

松本盆地南部の GPS 地殻変動観測 (1992-2012)

角野由夫*・青木知世・寺谷尚子・梅村宗太郎・片山泰三・五十嵐麻咲美・関口玲奈・菊地悠一郎・鈴木友里・上本季更・小林雅裕・村上英貴・澤崎絵理子・土田恭子・南谷太一・西口知久
信州大学理学部地質科学教室

Geodetic Measurements with GPS in the Southern Area of the Matsumoto Basin, Central Japan (1992-2012)

Yoshio Sumino*, Tomoyo Aoki, Naoko Teratani, Shutaro Umemura, Taizo Katayama, Asami Ikarashi, Reina Sekiguchi, Yuichiro Kikuchi, Yuri Suzuki, Kisara Uemoto, Masahiro Kobayashi, Hideki Murakami, Eriko Sawasaki, Kyoko Tsuchida, Taichi Minamitani and Tomohisa Nishiguchi

Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University

Abstract

Since 1992, geodetic measurements with GPS have been taken in the southern area of the Matsumoto basin, Nagano Prefecture, central Japan. The Matsumoto basin is located on the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, which has recently been regarded as 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 four observation stations: Shinshu University, Muroyama, Nakayama, and Matsumoto City Hall. The observed data were analyzed using broadcast ephemeris and default meteorological values with the double-difference technique.

From the present GPS measurements, it was found that, during the period from 1992 to 2010, the distance between Muroyama and Shinshu University—about 12 km in the east-west direction—contracted 4 cm (4 ppm). Subsequently, during the three years from 2010 to 2012, the temporal change of the baseline length between Muroyama and Shinshu University showed an extension of 4 cm (4 ppm). In particular, the steep change of the baseline length between them showed an extension of 1.5 cm following the massive Tohoku Earthquake, with a magnitude of 9.0 on March 11, 2011. The distance between Nakayama and Shinshu University—about 6 km in the north-south direction—extended 1 cm (2 ppm) during the period from 1992 to 2010. Subsequently, in 2011, it contracted 1.5 cm following the Naganoken Chubu Earthquakes, with magnitudes of 5.4 and 5.1, on June 30, 2011, which struck Matsumoto city. Crustal deformation in the southern area of the Matsumoto basin, Nagano Prefecture during the last twenty years, 1992-2012, is reported and discussed in the present study.

Keywords: GPS, crustal movement, southern area of Matsumoto basin

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

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

Table 1. GPS station coordinates (WGS84) in southern area of 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"	686.101m
Muroyama (MRO)	N 36° 15' 13.15291"	E 137° 50' 44.71141"	835.880m
Nakayama (NKY)	N 36° 11' 53.02290"	E 137° 59' 26.89710"	879.091m
Matsumoto C. H. (MCH)	N 36° 14' 17.39731"	E 137° 58' 19.25415"	659.690m

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., 1997; 角野ほか, 2008a; 角野ほか, 2008b; 角野ほか, 2010). ここでは, 松本盆地南部地域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

糸魚川-静岡構造線沿線地域を含む, 松本盆地南部地域の信州大学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), 松本市役所屋上の松本市役所観測点(MCH, #4013: 金属固定柱)である(図1). それぞれの地質は, 信州大学観測点(SHU), 中山観測点(NKY), 松本市役所観測点(MCH)が, と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; 原山ほか, 2009). 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; 原山ほか, 2009).

GPS観測は, 信州大学観測点(SHU)と松本市役所観測点(MCH)においては連日観測を実施し, 室山観測点(MRO)は1ヶ月に1~2週間ほぼ連日で, また, 中山観測点(NKY)は毎年11月頃の約1ヶ月ほぼ連日でおこなった. そして, その月平均値を観測値として採用し, 観測誤差は月平均値の標準偏差(1σ)をもちいた.

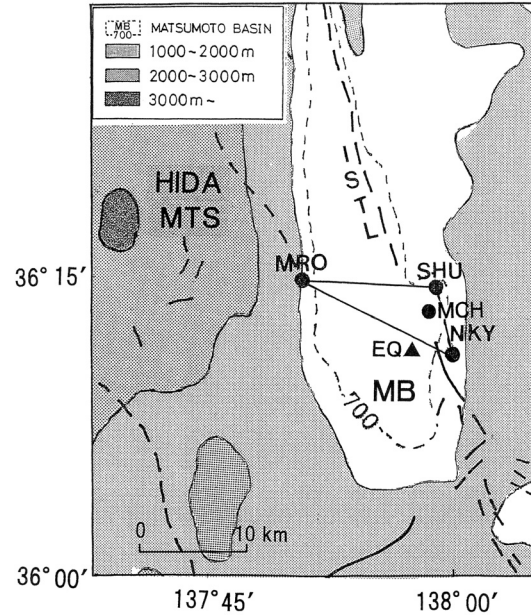


Fig. 1. The locations of the GPS stations (closed circles) of Shinshu University in the southern area of the Matsumoto basin, reported in the present study. SHU shows Shinshu University; MRO, Muroyama; NKY, Nakayama; MCH, Matsumoto City Hall. MB is the Matsumoto basin. ISTL is the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, called to the East Matsumoto Basin Fault. HIDA MTS shows the Hida Mountains. EQ (closed triangle) shows the epicenters of Naganoken Chubu Earthquake of M5.4 and 5.1 occurred on June 30, 2011.

