

## 航行中における GPS 測位精度

山中 有一, 松野 保久

### GPS Positioning Accuracy in Ocean Navigation

Yuichi Yamanaka\*, Yasuhisa Matsuno\*

*Keywords:* GPS, HDOP, ocean navigation, C/A code, satellite orbit

#### Abstract

Several investigations have been performed on the GPS positioning accuracy using C/A code at fixed point. However there are few reports in ocean navigation because of difficulty to determine the true positions.

We estimated the positioning error in ocean navigation by using the two dimensional least squares method. As a result, positioning error calculated under all conditions of satellites are in approximate agreement with nominal accuracy. However, the conditional results on satellite combination and observation area had much variation. Therefore we discussed the cause for the variation.

GPS 測位システムは現在試験用衛星も含め13個が稼働しており1991年初頭には実験衛星も含めての24時間二次元測位が<sup>1</sup>, 1991年半ばには実用衛星のみでそれが可能となる予定である。受信機も小型化, 高性能化, 低価格化が進み一般船舶へも普及しつつある。

その測位精度は米国の安全保障上の理由から 2DRMS 値約100m (C/A コード, HDOP 2.5以下) となるよう軌道情報, あるいは時間軸の精度に劣化が加えられている<sup>1)</sup>。

より高精度の測位法として軍事用のPコードを用いる方法, 一定のサービスエリアに補正値を送るディファレンシャルGPSなどがあるが一般船舶に普及するのはC/Aコードを用いるものに限られる。

C/Aコードによる測位精度については多くの報告があるが比較的短期間に定点で行われたものが多く, 得られる衛星の組み合わせ, 衛星配置のパターンには制限を受けている<sup>2)</sup>。「これは衛星の軌道パターンが短期間では測位位置について固定され, 測位時間帯が一日に約3分56秒早まるだけであることによる。航海者の立場からは位置に制限を受けない航行中の精度評価が望まれるが, 高精度ゆえに基準となる位置が得られず評価は困難であるとされ十分な検討はなされていない。そこで筆者らは航行中における測位精度を検討するために測位データを時系列的に処理して海潮流などの影響を除き, 相対的な測位のばらつきについての評価を試みた。

---

\* 鹿児島大学水産学部漁船航海学講座 (Laboratory of Fishing Vessel Navigation, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890 Japan)

## 測定方法

測定海域は鹿児島からマラッカ海峡に至る航路上で、受信器は練習船かごしま丸装備の Trimble 社製 GPS10X Navigator を使用し、緯度、経度、HDOP、測位に使用した衛星番号を1分ごとに記録した。記録には RS-232C インターフェイスを介しパーソナルコンピュータ PC9801CV を用いた。また衛星軌道情報の収集には Trimble 社製 4000SL 受信器、SATVIZ 衛星情報解析システムを使用した。

測位記録は船が等速で直進した区間ごとに43グループに分け、各グループごとに基準点からの相対距離を求めメートルを単位とする平面座標に変換した。各グループの平均測位時間は181.8分、平均航程は34.9マイルであった。各測位点の船側方向成分と船首方向成分のそれぞれに最小自乗法を用いて一次推定船位を求め、測位点との距離を一定誤差とし、さらに海潮流、風などの影響を除去するためにスムージングを行い二次推定船位を計算した後、最

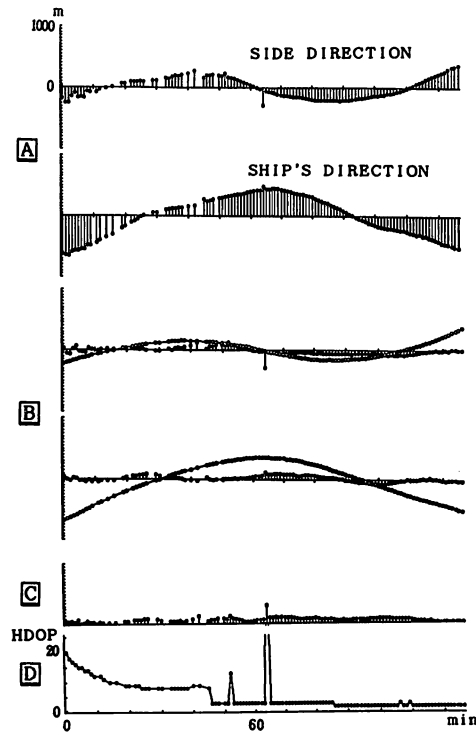


Fig. 1. An example of the process to obtain positioning errors.

