

GPS による伊東沖の地震火山活動前後 1 年間における 初島—伊東間の基線変化

関口渉次*・大見士朗*・藤縄幸雄**・島田誠一*・江口孝雄*・岡田義光*

防災科学技術研究所

Annual baseline vector change between Hatsushima and Ito before and after the seismovolcanic activity of 1989, detected by GPS measurement

by

Shoji Sekiguchi, Shiro Ohmi, Yukio Fujinawa, Takao Eguchi, and Yoshimitsu Okada

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

Abstract

Crustal movement associated with seismo-volcanic activity off Ito in July, 1989, was detected by GPS measurement of baseline vectors between Hatsushima and Ito stations. Baseline vector changes for one year from May, 1989 to April, 1990 were as follows: (1) The baseline vector did not change before the active seismic swarm. (2) The baseline vector showed drastic change during the seismic swarm. The Ito station moved 135 mm southward, 65 mm westward, and 39 mm upward, relative to the Hatsushima station. The baseline length between these stations extended 148 mm. (3) After the active seismic swarm, it appears that the Ito station continues to experience the similar movement, although the amount of movement is very small.

In 1990, the calculated positions of the Ito station showed large scatters due to solar activity as well as other factors. Because of this large scattering, it can not be clearly stated whether the Ito station experiences the same movement as in 1989 or not. At least, it does not seem that the Ito station shows a completely different movement.

Key words : GPS, Teishi-kaikyu, crustal movement, precursor

キーワード : GPS, 手石海丘, 地殻変動, 前兆

* 地圏地球科学技術研究部

**特別研究官

1. はじめに

1989年7月に伊豆半島伊東沖では活発な群発地震活動が生起し、同13日には手石海丘における海底噴火が発生した。防災科学技術研究所では、手石海丘を含むこの群発地震活動域を南北に挟んだ初島と伊東において微小地震観測がなされていたほか、伊東における傾斜連続観測ならびに両点のGPSによる基線変化観測が実施されていた(図1)。これらの観測によって海底火山噴火に先立つ群発地震活動の活発な時期に顕著な地殻変動のあったことが検出されたが、特にGPSによる準連続的な地殻変動の検知は世界でもこれが初めてであった。(Shimada et al., 1990)。伊東は初島に対して相対的に南西上方向に動き、約15cmの基線長の伸びが確認された。伊東-初島間の伸びは光波測距観測によって検出されており(恒石, 1990, 国土地理院, 1990), また、これらの地殻変動データを説明するモデルも提出されている(岡田・山本, 1990)。

本論文では、この伊東沖の地震火山活動前後の期間を含めて最近までの約1年間(1989年5月~1990年4月)における初島・伊東間のGPSによる基線変化観測結果を報告する。

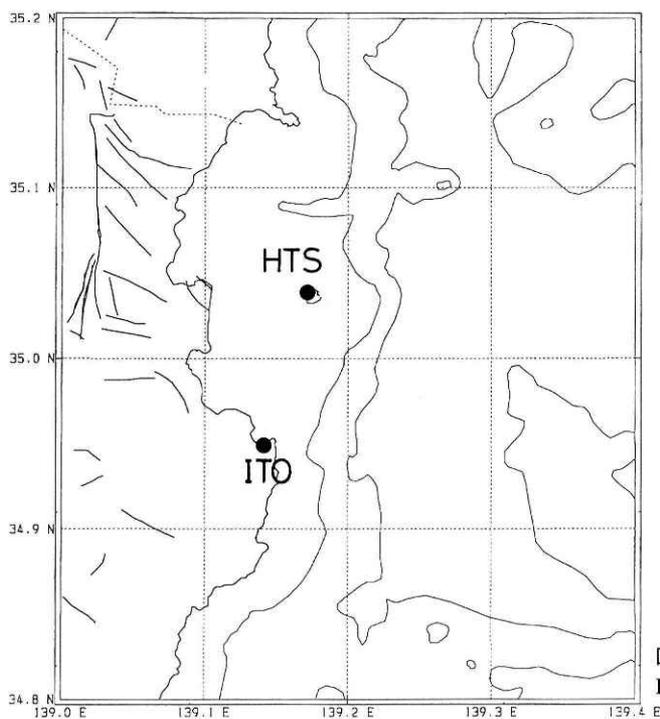


図1 伊東及び初島GPS観測点
Fig. 1 Ito and Hatsushima GPS observation stations.

