

## 松代地域における基線長の再観測

干場充之<sup>1)</sup>, 上垣内修<sup>1)</sup>, 中村浩二<sup>1)</sup>, 橋本徹夫<sup>1)</sup>, 岡田正実<sup>1)</sup>, 三上直也<sup>\*2)</sup>, 檜皮久義<sup>2)</sup>,  
阿部正雄<sup>2)</sup>, 斎藤祥司<sup>\*2)</sup>, 西前裕司<sup>2)</sup>, 中尾 茂<sup>3)</sup>, 平田安廣<sup>3)</sup>, 加藤照之<sup>3)</sup>

Baseline observation of the Matsushiro area

Mitsuyuki HOSHIBA<sup>1)</sup>, Osamu KAMIGAICHI<sup>1)</sup>, Koji NAKAMURA<sup>1)</sup>, Tetsuo HASHIMOTO<sup>1)</sup>,  
Masami OKADA<sup>1)</sup>, Naoya MIKAMI<sup>\*2)</sup>, Hisayoshi HIKAWA<sup>2)</sup>, Masao ABE<sup>2)</sup>, Shoji SAITO<sup>\*2)</sup>,  
Yuji NISHIMAE<sup>2)</sup>, Shigeru NAKAO<sup>3)</sup>, Yasuhiko HIRATA<sup>3)</sup>, Teruyuki KATO<sup>3)</sup>

(Received May 18, 1995; Accepted September 5, 1995)

### Abstract

Three repeated baseline surveys using GPS were conducted in 1994 in the Matsushiro area of Nagano, central Japan, where an earthquake swarm was very active in 1960s. The baseline lengths were measured using the same stone marks used in electro-optical observation in 1960s. Comparing the obtained results with those of the 1960s, we find that the baseline lengths have not changed so much after the earthquake swarm and change rate is much smaller than that in the 1960s.

### § 1. はじめに

気象庁地震観測所(現, 精密地震観測室)で観測を続けている長さ100mの石英管式伸縮計(現在の測器は1980年に更新; 山岸ら, 1980; 山岸・柏原, 1981)が, 1994年初頭から急激な伸びの変化を示し始めた(Fig. 1; 地震観測所, 1994). この変化は, 1993年12月から南北成分に現われはじめ, 1994年8月までに $10^{-6}$ に達し, 30mスパンの観測では10月に縮みに反転したものの, 70m, 100mでは依然, 伸びを続け1995年2月末現在も継続中である.  $10^{-6}$ の変化は, 1983年から1993年までの10年間の変化量に相当することから, この現象がいかに異常であるかを示している. 30m地点と70m, 100m地点での変化の仕方が異なることから察すると, 局所的な変化の可能性があるとと思われるが, 広域的な変化を反映したものではないと断言できず, また, 上記の伸縮計の変化は近年にない異常な現象であることから, もう少し広い範囲の地殻変動の様子をつかむ必要があると考えた.

この松代地域では1960年代に群発地震が起っており(気象庁, 1968), その際にKasaharaら(Kasahara

and Okada, 1966; Kasahara et al., 1966, 1967, 1968)により精力的に光波測量が行なわれている. そこで, 彼らと同じ測線を再測量し, 過去の観測結果と比較検討を行い, 広範囲での地殻変動の様子を把握することを試みる.

### § 2. 観測および解析

Kasaharaらは, Fig. 2に示すようにMINAKAMI-YAMAを起点にZOZAN, NISHITERAO, SOROBEKUとを結ぶ3測線を繰り返し観測し, 基線長を求めている. 今回, この測線を再測定する. しかし, Kasaharaらが観測を行った1960年代から30年が経過し, 観測点周辺の環境も相当変化しており, 彼らが用いた標石を発見するまで手間どった観測点もあった. MINAKAMIYAMA, ZOZANは比較的容易に発見できたものの, NISHITERAOが発見できたのは1994年9月の中旬であった. また, SOROBEKUは見つけられたものの, 林の中にあり視界が悪く観測条件を確保するためには多数の木を伐採しなければならなかったので, この点を使用するのは諦めた.