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, 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)に実施している. GPS受信機は, 米国トリンブル社製4000型を使用した. 基線ベクトルの解析には, 解析ソフトTRIMVEC(Ver.3.01; Trimble Navigation, 1991)を用い, 二重位相差法で処理し, 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(1013hPa, 20°C, 50%)を用いた. ま

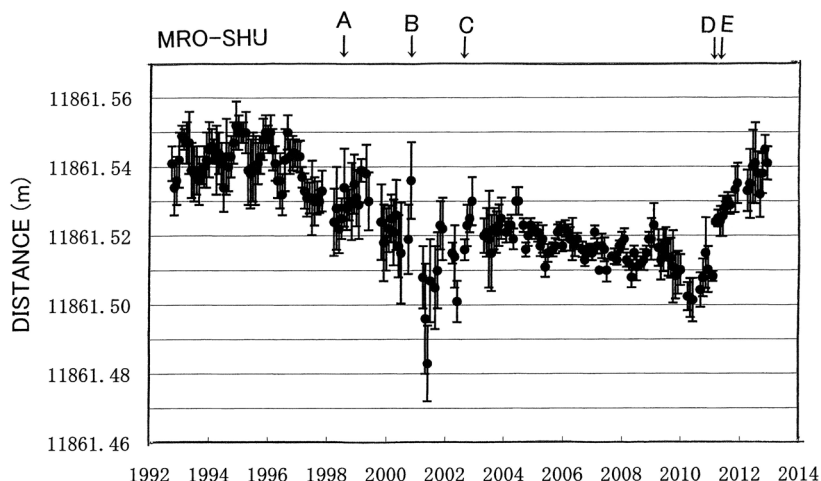


Fig. 2. Temporal changes of baseline lengths between Muroyama (MRO) and Shinshu University (SHU) sites for 1992-2012.

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。松本盆地南部のGPS測量結果について、地殻変動の経年変化を図2～図16に示した。

3. 観測結果と考察

室山(MRO)-信州大学(SHU)基線 図2は室山(MRO)-信州大学(SHU)間を東西に結ぶ基線の時間変化を示した。この観測は毎月1～2週間ほど連日で実施しており、その月平均値を図示してある。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1998年8月7日より飛騨山脈に群発地震(M4以上が15回; 和田ほか(1999), (2000))が発生した(図2～図7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M4.7が、続いて1999年10月29日には長野県北部の長野市付近でM4.0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、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おいて、耐震化を含む大改修工事がおこなわれ、建物の周囲に大規

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と図4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、M3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7の矢印Cで示す。この地震の最大マグニチュードはM3.1(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、松本市の北部の明科町において、2004年1月11日にM3.3(深さ約10km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)。その後、松本盆地およびその周辺地域の地震活動は2010年まで静穏な時期が続いた。しかし、2011年の東北地方太平洋沖の巨大地震(M9.0, 例えば、岡田(2012))の発生の直前、2011年2月27日に松本盆地の南西の乗鞍岳北西山麓でM5.0とM5.5の地震が発生した。そして、その12日後の3月11日東北地方太平洋沖に巨大地震(M9.0)が発生し、その直後より飛騨山脈の群発地震活動が活発化し焼岳北麓で3月11日M4.7と3月21日M4.8の地震が発生した(大見ほか, 2012)。また、2011年3月11日以降、長野県北部の糸魚川-静岡構造線の沿線地域においても地震活動が活発化し、東北地方太平洋沖の巨大地震発生3ヵ月後の6月30日に松本市街地において長野県中部地震(M5.4, M5.1, 図1のEQ)が発生した。この地震は震源が深さ約4kmとごく浅

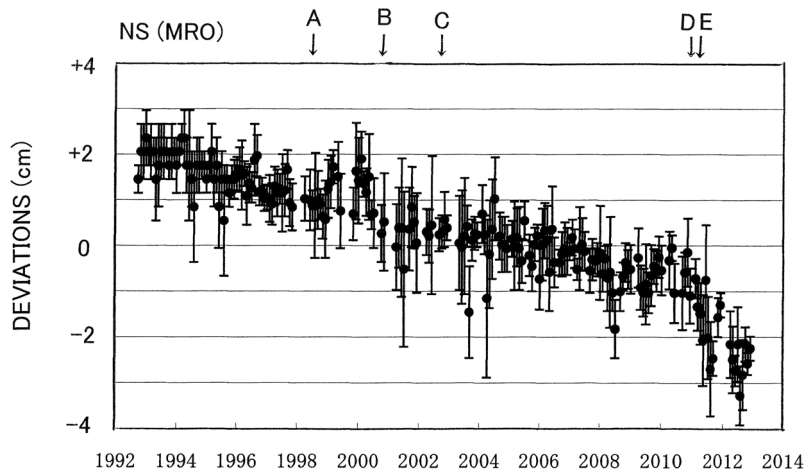


Fig. 3. Temporal changes of the horizontal component in the north-south direction of GPS coordinates at Muroyama (MRO) site, when fixed at Shinshu University (SHU). Upward shows to north.

