

## 北太平洋西部海域における GPSとロランCの相対誤差

久野 俊行, 合田 政次, 中根 重勝

### Relative Error between GPS and Loran C in the Western Area of the North Pacific Ocean

Toshiyuki KUNO, Masaji GODA and Shigekatu NAKANE

In order to put a hybrid navigation with GPS and Loran C in practice, we evaluated the relative error between the position fixes obtained by simultaneous measurement with GPS and Loran C in the western area of the North Pacific Ocean.

We assumed that the difference of the relative error was caused by the relation between the position fixes for the measurement and the Loran C stations. Before the evaluation, we divided the observation area into three parts (area A, area B and area C) according to the values of the 95% radial error and the distance from the slave stations. The values of the 95% radial error of area A and B were less than 1.0 nautical mile (n. m.) and the dividing line was along the line running from the master station to the halfway point between the two slave stations. In area C its value was from 1 to 2 n.m..

In areas A and B, the maximum relative error (average error + standard deviation) was less than 0.5 n.m., but in area C, it was about 1 n.m.. We may conclude that the difference of the relative error resulted from a attenuation of the signal strength and the occurrence of the lane slip because of the distance from the master station.

**Key words :** GPS gloval positioning system; 相対誤差 relative error; 北太平洋 North Pacific Ocean; ロランC long range navigation C system.

著者らは、これまで衛星航法システムNAVSTAR/GPS (以下GPSと記す) とロランCシステムによるハイブリッド航法を行うため、両システムによる位置の相対誤差を把握することを目的として、陸上定点と九州西岸および東シナ海東部海域において、それぞれ両システムの同時測定を行い、それらの測位精度と相対誤差について評価してきた。<sup>1,2,3)</sup>

本報では、北太平洋西部海域において航走中に両システムの同時測定を行い、それらの相対誤差について評価したので、その結果について報告する。

#### 測定方法および資料

測定は、1990年10月～12月および1991年 7月～12月の間、本学部練習船鶴洋丸で、練習航海中に北太

平洋西部海域において、ロランC 9970 チェーンの位置の線の組み合わせが最適であるY局とZ局のペアについて行った。各航海を往路と復路に分けてルート1～8とし、それぞれの時期を Table 1 示す。

使用したGPS受信機は、日本無線(株)製 JLR-4000F で、ロランC受信機は(株)光電製作所製 LR-717全自動型ロランC専用受信機である。GPS位置はこれまでと同様に航法モード、最適衛星選択モードおよびLレベルモードに設定して測定を行った。前述のごとく、本海域ではロランC 9970 チェーンの位置の線の最適組み合わせはY局とZ局のペアであるから、M局-Y局 (以下Yと記す) とM局-Z局 (以下Zと記す) の時間差値および緯度、経度を測定した。両受信機から出力される緯度、経度などのデータは、両受信機とパーソナルコンピュータ

Table 1. Routes and period of the observation

| Route | Year | Date                  |
|-------|------|-----------------------|
| R-1   | 1990 | 26th Oct. ~ 30th Oct. |
| R-2   | 1990 | 11th Dec. ~ 15th Dec. |
| R-3   | 1991 | 6th Jul. ~ 10th Jul.  |
| R-4   | 1991 | 20th Jul. ~ 26th Jul. |
| R-5   | 1991 | 26th Aug. ~ 3rd Sep.  |
| R-6   | 1991 | 7th Sep. ~ 11th Sep.  |
| R-7   | 1991 | 26th Oct. ~ 30th Oct. |
| R-8   | 1991 | 12th Dec. ~ 16th Dec. |

(NEC PC-9801)を接続し, GPSによる測位が可能な場合のみロランCのデータの取り込みを行う様に設定して, 3分間隔でフロッピーディスクに記録した。なおロランC位置は測地系 WGS-72に準拠しているため, これを測地系 WGS-84に変換した。

