

GPS 連日測定—京都・高知・阿蘇・鳥取—

藤森 邦夫・山本 剛靖・鈞 卯三郎・田部井隆雄
音崎 岳広・小野 博尉・迫 幹雄・外 輝明
山田 年広・小泉 尚嗣・矢部 征・中尾 節郎

DAILY MEASUREMENTS BY USING GPS AT KYOTO, KOCHI, ASO AND TOTTORI IN SOUTHWEST JAPAN

By *Kunio FUJIMORI, Takeyasu YAMAMOTO, Usaburo MAGARI, Takao TABEL,*
Takehiro OTOZAKI, Hiroyasu ONO, Mikio SAKO, Teruaki HOKA,
Toshihiro YAMADA, Naoji KOIZUMI, Sei YABE and Setsuro NAKAO

Synopsis

Daily measurements by using GPS had been carried out at Kyoto, Kochi, Aso and Tottori sites in Southwest Japan from September 1990 to September 1991. The long term repeatability of the baseline lengths determined was 0.26 ppm, which was comparable to the short term repeatability of them on even as long baseline as about 200 km. The baseline lengths showed annual changes, amplitude of which were about 1 ppm. It seems that such changes were caused by insufficient consideration of tropospheric delay in computation of baseline vector.

1. はじめに

GPS (Global Positioning System) 測定の長期的な精度の評価と西南日本における広域地殻変動の監視を目的として、西南日本の4点において、1990年9月から1991年9月までの1年間にわたって連日測定が行われた。その連日測定の概要と、初めの約半年間の測定結果は、報告された¹⁾。測定結果の特徴として、基線長変化と各成分の変化とに長周期のうねり状の変化が見られること、その長周期変化に、短周期(日ごと)の変化が重畳していること、異なる基線の各成分における変化の様相が似ていること、これらの変化の大きさが基線長に比例しているようであることなどが示された。

本稿では、1年間の測定結果について報告する。

2. 測定と解析

測定点は、Fig. 1 に示されている京都、高知、阿蘇、および鳥取の4点であり、ほぼ西南日本をおおう東西に長い菱形基線網を構成している。

連日測定は、京都、高知、および阿蘇では1990年9月3日から1991年9月14日まで、鳥取では1990年10月13日から1991年8月8日までの期間に行われた。使用されたGPS受信機は、WM102である。なお、鳥取においても他の測定点同様9月14日まで測定を行う予定であったが、GPS受信機の故障のために途中で打

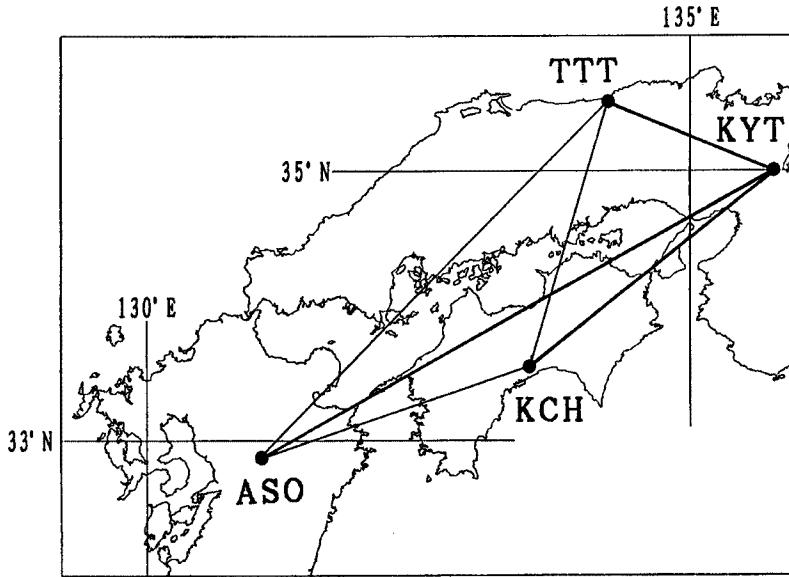
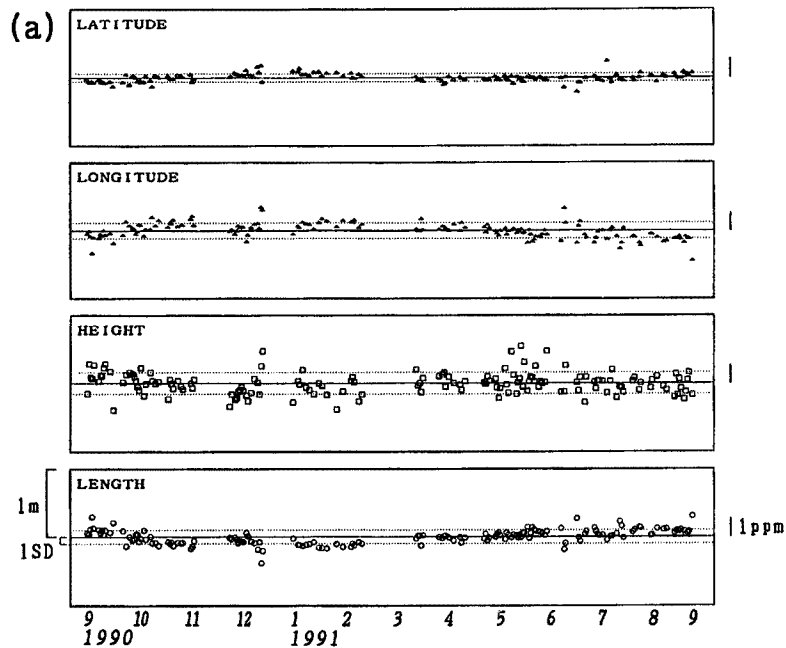