Kasaharaらの結果との比較を行うためには, 当然彼らと同じ手法, つまり, 光波測量を用いるのが最適と思われる. しかし, 上に記したように30年前とは環境が変わり, 建物, 森林, 高速道路などが見通しを遮っている測線もあった. このため, 光波測量と異なり観測点間を直接見通せる必要がないGPSを用いて観測を行うこととした.

- 1) 気象研究所 (Meteorological Res. Inst.)
- 2) 精密地震観測室 (Matsushiro Seismological Observatory)
- 3) 東京大学地震研究所 (Earthquake Res. Inst., the University of Tokyo)

\* 現在気象庁地震火山部

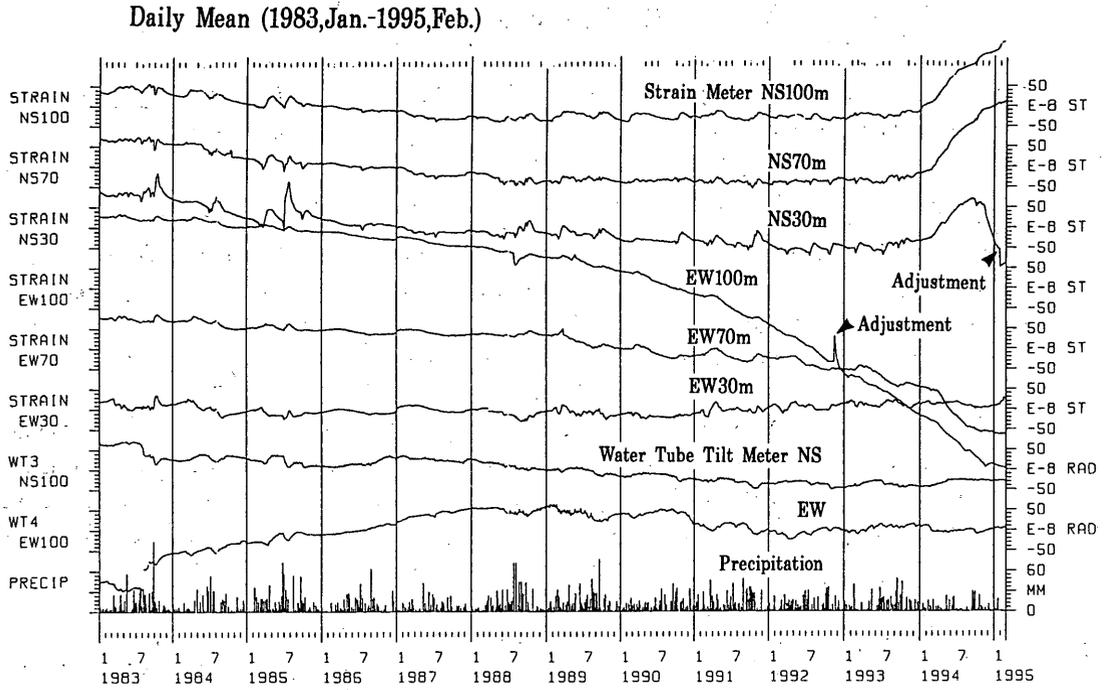


Fig. 1 Strain, tilt and precipitation observed at Matsushiro Seismological Observatory (1983-1995).



Fig. 2 Arrangement of baselines measured by Kasahara and Okada (1966).

Table 1 Summary of GPS surveys.

Receiver Type	: Trimble 4000SSE
Elevation Mask	: 15 deg.
Measurement Interval	: 30 sec.
Software	: GPSurvey (ver. 1.1)
Ephemeris	: Broadcast
Ionospheric Correction	: No
Solution Type	: Receiver/Satellite Double Difference

Fig. 2 に示すように、測線の長さは2~3 kmであるので、上記の伸縮計に現れた変化量 $10^{-6}$ に相当する量は2~3 mmである。現在のGPSの技術では1 cm以下の長さの変化を捉えるのは一般に困難であり、また、今回、三脚を使用したため設置誤差が数mmある。したがって、観測の精度と伸縮計の変化分に相当する量が同程度であるので、上記の $10^{-6}$ の変化を議論することは難しい。しかし、広域の地殻変動について群発地震当時の記録との比較、また、群発地震が終了してからの変化量を見積もることは重要であると考えられる。