本測定海域では, 主局, 従局からの信号はいずれも海上伝搬のみであるから, GPS位置を基準として求めたロランC位置の相対誤差が航海によって変化するのは, 測定地点と両従局との位置関係によるものと考え, 各従局からの距離と方位について検討

をした。ロラン位置の線2本を用いて船位を決定した場合に, 松本, 市瀬<sup>4)</sup>らによれば, 時間差の中央誤差を $\pm 1\mu\text{sec}$ とすれば95%半径誤差Rが1および2海里の等精度曲線は, Fig. 1のようになる。そこで, Rが1海里となる曲線の範囲内でY局とZ局を結んだ線の中間点と主局(M局)を結んだ線のY局側(以下A区域と記す)とZ局側(以下B区域と記す)とに分け, さらにRが1および2海里となる曲線で囲まれる海域(以下C区域と記す)とに分けて相対誤差をGPS測位の次元別およびレベル別に計算した。

GPSは1990年には衛星数が13~14個で, 測位可能時間は19時間前後であり, 1991年では衛星数が15~16個に増え, 測位可能時間が20時間前後となった。

### 結果および考察

GPS位置を基準にしてロランC位置の相対誤差を求める場合, いずれかの測定位置が正常でない場合のデータは除外する必要がある。そこで, 基準位置となるGPS位置の精度は, 既報<sup>9)</sup>によればかな

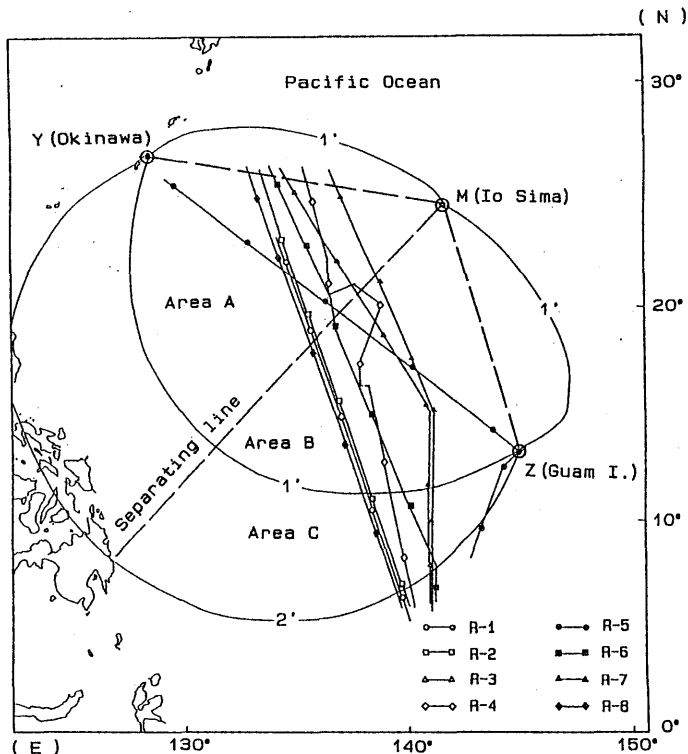


Fig. 1. The wake on the observation area and the separating line. The routes of the figure are shown in Table 1. Arabic numerals indicate the 95% radial error (unit in mile).