Fig. 1. Configuration of GPS measurement sites (KYT: Kyoto, KCH: Kochi, ASO: Aso, TTT: Tottori) and baselines. Thick lines show baselines for which computations were carried out.

ち切らざるを得なかった。測定時間帯は、測定が開始された1990年9月の時点で一番多く衛星の観測できる時間帯が選ばれ、その時間帯は、1日に4分ずつ早められた。測定時間は、当初6時間であったが、その後の衛星の追加によって衛星配置が変化したため、1991年4月から測定時間帯が9時間20分早められ、測定時間も6時間40分に延長された。

基線解の計算には、解析ソフトウェア PoPS が使用された。衛星位置の情報には衛星からの放送暦が、電離層伝播遅延の影響の除去には L1 および L2 の線形結合が利用された。また、対流圏伝播遅延の影響の除



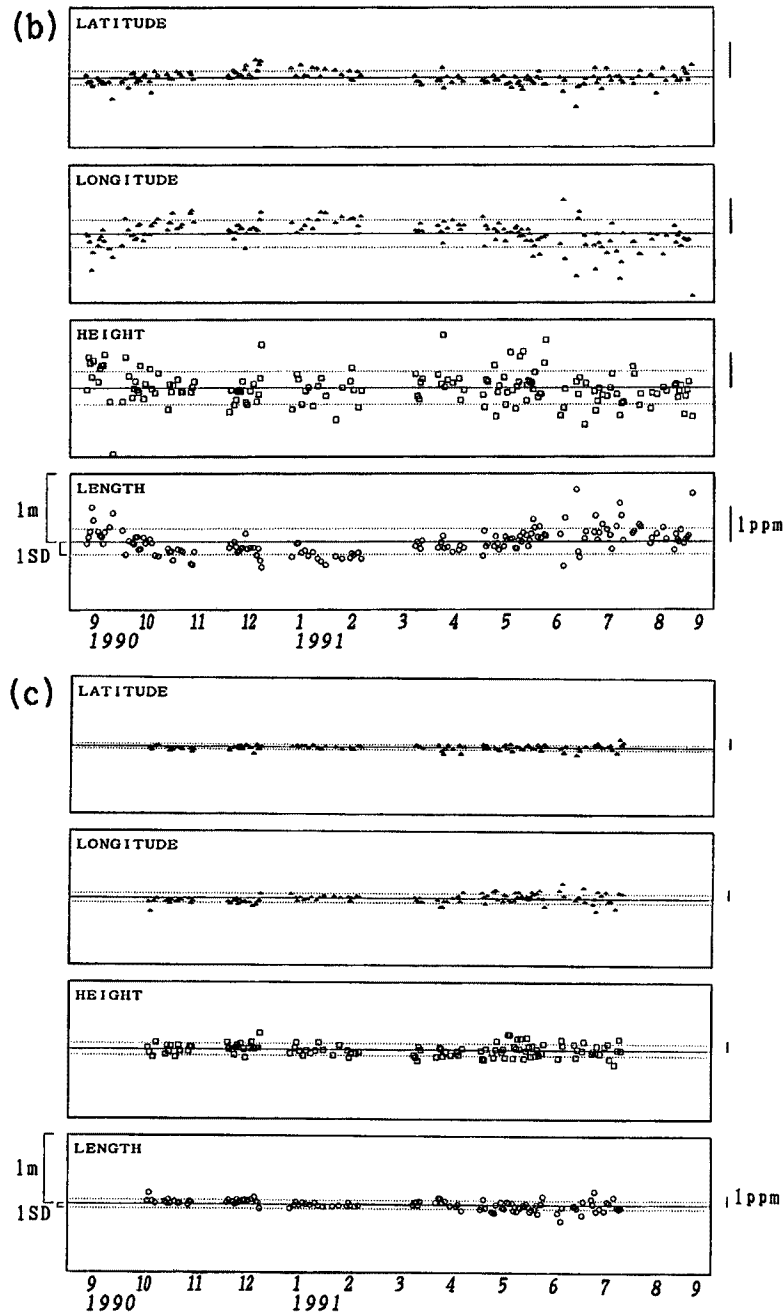


Fig. 2. Results of measurements from September 1990 to September 1991. (a) KYT-KCH baseline. (b) KYT-ASO baseline. (c) KYT-TTT baseline.

去は Saastamoinen²⁾ の対流圏モデルに基づくが，日ごとの地上気象測定値を入力するのではなく，測定期間を通じてソフトウェアの既定値が用いられた。解析が行われた基線は，京都—高知，京都—阿蘇，および京都—鳥取の3つの基線である。

3. 結 果

Fig. 2(a), (b), (c) に，京都—高知，京都—阿蘇，および京都—鳥取の3つの基線について，日ごとの測

定結果をそれぞれ示す。各基線とも、上から南北、東西、高さの各成分と基線長の変化が示されている。なお、測定期間中に見られるいくつかの中断は、他の測定キャンペーン実施のためであり、12月下旬から1月下旬にかけてのものは、年末年始で測定を休止したためである。この図において、長周期の変化に短周期(日ごと)の変化が重畳している。また、短周期変化の様相は、京都—高知と京都—阿蘇基線との間ではよい相関を示し、その大きさはほぼ基線長に比例するが、これら2基線と京都—鳥取基線との間では相関がみられない。なお、Fig. 3 に3つの基線の間での相関を、各成分の変化と基線長変化とについて示す。測定期