観測は1994年8月18日~19日、10月4日~5日、11月30日~12月1日の3回いずれも夕方から明け方にかけて行った。ただし、NISHITERAOの標石は9月まで発見されず8月は観測出来ない。Table 1 に示すように、受信機はTrimble社の4000SSEを用い、データは30秒サンプリングで12時間を1回(8月および10月の観測)、5時間を3回(11月の観測)取得した。解析にはGPSurvey Version1.1を用いた。基線長が短いので衛星の軌道情報は放送暦を使用し、2重位相差法(土屋・辻, 1991)で処理した。また大気の影響は考慮せず、電離層の影響も無視した。

### § 3. 結果

Table 2 に今回の観測の結果を示す。11月30日~12月1日にかけては三脚を移動させることなく短時間に測定を繰り返しているため、観測結果の短期再現性を示している。この短期に現れる観測結果の差(数mm)が、今回のGPS観測の誤差の目安と考えられる。MINAKAMIYAMA-NISHITERAOの測線では、10月と12月との観測結果に十数mm異なる結果が出ている。しかし、三脚設置の再現性が数mm、11月30日の観測の最長最短の差が

Table 2 Baseline lengths measured in this study.

	Minakamiyama - Zozan	Minakamiyama - Nishiterao
18, Aug.		
-19, Aug., 1994	2381.374 m	
4, Oct.,		
-5., Oct., 1994	2381.357	3154.307 m
30, Nov.,		
-1, Dec., 1994		
19:00-24:00	2381.357	3154.317
00:15-05:15	2381.352	3154.321
06:00-11:00	2381.357	3154.323

6 mmあるので、この違いが有意な変化であるとするは出来ない。MINAKAMIYAMA-ZOZANの測線では、8月と10月との結果に、17mmの差がある。これについては以下に述べる事柄を考慮して解釈する必要がある。8月の観測の際、MINAKAMIYAMAは標石の傍に、約10mの高さの松の木があり視界を遮っていた。GPS観測には、決して良い条件ではなかったため、枝を切り落とすなど何等かの措置が必要であったが、その時は所有者の了解が得られず、結局、実行できたのは10月の観測の直前であった。したがって、8月と10月の観測では観測点近傍の環境、特に衛星の見え方が大幅に異なっており、このことが観測結果に影響を及ぼすことは十分に考えられることである。17mmの変化量にはこのような要因が含まれることに注意する必要がある。

### § 4. 結論・議論

Fig. 3 に今回の解析結果を、Kasahara et al.(1968) および柴野、松本、平田(1994)による光波観測の結果と合せて示す。いずれも、MINAKAMIYAMAからの長さを求めたものである。柴野らは、Kasaharaらが使用した光波測距儀(モデル4型、モデル6型)とは異なるタイプ(モデル700型)を用い、気象(温度、湿度、気圧)の影響を補正した値を求めている。これらの結果を比べてみると光波測量とGPSという違いがあるものの群発地震終了時から現在まで $10^{-5}$ を越える大きな変化があったとは言えない。また、群発地震当時は1年間に $10^{-4}$ という激しい変化をしているが、今回の観測を行った期間では当時ほどの激しい変化はないと思われる。結論として、1960年代の群発地震以降、松代地域にはその当時現れたような大きな歪みの蓄積はないと言えよう。