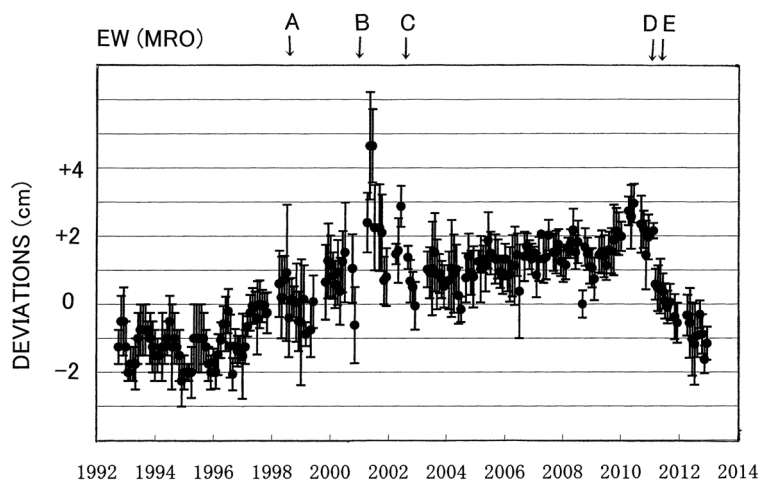


Fig. 4. Temporal changes of horizontal component in east-west direction of GPS coordinates at Muroyama (MRO) site, when fixed at Shinshu University (SHU). Upward shows to east.

かったため、震央から約3km離れた松本市役所においても震度5強となった。その4ヶ月後の2011年10月には長野・富山県境にある飛騨山脈烏帽子岳付近に10月5日M5.4とM5.2が、そして10月6日にはほぼ同じ場所でM4.7の地震が発生した。その後、飛騨山脈の群発地震活動は沈静化にむかっていった。2011年3月東北地方太平洋沖の巨大地震(11日、M9.0)を図2～図16の矢印Dで、また、長野県中部地震(2011年6月30日、M5.4、M5.1)を図2～図16の矢印Eで示す。室山(MRO)-信州大学(SHU)の東西基線(12km)は2004～2009年までの期間中、年1mmの割合で定常的な短縮傾向が見られたが、2009年以降、急激な短縮傾向が認められ2010年夏には伸張傾向に転じ2011年3月の東北地方太平洋沖の巨大地震発生にともない、15mmも伸張した。その

後、伸張傾向が数ヶ月続くが、その変化は東北地方太平洋沖の巨大地震ともなう余効変動と考えられる。

図3～図5は信州大学(SHU)を固定したときの室山(MRO)の水平変動(南北と東西成分)と上下変動を示した。図3から室山(MRO)の南北方向の変化は1992～2010年まで定常的に南方向への移動が認められた。しかし、松本市街地で発生した2011年6月の長野県中部地震(M5.4、M5.1、図3の矢印E)の発生直後より南方向の動きが加速された。よって、この加速の原因は長野県中部地震が南北走向の左横ずれ断層であったため、地震後の余効変動が影響しているものと考えられる。信州大学(SHU)を固定したときの室山(MRO)の東西方向の変化を図4に示した。東西方向の変動は、基線長が東西基線であるため、変動の正負の向きが反対である

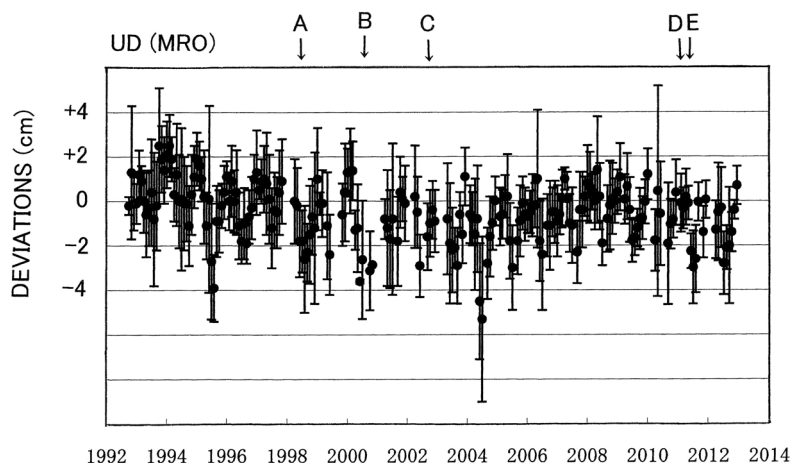


Fig. 5. Temporal changes of the vertical component in GPS coordinates at Muroyama (MRO) site, when fixed at Shinshu University (SHU). Upward shows to upheaval.

