

関東東方海域におけるGPSとロランCの相対誤差

久野 俊行, 秋重 祐章, 合田 政次, 中根 重勝

Relative Error between GPS and Loran C off the eastcoast of the Kanto district

Toshiyuki KUNO, Yusho AKISHIGE, Masaji GODA and Shigekatsu NAKANE

We measured the relative errors between the position fixes obtained by GPS and those by Loran C system in the Northwest Pacific Ocean, especially off the eastcoast of the Kanto district. The measurements were taken on the training ship, the Kakuyo Maru, on a cruise from August to September, 1994.

Since October, 1994, the new Loran C 8930 Chain system has become available. Therefore we evaluated the relative errors obtained by the old and the new system.

Mean positions of the relative error between the position fixes obtained by GPS and those by 9970 Chain trended northeastward and north-north-westward and error(1σ) ellipses extended almost east and west. The maximum value of the major axis of ellipse was 120m. The maximum positioning errors(average error + standard deviation) were 140~160m. Mean positions by 8930 Chain trended west-north-westward and north-westward and the error ellipses extended north and south or were almost circles. The major axes of ellipses were less than 60m or shorter than those by 9970 Chain.

Key words: GPS global positioning system; 相対誤差 relative error 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、北西太平洋において、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。^{1,2,3,4}

GPSはアメリカの航法政策により、利用上の制約を受けたり、その精度が劣化されることも考えられる。従って、GPSのバックアップ用システムとしては、利用範囲と精度の両面からロランCシステムが適しており、また現在も多くの漁船に利用されているので、その重要性は高い。

ロランCシステムはアメリカから日本に移管され、1994年10月1日より主局が硫黄島より新島に移り、北西太平洋チェーン(識別符号 8930)(以下 8930チェーンと記す)として運用されることになった。⁵正式運用に先立ち1994年8月下旬より試験電波が発射されていたので、本報では北西太平洋のうち、特に関東東方海域において航走中および漂流中に両システムの同時測定を行い、GPSを基準として8930チェーンおよび前北西太平洋チェーン(識別符号 9970)(以下 9970チェーンと記す)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、1994年8月~9月の間、本学部練習船鶴丸の練習航海中に行った。ロランCの両チェーンの配置と測定海域を Fig. 1 に示した。一般にロランCでは、夜間に雑音の増

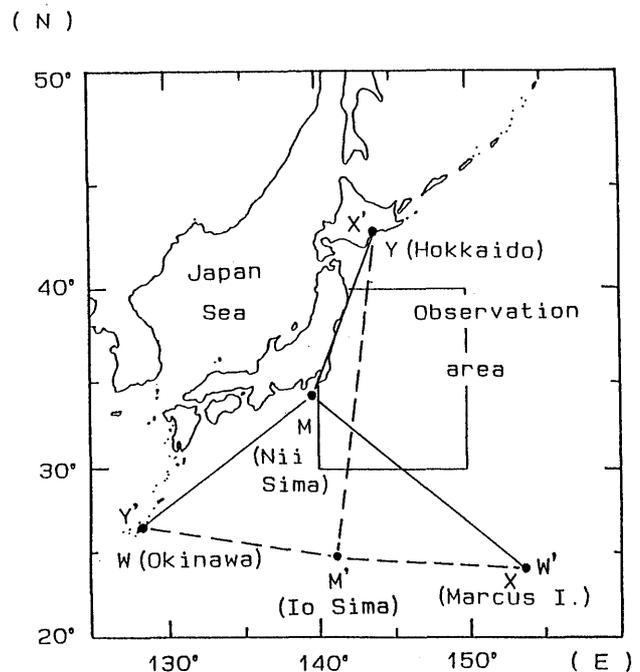


Fig. 1. Observation area and the radio stations of Loran C Chain. M: Master station of Loran C 8930 Chain; W, X, Y: Slave station of Loran C 8930 Chain; Full line: Loran C 8930 Chain; M': Master station of Loran C 9970 Chain; W', X', Y': Slave station of Loran C 9970 Chain; Broken line: Loran C 9970 Chain

加によるS/N比の低下により測位精度が劣化するとされている⁶⁾ので、日出の1時間後から日没の1時間前までを昼間とし、その他を夜間とした。測定海域を主局からの距離により1~11の海域に区分し、その測定の日時と概略位置をTable 1に示し、測定海域を昼夜別にFig. 2に示した。

