

産総研地質調査総合センターにおける新 GPS 連続観測システム

大谷 竜^{1,*}・塚本 斉²・佐藤 努²・木口 努¹・重松紀生¹・板場智史¹
北川有一¹・松本則夫¹・高橋 誠¹・小泉尚嗣¹

Ryu Ohtani, Hitoshi Tsukamoto, Tsutomu Sato, Tsutomu Kiguchi, Norio Shigematsu, Satoshi Itaba, Yuichi Kitagawa, Norio Matsumoto, Makoto Takahashi, and Naoji Koizumi (2010) A New Continuous GPS Network of the Geological Survey of Japan, AIST, *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 61 (1/2), p. 57-74, 9 figs, 2 tables.

Abstract: We installed six new continuous GPS observation stations in Shikoku and Kii Peninsula at new groundwater observation sites from 2007 and 2008. In addition, we replaced old GPS stations with new ones so that all the GPS stations consist of the same type of Trimble GPS antenna and receiver. We also switched the GPS data analysis software to the Bernese GPS software. In the new data analysis system, we include GPS data from GEONET stations around the AIST stations. It is found that the new system provides the improvement of repeatability of GPS station displacement compared to the old one. The new system also enables to calculate strain time series using GPS daily position data, which is helpful for comparison with that observed by strainmeters installed at most of the AIST GPS stations.

Keywords: continuous GPS network, displacement, crustal strain, Shikoku – Kii Peninsula – Aichi Prefecture area, Tonankai-Nankai earthquakes

要 旨

産業技術総合研究所（以下、産総研と呼ぶ）は、2006 年度より四国・紀伊半島～愛知県にかけて地下水等観測点や GPS 観測局の新設を行っており、これを機に従来の産総研の GPS 観測局と統合した GPS 連続観測システム（以下、GPS システムと呼ぶ）の全面的な更新を行った。本報告ではその概要、及び本 GPS システムを用いて得られる結果について紹介する。まず、全局について Trimble 製の同一型の受信機とアンテナに統一した。また、解析ソフトウェアは Bernese ソフトウェアに切り替えた。これらの結果、従来の産総研の GPS システムの結果に比べ、新解析で推定された GPS 局の変位の再現性の向上が見られた。また、産総研の GPS 観測局だけではなく、周囲にある、国土地理院の GPS 連続観測網（GEONET）の観測局も一緒に解析を行い、日々の座標値を推定するようにした。この解析方法の導入により、産総研 GPS 観測局周辺の歪を GPS から求めることができるようになった。更に、GEONET の定常解析である F2 解に準拠した解析を産総研の新 GPS システムでも独立に行うことにした。産総研による解析結果と、F2 解で求められた同一観測局

の変位を比較した結果、両者の間に大きな差はないことが確かめられた。

1. はじめに

産総研では、2006 年度から愛知県から紀伊半島～四国にかけて、東南海・南海地震の予測を目指した新しい地下水等の観測点の整備、及び従来の地下水観測点のシステムの更新を開始した（小泉他、2009）。本観測網は地下水位の観測のみならず、多成分ポアホール歪計や GPS、傾斜計等による地殻変動の観測や、地震計等による総合的な観測を行うことで、地殻の状態を総合的に把握することを目指している。2006 年度には 2 点が設置され、2008 年度には更に 10 点の観測点が新設された。この観測網は、地下水等総合観測網と呼ばれている（小泉他、2009；大谷ほか、2009 等）。

産総研では 1995 年から GPS 連続観測を開始しているが（本稿ではこれを旧観測網と呼ぶ。詳しくは、大谷ほか（2003a）を参照）、今回新たな地下水観測点の設置に伴い、新規 GPS 観測局の設置並びに、従来の観測・通信・解析システムを全面的に更新し、これらを統合することで新たな GPS システムを構築した。本報

¹活断層・地震研究センター（Active Fault and Earthquake Research Center, GSJ）

²地質情報研究部門（Institute of Geology and Geoinformation, GSJ）

* Corresponding author: R. OHTANI, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ohtani-ryu@aist.go.jp

告では、この新たな GPS システムの概要について説明するとともに、解析結果を実際の GPS システムを使って表示することで、その機能についても紹介する。また、得られた初期成果について紹介する。

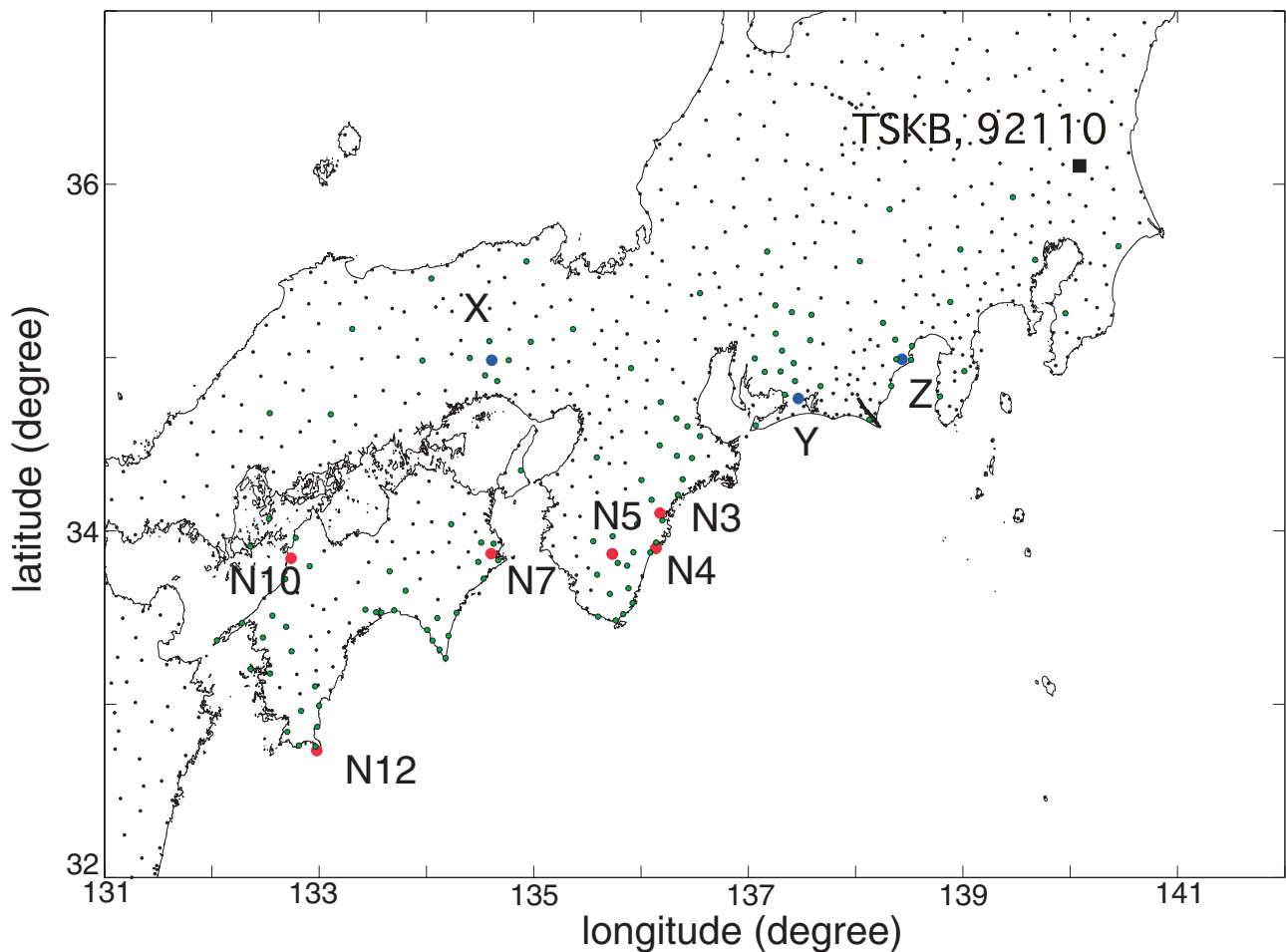
2. 新 GPS システム

今回の新 GPS システムへの移行は、1) 観測局の新設及び旧観測点での機器の更新、2) データ解析ユニットの全面更新、の2つからなる。以下、それぞれについて説明する。

今回の新 GPS システムへの移行により、6 点の観測局を新設するとともに、従来の 3 点の観測局の機器を更新した。上述したように、新設される地下水観測点には、地下水位のみでなく、ボアホール歪計など様々

な観測装置が併設されることになっているが、GPS の場合、既に国土地理院の GPS 連続観測網 (GEONET) の観測局が全国 1300 点以上に展開し、平均設置間隔で 15~20km という高密度の観測網が実現されている。そのため、これらを考慮し近傍 4km 以内に GEONET の観測局が存在しない場合においてのみ新たに GPS 観測局を設置することにした。この結果、今回新たに 6 点 (第 1 図の赤丸) の観測点を設置した。これに、旧観測網の内まだ観測を継続している 3 点 (第 1 図で青丸：やはりこれらの観測点も周囲 4km 以内に GEONET の観測点が存在しない) を加えた、計 9 点が現在 (2009 年 3 月) 運用されている GPS 観測局となる (第 1 図、第 1 表)。

GPS 観測局は、GPS 専用ピラーにアンテナを設置するもの (土佐清水 (N12)、松山 (N10)、本宮三越 (N5)、



第 1 図 産総研の地下水等総合観測網の観測点分布。新設した GPS 連続観測点は赤丸で、既存の観測点で更新したものは青丸で示してある。黒と緑の点は GEONET の観測点 (地震調査研究推進本部のホームページより)。緑の点は産総研の定常解析で使用されている GEONET の観測点。黒い四角はつくばにある基準観測局の 92110, TSKB。なお、本図は産総研の新 GPS システム以外のもので作成した。

Fig. 1 Location of the new GPS stations of the Geological Survey of Japan, AIST. Red dots represent new GPS stations, blue dots are updated stations, and black and green dots represent the GEONET GPS stations of the Geographical Survey Institute. Green dots are the stations used in the daily routine analysis by AIST. Black square is the location of the reference station of TSKB and 92110 in Tsukuba.

第1表 産総研 GPS 観測網の観測点の概要

Table. 1 Summary of the GPS stations of the AIST network. From left to right, the name of the stations, the location, monument type, and the date of installation or re-installation of the stations, are shown.

