

松本盆地の GPS 地殻変動観測 (1992-2006)

角野由夫*・秋山侑輝・秋山知生・小林 亘

信州大学理学部地質科学教室

Geodetic Measurements with GPS in the Matsumoto Basin, Central Japan (1992-2006)

Yoshio Sumino*, Yuuki Akiyama, Tomoki Akiyama and Wataru Kobayashi

Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University

Abstract

Since 1992, geodetic measurements with GPS have been conducted in the Matsumoto basin, Nagano Prefecture, central Japan. The Matsumoto basin is located on the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, which has recently been considered to be a plate boundary between the Eurasian plate and the North American plate. The GPS network of Shinshu University, established along the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, consists of six observation stations-Shinshu University, Muroyama, Nakayama, Takaseiri, Miyamura, and Omine. The observed data were analyzed from broadcast ephemeris and default meteorological values using the double difference technique.

From the present GPS measurements, it was found that during the period from 1992 to 2006, in the southern part of the Matsumoto basin, the distance between Muroyama and Shinshu University, about 12 km in the east-west direction, contracted at a rate of -1 mm/year (-0.1 ppm/year). On the other hand, in the northern part of the Matsumoto basin, the distance between Omine and Takaseiri about 11 km in the east-west direction, contracted at a rate of -5 mm/year (-0.5 ppm/year) in almost the same period. Crustal deformation in the Matsumoto basin, northern Nagano Prefecture, during the last fourteen years, 1992-2006, are reported and discussed in the present study.

Key words: GPS, Matsumoto basin, crustal movement

1. はじめに

日本列島は、地質構造的に中部日本を南北に走る大地溝帯フォッサマグナによって東北日本弧と西南日本弧に大きく分けられる。そして、松本盆地は北部フォッサマグナ地域の西端部、糸魚川-静岡構造線上に位置する。松本盆地は、ほぼ南北に細長く、南北約 50 km、東西 10 km、面積 480 km² の日本では最大規模の内陸盆地である。松本盆地を南北に縦走する糸魚川-静岡構造線は、ユーラシアプレートと北米プレートあるいは東北日本マイクロプレートとの境界である可能性が従来より指摘されてきた(日本海東縁部新生海溝説; 小林 (1983), 中村 (1983))。その後、糸魚川-静岡構造線はなんらかのプレートの収束あるいは衝突境界であることが測地測量データ (例え

ば、多田・橋本 (1990)) や、重力観測データ (例えば、萩原 (1990)) などに基づいて推定されてきた。また、糸魚川-静岡構造線の中・北部は、日本列島の内陸活断層の中でも最大級の平均変位速度を示す活断層の一つとなっている (例えば、Ikeda and Yonekura (1986), 奥村ほか (1994))。そして、1990 年代後半に整備が進んだ国土地理院の GPS 連続観測 (例えば、鷺谷ほか, 1999) により、新潟から長野県北部を経て近畿地方へと連なる変形集中帯の存在が明らかになってきた (新潟-神戸ひずみ集中帯: 鷺谷 (2007))。

松本盆地における現在の地殻変動の時間的推移を把握するため、信州大学では 1992 年より GPS による精密測位観測を実施している (山川・角野, 1995; Sumino *et al.*,

* e-mail: ysumino@shinshu-u.ac.jp (〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1)

1997). ここでは、松本盆地の地殻変動について、GPS による測量結果を報告する。

2. GPS 観測と結果

糸魚川-静岡構造線沿線地域を含む、長野県北部地域の信州大学 GPS 観測点を図 1 に示した。本報告で用いた、糸魚川-静岡構造線沿線地域の信州大学 GPS 観測点の座標を表 1 に示した。松本盆地南部地域の GPS 観測点は、松本市の信州大学理学部屋上に信州大学観測点(略号 SHU, #4009: 金属固定柱), 安曇野市室山アグリパーク内の室山観測点 (MRO, #4006: 国土地理院室山三等三角点), 松本市中山霊園内の中山観測点 (NKY, #4011: 国土地理院中山二等三角点) である (図 1)。それぞれの地質は、信州大学観測点 (SHU) と中山観測点 (NKY) とが、ともに新第三紀の地層をおおう第四紀更新世の堆積物で砂および礫からなっている (松本盆地団体研究グループ, 1972; 1977)。また、室山観測点 (MRO) の地質は、ジュラ紀付加体を構成するチャートからなっている (大塚・木船, 2006)。一方、松本盆地北部地域の GPS 観測点は、大町市高瀬入溪谷緑地公園内の高瀬入観測点 (TKS, #4030: 石標), 大町市美麻地区宮村の宮村観測点 (MYM, #4031: 国土地理院宮村四等三角点), 北安曇郡池田町大峰高原白樺の森公園内の大峰観測点 (OMN, #4032: 金属標) である (図 1)。それぞれの地質は、高瀬入観測点が白亜紀から古第三紀の有明花崗岩の上位にある第四紀更新世中期の高位段丘面堆積物で砂および礫から構成されており、宮村観測点が新第三紀中新世後期の小川層の砂岩・砂質泥岩・礫岩から、また、大峰観測点は新第三紀鮮新世の大峰累層の流紋岩や溶結凝灰岩から構成されている (加藤碩一・佐藤岱生, 1983; 加藤碩一ほか, 1989)。