Table 1. Period and position of observation

Area	Start		End		Day or Night	Position	
	Date	Time	Date	Time		Lat.	Long.
1	9/03	1510 ~	9/03	1700	Day	33.1°N	139.8°E
	9/04	0620 ~	9/04	0850			
1	9/04	0000 ~	9/04	0615	Night	33.1°N	139.8°E
2	9/05	0000 ~	9/05	0400	Night	33.6°N	140.4°E
3	9/02	1040 ~	9/02	1650	Day	34.7°N	140.7°E
3	9/02	1715 ~	9/03	0300	Night	34.6°N	140.5°E
4	9/06	0005 ~	9/06	0535	Night	34.6°N	141.7°E
5	9/06	1200 ~	9/06	1560	Day	35.6°N	141.0°E
	9/07	0730 ~	9/07	1000			
5	9/06	1705 ~	9/07	0345	Night	35.6°N	141.2°E
6	9/01	1710 ~	9/02	0300	Night	35.5°N	141.5°E
7	8/31	1720 ~	9/01	0255	Night	35.0°N	142.1°E
7	9/01	1100 ~	9/01	1650	Day	35.1°N	141.9°E
8	8/31	0600 ~	8/31	1700	Day	35.2°N	142.6°E
9	8/30	1700 ~	8/31	0550	Night	35.9°N	143.3°E
10	8/30	0555 ~	8/30	1655	Day	35.7°N	144.1°E
11	8/29	1700 ~	8/30	0545	Night	35.4°N	145.1°E

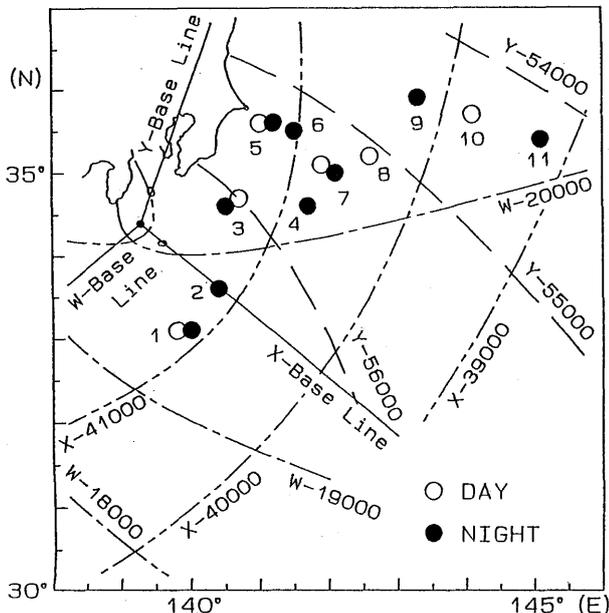


Fig. 2. Day and night observation area and three base lines and lines of position(W, X and Y) on Loran C 8930 Chain.
○ : daytime ; ● : nighttime

使用したGPS受信機は、日本無線(株)製 JLR-4000 F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専用受信機と古野電気(株)製LC-880ロランC航法装置である。GPS位置は航法モード、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。9970チェーンは前報⁴⁾によりWXペアの精度が良好と考えられるので、M局-W局(以下Wと記す)とM局-X局(以下Xと記す)の時間差値およびWとXの組み合わせによる緯度、経度を測定した。また、本海域における8930チェーンの位置の線の最適組み合わせは場所によりXYペアとWXペアとが考えられるので、W、XとM局-Y局(以下Yと記す)のそれらを測定した。LR-717全自動型ロランC専用受信機は9970チェーンに設定して、出力される緯度、経度などのデータを、GPS受信機、ロラン受信機とパソコン(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、フロッピーディスクに5分間隔で記録した。また、LC-880ロランC航法装置は8930チェーンに設定して、出力される緯度、経度などのデータは、プリンター(FP-70)により5分間隔で前者と同時刻に記録した。なおロランC位置は、GPS測地系WGS-84の位置に変換した。

GPSは1994年8月には衛星数が25個となり、システムは完成されつつあり、三次元測位ではほぼ24時間測位可能となっているので、本報ではそのHレベルについてのみ解析を行った。