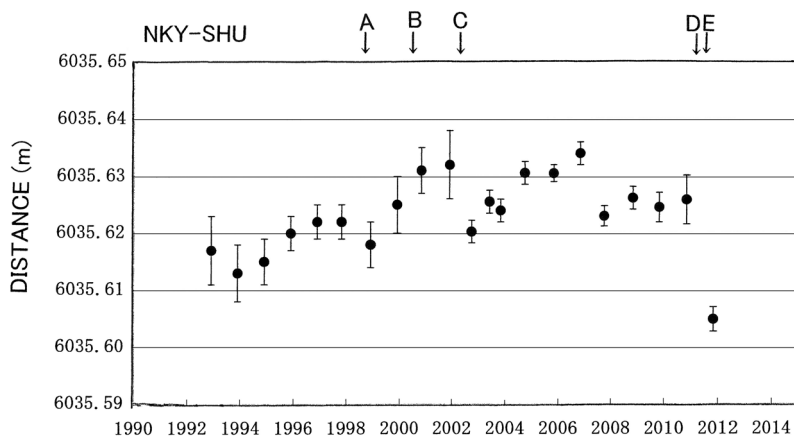


Fig. 6. Temporal changes of baseline lengths between Nakayama (NKY) and Shinshu University (SHU) sites for 1992-2011.

ものの図2の基線長変化と変動パターンは同じである。図5は信州大学 (SHU) を固定したときの室山 (MRO) の上下変動を示した。図5から室山 (MRO) の上下変動は水平変動の観測精度と比較すると3倍近く誤差は大きい。1992~2012年までの20年間、有意な変化は認められなかった。

中山 (NKY)-信州大学 (SHU) 基線 図6は中山 (NKY)-信州大学 (SHU) 間を南北に結ぶ基線 (6km) の1992~2011年までの期間中の変化を示した。この観測は毎年11月頃の約1ヶ月間ほぼ連日で行われており、その月平均値を図示してある。なお、2002年10月に中山観測点 (NKY) の南東側の直下数kmで群発地震 (最大マグニチュードM3.1) が発生した (図6の矢印C; 東京大学地震研究所, 2003)。また、2011年6月には中山観測点 (NKY) から西側2kmの深さ数kmで長野県中部地震 (2011年6月30日, M5.4, M5.1) が発生した (図6

の矢印E)。図6より、中山 (NKY)-信州大学 (SHU) の基線は、松本市街地の群発地震 (2002年10月, M3.1) の発生後、短縮が認められ、その9年後にも松本市街地で発生した長野県中部地震 (2011年6月30日, M5.4, M5.1) 発生後において顕著な短縮が認められた。

中山 (NKY)-室山 (MRO) 基線 図7に中山 (NKY)-室山 (MRO) 間を北西-南東に結ぶ基線 (14km) の1992~2011年までの期間中の変化を示した。1997年~1999年にかけて変動が大きいが、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。また、図7より2011年に基線に3cmを超える大きな短縮が認められるが、本基線は2011年6月に発生した長野県中部地震 (M5.4, M5.1) のごく近傍を横切っており (図1)、地震断層が地下数kmと浅くかつ南北走向の左横ずれ断層であったため、本基線に

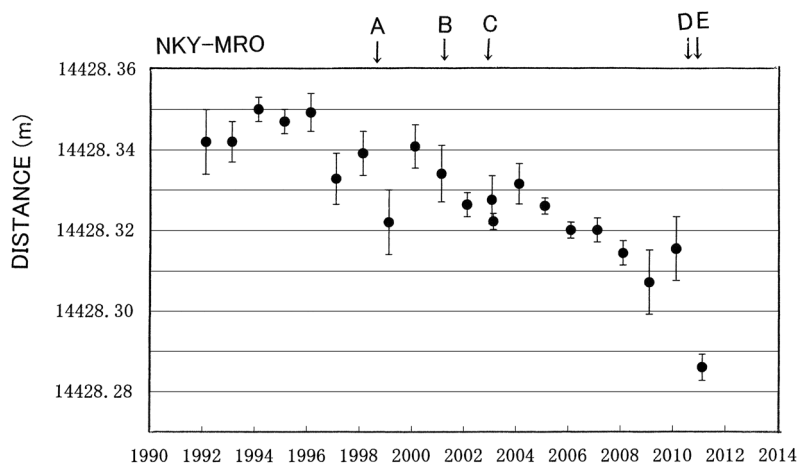


Fig. 7. Temporal changes of baseline lengths between Nakayama (NKY) and Muroyama (MRO) sites for 1992-2011.

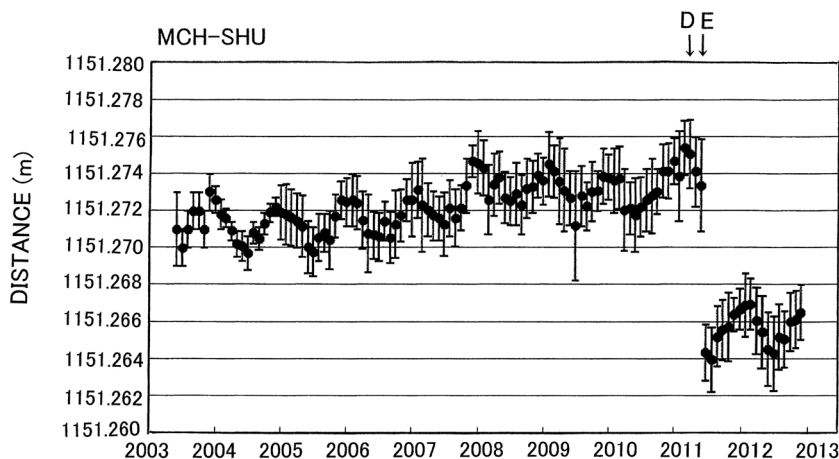


Fig. 8. Temporal changes of baseline lengths between Matsumoto City Hall (MCH) and Shinshu University (SHU) sites for 2003-2012.