GPS 観測は、1 ヶ月に 2~3 週間ほど連日でおこなわれるため、その月平均値を観測値として採用した。なお、観測誤差は月平均値の標準偏差 (1σ) をもちいた。1992 年の観測開始の当初は、上空に衛星数が少なかったた

め、衛星の選択をおこなった。そのため、1992 年~1999 年の期間中は、0.5 恒星日の公転周期をもつ GPS 衛星の運動と地球の自転のずれから同一配置の時刻が 1 日約 4 分ずつ早いほうへずれてゆくので、それにあわせて観測時間帯も 1 日 4 分ずつ早めた。2000 年以降は、観測時間帯は一定となり、16:00~21:00 (世界協定時) に実施し

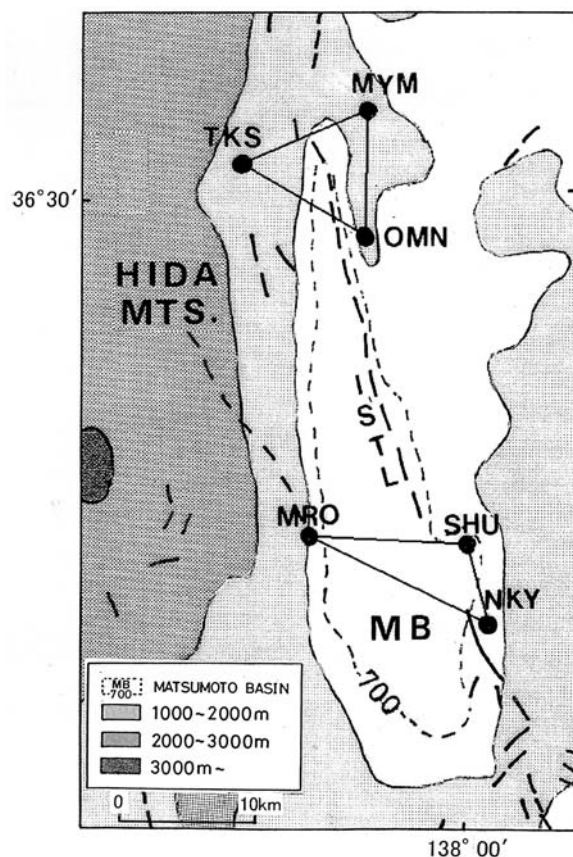


Fig. 1. The locations of the GPS stations of Shinshu university in and around the Matsumoto basin, reported in the present study. SHU shows Shinshu-University; MRO, Muroyama; NKY, Nakayama; MYM, Miyamura; TKS, Takaseiri; OMN, Omine. MB is the Matsumoto basin. ISTL is the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, called to the East Matsumoto Basin Fault. HIDA MTS shows the Hida Mountains.

Table 1. GPS station coordinates (WGS84) in the Matsumoto basin used in the present study.

Site	Latitude	Longitude	Height
Shinshu-U. (SHU)	N 36° 15' 04.92909"	E 137° 58' 39.62820"	686.101 m
Muroyama (MRO)	N 36° 15' 13.15291"	E 137° 50' 44.71141"	835.880 m
Nakayama (NKY)	N 36° 11' 53.02290"	E 137° 59' 26.89710"	879.091 m
Takaseiri (TKS)	N 36° 31' 00.29890"	E 137° 46' 47.99750"	989.785 m
Miyamura (MYM)	N 36° 33' 11.98630"	E 137° 53' 29.14540"	874.324 m
Omine (OMN)	N 36° 27' 54.15670"	E 137° 53' 22.55210"	1051.258 m