2. データおよび解析方法

初島及び伊東観測点の位置を図1に示す。両観測点には AERO SERVICE 社製の MINI-MAC 2816AT という受信機が設置されている。この受信機は GPS 衛星から発射される L1, L2 と呼ばれている 2 種類の電波を受信し、また、同時に複数の衛星からの電波を受けることができる。GPS 衛星から発射される電波は 30 秒サンプリングで 1 日約 4 時間のデータ受信がなされている。

データの解析には、AERO-SERVICE 社提供の「SONAP」というソフトウェアが使用されている。衛星軌道情報は衛星からの広報暦を用い、初島観測点の座標値を既知として固定した上で、伊東観測点の位置を未知量として求めている。なお、GPS による座標決定で大気の状態は重要な誤差要因となるが、ここでは、簡単のために標準大気を用いた補正のみを行っている。

解析においては、衛星数が 4 個以上観測されている場合だけを扱い、また、衛星の選択に当たっては同一軌道面上にある衛星だけにならないよう配慮した。1989 年の観測に用いられ

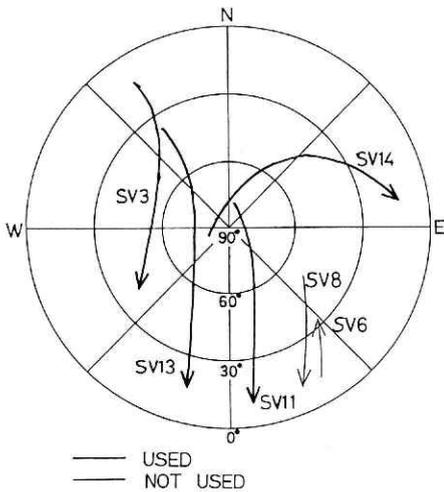


図2 1989年観測期間中に使用されたGPS衛星配置

Fig. 2 Sky plot of GPS satellites used in 1989.

た衛星配置を図2に示すが、使用された衛星はSV番号で3番、11番、13番、14番の4つである。観測開始当初は受信可能な衛星の数が少なかったため、天空上でできるだけ広い範囲で衛星が観測できる時間帯を探すと、この衛星配置の時に限られていた。

1989年の12月の前半まではこのような時間帯で観測を続けていたが、1989年の通算日349日(12月15日)頃から358日(12月24日)の間、観測時間帯を70分ほど遅らせた。また、この間、これまでの衛星にさらに2個加えた計6個の衛星を使用した。その後、また元の時間帯に戻したが、1990年に入って、1月11日より、再び80分ほど観測時間帯を遅らせ、現在に至ってい

る。使用されている衛星数も再び6個になっている。長期間にわたるデータの均質性を保つためには、同じ衛星の組み合わせを用い、同じ配置になる時間帯で観測を継続するのがもっとも望ましいことだと思われるので、この観点から見て、今述べたように観測時間帯を変えることは余り望ましい状況ではないかもしれない。この点については後節で議論することにする。また、1990年3月に入ってから衛星の数が増えるに伴って今までの軌道が組み替えられてしまったので、1年目とまったく同じ衛星配置で観測することは不可能な状態になってしまっている。

3. 解析結果

以上述べた方法で得られた伊東観測点の初島に対する位置座標の変化を図3に示す。計算上の誤差範囲も一緒に示してある。同図には、サイクルスリップを除去することができて位置座標のみが未知数になった場合だけが示されており、さらに、解の正規化残差(NORMALIZED ROOT MEAN SQUARE)が大きいものも除いてある。

解のばらつきを見ると、計算上求められた誤差よりも大きいことがわかる。これは、衛星軌道、電離層の影響、大気内の水蒸気の影響などが完全には評価できていないためと思われる。特に上下動成分では、ばらつきが他の成分に比べて大きくなっているが、これは大気の影響の見積りが充分でないことが主要な原因であると思われる。1989年7月末から8月頃にかけて結果が抜けているのは、太陽活動の活発化による電離層の擾乱の為に受信データが乱れて解が求められなかった場合か、あるいは求められても解の残差が大きかった場合である。このことは受信された位相データにごく短周期の擾乱が多く含まれていることから推測される。最近の数年は太陽活動のピークに当たっているため、このようなことがこの期間だけに限らずしばしば見られる。10月に結果が欠落しているのは、3番のGPS衛星が使用不能になったためである。1990年初頭に解が得られていないのはGPS受信機の故障による欠測のためである。1990年に入るとそれ以前に比べて全体として解のばらつきが大きくなっており、特に2月には大きくなっている。この原因はおもに活発な太陽活動による電離層の擾乱だと思われる。さらにまた、1990年3月中旬から4月にかけての解の乱れおよび欠測は、広報暦の劣化によるものではないかと思われる。