顕著な短縮の変化が生じたと考えられる。

松本市役所 (MCH)-信州大学 (SHU) 基線 図 8 は松本市役所 (MCH)-信州大学 (SHU) 間を南北に結ぶ基線 (1.5 km) の 2003~2012 年までの期間中の変化を示した。2002 年 10 月に松本市役所の南側 2 km の直下において小規模の群発地震 (東京大学地震研究所, 2003) が発生したため、群発地震にともなう地殻変動を探るため松本市役所の 7 階屋上に松本市役所 GPS 観測点 (MCH) を設置した。観測は 2003 年 6 月より連日で実施しており、その月平均値を図 8 に図示した。2003 年 6 月~2011 年 6 月までの期間中、顕著な年周変動はあるものの永年変動はほとんど認められなかった。しかし、2011 年 3 月に東北地方太平洋沖の巨大地震 (M9.0) の発生にともない、その直後から松本盆地南部においても地震活動が活発化し、3ヵ月後の 2011 年 6 月 30 日に松本市役所の南西側 3

km 離れた地点に長野県中部地震 (M5.4, M5.1; 図 1) が発生し、震源が深さ約 4 km とごく浅いため松本市役所観測点 (MCH) が設置されている松本市役所においては揺れが震度 5 強となった。2011 年 6 月に発生した長野県中部地震 (図 8 の矢印 E) にともない、基線は 1 cm 短縮した。2011 年の基線長変化を詳しく見るため、図 9 に 2011 年 1~12 月までの 1 年間の松本市役所 (MCH)-信州大学 (SHU) の基線長の日変化を示す。図 9 より、東北地方太平洋沖の巨大地震 (M9.0, 矢印 D) の発生にともなう変化は認められないが、その 3ヵ月後に発生した長野県中部地震 (M5.4, M5.1; 図 9 の矢印 E) にともない基線は 1 cm 短縮した。しかし、長野県中部地震の発生直前の短期的な異常な地殻変動はまったく認められなかった。

図 10~図 12 は信州大学 (SHU) を固定したときの松本

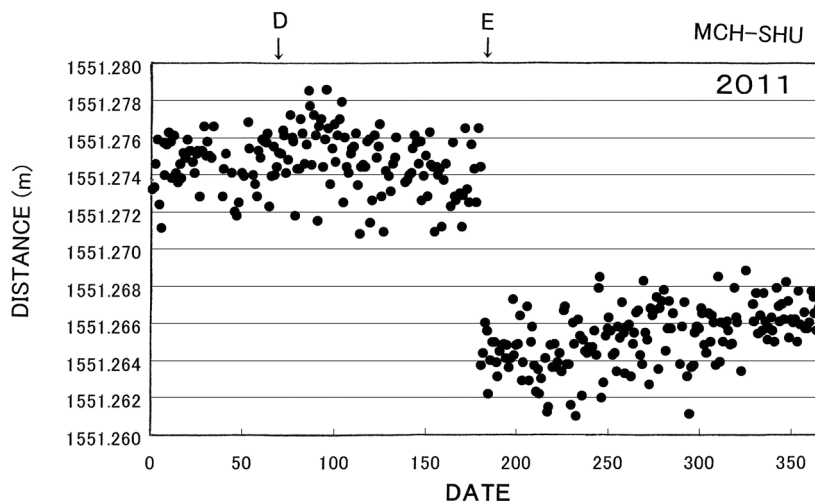


Fig. 9. Daily changes of baseline lengths between Matsumoto City Hall (MCH) and Shinshu-University (SHU) sites during 2011.

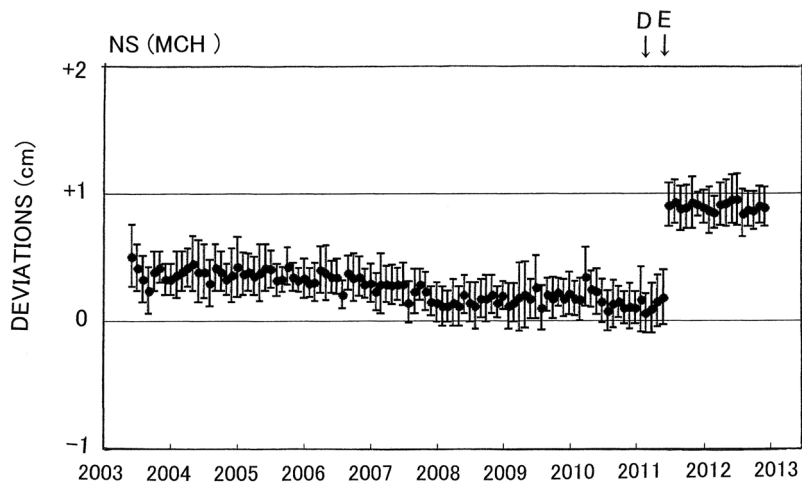


Fig. 10. Temporal changes of the horizontal component in the north-south direction of GPS coordinates at Matsumoto City Hall (MCH) site, when fixed at Shinshu University (SHU). Upward shows to north.

