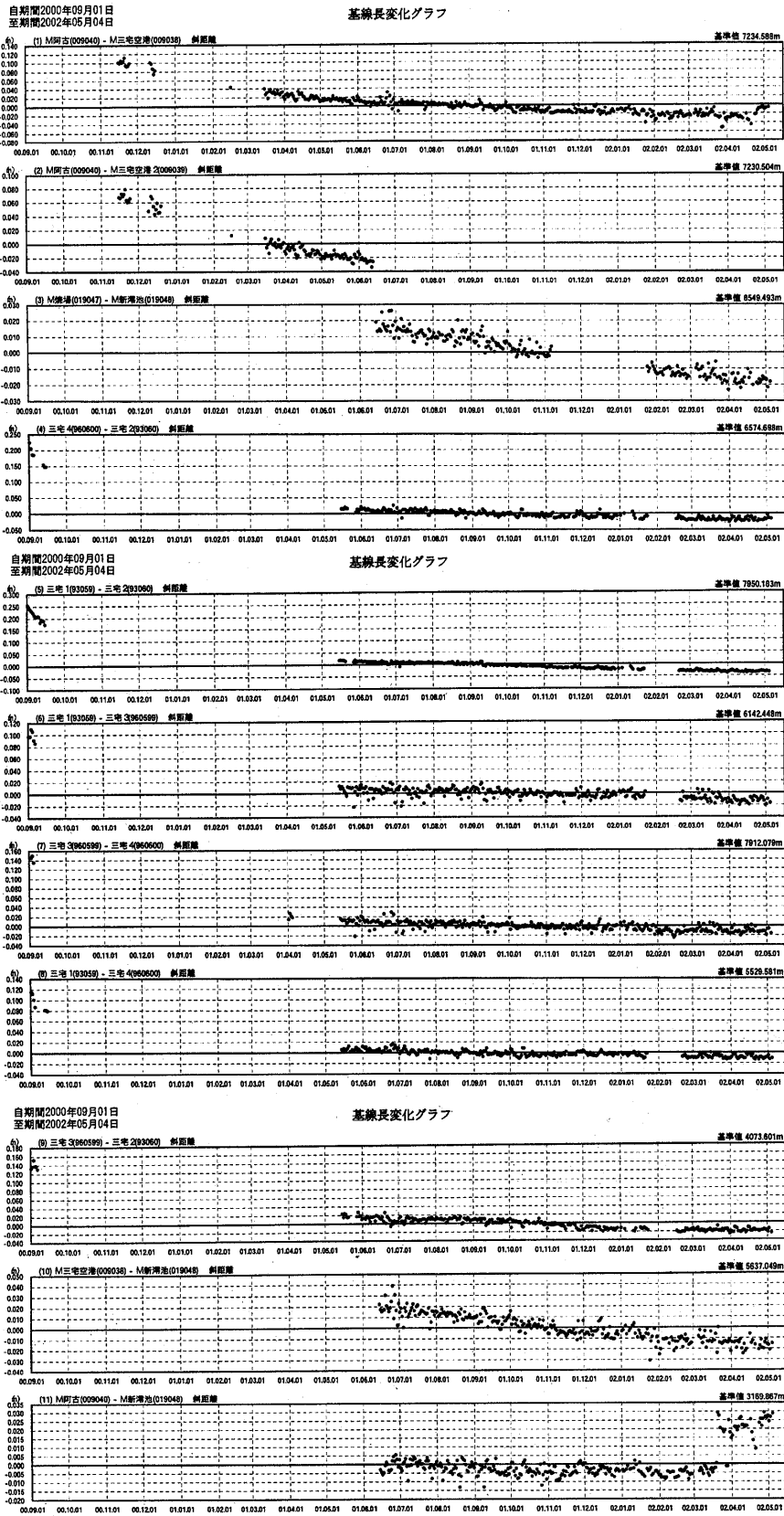
マグマが低温物質により強制的に冷却され固化する際に、揮発成分の分離が発生する可能性があること、およびピストン残骸の冷却過程の時定数は分裂した残骸のブロックの大きさによる可能性が高いことについて産業技術総合研究所の篠原宏志氏のご教示を受けました。

