
寄 書

GEONET の基線長および
楕円体高変化に見られる
ばらつきについて

瀧口博士・福田洋一
京都大学大学院理学研究科

(2001 年 8 月 23 日受付, 2001 年 10 月 1 日改訂,
2001 年 10 月 5 日受理)

Scattering of Daily Solutions
of the GEONET GPS Site Ellipsoidal
Height and Baseline Length Changes

Hiroshi Takiguchi* and Yoichi Fukuda
Department of Geophysics, Graduate School
of Science, Kyoto University

(Received August 23, 2001; Revised October 1, 2001;
Accepted October 5, 2001)

Abstract

We investigated scattering of the GPS site coordinates and baseline length changes using daily GEONET solutions. We first calculated baseline length changes from the daily coordinates, and then calculated their standard deviations every ten days. The standard deviations, which are small in winter and large in summer, clearly show seasonal variations. Another characteristics is that the standard deviations are dependent on the baseline length. These facts suggested that uncorrected water vapor effects affected on the accuracy of the GEONET solutions. The standard deviations of both baseline length and ellipsoidal height show some dependency on the GEONET station IDs, which are related to the year of establishment and the region of the sites. The standard deviations before 1996 are larger than those after 1996. They

are small near Tsukuba, and are generally large in western Japan compared with eastern Japan. Spatial pattern of the standard deviations at the sites of Trimble receivers seems to have a relation with the regional administration boundaries. This may suggest that environments of observation points or differences of the installation methods affect on the accuracy.

1. はじめに

1994 年に国土地理院によって GPS 連続観測が開始されて以来, 既に 6 年の歳月が経過している (Miyazaki *et al.*, 1996; Miyazaki *et al.*, 1997). この間, 取得されたデータは随時公開されており, 多くの方面で利用され, 様々な成果が挙げられている.

GPS データには, プレート運動に伴う地殻変動など, テクトニックなシグナルと同時に, 大気中の水蒸気による電波遅延の影響や, 時には GPS アンテナそのものの動きが含まれている可能性もある. 得られる GPS データは, これら全ての影響を含んだものであるが, 変動の時間的空間的特性は, その原因によっておのずと異なったものとなる. 例えば, プレート運動による変位は, 空間的に長波長であり, また, 時間的にも比較的長周期の現象として現れるはずであるし, 水蒸気遅延による誤差は, 空間的にも時間的にもより短波長, 短周期の現象と考えられる. また, ある観測点に固有の問題であれば, その変動パターンは, ある種の特異点として現れるはずである.

このように様々な要因で変化する観測データから目的とする信号を効率的に精度良く抽出するためには, その信号の特徴とともに誤差の性質についても把握しておくことが重要である. このような観点から, 本研究では, 特に GEONET データの短期的な再現性に関わるノイズの一般的な特徴を明らかにすると共に, GEONET データを使用する際の留意点を示すことを目的として, 基線長変化ならびに楕円体高変化のばらつきについて, 統計的な手法でその特徴を調べた. 特に, ここで言う「ばらつき」とは, データの短期再現性の時間変動を示す.

2. データ処理

本研究では, 国土地理院より提供された GEONET の日座標値データのうち, そのほぼ全点にあたる 950 点の観測点について, 各観測点の観測開始から 2000 年 12 月 31 日までの時系列を使用した. これらのデー

タを用い、まず、各観測点の座標変化の標準偏差を10日間毎に計算し、その平均値をその観測点での平均標準偏差とした。同時に、全ての基線について基線長変化を計算した。次に、基線長の再現性を調べるため、基線長変化の10日間毎の標準偏差を計算した。このようにして得られた10日毎の基線長標準偏差時系列について、さらに基線解に影響を及ぼすと思われる、基線の長さ、基線両端での高度差、基線の方位角に着目した基線の区分を行い、それぞれの区分に含まれる基線について平均した標準偏差時系列を求めた。

なお、GEONETには異機種アンテナが混在しているので、アンテナの組合せによる影響も調べるため、全てのアンテナを混在して使用した場合(A)と、同じ種類のアンテナ同士を組合せた場合(B)の、2つの場合について処理を行った。

3. 基線長変化のばらつき

Figure 1に、上記(A), (B)の10日間毎の全基線の平均標準偏差時系列を示す。(A), (B)の場合共に標準偏差は、冬2mm前後と小さく、夏5mm前後と大きくなり、明瞭な季節変動が見られる。なお、(A)の場合、1995年の値が、それ以降の値に比べ2倍以上大きくなっているが、この点については後述する。なお、1996年以降は、(A)と(B)の差はほとんど見られない。

Figure 2は、標準偏差の時間変動と基線長の関係調べるために、(B)の同じアンテナ同士を用いた基線の標準偏差時系列を、基線長500km毎に平均したものである。ここでも、Figure 1と同様の季節変動が見られる。また、標準偏差は基線が長くなるにつれ大きくなり、冬と夏の差も拡大する傾向にある。