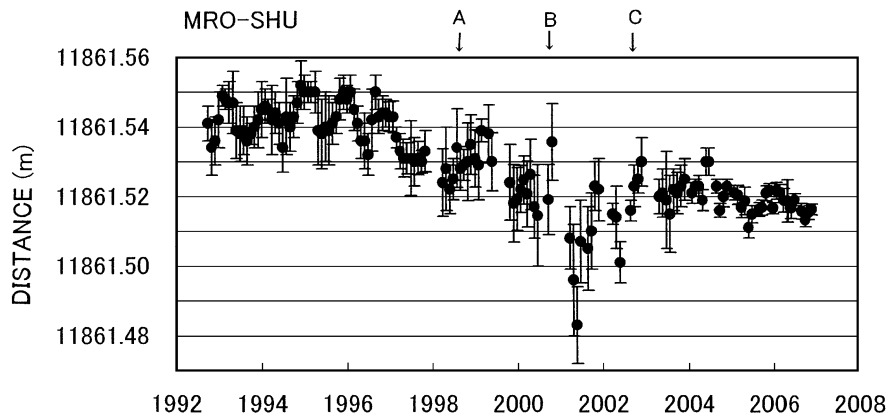


Fig. 2. Temporal changes of baseline lengths between Nuroyama (MRO) and Shinshu-University (SHU) sites for 1992-2006.

ている。GPS 受信機は、米国トリプル社製 4000 型を使用した。基線ベクトルの解析には、解析ソフト TRIM-VEC (Ver. 3.01; Trimble Navigation, 1991) を用い、二重位相法で処理し、サイクルスリップの編集は自動でおこなった。衛星の軌道暦は放送暦を使用し、大気条件は標準値 (1013 hPa, 20°C, 50%) を用いた。また、1 周波による観測のため電離層による電波の伝播遅延は補正していない。松本盆地の GPS 測量結果について、南部地域の地殻変動の経年変化は図 2~図 10 に示した。また、北部地域の地殻変動は図 11~図 13 に示した。

3. 考察とまとめ

図 2 は、松本盆地の南部にある室山 (安曇野市)-信州大学 (松本市) 間を東西に結ぶ基線の時間変化を示した図で、1992~1996 年までの期間中、年周変動はあるものの永年変動がほとんど認められなかった。しかし、1997 年半ばより変動パターンに変化が現れ、年周変動を越す変化が生じ、収縮傾向が続いた。

一方、松本盆地を含む長野県北部地域の地震活動は 1998 年以降、非常に活発となり、1998 年 7 月 1 日に長野県北部の大町市美麻地区でマグニチュード (M) 4.7 が発生し、その翌月 8 月 7 日より飛騨山脈に群発地震 (M 4 以上が 15 回; 和田ほか (1999), (2000)) が発生した (図 2~図 13 の矢印 A)。翌年の 1999 年 1 月 28 日には長野県中部の明科町付近で M 4.7 が、続いて 1999 年 10 月 29 日には長野県北部の長野市付近で M 4.0 が発生している。すなわち、1998 年 7 月~1999 年 10 月にかけて、長野県北部の糸魚川-静岡構造線の沿線地域においては M 4 以上の地震が十数回発生しており、地震活動が非常に活発な時期であったことがいえる。

2000 年秋以降においては基線長 (図 2) に大きな変化

(擾乱) が見られたが、2003~2006 年は再び 2000 年の値に戻り、この数年間変化のない状況が続いている。なお、2000 年 8 月から 2001 年 6 月の期間の大きな変化は、人為的な変動である。この期間は、GPS アンテナを屋上に設置した信州大学理学部の建物について、耐震化の大改修工事がおこなわれ、建物が大規模な耐震鉄骨材を東西方向へ補強したため、建物が東西方向へ動き、その結果東西方向の基線に顕著な変化が見られた (図 2~図 9 の矢印 B)。

2000 年以降の本地域の地震活動は、それ以前に比べ非常に静穏となったが、M 3 規模の地震は 3 年 1 回程度の割合で発生している。2002 年 10 月には松本市の市街地、中山 GPS 観測点 (NKY: 図 1) の南東側直下において小規模の群発地震が発生した (東京大学地震研究所, 2003)。この群発地震の発生開始時期を図 2~図 10 の矢印 C で示す。この地震の最大マグニチュードは M 3.1 (深さ数キロの左横ずれ断層, 2002 年 10 月 4 日) で、松本市街地の有感地震は 7 回 (2002 年 10 月 2 日~8 日)、無感地震も含めると地震の発生数は百回近くにも及んだ。また、大峰観測点 (OMN: 図 1) と信州大学観測点 (SHU: 図 1) の中間地点に位置する、明科町の北部において、2004 年 1 月 11 日に M 3.3 (深さ約 10 km の左横ずれ断層と逆断層の中間型) の地震が発生した (酒井, 2005)。