	名称	名称(英語)	住所	モニュメント	新設・更新時期
N3	海山	Miyama	三重県紀北町	観測小屋屋上	2008.3.17
N4	井内浦	Ichiura	三重県熊野市	5mピラー	2007.3.9
N5	本宮三越	Hongumikoshi	和歌山県田辺市	5mピラー	2007.3.8
N7	阿南桑野	Anankuwano	徳島県阿南市	観測小屋屋上	2008.3.24
N10	松山	Matsuyama	愛媛県松山市	5mピラー	2008.3.5
N12	土佐清水	Tosashimizu	高知県土佐清水市	3mピラー	2008.3.4
X	安富	Yasutomi	兵庫県姫路市	5mピラー	2007.2.14
Y	豊橋	Toyohashi	愛知県豊橋市	建物屋上	2007.3.3
Z	草薙	Kusanagi	静岡県静岡市	観測小屋屋上	2007.3.4

井内浦 (N4), 安富 (X)), 観測局舎もしくは建物の屋上にアンテナを設置するもの (阿南桑野 (N7), 海山 (N3), 豊橋 (Y), 草薙 (Z)) の2種類からなる (第1表). ピラータイプの観測局の外観の一例を第2図に示す. ピラータイプは, Xが96型, N12, N10, N5, N4が06型と言われるものである. 特に後者はピラーが二重管構造で, 日射による熱膨張変形を押さえたり, マルチパス防止のための電波吸収材の設置等, これまで判明している観測誤差を可能な限り押さえる優れた構造となっている. 但し, GPS衛星の受信環境としては, 近傍に GEONET 観測局がないことから推察されるように, 上空の視界はよくない等, 必ずしも良い環境とは言えない. 例えば, 山間に位置する海山 (N3) などでは, 山岳等の障害物の影響で仰角 30 度以下の衛星電波の受信は困難である.

今回の一新を機に, 全ての観測局で GPS 機器を統一した (受信機の新設・更新時期を第1表にまとめた). アンテナ・受信機は Trimble の NetRS を使用しており, 30 秒サンプリングでの観測を行っている. 受信データは一日一回, アナログ回線で茨城県つくば市にある産総研つくばセンターに転送され, 観測局位置を推定するためのデータ解析が行われる.

新 GPS システムでのデータ解析のために, Bernese GPS Software Version 4.2 (Astronomical Institute, University of Berne, 2001) を基本とした, 日本 GPS ソリューションズ社製の NEW GARD を導入した. 旧 GPS システムとの大きな違いは, 新 GPS システムでは, 旧 GPS システムのように産総研の観測局のみでなく, 周りの GEONET の観測局も含めた解析を行なうこととした. これにより, 周囲の複数の GEONET の観測局を使うことで, GPS から歪を計算することが可能となった. GPS から歪を求めるためには最低3点のデータが必要であるが, 観測局のピラーの傾斜など, 局地的な観測局の異常のチェックのため, 産総研の一つの

観測局につき, 最低4点以上の周囲の GEONET 観測点を含め, いくつかの異なる観測局の組み合わせを採用できるように GEONET 観測点の選定を行った. 更にこれらをいくつかまとめて「地域クラスター」を形成し, 各地域クラスターに含まれる「バックボーン観測局」を軸として, 全観測局の変位をつくばの観測局を基準として推定できるようにした (詳しくは国土地理院 (2004) を参照). この結果, 合計 126 点の観測点の解析を行うこととなった (第1図).

基準局としてはつくばを選んだ. つくばには複数の観測局が存在する. 旧来の産総研の定常解析では, 国際 GNSS サービス (International GNSS Service: IGS) の TSKB 観測局を選んでしたが, 今回, 92110 という GEONET の観測局を基準とした解析も別個行って, TSKB, 92110 それぞれの点を基準とした2種類の独立した解析を行うこととした. 即ち, 産総研 (及び周囲の GEONET 観測局) の座標変位の推定値として,



第2図 井内浦観測局の GPS 連続観測局の外観.

Fig. 2 Appearance of the Ichiura GPS station.

TSKB を基準とした解析 (T3 解) と, TSKB の代わりに 92110 を基準とした解析 (G3 解) の 2 種類の解析結果が今回の新解析から利用できることになる. T3 解だけでなく, G3 解による解析を行う目的は, 国土地理院では, 全国 1200 以上にも及ぶ GEONET 観測局の定常解析として 92110 を基準とした解析が行われており (F2 解), 産総研による解析が, 我が国の標準となっている国土地理院の F2 解とどの程度の整合性を有しているかを検討するためである.

更に, 定常解析では, 速報暦, 精密暦, 2 種類の衛星暦による解析をそれぞれ実施した. 即ち, 「速報暦」を用いた観測の翌々日に暫定的ながら得られる解析, 及び精度の高い「精密暦」を用いた最終的な解析, それぞれ 2 種類の解析が行われているので, 上記の基準点の違いによる 2 種類の解析と併せて, 合計 4 種類の解析結果が一日のデータについて得られることになる. これらの関係をまとめたのが第 2 表である. なお第 2 表には, GIPSY ソフトウェア (Zumberge et al., 1997) を用いた, 産総研の旧来の解析の設定の変遷も新たに定義した. 詳しくは, 大谷ほか (2003a) を参照されたい.

Bernese を用いた解析手順としては, まず前処理を実行して, データの品質の管理やはずれ値を除去した後, あるクラスター内の解析局で構成される最短基線を結成する. その後, サイクルスリップを検出・修復する処理を行い, 整数値バイアスを推定する. 更に, 固定した整数値バイアスを既知ものとして, 対流圏遅延量を与えられたパラメータ数にセットして推定し, 整数化できなかったバイアスの整数化を試みる. これらの一連の処理で整数化できなかったバイアスを正規方程式から消去した後, 正規方程式を, 固定局観測点について強い拘束条件を与えた条件で解くことで, 観測点座標を求めている (詳しくは Astronomical Institute,

University of Berne (2001) を参照されたい). なお国土地理院の標準解析である F2 解と統一するために, 産総研の旧来の解析で行っていたような大気遅延勾配の推定は行わないことにした.

NEW GARD はこうした解析機能だけではなく, データ管理や解析結果の描画についても, 解析と一体となって手軽に実行できる機能を有している. 本報告では特に, 結果を表示する描画機能についても紹介するため, 特に断りのない限り, NEW GARD を用いて作成した図を示すことにする.

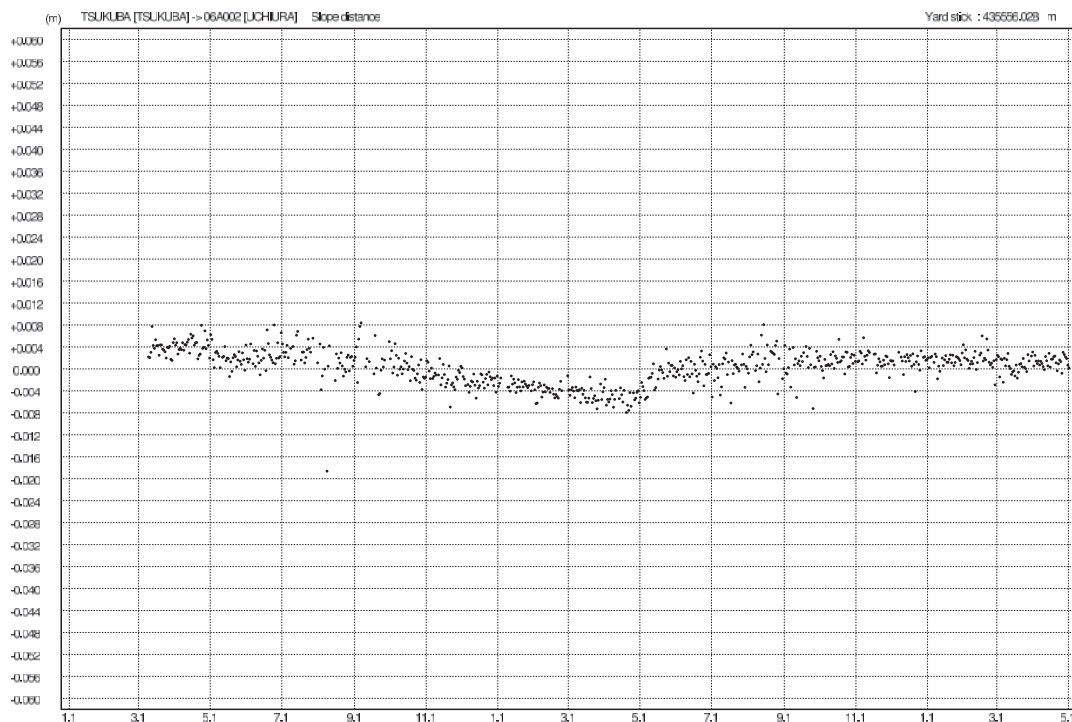
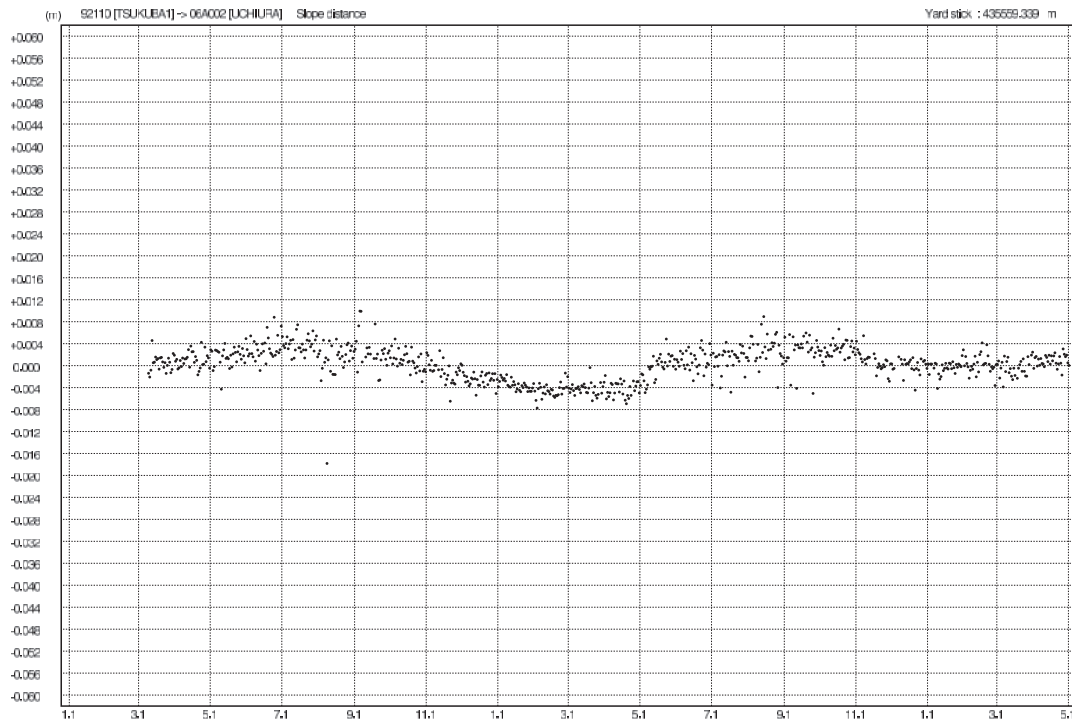
3. 結果

解析結果の一例として, 第 3 図, 第 4 図それぞれに, 新 GPS システムで求められた, 2007 年 3 月から 2009 年 5 月までの井内浦 (N4), 本宮三越 (N5) の変位 (斜距離, 東西, 南北, 高さ各成分) を示す. 参考のため, 92110, TSKB それぞれを基準局とした結果を両方示す. ここで 2008 年 5 月に見られる変動は, 茨城県沖の地震に伴う, つくばの観測局の変動を反映していると考えられる. 水平方向ではばらつきが冬季では 2~3mm, 夏季で 7~8mm 程度であることが分かる. また, 基準局が 92110, TSKB と異なった場合, 全体的には似たような変動を描いているが, 2008 年 11 月以降, 両者の様相が異なっていることも分かる. 即ち, 2008 年 11 月初旬を境に, 92110 を基準とした井内浦の水平成分は, 1cm 近くも短期間で大きく変化していることが分かるが, TSKB を基準とした井内浦の水平成分にはそうした急激な変化は見られない. 92110, TSKB は, つくば市の国土地理院構内の近傍 (約 10m 以内) に位置しているにも関わらず, こうした違いが見られるということは, それぞれの基準観測局が周囲の局所的な

第 2 表 産総研 GPS 観測網の解析戦略の変遷

Table. 2 Summary of the analysis strategy of the AIST GPS network. From left to right, the analysis software used, period, reference station, and the names of strategies ambiguity fix, free (both using precise orbit analysis), and the rapid orbit analysis, are shown.