なお、基線両端での高度差および基線の方位角に関してもその標準偏差との関係を調べたが、Figure 1, 2と同様の季節変動は見られるものの、高度差や方位角による差は1.0mm程度であった。

4. 楕円体高変化のばらつき

Figure 3は、各観測点における楕円体高変化の平均標準偏差を示したものである。なお、水平座標値の平均標準偏差は楕円体高変化と同様の特徴を示したので省略する。図中の赤の記号は全期間のデータを用いた場合(C)、青の記号は1998～2000年の3年間のデータのみを使用した場合(D)である。図の横軸は、観測点IDの昇順で、各観測点ID(6桁)の最初の2

桁が設置年を、また、後の3～4桁は設置年における通番となっている。

Figure 3を見ると、一般的な傾向として楕円体高の平均標準偏差は1cmよりやや大きい程度でおよそ一定であるが、より詳細に見ると、観測点IDすなわち、観測点設置時期や設置場所との関連性も認められる。また、(C)と(D)の場合を比べると、1994年設置の観測点で、(C)の場合の平均標準偏差が大きくなっている。しかし、(D)の場合は、1994年設置の観測点も他の点と同じ程度の大きさとなっている。アンテナ機種別に見ると、1996年設置のAshtech社製のアンテナと受信機を使用している観測点があるが、他の機種の場合に比べ若干大きな値を示している。

Figure 4は、Figure 3の平均標準偏差を大きさで色分けし、その地理的な分布を示したものである。左上が、AshtechまたはLeica受信機を用いている観測点、右下がTrimble受信機を用いている観測点である。いずれの場合も、つくば周辺の平均標準偏差が小さく、東日本に比べ西日本の値が大きい特徴が見られる。しかし、つくばからの距離に比例して、遠方ほど値が大きくなるというような傾向は見られない。また、Ashtechの場合は九州、Trimbleの場合は四国で特に平均標準偏差が大きい。さらに、Trimbleの場合、明らかに地域的な差異が認められる。これは、Trimbleの観測点座標時系列のばらつきが、設置時期ならびに設置場所に依存している事を示している。

5. 議 論

基線長変化の標準偏差の時間変動については、従来から、夏に誤差が大きく、冬に小さいと言われていたが、本研究でも、その特徴が確かめられた。これはすでに指摘されているように、夏場、水蒸気が多くなる事による大気遅延の増大に起因するものと考えられる。さらに、平均標準偏差の増大が基線長の長さにも依存している事は、本研究における基線が座標値から計算されたものである事から、短基線では互いの座標に含まれるノイズに相関が強く相殺される要素が、長基線になると相殺されず、積算されているものと考えられる。

一方、水蒸気遅延の影響を考えると基線両端の高度差で平均標準偏差に違いが現れると予想されるが、今回の解析ではそのような違いは認められなかった。これは、観測点の楕円体高が、最大でも1,600m程度と低いためと思われる。

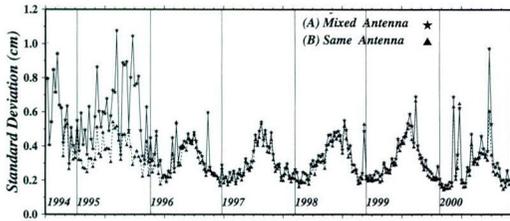


Fig.1 Time series of the standard deviations of baseline length changes calculated every ten days. Stars show the mixed antenna case (A), and triangles show the same antenna case (B).

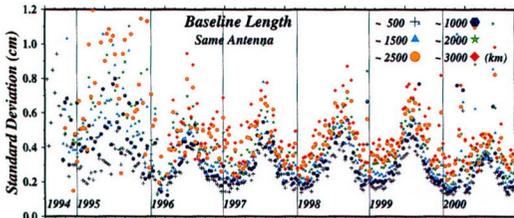


Fig.2 Time series of the standard deviations of baseline length changes calculated every ten days. The different colors show the standard deviations of the baselines which are classified by their length every 500 km. The plot is made for the same antenna case (B).