図 3~図 5 は信州大学観測点を固定したときの室山観測点の水平変動 (南北と東西成分) と上下変動を示した。図 4 から室山観測点では 1998~1999 年にかけて東西方向の変動パターンに変化が現れた。この期間は、長野県北部の糸魚川-静岡構造線の沿線地域においては M 4 以上の地震が十数回発生しており、地震活動が非常に活発な期間と一致する。また、2000 年 8 月から 2001 年 6 月の期間の変化は、信州大学の建物耐震化の大改修工事に

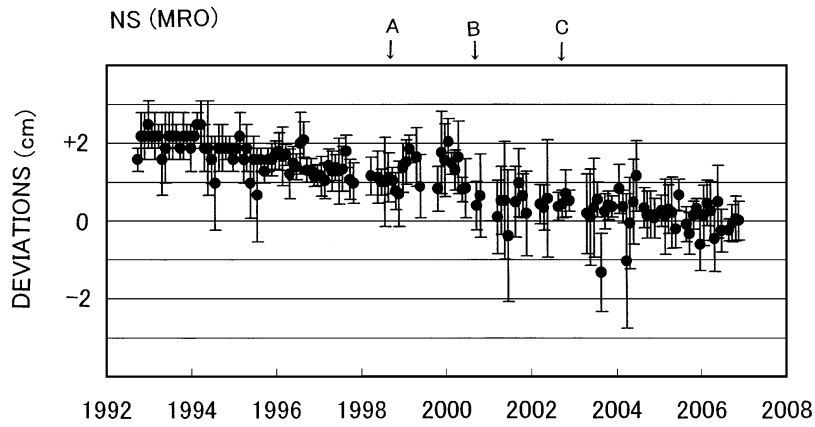


Fig. 3. Temporal changes of the horizontal component in the north-south direction of GPS coordinates at Muroyama (MRO) site, when fixed at Shinshu-University (SHU). Upward shows to north.

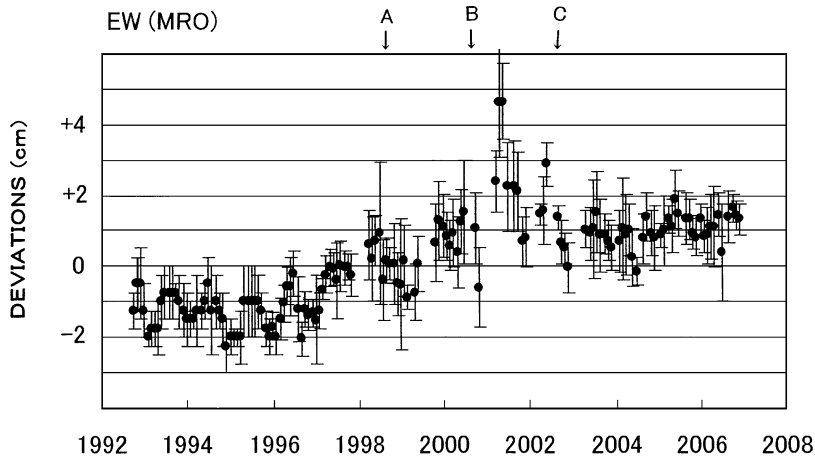


Fig. 4. Temporal changes of horizontal component in east-west direction of GPS coordinates at Muroyama (MRO) site, when fixed at Shinshu-University (SHU). Upward shows to east.

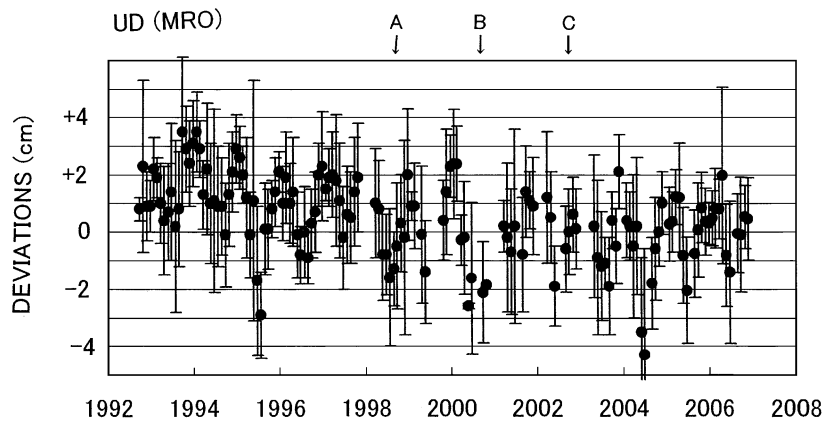


Fig. 5. Temporal changes of the vertical component in GPS coordinates at Muroyama (MRO) site, when fixed at Shinshu-University (SHU). Upward shows to upheaval.