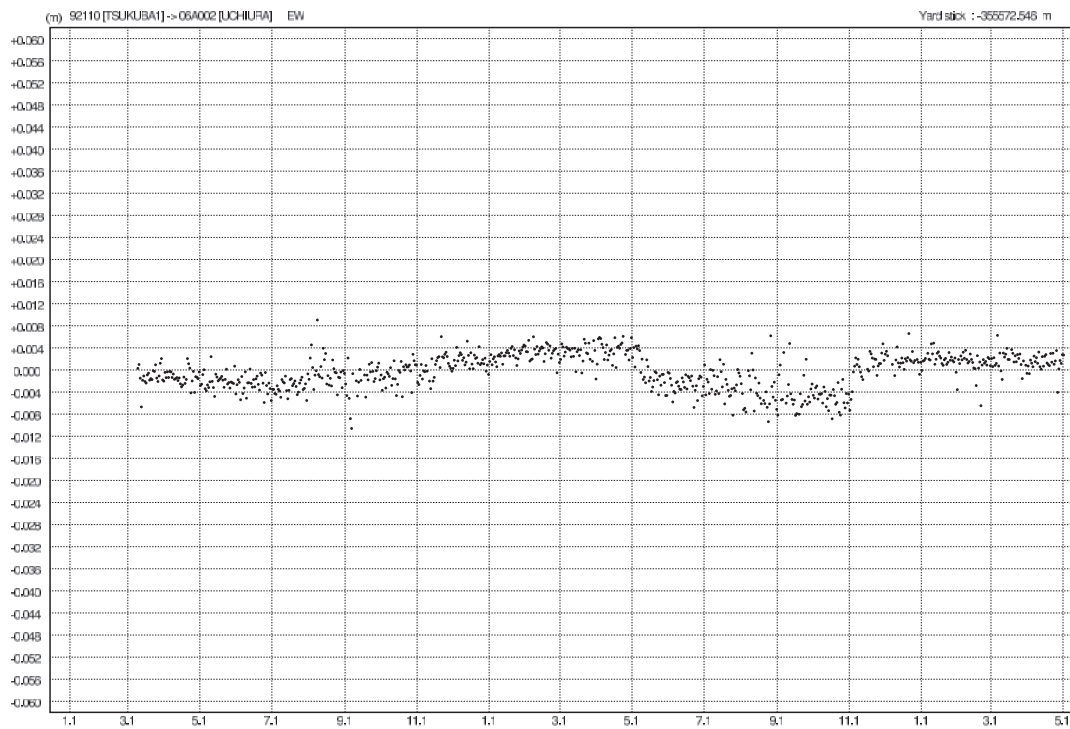
使用ソフトウェア	解析実行期間	固定点	精密暦1 ambiguity fix	精密暦2 ambiguity free	速報暦
gipsy	1999 年以前	tskb-IGS	T1	A1	-
	1999 年以降	tskb-IGS	T2	A2	-
	池田 IKDA (1999 年以降)	tskb-IGS	I2	B2	-
	王滝 GOTK (1999 年以降)	tskb-IGS	O2	C2	-
bernese	2007/2~	92110	G3	-	H3
		tskb-IGS	T3	-	U3



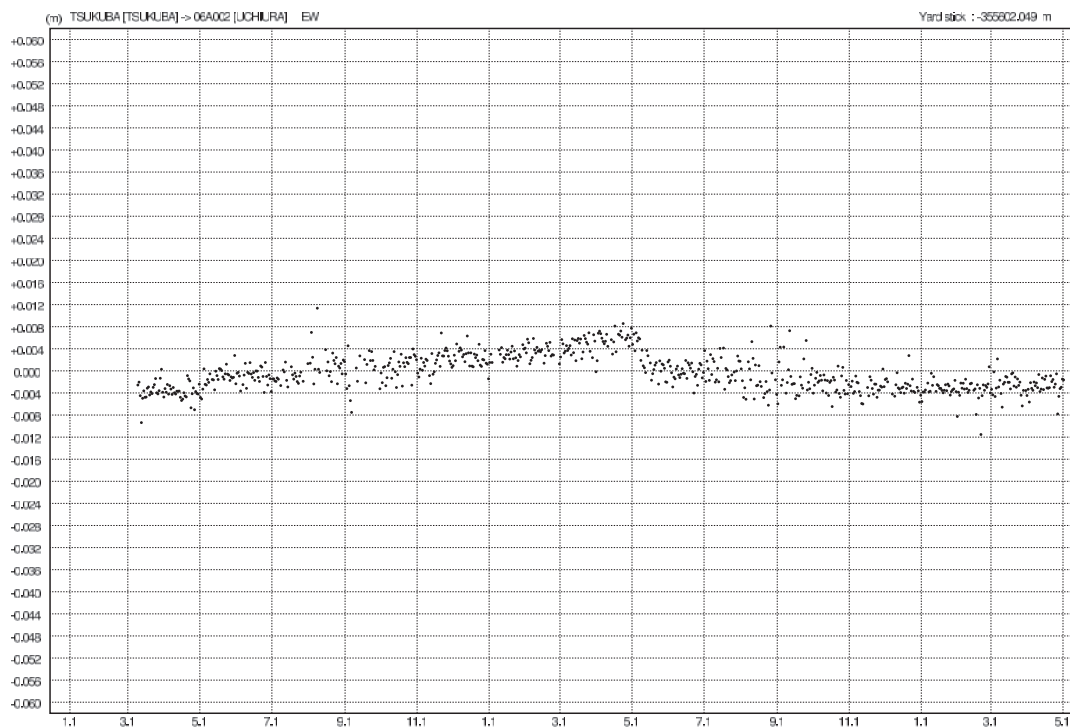
第 3 図 産総研新 GPS システムによる、井内浦局の斜距離で単位は m. 座標系は WGS-84. 横軸は 2007 年 1 月 1 日～2009 年 5 月 1 日までの日付 (例えば 3.1 は 3 月 1 日). 縦軸は、上段はつくばにある 92110 局に対する変位, 下段は同じつくばにある TSKB 局に対する変位.

Fig. 3 Relative displacement in meter (slope distance) of the Ichiura station with respect to the 92110 station (top) and the TSKB station (bottom) both in Tsukuba from January 1, 2007 to May 1, 2009. The coordinate system is WGS-84.

(2/3)



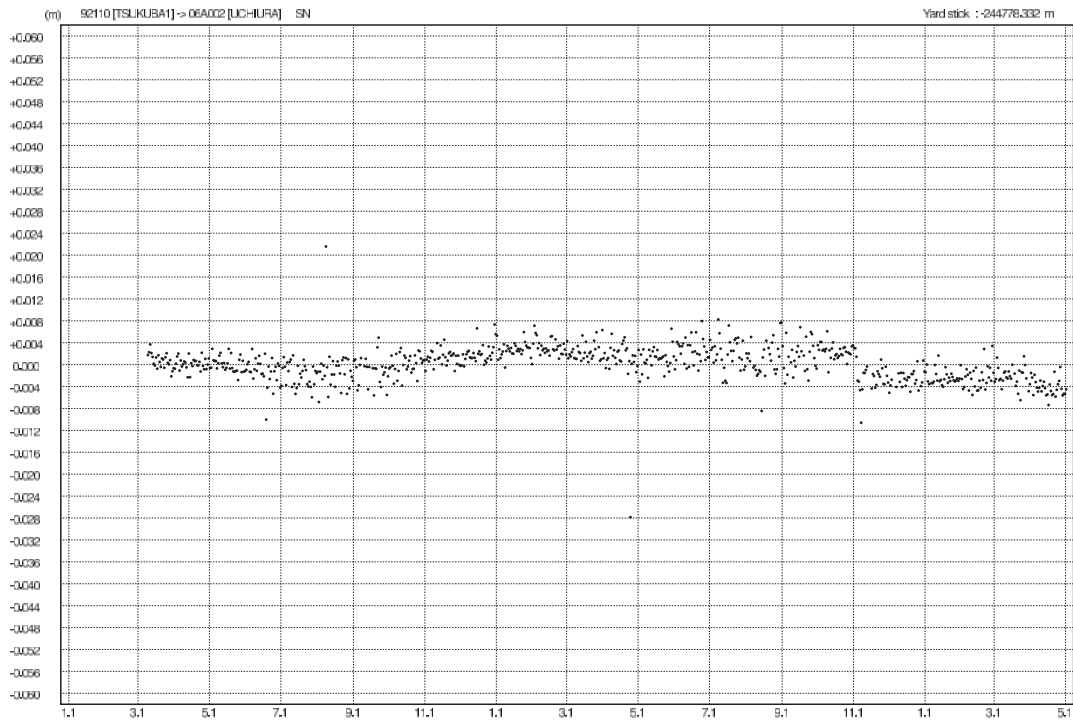
(6/3)



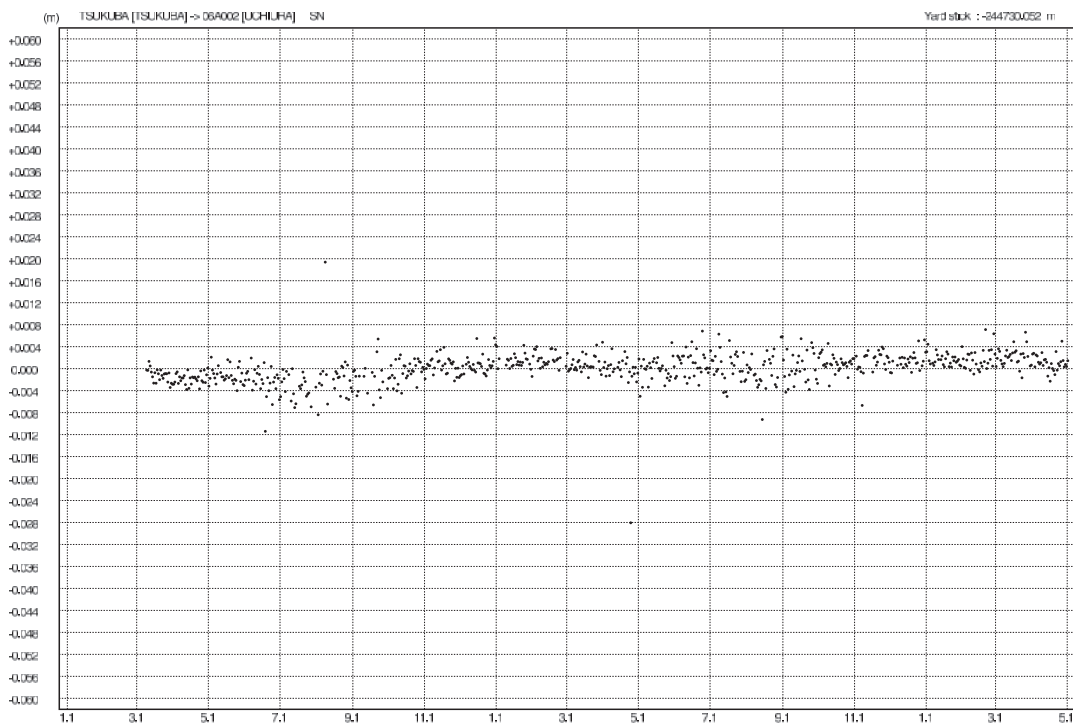
第3図 同じ. 但し東西成分.