- A: Positioning errors by primary process.
- B: Positioning errors by secondary process.
- C: Radial errors by secondary process.
- D: Change of HDOP changing every moment.

最終的な誤差を求めた。この過程の一例を示したのが Fig.1 である。この図から外力による長周期の変動が船側方向, 船首方向それぞれ除去されていることがわかる。こうして得られた誤差をグループ, HDOP, 衛星組み合わせ別に統計処理し, 衛星高度, 方位角のデータも併せて考察した。

### 結果および考察

HDOP11 未満の測位点数は6393点, 衛星組み合わせは33組, 平均 HDOP は3.55, DRMS 値は76.2mであった。この値は筆者らが同一のシステムで行った鹿児島定点での HDOP 10 以下の DRMS 値74.6m<sup>3)</sup>と比べて近い値であり, 航行中の測位精度評価法として妥当であったと推察される。

GPS 測位には誤差の指標として衛星配置によって幾何学的に求められる係数である DOP (Dilution Of Precision) が用いられており, 3 衛星による二次元測位では HDOP として与えられ次式により測位誤差と関連づけられる。

$$\text{HDOP} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} / \sigma_p$$

ここで  $\sigma_x^2, \sigma_y^2$  は水平方向の各成分の分散,  $\sigma_p$  は衛星までの疑似距離の標準偏差であり, さまざまな誤差要因のコンポーネントとしてとらえる場合には UERE (利用者等価距離誤差) とも呼ばれる。

GPS 測位誤差の値は一般に DRMS (放射状誤差の自乗平均) 値で表されるので, 上式から DRMS 値は HDOP と UERE の積に等しくなるはずである。C/A コードによる UERE の値は故意の劣化により約20mとなっている。

Fig.2 は今回測位された HDOP11 未満のデータから HDOP 1 の区間ごとに DRMS 値を求め, HDOP 区間中央値を代表値として計算した DRMS 値との相関を示したものである。

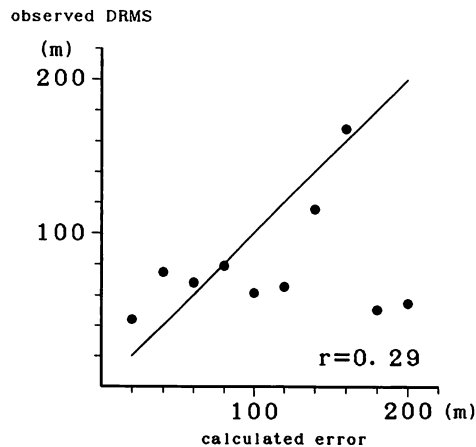


Fig. 2. Comparison of the experimental errors over the interval of HDOP with calculated errors.

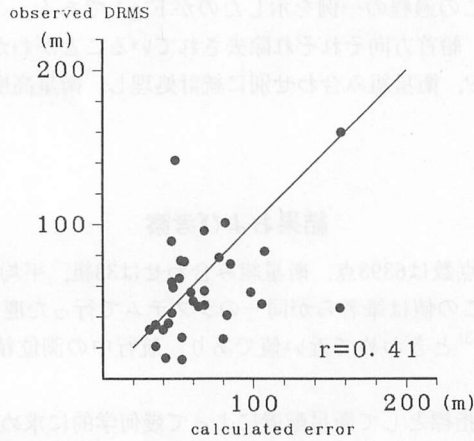


Fig. 3. Comparison of the errors by combination of satellites with calculated errors from the average HDOP.

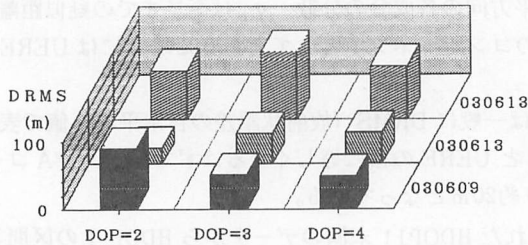


Fig. 4. Variation of DRMS by combination of satellites and HDOP interval.