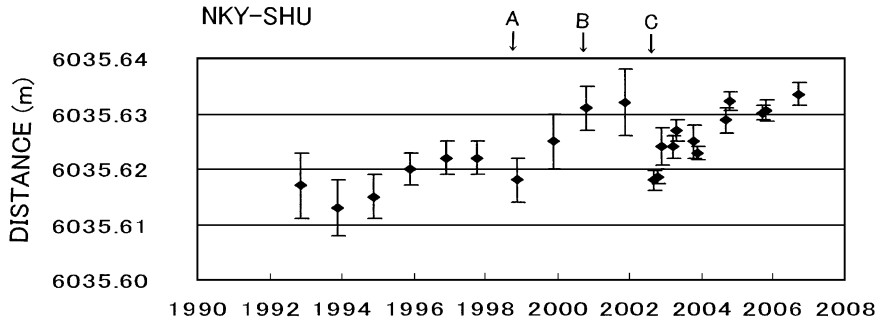


Fig. 6. Temporal changes of baseline lengths between Nakayama (NKY) and Shinshu-University (SHU) sites for 1992-2006.

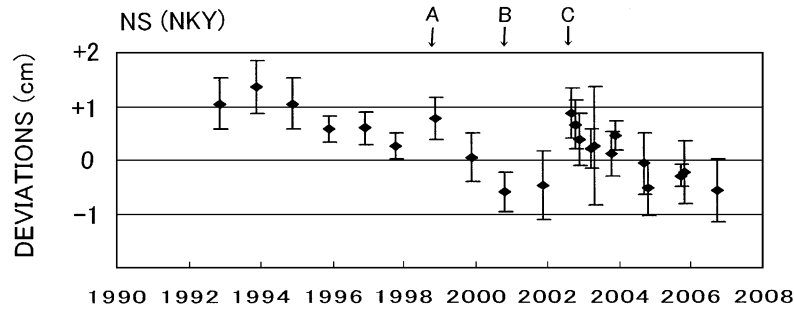


Fig. 7. Temporal changes of the horizontal component in the north-south direction of GPS coordinates at Nakayama (NKY) site, when fixed at Shinshu-University (SHU). Upward shows to north.

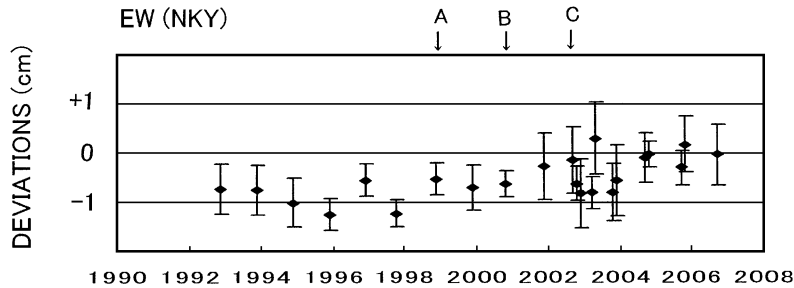


Fig. 8. Temporal changes of the horizontal component in the east-west direction of GPS coordinates at Nakayama (NKY) site, when fixed at Shinshu-University (SHU). Upward shows to east.

ともなう人為的な変動である(図4の矢印B)。図4の中で、2002年秋に年周変動を超える変化が認められるが(図4の矢印C)、この変化の要因は2002年10月に松本市街地で発生した小規模な群発地震(地下数km, 最大マグニチュードM 3.1)に関連したものと考えられる。2003~2006年は再び2000年の値に戻り、ここ数年間、2006年に至るまで変化の少ない状況が続いている。

図6に中山(松本市)-信州大学(松本市)の基線長変化を示した。この観測は毎年11~12月頃の約1カ月間ほぼ連日で実施しており、その月平均値を図示してある。なお、2002年10月に、中山GPS観測点南東側の直下数

kmで群発地震(最大マグニチュードM 3.1)が発生した(図6の矢印C)。図6より、中山-信州大学の基線においては、松本市内の群発地震(2002年10月)の発生後、顕著な収縮が認められたが、現在は地震発生前(2000~2001年)の値に戻りつつある。図7~図9は信州大学観測点を固定したときの中山観測点の水平変動(南北と東西成分)と上下変動を示した。そして、図7(南北成分)、図8(東西成分)および図9(上下方向)との比較から、このような顕著な短期変動は南北方向に卓越していたことがわかる。図10に中山(松本市)-室山(安曇野市)の基線長変化を示した。1997年~1999年にかけて変動が