Fig. 3 Same but for the east-west component.

(3/8)



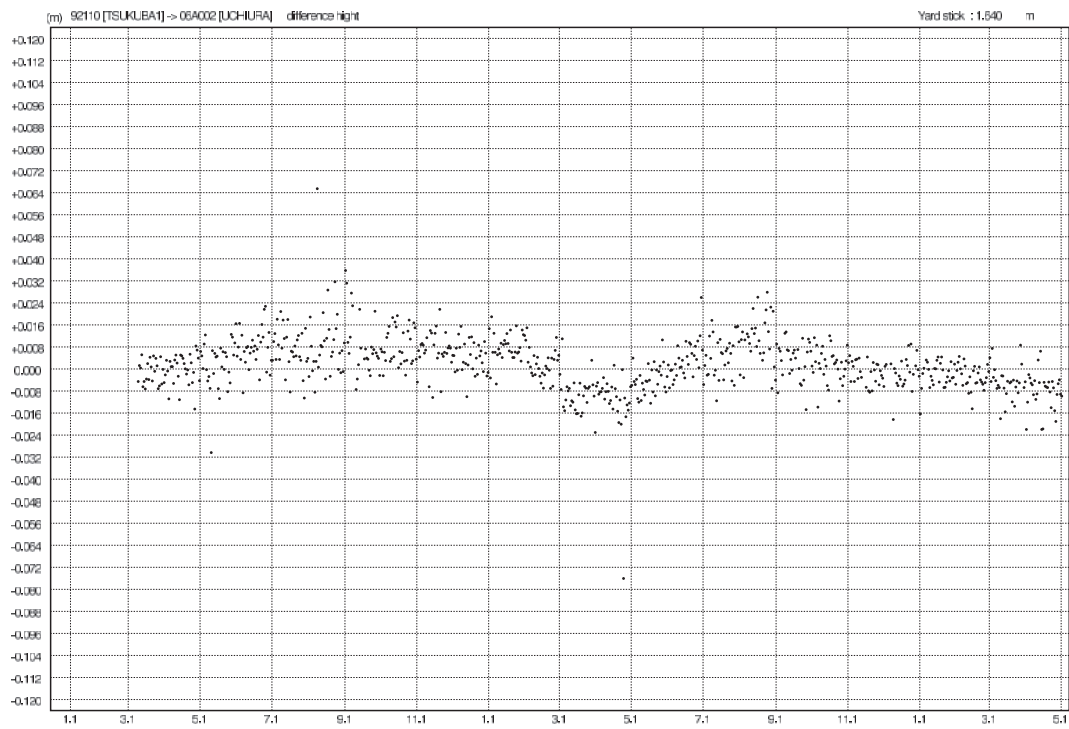
(7/8)



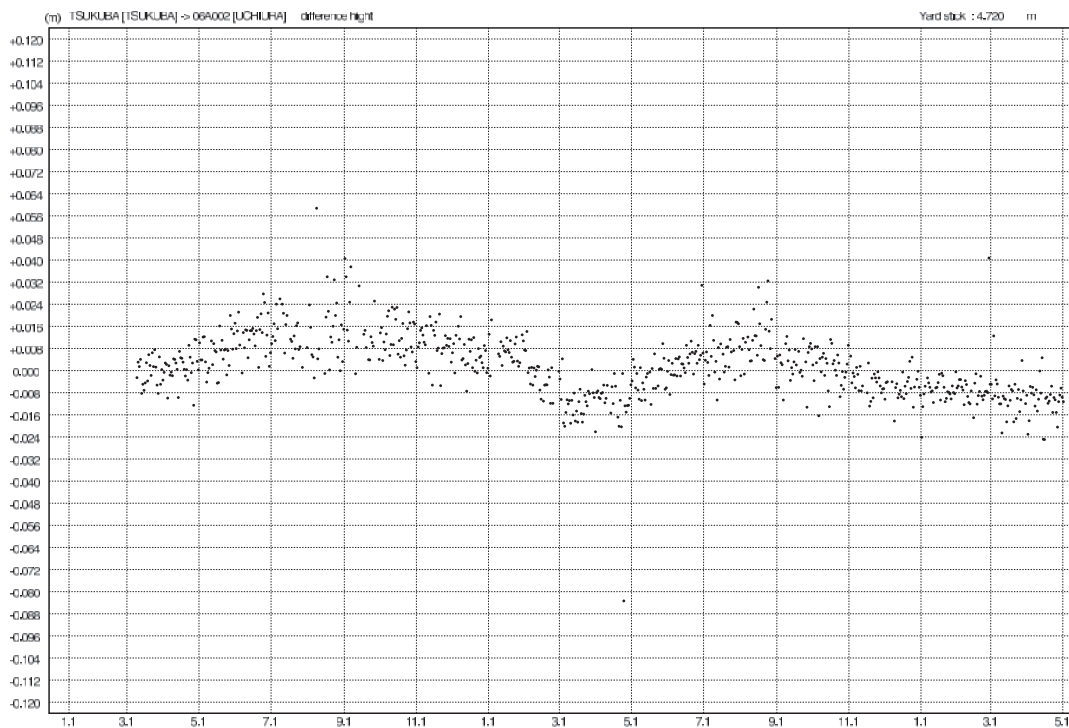
第3図 同じ. 但し南北成分.

Fig. 3 Same but for the north-south component.

(4/8)

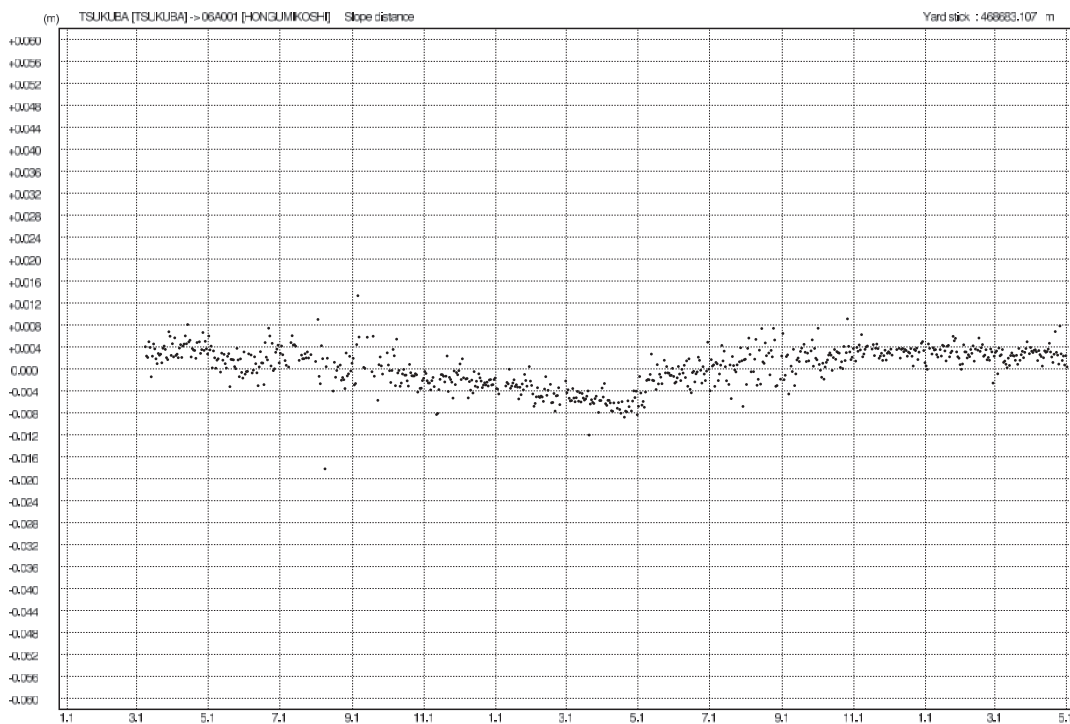
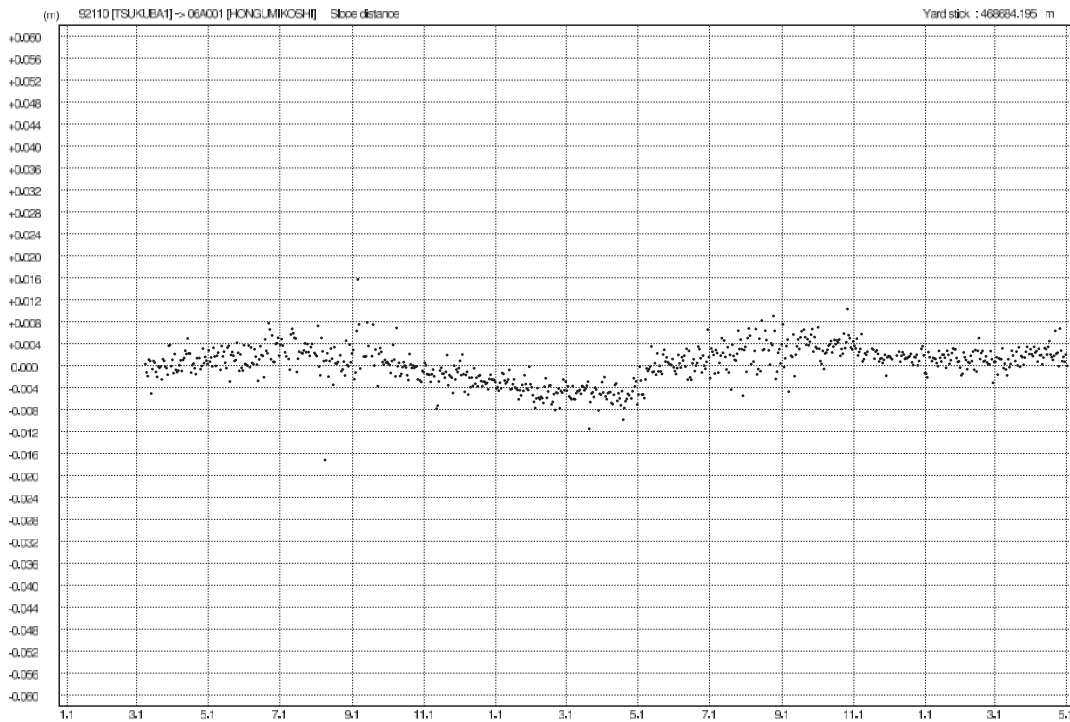