国土地理院では、1994年秋からGPS観測局を全国展

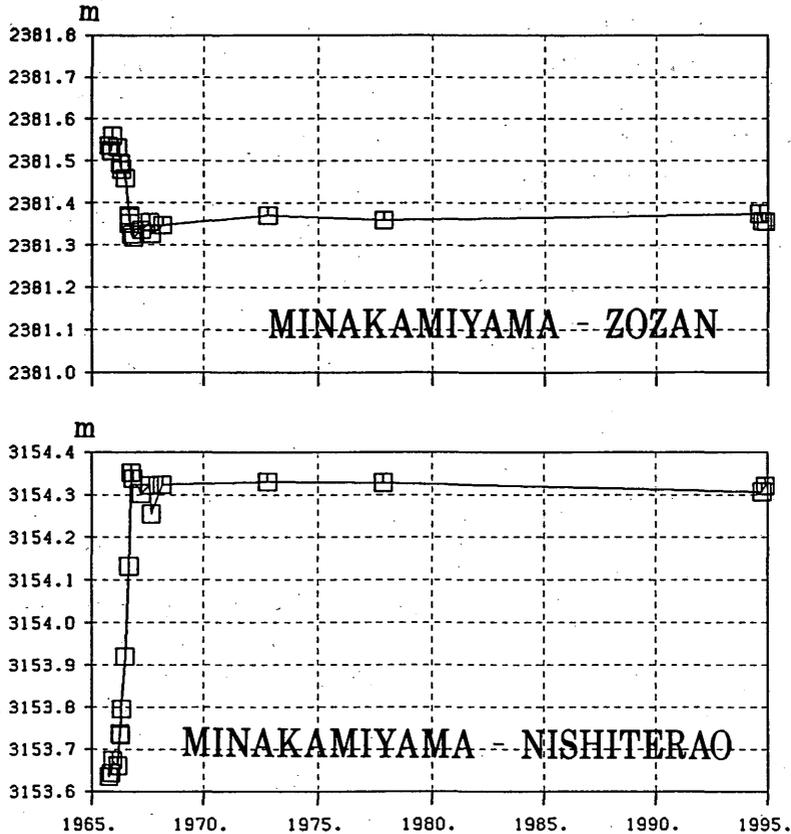


Fig. 3 Change in baseline length (1965-1994). Data in 1960s are after Kasahara et al. (1968), those in 1970s after Shibano et al. (1994, personal communication).

開し連続観測を開始した(阿部・鎌田, 1994)が, 観測点密度が粗いので今回の観測対象地域のように数km程度の広さの変化を捉えるのは難しいと思われる。そこで, Fig. 4に示すように1994年11月にGPS観測専用の固定柱を7ヶ所に設置した。これによりGPSアンテナの設置誤差を少なく出来ると期待できる。今後はこの固定柱を用い観測を続ける予定である。

#### 謝 辞

データを提供頂いた松本滋夫氏, 観測を手伝っていた気象庁地震観測所および地震研究所信越地震観測所の方々に感謝します。皆神山ゴルフクラブには観測に便宜を図っていただきました。また, 査読者の意見は論文を書き直す上で有益でした。感謝致します。

#### 文 献

阿部義昭, 鎌田高造 (1994): GPS連続観測局の現状と

展望, 日本測地学会講演会要旨, No.82, 109.

気象庁 (1968): 松代群発地震調査報告, 気象庁技術報告, 62, 556pp.

地震観測所 (1994): 松代における最近の歪みの異常変化について, 日本地震学会講演予稿集, No.2, B92.

柴野睦郎, 松本滋夫, 平田安廣 (1994): 私信.

土屋 淳, 辻 宏道 (1991): やさしいGPS測量, 日本測量協会, 377pp.

山岸 登, 柏原静雄 (1981): ひずみ計改良更新の現状と観測結果について, 気象庁地震観測所技術報告, 2, 25-56.

山岸 登, 関 彰, 柏原静雄 (1980): 石英管ひずみ計の改良更新について, 気象庁地震観測所技術報告, 1, 43-47.

Kasahara, K. and A. Okada, (1966): Electro-optical measurement of horizontal strains accumulating in the swarm, earthquake area (1), Bull. Earthq.