相関係数は0.29となり必ずしも HDOP の値が適切な誤差の指標となっていないことが示されている。Fig.3 は衛星組み合わせ別に測定 DRMS 値と平均 HDOP より求めた DRMS 値を示したものであり、相関係数は0.41となった。測位点数の多かった HDOP 2 以上 5 未満、衛星組み合わせ030609, 030613, 060911について DRMS 値を示したのが Fig.4 である。このように衛星組み合わせ別に見ても HDOP と DRMS 値の関係は認められない。

さらに Fig.4 に示す 9 個のデータ群を測位グループごとに分けて処理したものが Fig.5 である。この図から同一衛星組み合わせ、同一 HDOP 値であっても DRMS が大きく異なる場合があり、これが HDOP 値と DRMS の関係に影響を与えていることがわかる。この現象についてはグループの位置と衛星組み合わせによって決まる衛星配置との関連が考えられる。一例として衛星組み合わせ030609において異常値を示した No. 40 の測位時間帯における衛星の軌跡を Fig.6 に示す。06, 09 衛星が約  $10^\circ$  の水平交角で平行に移動しているが明確な因果関係は不明であった。今回使用した軌道情報表示システム SATVIZ は測位予報のための

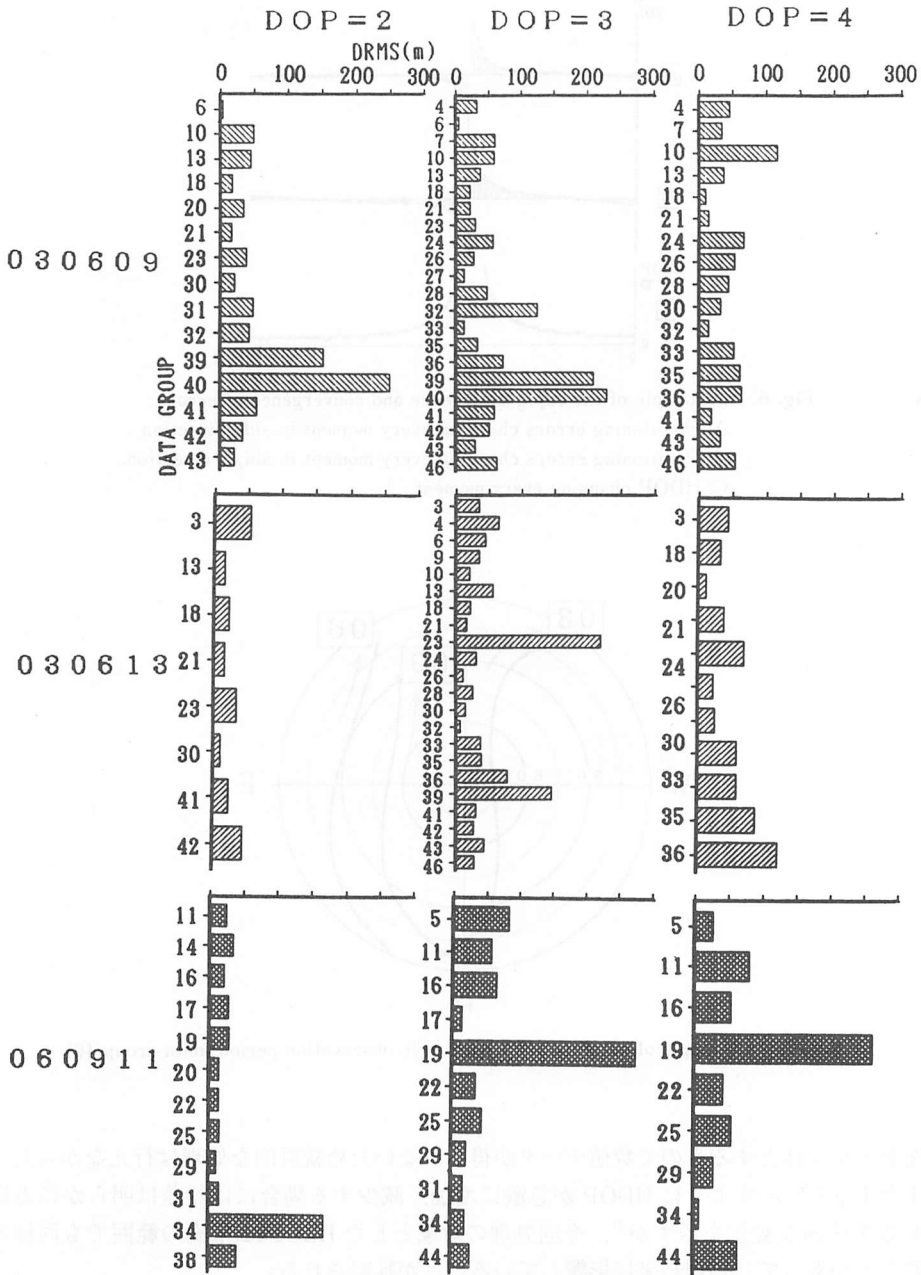


Fig. 5. Variation of DRMS by combination of satellites, HDOP interval and data group.