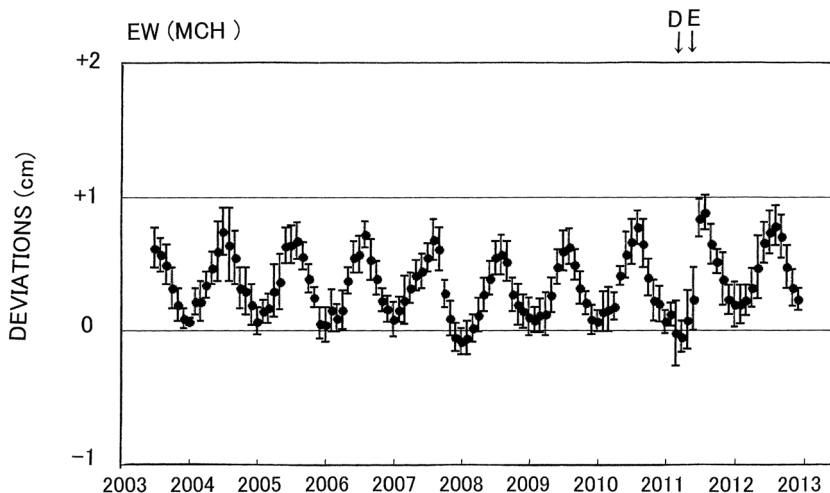


Fig. 11. Temporal changes of the horizontal component in the east-west direction of GPS coordinates at Matsumoto City Hall (MCH) site, when fixed at Shinshu University (SHU). Upward shows to east.

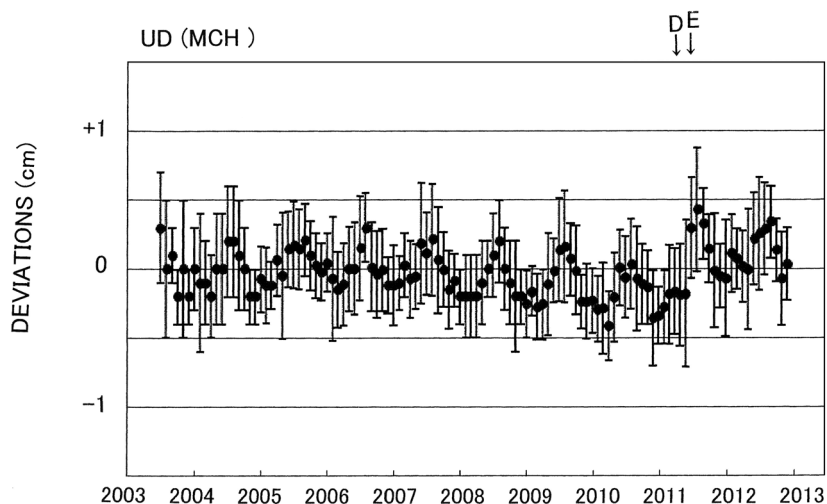


Fig. 12. Temporal changes of the vertical component in GPS coordinates at Matsumoto City Hall (MCH) site, when fixed at Shinshu University (SHU). Upward shows to upheaval.

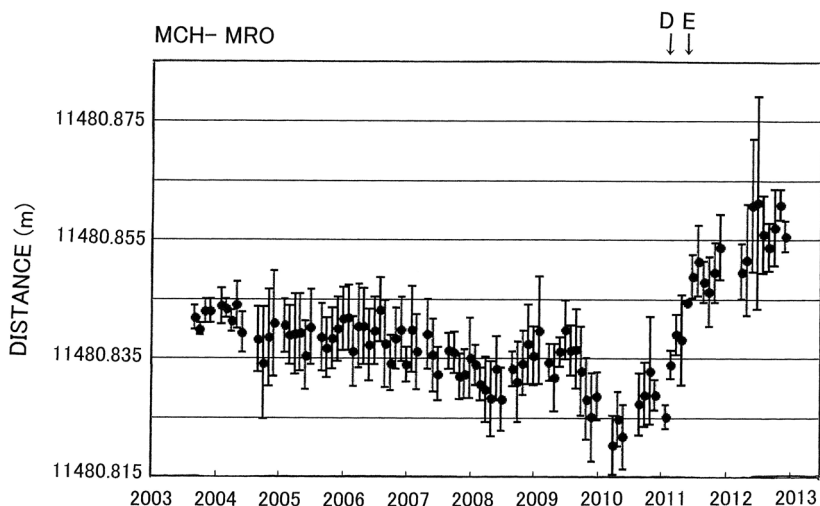


Fig. 13. Temporal changes of baseline lengths between Matsumoto City Hall (MCH) and Muroyama (MRO) sites for 2003-2012.