**Table 2.** The number of data and the ratio of used data

| Area | Route | Number of data |            |          | Used | Percentage of used data (%) |
|------|-------|----------------|------------|----------|------|-----------------------------|
|      |       | Total          | Eliminated | Rejected |      |                             |
| A    | 1     | 329            | 68         | 9        | 252  | 76.6                        |
|      | 2     | 706            | 0          | 18       | 688  | 97.5                        |
|      | 3     | 408            | 0          | 17       | 391  | 95.8                        |
|      | 4     | 598            | 0          | 23       | 575  | 96.2                        |
|      | 5     | 705            | 80         | 28       | 597  | 84.7                        |
|      | 6     | 592            | 0          | 12       | 580  | 98.0                        |
|      | 7     | 372            | 0          | 11       | 361  | 97.0                        |
|      | 8     | 600            | 0          | 9        | 591  | 98.5                        |
| B    | 1     | 555            | 53         | 11       | 491  | 88.5                        |
|      | 2     | 571            | 508        | 0        | 63   | 11.0                        |
|      | 3     | 757            | 0          | 30       | 727  | 96.0                        |
|      | 4     | 1087           | 121        | 22       | 944  | 86.8                        |
|      | 5     | 707            | 0          | 17       | 690  | 97.6                        |
|      | 6     | 653            | 256        | 13       | 384  | 58.8                        |
|      | 7     | 779            | 0          | 23       | 756  | 97.0                        |
|      | 8     | 533            | 0          | 2        | 531  | 99.6                        |
| C    | 1     | 416            | 101        | 11       | 304  | 73.1                        |
|      | 2     | 395            | 376        | 0        | 19   | 4.8                         |
|      | 3     | 341            | 0          | 12       | 329  | 96.5                        |
|      | 4     | 264            | 22         | 3        | 239  | 90.5                        |
|      | 5     | 237            | 27         | 4        | 206  | 86.9                        |
|      | 6     | 310            | 245        | 1        | 64   | 26.1                        |
|      | 7     | 358            | 126        | 3        | 229  | 64.0                        |
|      | 8     | 369            | 287        | 1        | 81   | 22.0                        |

り精度が良いと判断されるので、データを詳細に検討し、ロランCでは明らかに信号を捕捉していないと考えられる場合やレーンスリップと判断されるデータを除外して計算した。各データの基準位置からの緯度方向の偏位(変緯, 以下 D.lat と記す)と経度方向の偏位(東西距, 以下 Dep と記す)のいずれかが標準偏差の3倍以上となるものは棄却した。各航海における除外データ数, 棄却データ数および使用データ数とその割合を Table 2 に示す。D.lat, Dep および距離(Distance, 以下 Dist と記す)について, それぞれの平均値と標準偏差をA~Cの区域別にまとめたものが Table 3,4,5 である。しかし, そのデータ数が10%以下のものについては省略した。

各ルートの4衛星による三次元測位(以下3Dと記す)と3衛星による二次元測位(以下2Dと記す)のHレベルにおけるD.latとDepの平均値による位置(以下平均位置と記す)を Fig. 2,3,4 に図示した。

### 1. A区域

Table 2 に示した様に, R-1とR-5に除外デ

ータが10~20%程度ある外は, 解析に使用したデータ数は95%以上であったが, M, Lレベルはどの航海においても10%に満たなかった。R-1の除外データには, M, Y局から近い海域で昼間にもかかわらず, Y局の信号が追尾不能になる場合がみられた。また, R-5で, Y局付近ではZ局信号にスリップが生じていた。この海域はZ局より約1000海里と遠いため, 受信信号が弱くてレーンスリップが生じたものと思われる。

Fig.2 に示した様に, 平均位置は全て基準位置から西偏していたが, DistはR-8の450~500mを除けば, いずれも45~105mであった。この区域での最大相対誤差(平均偏位+標準偏差)は, R-8を除くすれば, 0.1海里以下にすぎなかった。

### 2. B区域

この区域では, A区域より除外データが多く, 特にR-2では, 全データの11%しか利用できなかった。また, 除外データは, R-2, 4, 6のように復路で発生していた。いずれもY局の信号にレーンスリップや信号が捕捉されていないと思われる状態が多くみられた。また, R-8で除外データが極め