結果および考察

基準位置となるGPS位置の精度は、既報⁷⁾によればかなり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ンスリップと判断されるデータを除外して計算した。今回の測定では両チェーンともに明かなレンスリップは認められなかったが、8930チェーンでは信号を捕捉できないことが多かった。従って、8930チェーンで測位が可能であった時間帯についてのみ、比較検討を行った。そこで、GPS位置を基準位置として両チェーン位置との相対誤差を求めた。この場合、各データの緯度方向の偏位(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(3σ)以上となるものは棄却した。9970チェーンにおけるD.lat, Depおよび両位置間の距離(Distance, 以下Distと記す)について、測定海域毎の昼夜別に、それぞれの平均値と標準偏差をTable 2に、8930チェーンにおけるそれらをTable 3に示した。また、Table 2, 3より各海域毎に基準位置からのD.lat, Depによる平均位置(以下平均位置と記す)を中心とした1σの誤差楕円を昼間についてはFig. 3に、夜間についてはFig. 4に示した。

1. 9970チェーンの誤差

測定海域は、送信局からの電波はほとんど海上伝搬のみであり、受信状態は比較的良好であった。

昼間の場合には、Fig. 3に示した様に海域1において、平

均位置は北北西に偏しており、その他の海域では北東から北の方向に偏している。誤差楕円は、海域8,10ではほぼ円になった他は、横長の楕円になっており、D.lat より Dep のバラツキが大きかった。夜間の場合、Fig. 4 に示した様に海域1,

Table 2. The relative error between position fixes obtained by GPS and Loran C 9970 Chain system (unit in meter)

Area	Day or Night	Pair	Number of Data	D.lat		Dep		Distance	
				Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1	Day	W-X	44	67.2	27.4	-43.0	42.3	88.2	33.5
1	Night	W-X	51	74.0	47.0	-46.3	87.2	118.5	58.3
2	Night	W-X	29	112.1	39.9	73.4	91.0	157.4	55.3
3	Day	W-X	25	104.7	55.5	91.6	82.2	157.4	66.5
3	Night	W-X	67	86.9	38.8	69.0	89.9	139.0	50.9
4	Night	W-X	43	98.6	49.4	83.0	157.4	177.4	111.3
5	Day	W-X	57	72.7	36.3	39.2	54.0	98.7	36.1
5	Night	W-X	71	68.9	36.4	62.6	71.0	114.6	43.7
6	Night	W-X	74	64.2	39.2	59.7	118.5	131.8	76.9
7	Day	W-X	28	76.1	44.7	34.6	57.9	104.0	39.2
7	Night	W-X	68	79.9	41.4	23.9	67.4	105.6	45.3
8	Day	W-X	46	96.0	50.2	33.9	50.0	114.8	47.1
9	Night	W-X	109	71.3	40.9	-7.5	62.0	95.4	39.3
10	Day	W-X	99	80.4	47.3	0.0	49.5	95.7	44.6
11	Night	W-X	106	79.3	41.3	-32.0	45.4	97.2	40.5

SD : standard deviation

Table 3. The relative error between position fixes obtained by GPS and Loran C 8930 Chain system (unit in meter)

Area	Day or Night	Pair	Number of Data	D.lat		Dep		Distance	
				Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1	Day	W-X	44	-145.0	25.9	-104.7	23.0	180.3	26.1
1	Night	W-X	52	-142.9	34.2	-111.1	32.3	184.7	29.4
2	Night	X-Y	30	45.1	26.9	36.8	27.5	65.7	23.4
3	Day	X-Y	24	15.0	59.9	-36.9	47.5	75.5	41.6
3	Night	X-Y	67	14.6	35.4	-1.7	26.7	41.0	22.4
4	Night	X-Y	45	2.5	36.4	-23.2	26.1	45.0	22.9
5	Day	X-Y	57	14.5	34.1	-51.2	28.1	63.5	27.4
5	Night	X-Y	74	-1.9	35.2	-26.6	32.3	47.1	27.8
6	Night	X-Y	75	1.1	37.0	-27.0	41.4	54.4	29.3
7	Day	X-Y	28	27.2	45.8	-59.1	39.6	80.6	37.4
7	Night	X-Y	68	3.6	34.2	-27.7	28.9	45.4	26.8
8	Day	X-Y	46	2.5	49.6	-43.0	32.9	63.0	37.9
9	Night	X-Y	108	7.3	32.3	-30.0	30.6	48.1	24.8
10	Day	X-Y	97	21.7	51.8	-52.9	45.7	79.4	41.6
11	Night	X-Y	106	1.9	33.7	-38.9	27.0	52.4	25.1