市役所 (MCH) の水平変動 (南北と東西成分) と上下変動を示した。図 10 から松本市役所 (MCH) の南北方向の変化は 2003~2011 年まで定常的にわずかではあるが南方向への移動が認められ、2011 年 6 月に松本市街地で発生した長野県中部地震 (M5.4, M5.1; 図 10 の矢印 E) にともない 1 cm ほど北へ移動した。この地震は南北走向の左横ずれ断層であったため、地震に伴う顕著な変化が認められたと考えられる。次に、図 11 より松本市役所 (MCH) の東西方向の変化は、松本市役所の建物に基因すると思われる顕著な年周変動が認められるが、2011 年 6 月に松本市街地で発生した長野県中部地震 (図 11 の矢印 E) にともない数 mm 程度東へ移動した。また、図 12 より松本市役所 (MCH) の上下変動は観測誤差の範囲内

ではあるが、2011 年 6 月の長野県中部地震 (図 12 の矢印 E) にともない数 mm 程度上昇した可能性がある。

松本市役所 (MCH)-室山 (MRO) 基線 図 13 は松本市役所 (MCH)-室山 (MRO) 間を東西に結ぶ基線 (11.5 km) の時間変化を示した。2003 年~2009 年までの期間中、年 1 mm 程度の割合で短縮傾向が見られたが、2009 年以降顕著な短縮が認められ、2010 年より伸張傾向に転じ、2011 年 3 月の東北地方太平洋沖の巨大地震発生 (M 9.0; 図 13 の矢印 D) にともない約 1 cm 伸張し、その 3 ヶ月後の 2011 年 6 月の長野県中部地震 (M5.4, M5.1; 図 13 の矢印 E) によりさらに 1 cm 程度伸張し、その後、東北地方太平洋沖の余効変動とみられる伸張が数ヶ月続いた。図 14~図 16 は室山 (MRO) を固定したときの松本

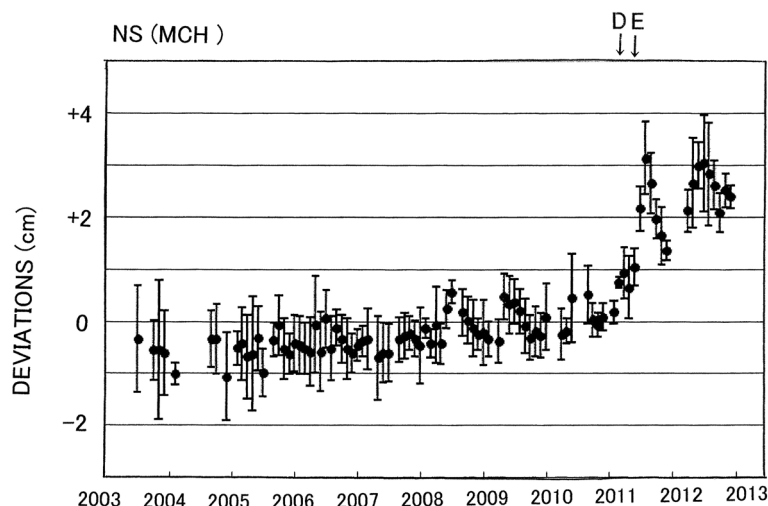


Fig. 14. Temporal changes of the horizontal component in the north-south direction of GPS coordinates at Matsumoto City Hall (MCH) site, when fixed at Muroyama (MRO). Upward shows to north.

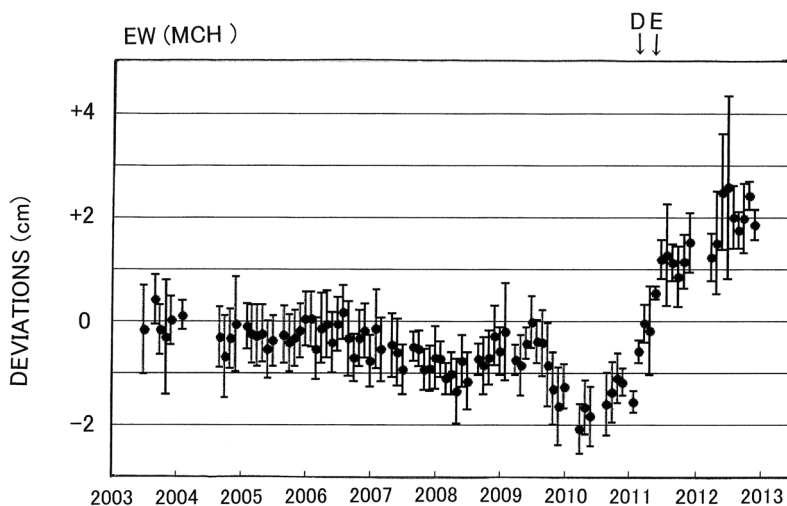


Fig. 15. Temporal changes of the horizontal component in the east-west direction of GPS coordinates at Matsumoto City Hall (MCH) site, when fixed at Muroyama (MRO). Upward shows to east.