Figure 1, 2 で、1994, 1995 年の標準偏差が他の年に比べて大きくなる要因の一つとして、1996 年 4 月以前と以後とでは GEONET のデータ解析の方法とアンテナ位相中心モデルに違いがあることが挙げられる(宮崎・畑中, 1998). 1996 年 4 月以前は、GAMIT/GLOBK ソフトウェア及びソフトウェア標準のモデル、それ以後は、Bernese/BPE ソフトウェア及び IGS01 が使用されている。原因を特定する事はできなかったが、このようなばらつきは Figure 1, 2 に示すように、同じアンテナ同士の基線だけを用いることで抑えられる事が分かった。

座標値変動については、Figure 3 の 95xxxx および 96xxxx と Figure 4 に見られるように、同じアンテナで、かつ同じ年に設置された観測点でも、平均標準偏差の大きさに違いが存在する。しかも、この違いには、はっきりした地域性がみられる。この地域性は、Trimble の観測点で特に顕著である。定常解析において、Trimble の観測点は数が多いため、まず regional クラスタといわれる地域毎に解析され、その後 back-bone クラスタと呼ばれる点でつくばに結合されている(宮崎・畑中, 1998)。しかし、

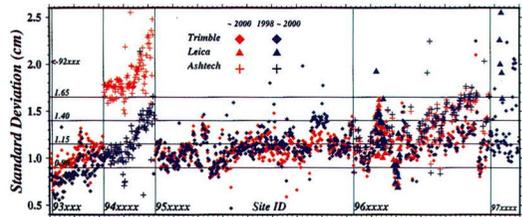


Fig.3 The average standard deviations of the ellipsoidal height changes. The red symbols show the results calculated from all data set after 1994 (case (C)), and the blue symbols show the results using 3-year long data from 1998 to 2000 (case (D)). The horizontal axis shows the site IDs of the GEONET points.

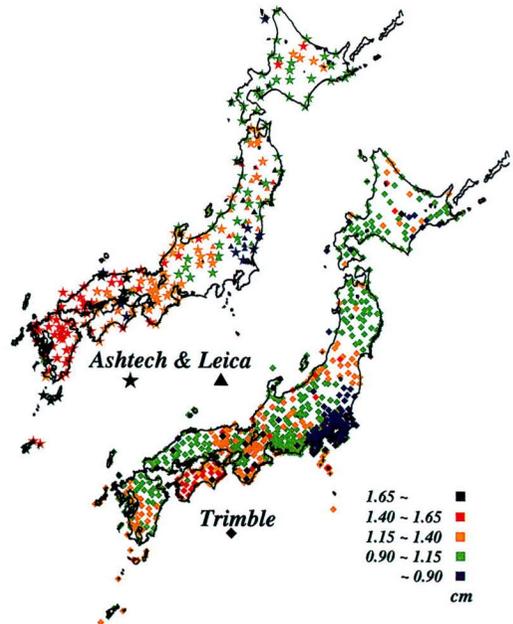


Fig.4 The average standard deviations of the ellipsoidal height changes at observation sites. The upper map shows the sites of Ashtech and Leica receivers, and the lower map shows the sites of Trimble receivers.

regional クラスタや、back-bone クラスタの分布と、今回明らかになった平均標準偏差の地域性には相関は見られない。また、このような解析上の問題では、東日本に比べ西日本のばらつきが大きいことも説明出来ない。従って、平均標準偏差の地域性は、観測点環境や地域毎の設置の方法などが関連していると考えられる。特にこの地域性は、地形やテクトニックな

境界よりは、行政的な地方区分とよく一致するように見え、人為的な原因による可能性も考えられる。

6. まとめ

GEONET の座標データから計算した基線長変化について、そのばらつきの特徴を調べた。その結果、10日毎に計算した基線長変化の標準偏差の時間変動には、明瞭な季節変動が認められ、またその大きさは、基線長に依存することが判明した。

さらに、1996年4月以前の基線長変化のばらつきが、それ以後に比べ大きい事が判明したが、これは解析方法あるいはアンテナ位相中心モデルの違いに起因していると考えられる。この影響は、基線長の計算に同じ機種のアナテナのみを用いることである程度軽減出来る。

次に、観測点毎の座標変化の平均標準偏差を調べたところ、観測点環境、設置方法などに依存すると思われる地域性が存在することが明らかになった。現段階では、地域差の原因ははっきりしていないが、今後GPSデータを使用する場合、このような地域差を考慮し、議論する必要がある。

謝 辞

本研究の遂行において、東京大学地震研究所の宮崎真一助手に有益なコメントを頂いた。また、改訂にあたっては査読者から大変貴重なご意見を頂いた。使用したGEONETデータは、国土地理院によって提供されたものであり、また、作図にはGMT3.3.6を使用した。ここに記して、謝意を表する次第である。

参考文献

- Miyazaki, S., H. Tsuji, Y. Hatanaka, Y. Abe, A. Yoshimura, K. Kamada, K. Kobayashi, H. Morishita and Y. Iimura (1996): Establishment of the nationwide GPS array (GRAPES) and its initial results on the crustal deformation of Japan, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **42**, 27-41.
- Miyazaki, S., T. Saito, M. Sasaki, Y. Hatanaka and Y. Iimura (1997): Expansion of GSI's nationwide GPS array, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **43**, 23-34.
- 宮崎真一・畑中雄樹 (1998): 国土地理院GPS連続観測システムの概要, *気象研究ノート*, **192**, 105-131.