(8/8)



第3図 同じ。但し高さ成分。

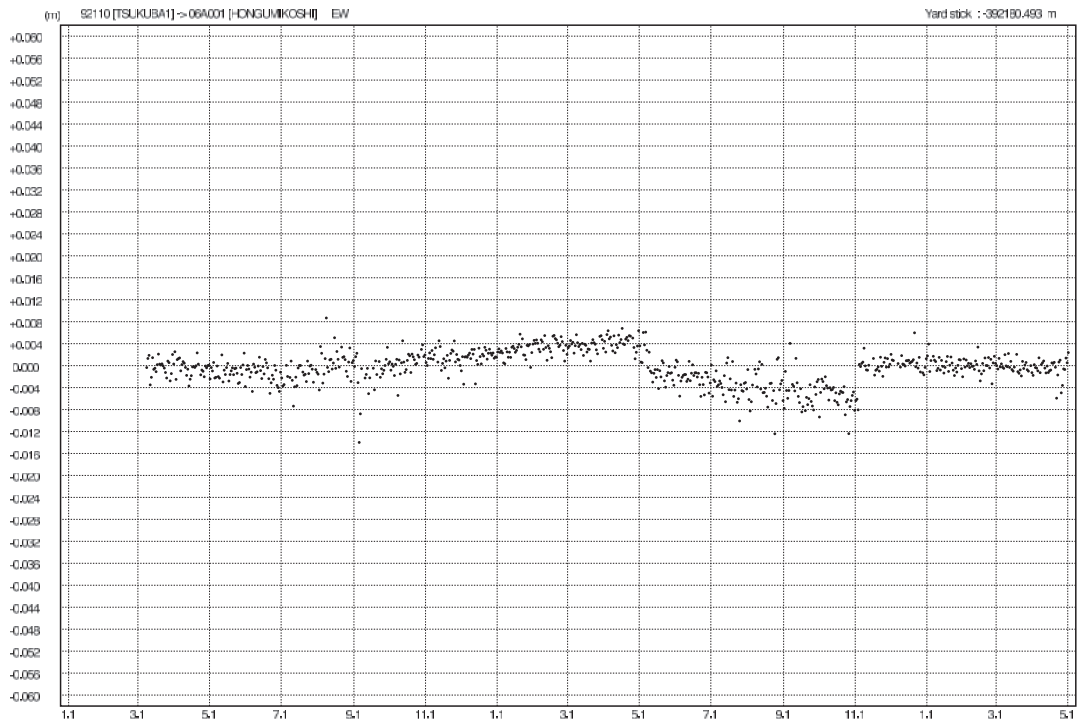
Fig. 3 Same but for the height component.



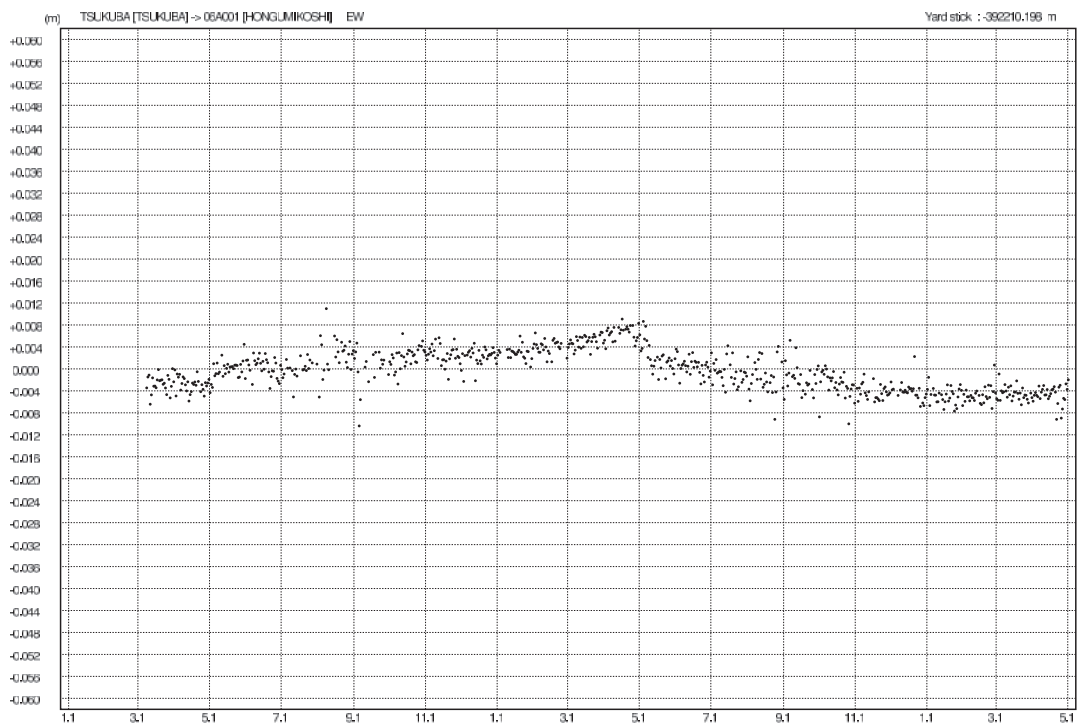
第 4 図 第 3 図と同じ。但し本宮三越観測局の斜距離。

Fig. 4 Relative displacement in meter (slope distance) of the Hongumikoshi station with respect to the 92110 station (top) and the TSKB station (bottom) both in Tsukuba from January 1, 2007 to May 1, 2009. The coordinate system is WGS-84.

(2/8)



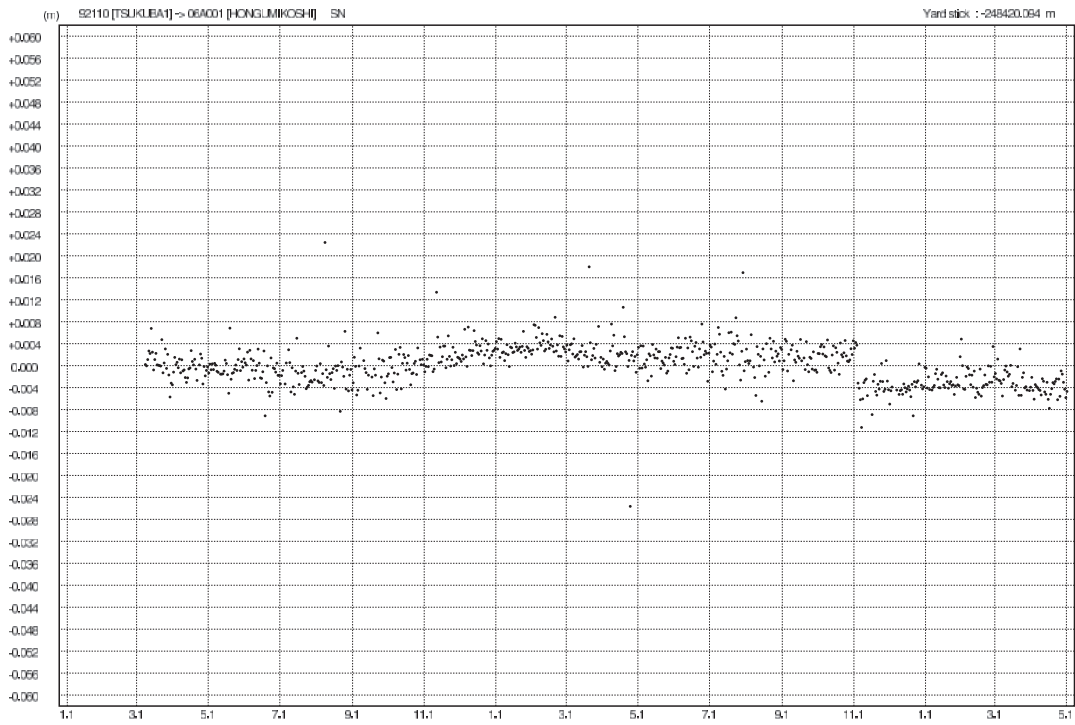
(6/8)



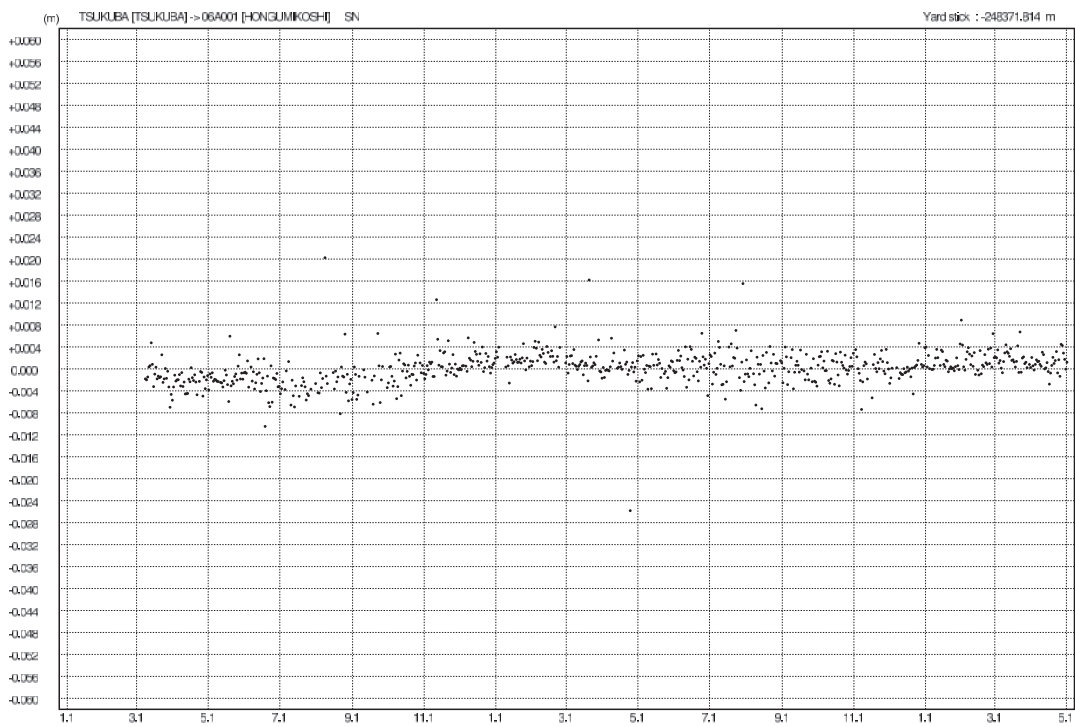
第4図 同じ。但し東西成分。

Fig. 4 Same but for the east-west component.