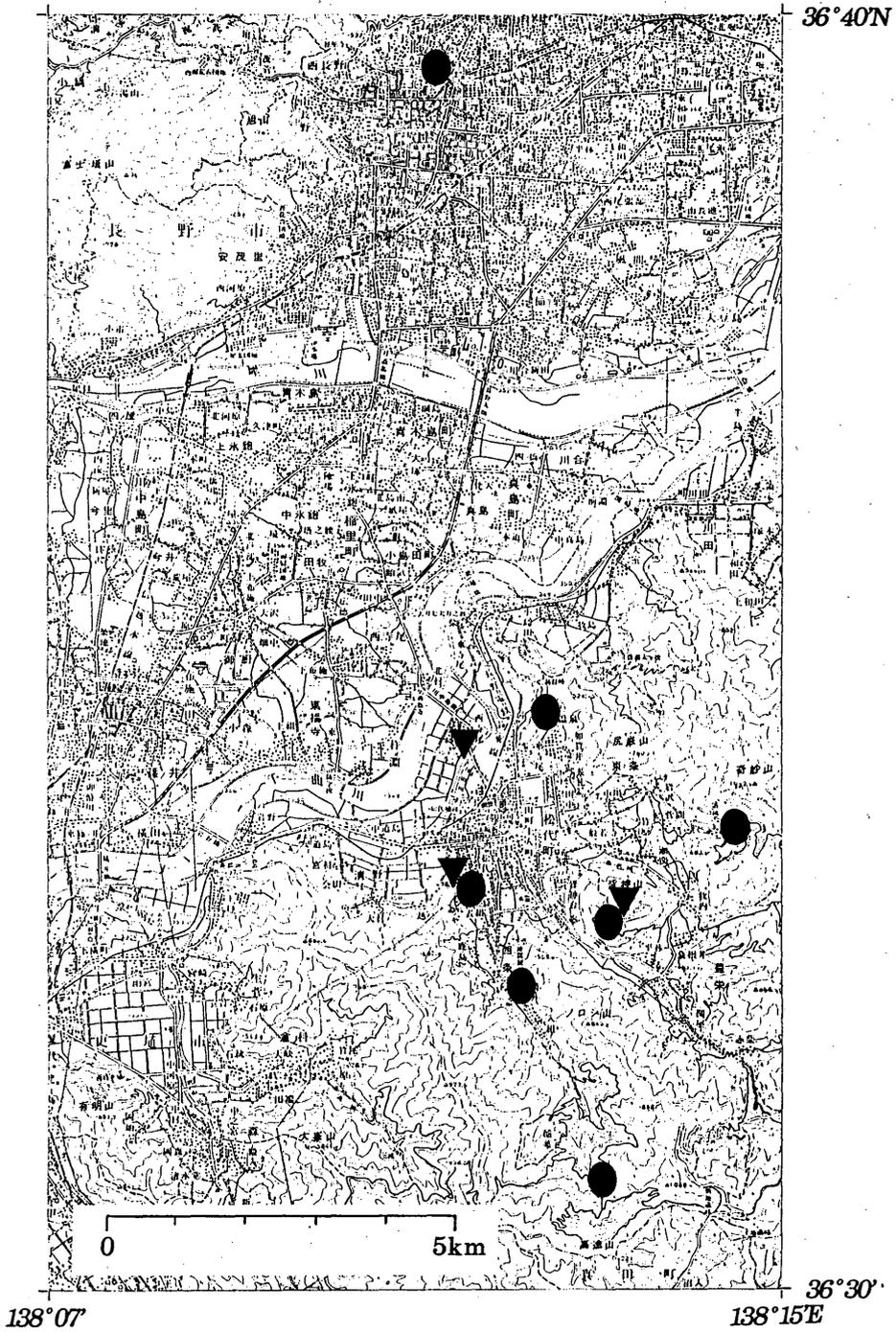


Fig. 4 Location of the stone marks. Triangles show the stone marks used in this study, and circles show those newly installed in November, 1994.

Res. Inst., 44, 335-350.

Kasahara, K., A. Okada, M. Shibano, K. Sasaki and S. Matsumoto, (1966): Electro-optical measurement of horizontal strains accumulating in the swarm earthquake area (2), Bull. Earthq. Res. Inst., 44, 1715-1733.

Kasahara, K., A. Okada, M. Shibano, K. Sasaki and S. Matsumoto, (1967): Electro-optical mea-

surement of horizontal strains accumulating in the swarm earthquake area (3), Bull. Earthq. Res. Inst., 45, 225-239.

Kasahara, K., A. Okada, M. Shibano, K. Sasaki, S. Matsumoto, and M. Hirai (1968): Electro-optical measurement of horizontal strains accumulating in the swarm earthquake area (4), Bull. Earthq. Res. Inst., 46, 651-661.