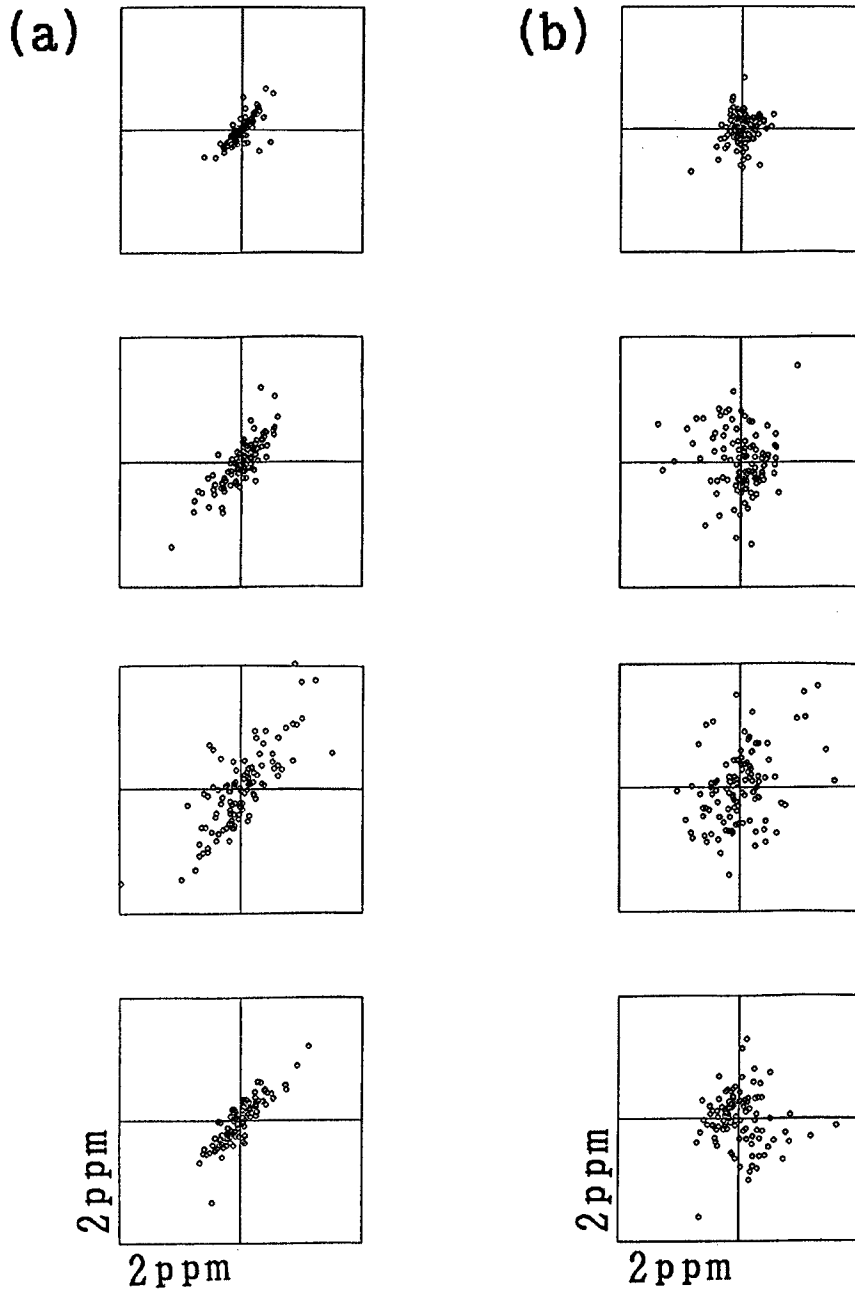