SD : standard deviation

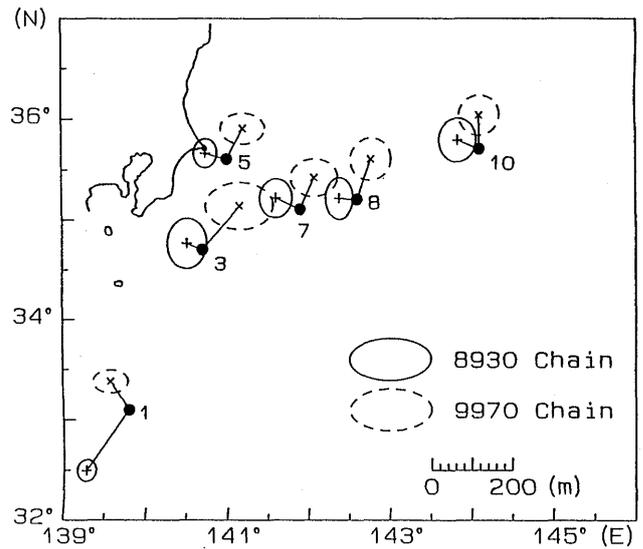


Fig. 3. The mean positions and error ellipses of 1σ of D.lat and Dep between the position fixes obtained by GPS and Loran C systems during the day in each area. Arabic numerals are shown in Table 1.

● : observation area; + : mean position of relative error obtained by 8930 Chain; × : mean position of relative error obtained by 9970 Chain

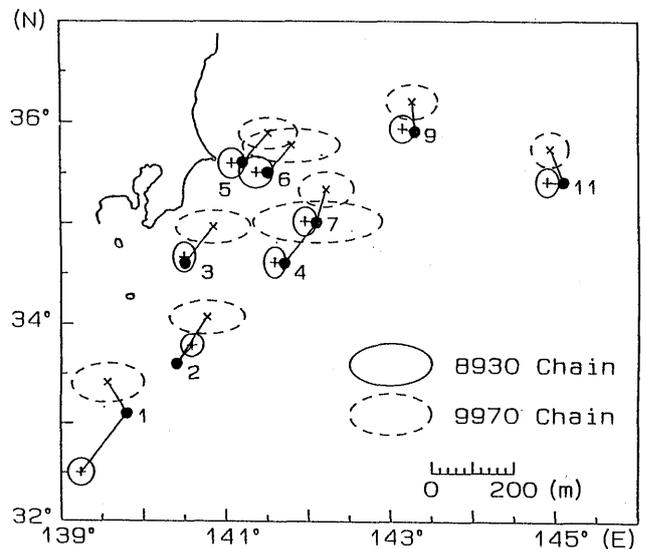


Fig. 4. The mean positions and error ellipses of 1σ of D.lat and Dep between the position fixes obtained by GPS and Loran C systems during the night in each area. Arabic numerals are shown in Table 1.

● : observation area; + : mean position of relative error obtained by 8930 Chain; × : mean position of relative error obtained by 9970 Chain

11で平均位置が北北西に偏し、他の海域ではほぼ北東から北に偏している、昼間と同様の傾向であった。誤差楕円は、ほとんどの海域で横長の楕円となった。

以上のように、昼間と夜間との間に顕著な差は見られなかった。D.lat の平均値は60~110mで、その標準偏差は60m以下であり、Dep の平均値は-30~100m、その標準偏差も海

域4を除外すれば120m以下であった。また、最大位置誤差(平均偏位+標準偏差)は、140~220m程度であった。海域4でDepの標準偏差が約160mと他と比較して大きかったので、データを詳細に検討したところ、9月6日4時10分~4時50分までの間、レーンスリップによるものではなかったがロランC位置にバラツキがあることがわかった。従って、断定はできないが、何らかの気象条件により大気屈折率が変化し、ロランC電波の伝搬に影響を与えたものと考えられる。これらのデータを除外して計算してみると、Depの標準偏差が100m以下となり、他の海域と同様な結果となった。