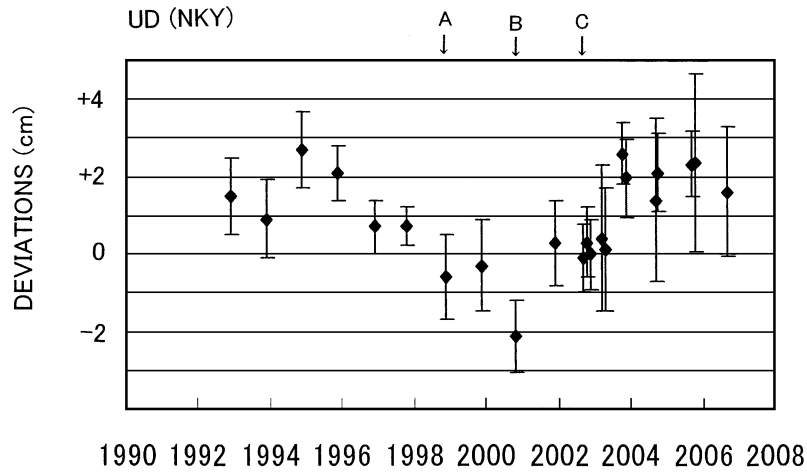


Fig. 9. Temporal changes of the vertical component in GPS coordinates at Nakayama (NKY) site, when fixed at Shinshu-University (SHU). Upward shows to upheaval.

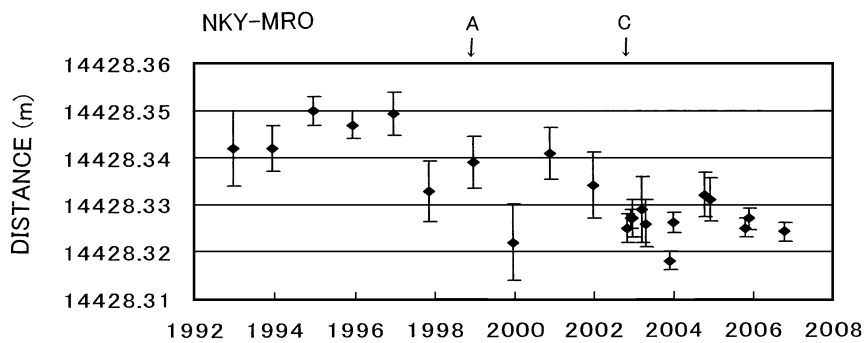


Fig. 10. Temporal changes of baseline lengths between Nakayama (NKY) and Muroyama (MRO) sites for 1992-2006.

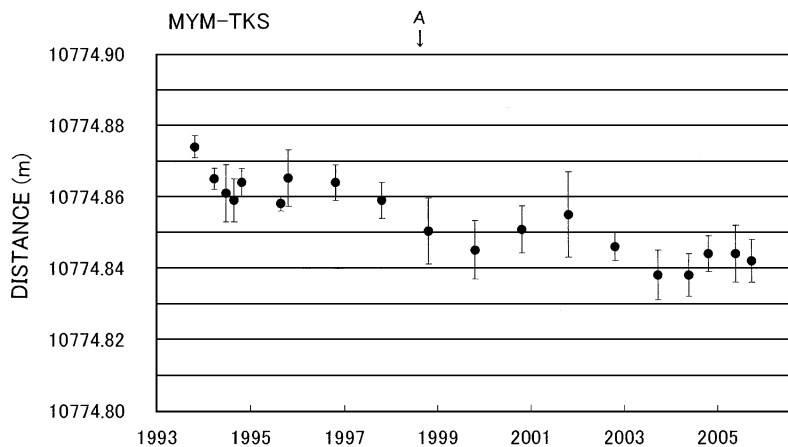


Fig. 11. Temporal changes of baseline lengths between Miyamura (MYM) and Takaseiri (TKS) sites for 1992-2005.

大きい。この期間は、長野県北部の糸魚川-静岡構造線の沿線地域においてはM4以上の地震が十数回発生しており、地震活動が非常に活発な期間と一致する。

松本盆地北部地域の地殻変動については、図11~図13

にGPS測量結果を示した。観測期間は1993年~2005年の12年間である。図11は宮村(大町市)-高瀬入(大町市)の基線長変化で、ここでも1997年以降、基線長の短縮速度が増加したが、2000年には短縮傾向がいったん止

松本盆地の GPS 地殻変動観測 (1992-2006)