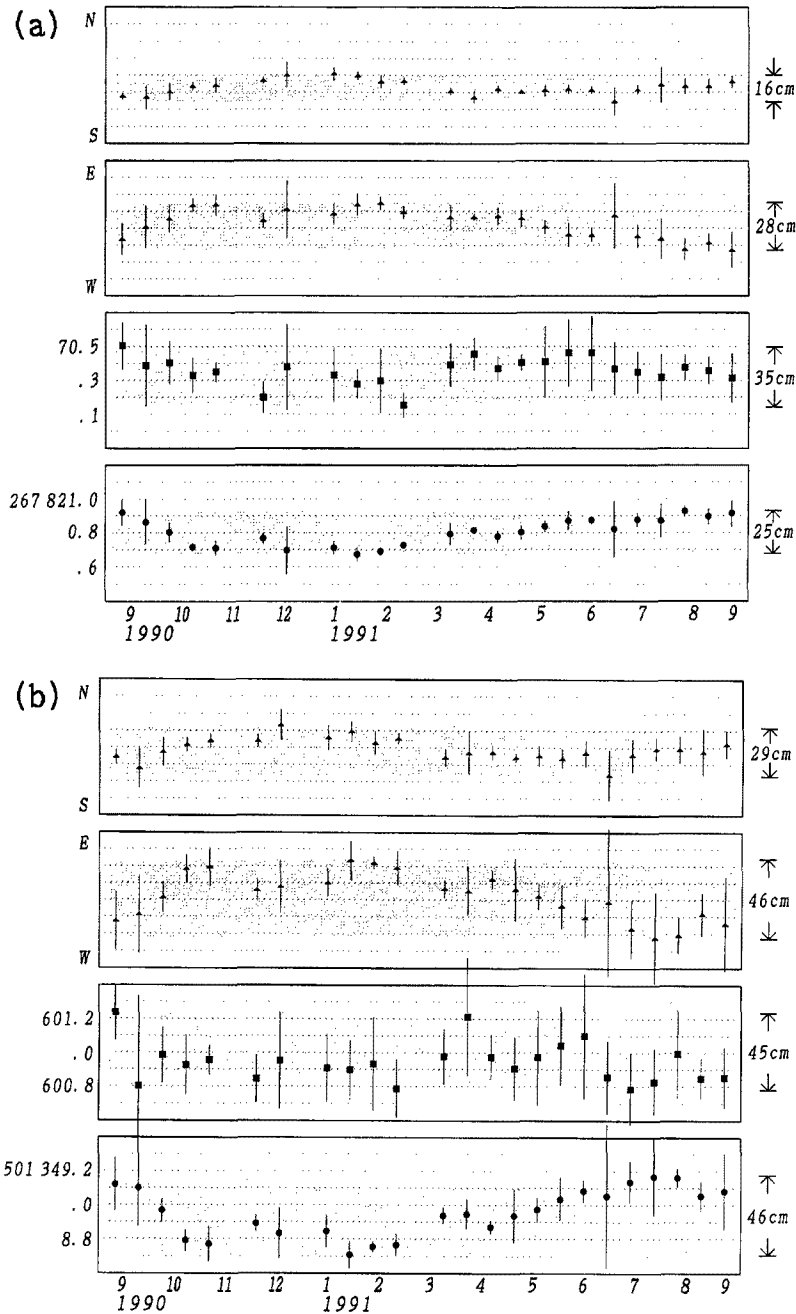