**Table 3.** The mean values and standard deviations of D. lat, Dep and Distance for each level in area A(unit in meter)

| Route | Dimension | Level | No. of Data | Percentage (%) | D. lat |       | Dep    |       | Distance |       |
|-------|-----------|-------|-------------|----------------|--------|-------|--------|-------|----------|-------|
|       |           |       |             |                | Mean   | SD    | Mean   | SD    | Mean     | SD    |
| 1     | 3 D       | H     | 115         | 35.0           | 4.5    | 39.1  | -69.8  | 25.6  | 69.9     | 46.8  |
|       | 2 D       | H     | 103         | 31.3           | 10.2   | 52.2  | -56.1  | 29.0  | 57.0     | 59.7  |
| 2     | 3 D       | H     | 492         | 69.7           | -35.4  | 47.5  | -57.1  | 30.4  | 67.2     | 56.4  |
|       | 2 D       | H     | 148         | 21.0           | -34.6  | 53.4  | -58.5  | 30.0  | 68.0     | 61.3  |
| 3     | 3 D       | H     | 283         | 68.9           | 42.2   | 38.0  | -85.9  | 27.0  | 95.7     | 46.6  |
|       | 2 D       | H     | 78          | 19.1           | 55.1   | 49.3  | -87.1  | 32.8  | 103.1    | 59.2  |
| 4     | 3 D       | H     | 392         | 65.6           | 0.8    | 41.6  | -65.8  | 24.1  | 65.8     | 48.0  |
|       | 2 D       | H     | 134         | 22.4           | 25.7   | 50.2  | -67.8  | 23.0  | 72.5     | 55.2  |
| 5     | 3 D       | H     | 416         | 59.0           | 23.0   | 81.8  | -70.2  | 61.4  | 73.9     | 102.3 |
|       | 2 D       | H     | 123         | 17.4           | 23.6   | 83.8  | -71.1  | 62.8  | 74.9     | 104.7 |
| 6     | 3 D       | H     | 441         | 74.5           | 11.7   | 50.5  | -59.0  | 36.2  | 60.1     | 62.1  |
|       | 2 D       | H     | 118         | 19.9           | 7.0    | 46.5  | -44.9  | 37.8  | 45.4     | 60.0  |
| 7     | 3 D       | H     | 293         | 78.8           | 51.1   | 35.6  | -83.2  | 30.0  | 97.6     | 46.5  |
|       | 2 D       | H     | 47          | 12.6           | 66.0   | 40.8  | -80.9  | 19.7  | 104.4    | 45.3  |
| 8     | 3 D       | H     | 444         | 74.0           | 159.5  | 261.3 | -474.0 | 109.5 | 500.1    | 283.3 |
|       | 2 D       | H     | 101         | 16.8           | 86.9   | 222.9 | -442.8 | 96.9  | 451.3    | 243.1 |

3 D : three-dimensional positioning; 2 D : two-dimensional positioning; H : high; S D : standard deviation.

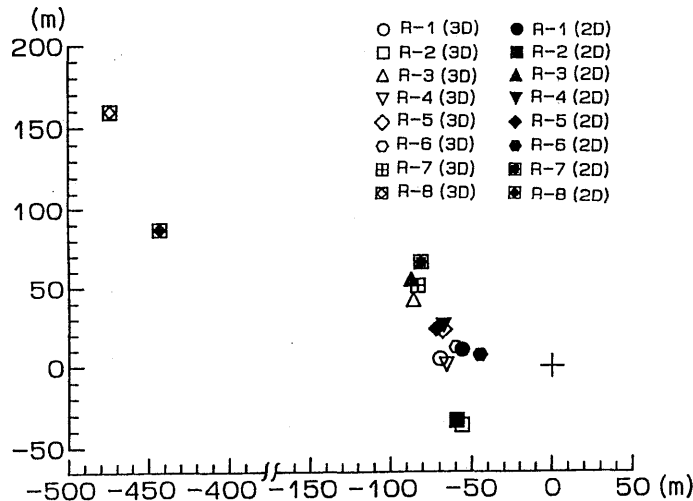


Fig. 2. The relative error between position fixes obtained by Loran C and the high level of GPS in area A. The routes of the figure are shown in Table 1.  
3D : three-dimensional positioning, 2D : two-dimensional positioning  
+ : GPS position.