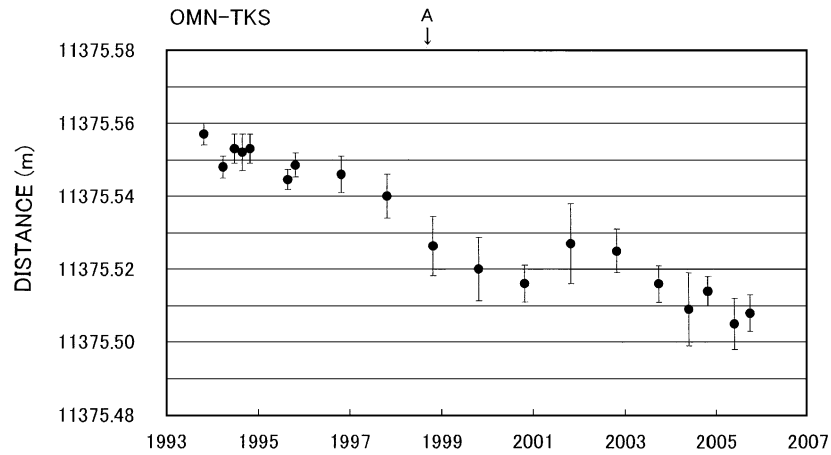


Fig. 12. Temporal changes of baseline lengths between Omine (OMN) and Takaseiri (TKS) sites for 1992-2005.

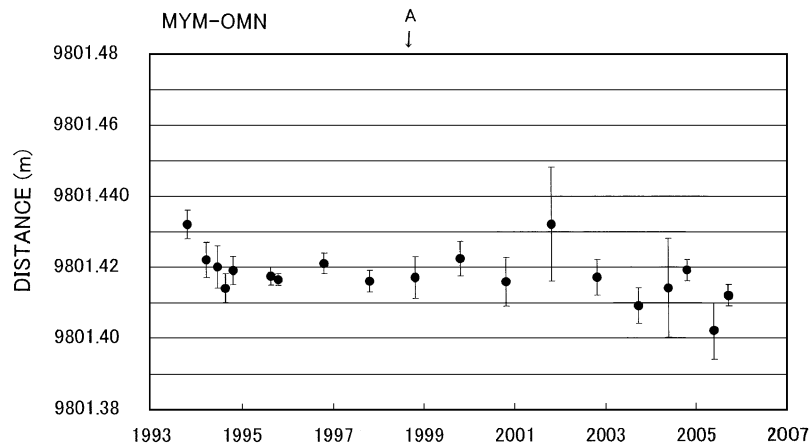


Fig. 13. Temporal changes of baseline lengths between Miyamura (MYM) and Omine (OMN) sites for 1992-2005.

まり、2002 年以降はまた短縮傾向に移り、2003 年以降は 2005 年に至るまで変化の少ない状況が続いている。また、図 12 は大峰（池田町）-高瀬入（大町市）の基線長変化を示した。この基線も、宮村-高瀬入基線と同様、1997 年以降、基線長の短縮速度が増加したが、2000 年には短縮傾向がいったん止まり、2002 年以降はまた短縮傾向に移り、2003 年以降は 2005 年に至るまで変化の少ない状況が続いている。図 13 は宮村-大峰の基線長変化を示した図で、この基線においては大きな変動がないことがわかる。これらの図から、松本盆地北部地域においては 1997～2000 年にかけて東西方向に顕著な収縮が認められたが、2000 年以降は収縮変動がいったん止まり、2002 年以降、再び収縮傾向に移ったが、2003 年以降は 2005 年に至るまで変化の少ない状況が続いている。

以上の結果より、松本盆地の東西方向の短縮速度に、南部地域と北部地域で大きな差異が見いだされた。松本盆地の南部においては、1992-2006 年の 14 年間、平均的

な短縮速度が -1 mm/年 (-0.1 ppm/年) であった。一方、松本盆地の北部では 1994-2005 年の 12 年間、平均的な短縮速度が -5 mm/年 (-0.5 ppm/年) であり、南部地域の 5 倍の速度であった。ところで、松本盆地は地形学的に南北に伸びた鋭角の三角形をしている（図 1）。また、国土地理院による約 100 年間の測量成果や地震の発生メカニズムにより、本地域は東西の圧縮場であることが示されている（例えば、国土地理院（1994））。よって、松本盆地の地形学的な形状は、本研究の GPS 観測から得られた結果、すなわち盆地の南部と北部における短縮速度の大きな違いという結果と調和的であり、第四紀という地質学的時間スケールにおいても、本地域の歪場が時間的に一様に進行している結果を反映しているものと考えられる。