Fig. 3. Relations between changes of baseline vectors.
 (a) KYT-ASO baseline and KYT-KCH baseline.
 (b) KYT-ASO baseline and KYT-TTT baseline.

間全体のそれぞれの平均値を中心にとり，偏差が基線長に対する比で表されている。これら1年間の結果の特徴は，短周期変化について京都—鳥取基線と他の2基線との間に相関が見られないことが明瞭になったことを除けば，初めの約半年間に得られたものとはほぼ同じである。

長周期変化の様相をより明らかにするために，2週間ごとの平均値をとり，その変化を，Fig. 4(a), (b), (c) に示す。京都—高知，京都—阿蘇基線の基線長変化には，約 1 ppm に相当する年周的变化が見られる。この変化は，正弦曲線的ではない。すなわち，冬季より夏季に基線長が伸びているが，主要な伸びが5月から7月にかけての約3カ月に生じているのに対して，同量の縮みは9月から10月半ばまでの約半分の期間で完了している。このことから，京都—鳥取基線では，測定期間中に単調に縮んでいるように見えるが，



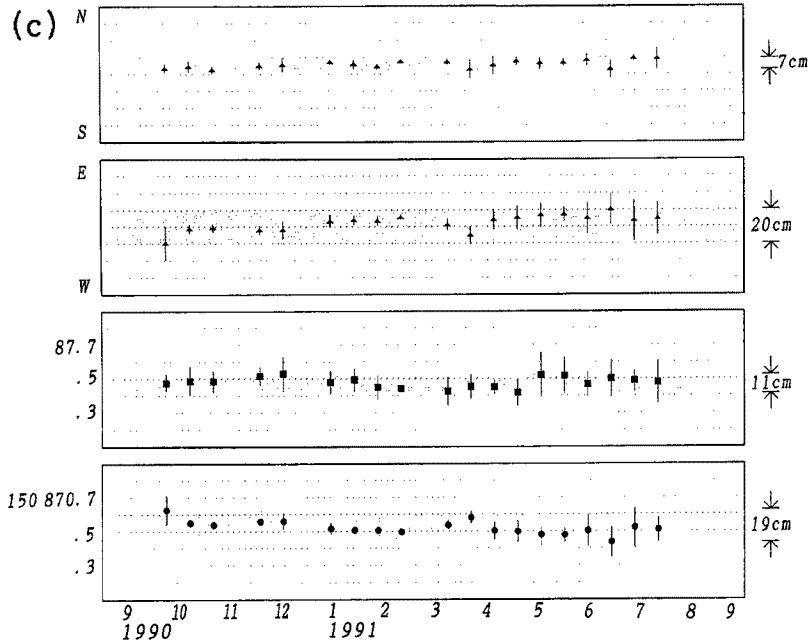


Fig. 4. Results of measurements from September 1990 to September 1991. Closed circles denote mean values of measured ones in each two weeks. (a) KYT-KCH baseline. (b) KYT-ASO baseline. (c) KYT-TTT baseline.

これは、8月から10月半ばの期間の測定が欠けていて、年周期的変化の一部分だけを見ているためであると考えられる。この変化を年周期的変化と考えた場合、その振幅は他の2基線と同じく約1 ppmとなる。ただし、伸び縮みの位相は逆で、冬季に対して夏季の縮みである。

京都一高知、京都一阿蘇基線については、連日測定が1年余りにわたって行われたので、1990年9月と1991年9月との同じ時期の結果を比較することによって、この1年間の変動を調べることができる。この間の基線長変化は、京都一高知基線で約2 cm (7×10^{-8})、京都一阿蘇基線で約4 cm (8×10^{-8})の縮みであるが、年周期的変化の振幅が大きく、これら両基線の変化が有意なものかどうかは判断できない。