すでに述べたように、観測時間帯を1989年の349日目(12月15日)頃と359日目(12月25日)、1990年の11日目(1月11日)を境に変えているが、その影響はどうであろうか。図3に示されている対応する時期の結果を見てみると、ほんの僅かながら1989年の359日目付近で差がみられるが、全体の解のばらつきに較べれば無視できる量である。1989年の349日目付近や1990年の11日目付近については、解のばらつきの中に隠れてしまい、その前後に系統的な差があるのかどうか不明であるが、この2回の場合についても359日目の場合と観測時間帯のずらし方

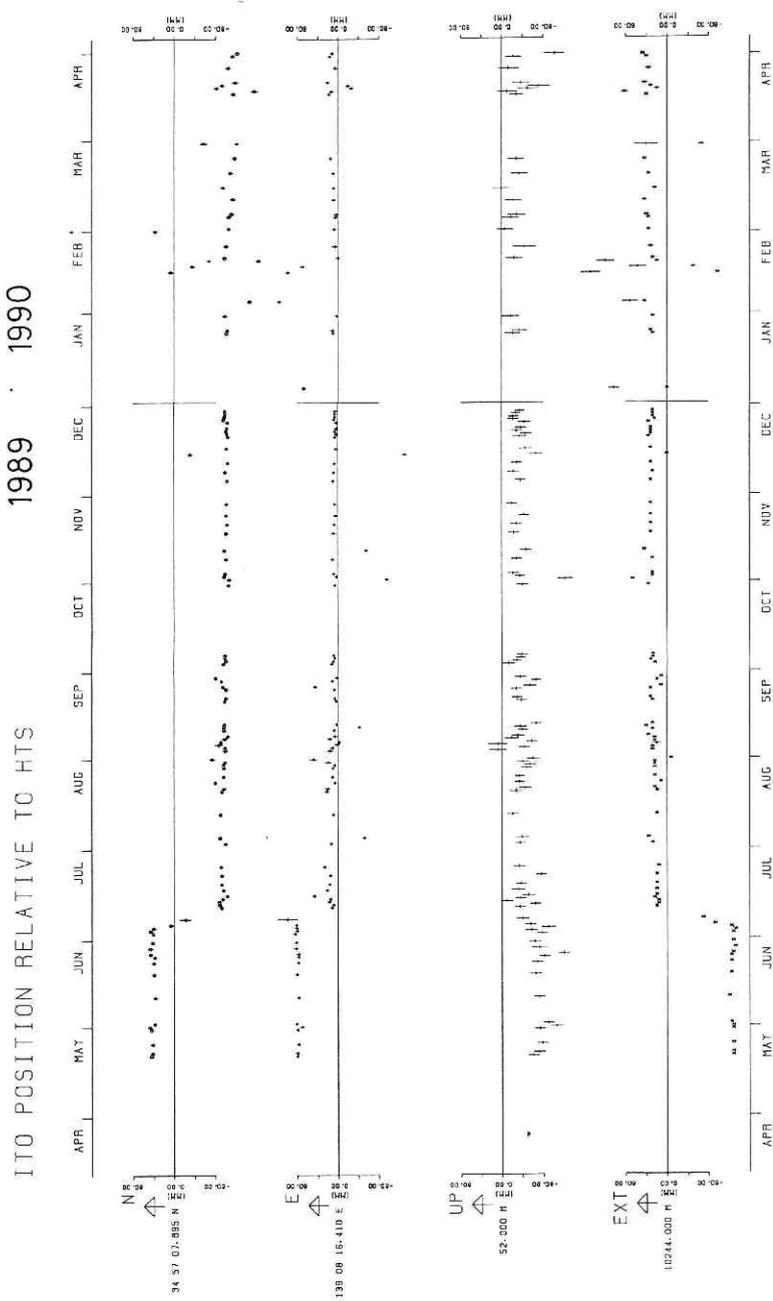


図3 初島を固定したときの伊東の位置(1989年5月~1990年4月). 計算上の誤差も縦線で示してある.
 Fig. 3 Positions of the Ito station when the Hatsumima station is fixed. Errors of the positions are also plotted.