謝 辞

観測点の設置および商用電源の使用において、以下の

各機関の方々に多大な便宜供与をいただいた。安曇野市室山アグリパーク管理事務所(旧・三郷村役場), 松本市中山霊園管理事務所(松本市役所), 国土交通省北陸地方整備局大町ダム管理所, 大町市役所(旧・美麻村役場), 池田町大峰高原白樺の森管理事務所(北安曇郡池田町役場)。また, 本研究は信州大学理学部地質科学教室の以下の方々の卒業研究および修士論文の成果をまとめたものである。安田 仁, 高谷和典, 山本和哉, 本田幸子, 島田絢子, 内山 卓, 原田幹也, 近藤奈津子, 勝田長貴, 松田ひろみ, 松浦茂郎, 山川健一の各氏。本地域の地質については, 信州大学全学教育機構の大塚勉先生にご助言をいただいた。なお, 本研究において東京大学地震研究所特定共同研究(A)「内陸直下の地震予知」(平成11年度~平成19年度)を用いた。そして, 東京大学地震研究所の綿田辰吾先生に原稿を査読していただいた。これらのすべてのの方々に深く感謝する。

参考文献

- 萩原幸男, 1990, 重力からみたフォッサマグナの構造とテクトニクス, 地学雑誌, **99**, 72-80.
- Ikeda, Y. and N. Yonekura, 1986, Determination of Late Quaternary rates of net slip on two major fault zone in central Japan, Bull. Dept. Geograph. Univ. Tokyo, **18**, 49-63.
- 加藤碩一・佐藤岱生, 1983, 信濃池田地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地形図幅), 地質調査所, 93p.
- 加藤碩一・佐藤岱生・三村弘二・滝沢文教, 1989, 大町地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地形図幅), 地質調査所, 111p.
- 小林洋二, 1983, プレート“沈み込み”の始まり, 月刊地球, **5**, 510-514.
- 国土地理院(1994): 地震予知観測の成果(2)―関東・中部地域一, 地震予知連絡会部会報告第5巻, 338p.
- 松本盆地団体研究グループ, 1972, 松本盆地の第四紀地質の概要―松本盆地の形成過程に関する研究(1)―, 地質学論集, **7**, 297-304.
- 松本盆地団体研究グループ, 1977, 松本盆地の第四紀地質―松本盆地の形成過程に関する研究(3)―, 地質学論集, **14**, 93-102.
- 中村一明, 1983, 日本海東縁新生海溝の可能性, 東京大学地震研究所彙報, **58**, 711-722.
- 奥村晃史・下川浩一・山崎晴雄・佃 栄吉, 1994, 糸魚川―静岡構造線活断層系の最近の断層運動―牛伏寺断層・松本市並柳地区トレンチ発掘調査一, 地震, **46**, 425-438.
- 大塚 勉・木船 清, 2006, 三郷村誌自然編地形・地質, 13-98.
- 鷺谷 威, 2007, 中部・東北日本におけるプレート内歪み集中帯―その構造, 変形と地学的意義―, 月刊地球, **29**, 376-382.
- 鷺谷 威・宮崎真一・多田 堯, 1999, GPS で見た日本列島の变形, 月刊地球, **21** (4), 236-243.
- 酒井慎一, 2005, 糸魚川―静岡構造線北部の地震活動, 月刊地球, 号外 No. 50, 162-167.
- Sumino, Y., N. Katsuta, H. Fujimaki, N. Kondo, S. Matsuura, S. Kawai, K. Kobayashi, A. Ito and K. Yamakawa, 1997, Geodetic Measurements with GPS in Matsumoto Basin, Central Japan (1992-1996), J. Geodetic Soc., Japan, **43** (2), 107-110.
- 多田 堯・橋本 学, 1990, フォッサマグナ中・北部地域の地殻水平変動とそのテクトニックな意義について, 地学雑誌, **99**, 92-97.
- 東京大学地震研究所, 2003, 長野県北部および中部の地震活動, 地震予知連絡会会報, **69**, 119-121.
- Trimble Navigation, 1991, TRIMVEC-PLUS GPS 測量ソフトウェア使用説明書, Trimble Navigation Ltd., 326p.
- 和田博夫・伊藤 潔・大見士郎・岩尾圭美・池田直人・北田和幸, 1999, 1998年飛騨山脈群発地震, 京都大学防災研究所年報第42号(B-1), 1-8.
- 和田博夫・伊藤 潔・大見士郎, 2000, 飛騨山脈の群発地震(その2)―周辺活動への影響―, 京都大学防災研究所年報第43号(B-1), 115-121.
- 山川健一・角野由夫, 1995, 長野県大町市周辺地域におけるGPS観測(1993-1994), 信州大学理学部紀要, 第**30**巻, 第2号, 85-92.

(Received December 11, 2007)

(Accepted September 16, 2008)