三宅島地区 GPS連続観測基線図



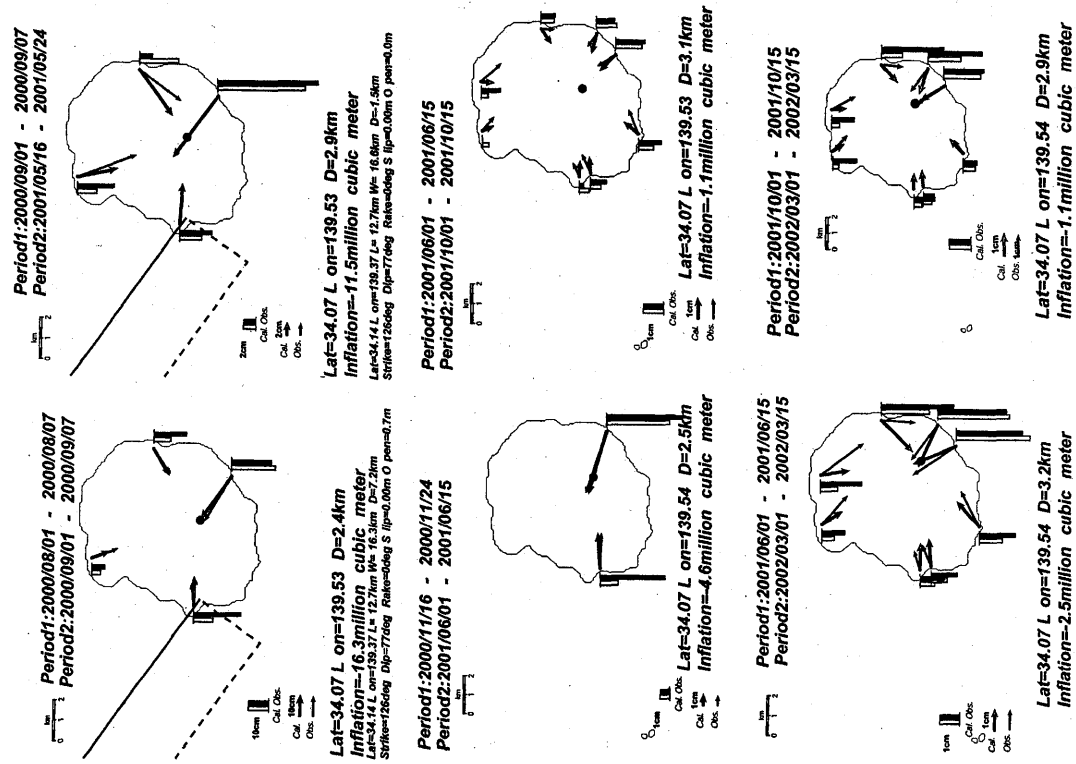
第1-1図 三宅島におけるGPS連続観測結果

Fig.1-1 Results of Continuous Measurements of GPS in the Miyake-jima Island.

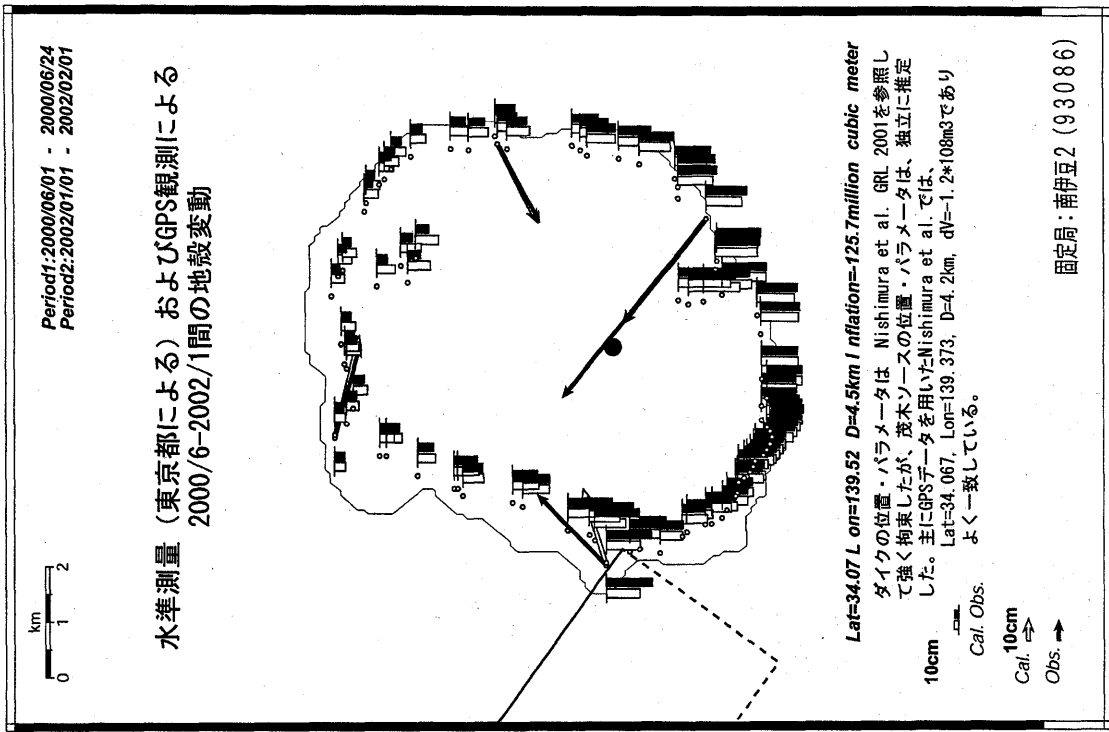


第1-2図 三宅島におけるGPS連続観測結果
Fig.1-2 Results of Continuous Measurements of GPS in the Miyake-jima Island.

脱ガス期のGPS地殻変動モデル(八丈島固定)



第2図 GPSによる脱ガス期の地殻変動モデル
 Fig.2 A Deflation Model of the Miyake-jima Island during Degassing Episode. Fixed station is Hachijo-jima Island. Deflation source is estimated in the south-eastern part of the island at the depth of around 3km.



第3図 水準測量(東京都による)およびGPS観測による三宅島の地殻変動モデル
 Fig.3 A Model for Crustal Deformation of the Miyake-jima Island during June 2000 to January 2002 Derived from Precise Leveling (by Tokyo Prefectural Government) and GPS.