表1 群発地震前後の伊東観測点の相対変化

Table 1 Positions and their drifting rates of baseline vectors of the Ito station before and after the active seismic swarm in July, 1989.

a) 群発地震前(185日以前)

	南北成分(N: +)	東西成分(E: +)	上下成分(U: +)	基線長
185日における相対位置(MM)	42	81	-78	-126
標準偏差(MM)	9	7	43	8
日平均変化量(MM/DAY)	-0.0116	0.0686	0.0013	-0.0082
標準偏差(MM/DAY)	0.0523	0.0434	0.2580	0.0488

b) 群発地震後(192日以降365日まで)

	南北成分(N: +)	東西成分(E: +)	上下成分(U: +)	基線長
192日における相対位置(MM)	-93	16	-40	22
標準偏差(MM)	7	17	12	6
日平均変化量(MM/DAY)	-0.0332	-0.1345	0.0212	0.0696
標準偏差(MM/DAY)	0.0236	0.0602	0.0442	0.0206

c) 185日から192日の間の変動量(MM)

	南北成分(N: +)	東西成分(E: +)	上下成分(U: +)	基線長
	-135	-65	39	148

注：位置座標は N34°57'07.895" E139°08'16.410" 高さ52.000m に対する相対位置である。

が同じなので、差があったとしてもほんの僅かな量であろう。したがって、今回、観測時間帯をずらしたことは、解にほとんど影響を与えなかった、と考えられる。

また、1990年3月以降にGPS衛星の再配置が行われたということなので、衛星配置の変化による系統的な変化がその前後に見られる可能性があるが、解のばらつきが大きいためその影響は確認できない。

図3を見ると、7月上旬の群発地震の活発な時期(通算日で185日(7月4日)から192日(7月11日))に呼応して顕著な地殻変動のあったことがわかる。この期間の以前及び以降の解にそれぞれ最小自乗法で直線を当てはめてみた。このとき解に対してはそれぞれ重みをつけずに単純に直線を求めた。このようにして求められた位置座標と日変化量は表1(a), (b)のようになった。また、表1(c)に表1(a)と(b)の位置座標の差を示した。ただし、以降の期間の計算については、1990年に入ると解のばらつきが大きいのので使用した解の範囲を1989年末までに限った。表1(a)から、群発地震前の基線変化を見てみると、東西成分を除けば日変化量の大きさが標準偏差より小さく、東西成分も標準偏差の量より大きいとはいえその量はわずかである。したがって、群発地震前の基線変化はほとんどなかったと言える。次に、表1(c)に示したように、群発地震の前後には伊東観測点が初島に対して相対的に135mm 南へ65mm 西へ39mm 上方向に動き、基線長は148mm 伸びていた。上下成分を除くと、これらの値はいずれの成分も表1(a), (b)の標準偏差を大きく上まわっており、明瞭な地殻変動があったことがわ

かる。この後の基線変化は、表1(b)を見ると、変動量は非常に小さいながら上下動を除いて標準偏差より大きい日平均変化量が得られている。変動方向は、上下動も含めて群発地震時の変動方向と同じ方向に変化が進んでいる。日平均変化量自体の大きさは群発地震時の変化量に比例しているわけではなく、東西成分がもっとも大きくなっているが、標準偏差が大きいのではっきりとはわからない。標準偏差を考えに入れば群発地震時の変化量と比例している可能性も否定できない。1990年に入ると解のばらつきが格段に大きくなっており詳細な変化はわからないが、長期的な変動方向に大きな変化はないようにみえる。

4. ま と め

最近までの約1年間(1989年5月～1990年4月)に得られた初島・伊東間の基線変化を解析した。1989年7月の群発地震時以前は基線に変化はなかったようである。群発地震時には顕著な基線変化がみられ、伊東観測点が初島観測点に対して相対的に135mm 南へ65mm 西へ39mm 上方向に動いた。基線長は148mm 伸びていた。その後は変動量が非常に小さくなっているが同方向の変動がみられる。1990年に入ると得られた解のばらつきが大きくなりはっきりしないが、現在もその傾向が変わらずに続いているようである。

参 考 文 献

- 1) 国土地理院(1990)：伊豆半島の地殻変動，地震予知連絡会会報，**43**，227-252.
- 2) 岡田義光・山本英二(1990)：地殻変動より見た1989年伊東沖の群発地震・火山活動，月刊地球(印刷中).
- 3) Shimada, S., Y. Fujinawa, S. Sekiguchi, S. Ohmi, T. Eguchi, and Y. Okada, 1990 : Detection of a volcanic fracture opening in Japan using Global Positioning System measurements. *Nature*, **343**, 631-633.
- 4) 恒石幸正(1990)：自動光波観測による伊東—初島測線と伊東—宇佐美測線の変位，地震予知連絡会会報，**43**，253-257.

(1990年8月22日 原稿受理)