(3/8)



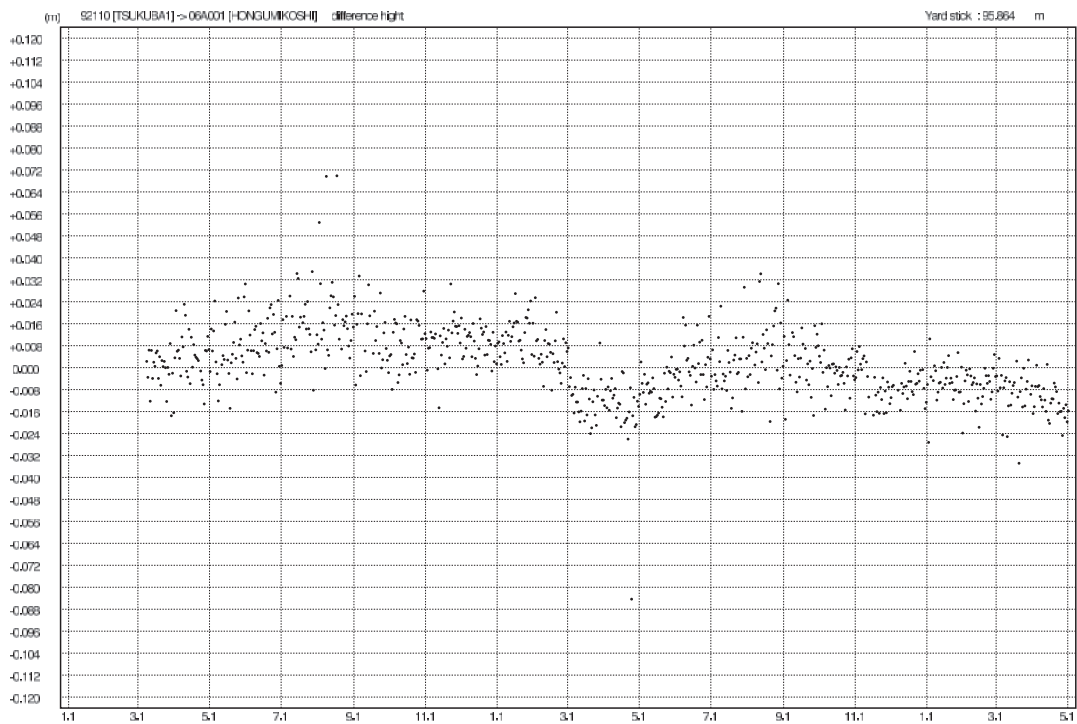
(7/8)



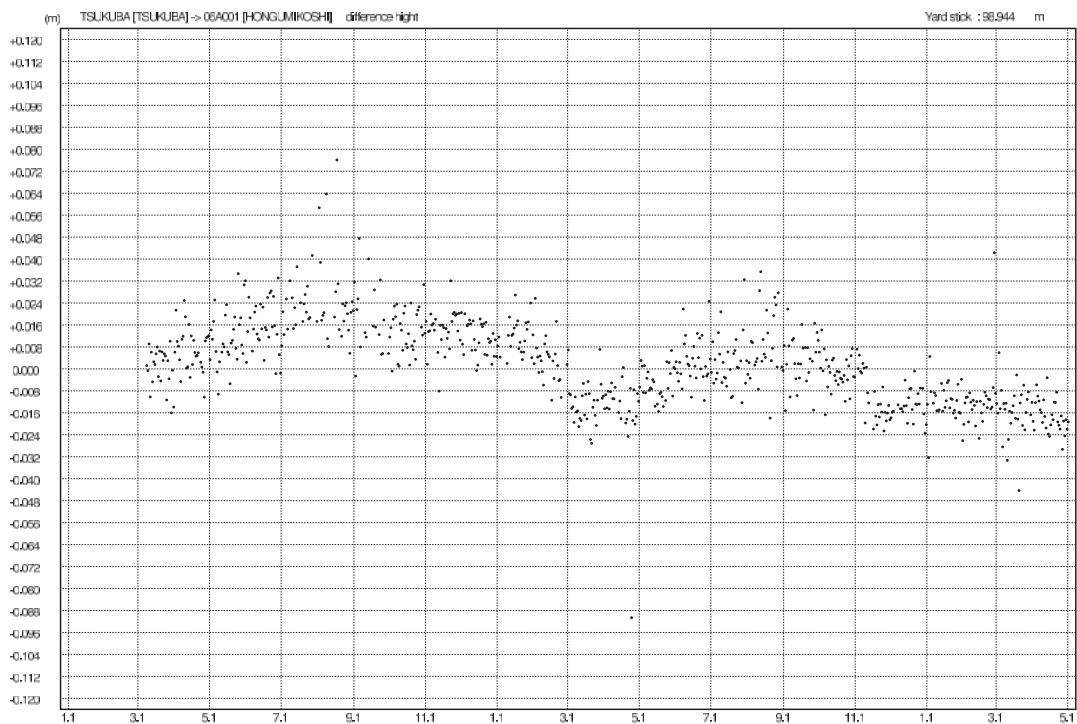
第4図 同じ。但し南北成分。

Fig. 4 Same but for the north-south component.

(4/8)



(8/8)



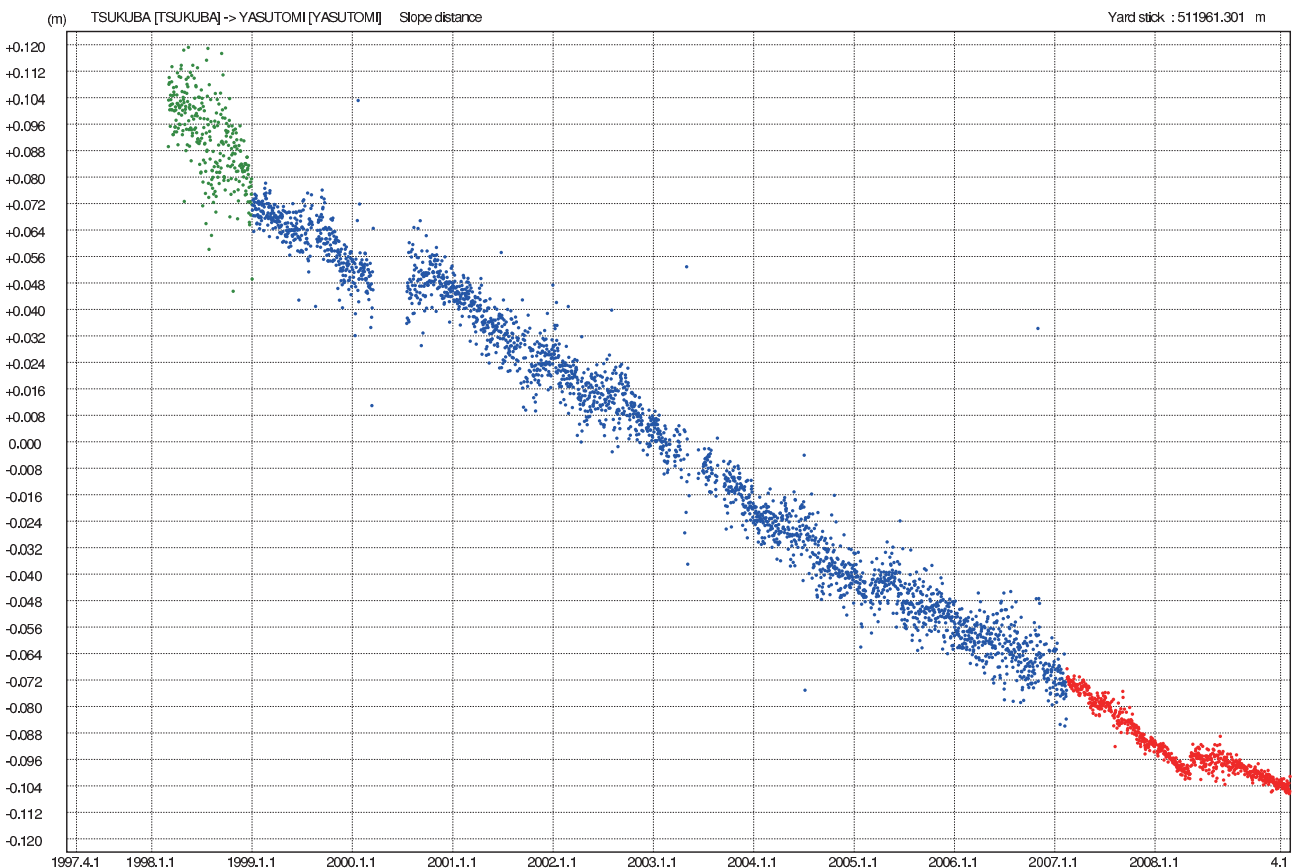
第4図 同じ。但し高さ成分。

Fig. 4 Same but for the height component.

影響を受けて、別々に変動していることを示唆する。旧来の産総研のGPSシステムでは、TSKBを基準とした解析しか行われていない。よって以上から、TSKBを基準とした解析結果と、92110を基準とした解析結果と単純な比較はできないので注意が必要である。

新GPSシステム導入のインパクトを見るために、第5図にTSKBを基準とした、安富の斜距離の時系列を示す。赤点（T3解）が新GPSシステム（T3解）で得られた結果、緑点（T1解）と青点（T2解）が旧GPSシステムで得られた結果を示す。インパクトを評価するのに、ここでは特に再現性（repeatability）に着目する。測地学でいう再現性とは以下の通りである。一般にGPS変位の時系列を見ると、日値のデータは、直線成分や季節変動等の長期的な変動の上に、ばらつきを持って分布している。このばらつきのことを再現性と呼ぶ。再現性が大きいとは、このばらつきが大きいことであり、再現性が小さくなるということは、ばらつきが小さくなることなので、再現性は解析の良否の一つの指標と

されている。このような点でみると、GPSシステムを更新した時期（2007年2月）を境に大きな再現性の向上が見られる。即ち、プレート運動に由来する定常的な線形トレンドに対するばらつきが小さくなっていることが分かる。また、旧GPSシステムで見られた半年や季節的なゆらぎも小さくなっているように見える。旧来のGPSシステムで採用されていたGPS受信機はTurboRogueのSNR8000であったが、これには電離層に起因すると考えられる半年周期のノイズの影響があることが指摘されてきた（大谷ほか、2003a）。実際、この受信機は15年以上前の機器であり、その後の技術革新の成果が反映されていない。一方、今回新設した受信機であるNetRSにはこうした電離層誤差等は報告されていず、受信機の違いが再現性の向上に資した要因の一つであることが伺える。他の観測局（草薙（Z）、豊橋（Y））についても、安富（X）ほどでないにせよ、やはり再現性の向上が見られており、GPSシステム更新の効果が見られる。なお、第5図に見られる、2008



第5図 つくばのTSKB局に対する安富局の斜距離(m)。緑と青が産総研旧GPSシステムのそれぞれT1解とT2解による結果、赤が新GPSシステムのT3解による結果。座標系はWGS-84。横軸は1997年4月1日～2009年5月1日までの日付(例えば1999.1.1は1999年1月1日)。

Fig. 5 Relative displacement (in meter) of the Yasutomi station with respect to the TSKB station in Tsukuba. Green and blue dots represent the results by the T1 and T2 analysis strategies of the old analysis system, respectively, and red dots are by the T3 analysis strategy of the new analysis system from April 1, 1997 to May 1, 2009. The coordinate system is WGS-84.