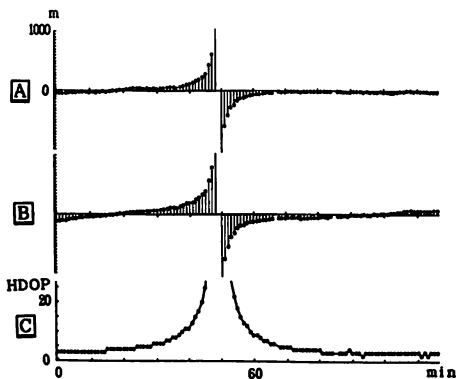


Fig. 6. An example of the rapid divergence and convergence of errors.  
 A: Positioning errors changing every moment in side direction.  
 B: Positioning errors changing every moment in ship's direction.  
 C: HDOP changing every moment.

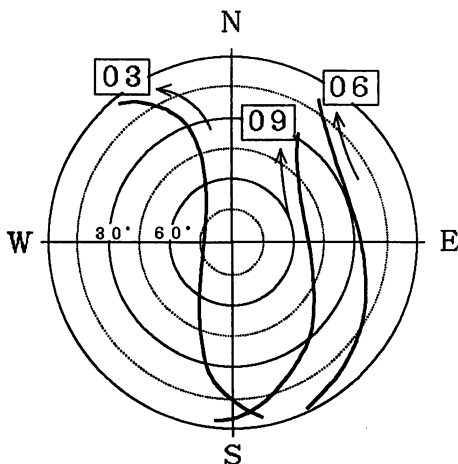


Fig. 7. An example of satellite orbit pattern in observation period (data group 40).

画像表示を主体とするもので数値データが得られないため統計的な処理は行えなかった。

また Fig.7 に示すように HDOP が急激に増加，減少する場合には誤差は明らかに方向性のある系統的な変化を示すが<sup>3)</sup>，今回処理の対象とした HDOP11 未満の範囲でも同様の系統的誤差があって，処理結果に影響していることが推察される。

## 要 約

航行中における GPS 測位精度を検討するため，一定速力で直進したと推定される区間に

において移動平均により外力の影響を除去し、航行中の GPS 測位精度の評価を行った結果 HDOP 10以下 (平均 HDOP 3.55) の時 DRMS 値76.2mを得た。これは UERE = 20mのときの推定値71m, 鹿児島定点における結果74.6mとも近い値であった。ただし HDOP と DRMS 値の関係は衛星組み合わせ, 衛星軌道パターンなどの相違をすべて偶然誤差として総合的に求めた場合にのみ成り立ち, 衛星組み合わせ, 衛星の空間的配置などで条件を与えた場合には成り立たない。実際の航行中の測位では衛星の組み合わせ, 軌道パターンは時間的連続性を持つために測位時の HDOP から直ちに誤差範囲を推定することはできない。誤差範囲のめやすと考えるのが妥当であろう。一方誤差範囲には衛星配置に起因する分布の方向性があり測位精度向上のために利用できる可能性が指摘されている<sup>3)4)</sup>。現在の受信機では衛星の高度方位角の情報は DOP 値の計算に使用されるだけで, 直接精度の指標として利用されていないため測位に使用した衛星の高度, 方位角の記録を得ることができない。受信器メーカーの配慮を望むところである。

最後にデータ収集にご協力頂いたかごしま丸船長はじめ航海士の方々に深く感謝する。

## 文 献

- 1) 日本無線株式会社(1990): セミナー資料 GPS について, pp. 26-27
- 2) 隈川芳雄, 他 4 名(1986): GPS 航法装置の定点における測位精度について, 航海, 90, 58-63
- 3) 松野保久他 4 名(1989): GPS の測位結果について, 航海, 102, 17-26
- 4) 安田明生他 3 名(1988): GPS における GDOP と測位誤差分布について, 日本航海学会論文集, 79, 25-31