て少ないのは、測定データからでは明かなレーンスリップとは判断できなかったためであるが、解析の結果 Table 4のように平均値が他と比べて非常に大きくなった。

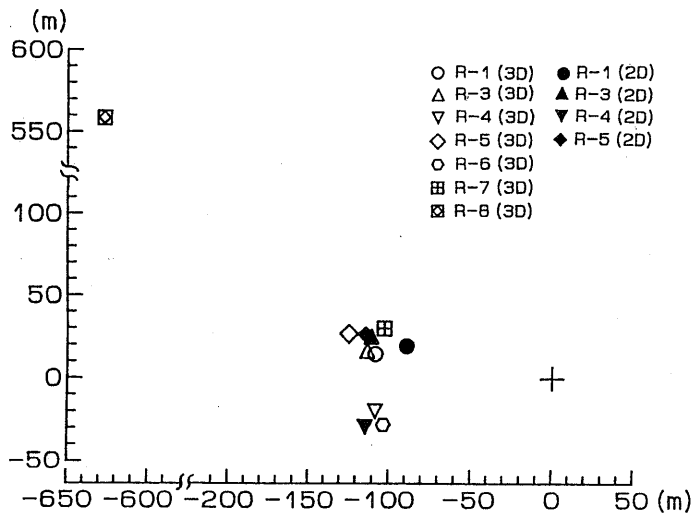
平均位置は、Fig. 3 に示した様にA区域と同様、すべて西偏していた。その Dist はA区域の場合よりやや大きく、R-8で840m、その他は90～130

mであった。理論的には、A区域と同精度の海域であるが、A区域では、各航路は始点と終点がM局からほぼ等距離で、M局-Y局の基線を横切っているのに対し、B区域の各航路は始点または終点の一方がR=1海里の等精度曲線と交わる点であるから、その付近のレーン幅が拡大し、さらに位置の線(LOP)の交角の関係から誤差量が増大したと考えら

**Table 4.** The mean values and standard deviations of D. lat, Dep and Distance for each level in area B(unit in meter)

| Route | Dimension | Level | No. of Data | Percentage (%) | D. lat |      | Dep    |      | Distance |       |
|-------|-----------|-------|-------------|----------------|--------|------|--------|------|----------|-------|
|       |           |       |             |                | Mean   | SD   | Mean   | SD   | Mean     | SD    |
| 1     | 3 D       | H     | 344         | 62.0           | 14.6   | 70.2 | -108.6 | 56.8 | 109.5    | 90.3  |
|       | 2 D       | H     | 94          | 16.9           | 19.4   | 64.5 | -89.3  | 57.7 | 91.3     | 86.5  |
| 3     | 3 D       | H     | 580         | 76.6           | 16.5   | 57.6 | -113.4 | 44.4 | 114.5    | 72.8  |
|       | 2 D       | H     | 124         | 16.4           | 25.1   | 45.3 | -110.9 | 33.2 | 113.7    | 56.2  |
| 4     | 3 D       | H     | 672         | 61.8           | -19.9  | 37.2 | -108.4 | 34.2 | 110.2    | 50.5  |
|       | 2 D       | H     | 215         | 19.8           | -29.3  | 45.5 | -114.5 | 39.4 | 118.2    | 60.2  |
| 5     | 3 D       | H     | 536         | 75.8           | 26.8   | 62.4 | -124.6 | 74.7 | 127.4    | 97.4  |
|       | 2 D       | H     | 108         | 15.3           | 26.4   | 40.3 | -112.2 | 53.3 | 115.2    | 66.8  |
| 6     | 3 D       | H     | 327         | 50.1           | -27.9  | 87.1 | -103.5 | 93.2 | 107.2    | 127.6 |
| 7     | 3 D       | H     | 639         | 82.0           | 30.1   | 47.2 | -103.1 | 37.1 | 107.4    | 60.1  |
| 8     | 3 D       | H     | 468         | 87.8           | 558.4  | 76.5 | -626.7 | 53.2 | 839.5    | 93.2  |

3 D : three-dimensional positioning; 2 D : two-dimensional positioning; H : high; S D : standard deviation.



**Fig. 3.** The relative error between position fixes obtained by Loran C and the high level of GPS in area B. The routes of the figure are shown in Table 1.  
3D : three-dimensional positioning, 2D : two-dimensional positioning  
+ : GPS position.