年5月頃の変動は、前述した、基準局となるつくばにおける茨城県沖の地震に伴う変動を反映しているものと考えられる。

次に、GEONETの本宮局(950373)の変位について、第6図に産総研による解析結果(G3解:92110基準局)と国土地理院による解析結果(F2解:92110基準局)による結果を示す。細かな違いはあるものの、全体の傾向はよく似ており、本解析(G3解)が国土地理院による標準解析(F2解)と整合的な解析を行っていることが分かる。

最後に、必ずしも新GPSシステムで初めて実現されるものではないが、新GPSシステムではGPSの変位データから歪を手軽に計算できるようになった。GPSから直接求められるものはある基準局からの変位であるが、GPS観測局が3点あれば、これらの変位データから、その3点を囲む三角形の内部の歪を計算することができる。地下水等総合観測網では、地下水位や多成分ボアホール歪計による観測も実施されているので(小泉ほか, 2009)、これらの観測から求められる歪量と、地下水等総合観測網を囲うGEONETのGPS局から計算される歪量を比較することで、それぞれの機器から求められる歪量が反映する歪の空間スケールの違い等を明らかにすることができると期待されている。ここではその一例として、安富観測点を囲むGEONETのGPS観測局(950346, 950347, 950350)から求められた歪の時系列を第7図に示す。

第7図の結果は、GEONETの1996年からのF2解の解析による変位から計算されたものなので(国土地理院, 2004)、第5図で見られたような、時期による再現性の大きなばらつきは見られない。また、2003年の最初に見られるジャンプは、この時期に行われたアンテナの交換によるものと考えられる。それぞれの観測点の変位に見られる季節変動が、歪でも見られる。こうした季節変動が地殻変動を反映したものなのか、あるいは測定誤差によるものなのかは不明である。地下水等総合観測網のボアホール歪計の観測結果との比較は、この疑問にヒントを与えてくれることが期待される。

最後に本GPSシステムの制約についても述べる。本GPSシステムでは様々な設定による解析を行っているが、異なる解析設定による結果は、厳密な意味では相互に整合性はないので、それらを混ぜ合わせた比較や歪の計算等ではできない仕様となっている。例えば、同じ92110という基準局を使っている、F2解で得られた変位と、G3解で得られた変位を組み合わせることはできない。上記の例でいえば、F2解で求められた950346, 950347の変位と、G3解で求められた安富局(X)から歪を計算することはできない。こうした計算ができるようにするためには、安富局(X)と

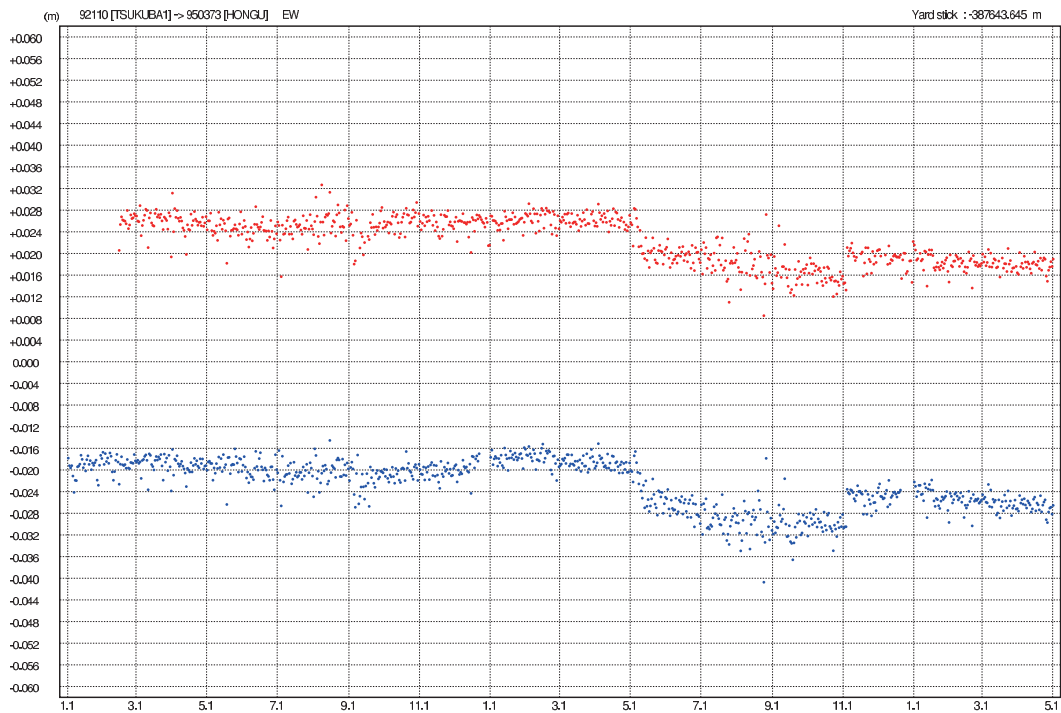
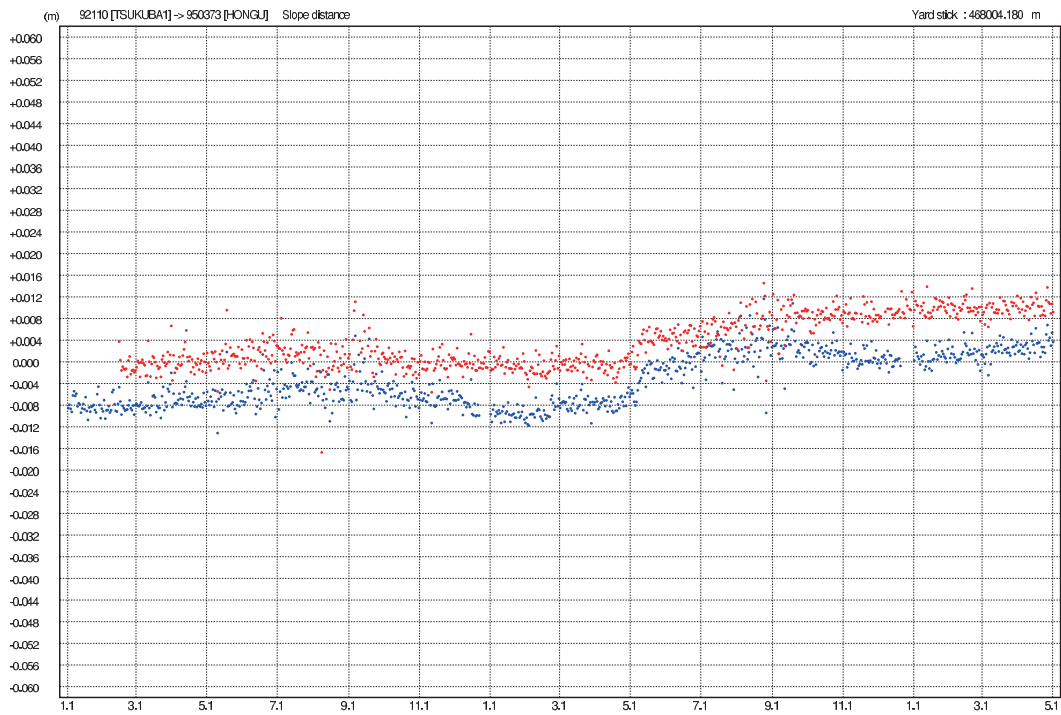
950346, 950347をあらかじめ一緒にした解析の設定を行っている必要があり、実際G3解では、産総研観測局の周囲のGEONET観測局を入れた解析設定を行っている。しかし、当然のことながら、そこに入っていないGEONET観測局との組み合わせによる歪は計算できない。また描画においても、基準局が異なる場合、例えばF2解とT3解という別の解析設定で求めた変位を同じ図の上に表示することはできない。但し、同じ基準局であれば、異なる設定の解析結果を同じ図の上に描画できる。例えば、92110というつくばにある基準局を使い、F2解によるものと、G3解によるものそれぞれの本宮(950373)の変位を描画することはできる(もちろん、それぞれの解析設定で、対象とする観測局、基準観測局、両方とも解析の中に含まれていることが条件となる)。しかしながら、描画において両者のオフセットを調整することはできないので、場合によっては図が見にくくなる可能性もあり、注意を必要とする。

4. おわりに

以上、産総研の新たなGPSシステムの概要と初期結果について見てきた。新GPSシステムでは、従来からの観測点の旧式の受信機を一新し、最新の受信機に統一し、更にBerneseを使った解析に変更したことで、全体的な再現性の向上が実現した。従来のGPSシステムでは、例えば、2002年に安富で見られた数ヶ月程度のゆっくりとした変化が、ノイズぎりのレベルであったので、ゆっくり地震に起因するものなのか誤差なのかを決定することが困難であった(大谷ほか, 2003b; 北川ほか, 2003)。今回再現性が良くなったことで、2002年に観測された程度の変動が発生すれば、それが誤差なのかどうかの決定をすることができるであろう。また、新GPSシステムでは、日本標準とも言える国土地理院のF2解に準じた解析を導入することで、国土地理院の解析結果との整合性の確認ができるようになった。

産総研のGPSは既存のGEONET観測局の空白域を埋めるように新設したので、両者を併せて解析することで、地殻歪の時空間変動の解明等に寄与できることが期待される。それとともに、地下水観測点での多成分ボアホール歪計や地下水位観測から求められた歪量との比較を通じて、両者の関係解明にも貢献できると考えられる。