4. 考 察

短周期変化と長周期変化とでは、基線間の関係が異なる。すなわち、京都一高知と京都一阿蘇基線の間では、短周期、長周期変化とも相関があり、いずれも基線長に比例した大きさであるのに対して、これら2つの基線と京都一鳥取基線の間では、位相は逆であるが長周期変化だけに相関が見られる。このような基線間の関係の相違は、短周期、長周期変化のどちらも基線網の単純な相似変形（スケールファクターや回転）では説明できないことを意味している。

今回の連日測定の場合、主な誤差要因として考えられるものは、放送暦使用による衛星の位置誤差、および対流圏伝播遅延量の推定誤差である。このうち前者は、その性質上、長周期変化を生じる原因になるとは考え難い。したがって、長周期変化を生じさせているのは後者と判断される。なお、長周期変化は、水平成分特に東西成分にも、高さ成分と同じかそれ以上の大きさで見られる。

次に、測定値の再現性について述べる。2週間ごとの平均値に対する標準偏差はFig. 4にエラーバーとして示されており、これは短期再現性を表すものとみなすことができる。一方、長期再現性を表す1つの指標として、2週間ごとの平均値をさらに平均した値に対する標準偏差をとる。これらと基線長との間の関係

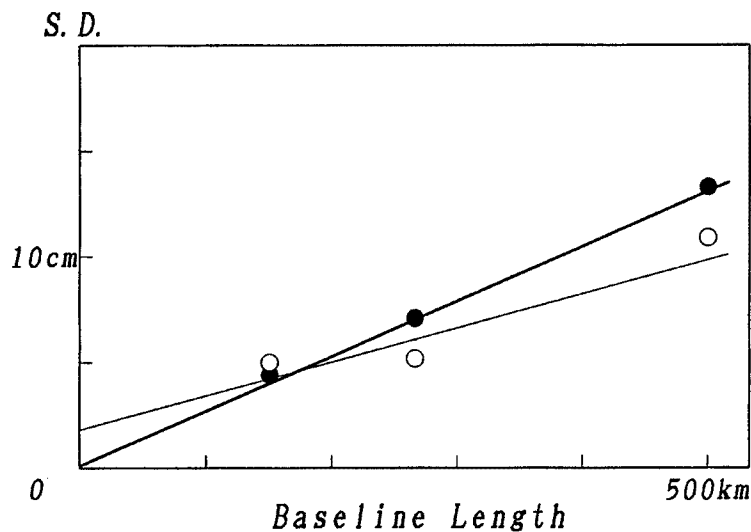


Fig. 5. Relationship between repeatabilities (standard deviations) and baseline lengths. Open and closed circles denote short term and long term repeatabilities for three baselines concerned, respectively. Thin and thick lines denote short term ($(1.8 + 1.6 \times 10^{-7} D)$ cm) and long term ($(0.2 + 2.6 \times 10^{-7} D)$ cm) repeatabilities, respectively, where D is baseline length.

を, Fig. 5 に示す。この図から, 200 km 程度までの比較的短い基線では, 短期再現性と長期再現性はほぼ同等であることがわかる。

5. ま と め

西南日本の4測定点(京都, 高知, 阿蘇, および鳥取)で, GPSの連日測定が, 1990年9月から1991年9月までの1年間行われた。1年間の基線長変化の長期再現性は, 0.26 ppm となり, 200 km 程度までの比較的短い基線においては, 短期再現性と同一程度の大きさとなった。しかし, 1 ppm に達する振幅の年周的变化が見られた。この年周的变化は, 単なる基線間で相関を持つことから, 何らかの系統的な変化であると考えられる。その変化の大きさは, 基線長に比例しているが, 変化の向きは基線の方向に依存しているようである。この系統的な年周的变化は, 解析上の問題で生じたと考えられるが, 現在のところ, その関係は必ずしも明らかではなく, 今後の検討が必要である。

参 考 文 献

- 1) 藤森邦夫・山本剛靖・藪田 豊・鈎卯三郎・田部井隆雄・音崎岳広・小野博尉・迫 幹雄・外 輝明・山田年広・小泉尚嗣・矢部 征・中尾節郎：GPS 連日測定 (序報)—京都・高知・阿蘇・鳥取—, 京都大学防災研究所年報, 第34号 B-1, 1991, pp. 305-311.
- 2) Saastamoinen, J.: Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites, The Use of Artificial Satellites for Geodesy, Geophy. Monogr. Ser., 15, Am. Geophy. Union, 1972, pp. 247-251.