前報⁴⁾の結果と比較してみると、海域1以外はD.latとDep共に平均位置や標準偏差にも大きな違いはみられず、ほとんど同様な結果となった。海域1では、八丈島の南西側至近に錨泊していたため、陸の影響を受けたためと考えられる。

2. 8930チェーンの誤差

8930チェーンの場合には、Fig. 2より海域1はWXペアが、他の海域ではXYペアが最適な組み合わせと考えられる。また、海域1以外はどの局からの電波も海上伝搬のみである。

平均位置は、海域2の夜間で北東に、海域3の夜間は北へ偏しているものの、他の海域は西北西から北西の方向に偏している。海域1の平均位置は、9970チェーンと同様に他とは方向が異なって、南西方向に偏している。誤差楕円は、D.latの標準偏差がDepのそれより若干大きな誤差楕円となった。ロランCでは通常、夜間の方が昼間より精度が劣化すると考えられているが、今回の測定結果では逆の傾向がみられ、昼間の誤差楕円の方がやや大きかった。

海域1を除外すれば、D.latの平均値は-2~50mで、その標準偏差は60m以下であり、Depの平均値は-60~40m、標準偏差も50m以下であった。また、最大位置誤差は、70~120m程度であった。海域1においては、標準偏差は35m以下で誤差楕円は小さかったが、D.lat、Depとも100m以上あり、最大位置誤差は約200mとなった。

9970チェーンと比較してみると、誤差楕円には昼間の場合大きな差はみられないが、夜間の場合は小さくなっている。また、相対誤差は全て小さくなっているため、最大位置誤差は約半分となっている。今回の測定結果だけでは断定はできないが、新チェーンになって主局が新島に移ったことにより関東東方海域においては、精度が向上したものとと言える。

ま と め

関東東方海域において、GPS位置を基準としてロランC

位置の相対誤差を求めた。本報では、特に北西太平洋チェーンが新しく運用開始されることになったので、8930チェーンの試験電波と9970チェーンの同時測定を行い、それぞれGPS位置と比較して評価を行った。

その結果、9970チェーンによる相対誤差の平均位置は、島の陰のような特殊な海域を除いて、西に行くにつれて北東から北北西に偏する傾向がみられた。その大きさは、最大位置誤差が140~220m程度であり、誤差楕円も南北方向より東西方向が大きくなる傾向がみられたが最大でも120m程度であった。また、8930チェーンによる相対誤差の平均位置は、一部の海域を除いて西北西から北西に偏して、その大きさは最大位置誤差で120m程度であった。誤差楕円は、やや縦長かまたはほぼ円となり、その半径は60m以下となり、精度が向上したと言える。

新チェーンの測定は、関東東方海域におけるXYペアでの測位がほとんどであったので、さらに遠方の海域についての測位精度や他のペアによる組み合わせなどについても測定して行く必要がある。なお、1996年1月にはロランC国際協力チェーン構築に伴い、韓国に従局が増える予定⁸⁾になっており、九州西方や日本海では利用範囲だけでなく測位精度も変化すると考えられるので、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: 五島灘におけるGPSとロランC 9970チェーンの相対誤差, 航海 106, 1-8 (1990).
- 2) 合田政次 他2名: 東シナ海東部海域におけるGPSとロランCの相対誤差, 長崎大学水産学部研究報告 71, 177-185 (1992).
- 3) 久野俊行 他2名: 北太平洋西部海域におけるGPSとロランCの相対誤差, 長崎大学水産学部研究報告 74, 75, 1-7 (1993).
- 4) 久野俊行 他2名: 北太平洋西部におけるGPSとロランC 9970チェーンの相対誤差, Navigation 121, 31-35 (1994).
- 5) 海上保安庁: 水路通報, 25, 10 (1994).
- 6) 田ロー夫: ロランCとデッキの伝搬-II, 日本航海学会誌 航海, 93, 93-100 (1987).
- 7) 久野俊行 他2名: GPSの測位精度-VIII, 長崎大学水産学部研究報告 70, 19-28 (1991).
- 8) 海上保安庁: 水路通報, 28, 8 (1995).