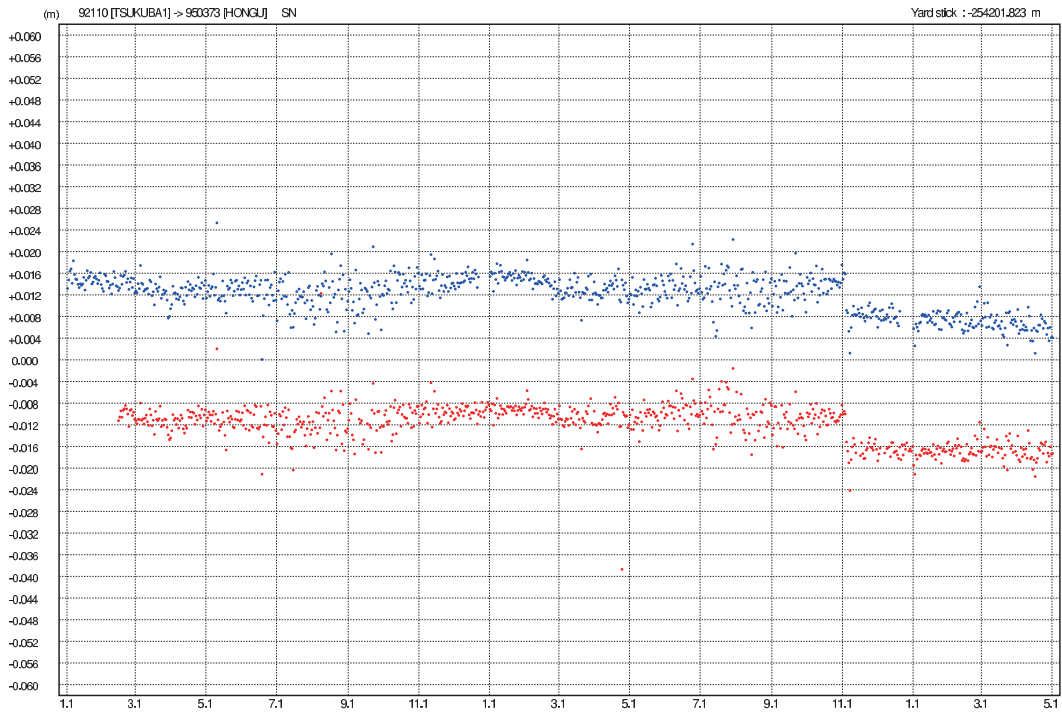
謝辞: 国土地理院にはGEONETのGPSデータ、並びにその定常解析システムによって得られた座標値データの提供を受けました。地下水等総合観測網の観測点設置において産総研、地方自治体を始め多くの関係者



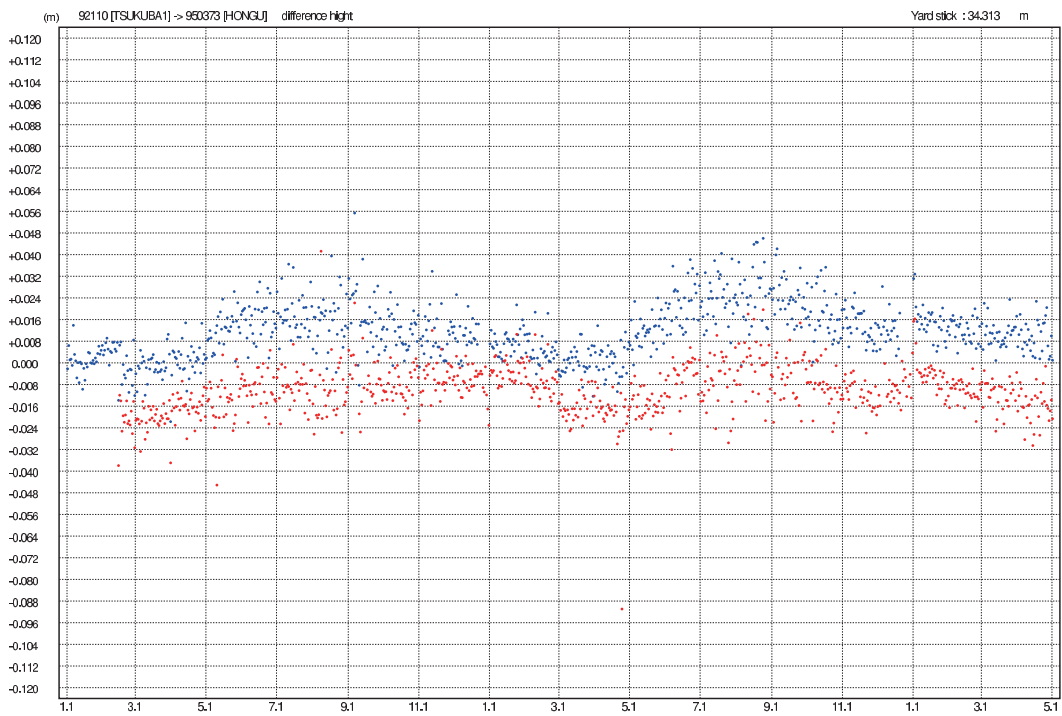
第 6 図 産総研新 GPS システムの G3 解の解析結果（赤点）と、国土地理院の F2 解の解析（青点）による本宮局（950373）の変位（単位は m）。上段が斜距離，下段が東西成分。基準局はつくばにある 92110 局。座標系は WGS-84。横軸は 2007 年 1 月 1 日～ 2009 年 5 月 1 日までの日付（例えば 3.1 は 3 月 1 日）。

Fig. 6 Relative displacement in meter of the Hongu station with respect to the 92110 station by G3 analysis strategy of AIST in red and by the F2 analysis strategy of the Geographical Survey Institute in blue from January 1, 2007 to May 1, 2009. Slope distance (top) and east-west component (bottom) are shown. The coordinate system is WGS-84.

(3/4)

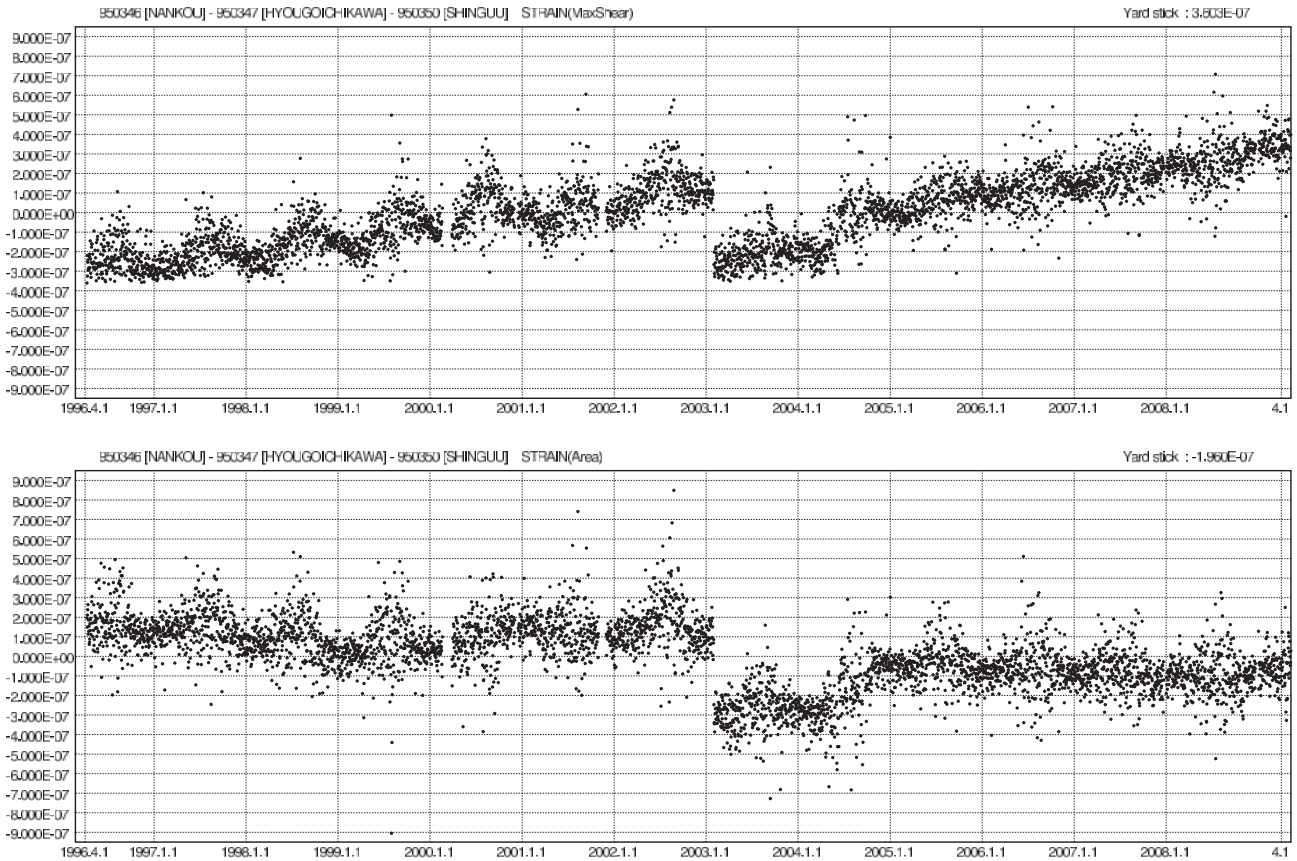


(4/4)



第6図 同じ. 但し南北成分 (上段) と高さ成分 (下段).

Fig. 6 Same but for the north-south (top) and height (bottom) components.



第7図 産総研安富局を囲む GEONET 局である，950346, 950347, 950350 から求められた GPS による最大剪断歪み（上段）と面積歪み（下段）．F2 解の解析による変位データを使用した．横軸は 1996 年 4 月 1 日～2009 年 5 月 1 日までの日付（例えば 1999.1.1 は 1999 年 1 月 1 日）．

Fig. 7 Maximam shear (top) and areal strain (bottom) calculated from GPS displacement at 95346, 95347, and 95350 of GEONET stations, surrounding the Yasutomi GPS station of AIST from April 1, 1996 to May 1, 2009. The displacement data derived from the F2 analysis strategy is used.

の協力を得ています．ここに記して感謝します．

文献

Astronomical Institute, University of Berne (2001)
Documentation of the Bernese GPS Software Version 4.2, Edit. U. Hugentobler, S. Schaer, P. Fridez.

北川有一・小泉尚嗣・大谷竜・渡辺邦彦・板場智史 (2003) 山崎断層沿いの産業技術総合研究所安富観測点で観測された顕著な地殻歪変化，地震 2, **56**, 245-254.

小泉尚嗣・高橋誠・松本則夫・佐藤努・大谷竜・北川有一・板場智史・梅田康弘・武田直人・重松紀生・桑原保人・佐藤隆司・今西和俊・木口努・関陽児・塚本齊・山口和雄・加野直巳・住田達哉・風早康平・高橋正明・高橋浩・森川徳敏・角井朝昭・下司信夫・中島隆・中江訓・大坪誠・及川輝樹・干野真 (2009) 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測

点整備について，地質ニュース，**662**, 6-10.

国土地理院 (2004) 電子基準点 1200 点の全国整備について，国土地理院時報，**103**, 3-51.

大谷竜・松本則夫・小泉尚嗣・高橋誠・佐藤努・北川有一・佃栄吉・佐藤隆司・伊藤久男・桑原保人 (2003a) 産業技術総合研究所地質調査総合センターにおける GPS 連続観測，地質調査研究報告，**54**, 193-212.

大谷竜・北川有一・小泉尚嗣・高橋誠・松本則夫 (2003b) ボアホール歪計で観測された非定期的変化の GPS による検証：産業技術総合研究所地質調査総合センター安富観測点での事例，地質調査研究報告，**54**, 213-220.

大谷竜・板場智史・北川有一・佐藤努・松本則夫・高橋誠・小泉尚嗣 (2009) 産総研地下水等総合観測網による東南海・南海地震の仮想的プレスリップの検出能力の評価，地質調査研究報告，**60**, 511-525.

Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M.

M., and Webb, F. H. (1997) Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *J. Geophys. Res.*, **102**, 5005-5017. (受付：2009年4月1日；受理2009年7月17日)