市役所（MCH）の水平変動（南北と東西成分）と上下変動を示した。図14から松本市役所（MCH）の南北方向の変化は2003～2011年までわずかではあるが北方向への移動が認められ、2011年6月に松本市街地で発生した長野県中部地震（M5.4, M5.1；図14の矢印E）にともない1cmほど北へ移動し、その後、動きが反転し南方向へ動きに戻りつつある。この変動は、本基線のごく近傍で発生した長野県中部地震が南北走向の左横ずれ断層であるため地震後の余効変動である可能性を示している。次に、図15より松本市役所（MCH）の東西方向の変化は、基線がほぼ東西に近い基線なため、図13に示す基線の変化と同じ変化を示す。また、図16より松本市役所（MCH）の上下変動は観測誤差の範囲内ではあり、

有意な変動は認められなかった。

4. まとめ

松本盆地南部における1992～2012年の20年間のGPS地殻変動観測の期間中、飛騨山脈および長野県北部の糸魚川-静岡構造線の沿線地域で地震活動が活発な時期が2回ほどあった。1回目は1998年の活動で、2回目は2011年3月の東北地方太平洋沖の巨大地震発生により誘発した地震活動である。これら2回の活発な地震活動の1年前より、松本盆地南部の東西基線は顕著な短縮が認められ、その後、伸張に転じてから数ヶ月後に活発な地震活動が本地域で認められた。また、松本盆地南部においても2011年3月の東北地方太平洋沖地震の発生

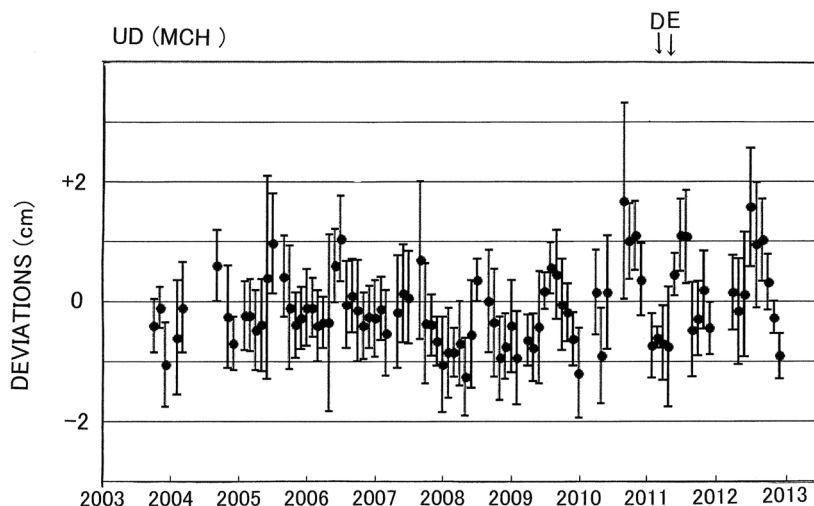


Fig. 16. Temporal changes of the vertical component in GPS coordinates at Matsumoto City Hall (MCH) site, when fixed at Muroyama (MRO). Upward shows to upheaval.

にともなう変化とその後、数ヶ月続く余効変動が東西基線において顕著に認められた。一方、松本盆地南部で発生した2011年6月の長野県中部地震(M5.4, M5.1)の発生にともなう変化も南北基線で顕著に認められたが、地震発生直前の異常な変動はいっさい認められず、また地震発生後の余効変動も顕著には現れなかった。そして、20年間観測した結果、東北地方太平洋沖の巨大地震の余効変動により松本盆地南部の東西の基線長は20年前の観測開始当時、すなわち1990年代前半の直線距離の値となり、基線長が元の長さに戻ってしまった。

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、および松本市役所。本研究は信州大学理学部地質科学教室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。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、この特定共同研究(A)をとおして、東京大学地震研究所の佃為成先生に大変お世話になった。これらのすべて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.
原山 智・大塚 勉・酒井潤一・小坂共栄・駒澤正夫, 2009, 松本地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産業技術総合研究所地質調査総合センター, pp. 1-63.

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.
小林洋二, 1983, プレート“沈み込み”の始まり, 月刊地球, **5**, 510-514.
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.
岡田義光, 2012, 2011年東北地方太平洋沖地震の概要, 防災科学技術研究所主要災害調査, 第48号, 1-14, 2012年3月.
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—, 地震, **46**, 425-438.
大見士朗・和田博夫・濱田勇輝, 2012, 飛騨山脈焼岳火山周辺における東北地方太平洋沖地震後の群発地震活動, 地震, **65**(1), 85-94.
大塚 勉・木船 清, 2006, 三郷村誌自然編地形・地質, 13-98.
鷲谷 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.
鷲谷 威・宮崎真一・多田 堯, 1999, GPSで見た日本列島の変形, 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.
角野由夫・秋山侑輝・秋山知生・小林 亘, 2008a, 松本盆地のGPS地殻変動観測(1992-2006), 東京大学地震研究所彙報, **83**, 175-182.
角野由夫・渡邊創太・秋山侑輝・島田祐輝・高山大貴・川合俊二・藤巻ひろみ, 2008b, 飛騨山脈西穂高岳のGPS地殻変動観測(1994-2007), 東京大学地震研究所彙報, **83**, 183-191.

松本盆地南部のGPS地殻変動観測（1992-2012）

- 角野由夫・梅田祥平・菊地悠一郎・宮田皓司・木元章典・柴田淳和・大石 陽・佐藤有志・小粥圭一・都築康久・上野友岳・百合本岳・島田祐輝・高山大貴・小林和典・嶋田庸司・細川盛樹, 2010, 飛騨山脈焼岳のGPS地殻変動観測と噴気孔温度観測（1992-2008）, 東京大学地震研究所彙報, **85**, 15-31.
- 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 March 14, 2013)

(Accepted April 4, 2013)