れる。しかし、最大相対誤差は 0.5 海里以下にすぎず理論値を充分満足する値であった。

**3. C 区域**

この区域の各航路は、11°30'N~8°N の範囲であり、Y 局より約1000~1200海里、M 局より約800~1000海里である。従って、A、B 両区域に比べて信号の捕捉や追尾が困難となり、除外データが非常に多かった。

Fig. 4 に示した様に、A、B 区域に比べ Dist が増大し、ことに R-8 は北方に 870m、R-6 では

西南西に300mと大きく偏し、その他のルートも130~200mであった。しかし、最大相対誤差は、0.2~0.9海里程度を見込めばよく、測定不能の場合が多い海域ではあるが、受信状態が良好ならば、理論値は1~2海里の範囲であるものの1海里以下の位置が得られる。

各局の信号の受信強度を測定していないので断定はできないが、A、B 区域と比較してかなり受信状態が悪かったようである。ロランCの地表波の場合、到達距離は昼間で約1200渾程度で、日出没時および夜間は若干減少するといわれており<sup>6)</sup>、赤道に近く

**Table 5.** The mean values and standard deviations of D. lat, Dep and Distance for each level in area C(unit in meter)

| Route | Dimension | Level | No. of Data | Percentage (%) | D. lat |       | Dep    |       | Distance |       |
|-------|-----------|-------|-------------|----------------|--------|-------|--------|-------|----------|-------|
|       |           |       |             |                | Mean   | SD    | Mean   | SD    | Mean     | SD    |
| 1     | 3 D       | H     | 217         | 52.2           | 121.3  | 277.0 | -146.2 | 155.0 | 190.0    | 317.4 |
| 3     | 3 D       | H     | 253         | 74.2           | 89.0   | 480.0 | -149.8 | 172.5 | 174.3    | 510.0 |
|       | 2 D       | H     | 58          | 17.0           | 179.2  | 489.0 | -95.0  | 181.1 | 202.8    | 521.5 |
| 4     | 3 D       | H     | 171         | 64.8           | 33.8   | 214.6 | -138.5 | 128.1 | 142.5    | 249.9 |
|       | 2 D       | H     | 61          | 23.1           | 76.5   | 201.2 | -111.0 | 111.6 | 134.8    | 230.1 |
| 5     | 3 D       | H     | 200         | 84.4           | 204.1  | 391.5 | -216.7 | 68.1  | 197.7    | 397.4 |
| 6     | 3 D       | H     | 62          | 20.0           | -100.4 | 870.9 | -286.6 | 452.4 | 303.7    | 981.4 |
| 7     | 3 D       | H     | 169         | 47.2           | 46.8   | 382.8 | -195.0 | 187.2 | 200.6    | 426.1 |
| 8     | 3 D       | H     | 81          | 22.0           | 864.7  | 676.3 | 80.1   | 363.3 | 868.4    | 767.6 |

3 D : three-dimensional positioning; 2 D : two-dimensional positioning; H : high; S D : standard deviation.

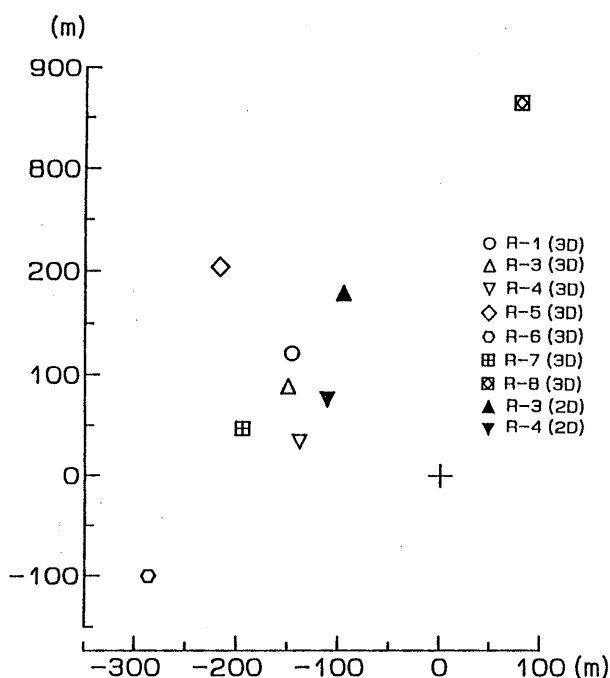


Fig. 4. The relative error between position fixes obtained by Loran C and the high level of GPS in area C. The routes of the figure are shown in Table 1.  
3D : three-dimensional positioning, 2D : two-dimensional positioning  
+ : GPS position.

雑音レベルの高いこの海域は<sup>7)</sup>, Y局から約1000~1200海里で利用範囲の限界付近とみるべきで, 測位精度の急激な低下が生じる場合もあることを考慮して利用すべきである。

#### ま と め

北太平洋西部海域において, GPS位置を基準としてロランC位置の相対誤差を求めた。測定海域を

95%半径誤差と主従局からの距離によって3海域に区分して検討した。

同じ等精度曲線の範囲内でもA, B両海域で差が生じ, B海域ではA海域の約1~1.5倍の値となったのは, 船から主従局までの距離が異なり, そのためレーン幅の変化のみならず, 遠い方の従局信号の信号強度の低下も平均誤差とバラツキの両者に影響を及ぼすためである。A, B両海域で差は生じたもの

の、 $R = 1$  海里の等精度曲線以内では、 $0.1 \sim 0.5$  海里的誤差を見込めばよいと考えられる。また、 $C$  海域でも相対誤差は1海里以下であったが、遠い方の従局信号の  $S/N$  比の低下に伴うレーンスリップがしばしば発生することに留意すべきである。その判別には、短い間隔の測定による連続的なプロットが有効である。

GPSシステムは間もなく完成されようとしているが、米国の政策によりシステムが突然変更されたり、精度の劣化が行われることも考えられるので、バックアップ用としては利用範囲と精度の両面からみて、ロランCシステムが最適である。従って、ロランCは、地理的条件、測定時期、気象条件等種々の要素によりその測位精度が変化するので、今後も測定を重ね評価を続ける必要がある。

最後に、本研究に際し、測定に御協力頂いた鶴洋丸船長秋重祐章助教授および乗組員各位に深甚の謝意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) 合田政次 他2名(1990) : GPSとロランCの陸上定点における相対誤差, 本誌, 68, 53-60.
- 2) 合田政次 他2名(1990) : 五島灘におけるGPSとロランC 9970 チェーンの相対誤差, 日本航海学会誌 航海, 106, 1-8.
- 3) 合田政次 他2名(1992) : 東シナ海東部海域におけるGPSとロランCの相対誤差, 本誌, 71, 177-185.
- 4) 松本吉春, 市瀬信夫(1961) : 電波航法, 海文堂, 151-153.
- 5) 久野俊行 他2名(1991) : GPSの測位精度—VIII, 海外の定点における測定(2), 本誌, 70, 19-28.
- 6) 米澤弓雄(1973) : レーダ・ロラン, 海文堂, 113-119.
- 7) 西谷芳雄(1988) : 電波計器, 成山堂, 181-182.