オメガシステムによる測得位置について

米田国三郎*・佐々木成二*

On a Fixed Position by the OMEGA Navigation System

Kunisaburo YONETA and Seiji SASAKI

Abstract

Ships equipped with the OMEGA navigation system, have been increasing these recent years. However, the evaluation of a given position in this system, is still not fixed. The authors measured OMEGA signals of C-H, D-H and E-H pairs on the going and returning voyages between Japan and Australia from the 15th of January till the 10th of March, 1978. The results were as follows;

- (1) On the received condition of OMEGA signals, the E-H pair was fine during all coverage, but the C-H and D-H pairs were worse while going southward, especially, the C-H pair was the worst at nighttime in the South Pacific Ocean.
- (2) The fixed position by C-H and E-H pairs have comparative stability and confidence in daytime, but they have no stability and confidence at nighttime and an hour around sunrise and sunset.
- (3) A user must be careful about the included angle based on the direction from OMEGA stations, because fixed positions have large errors in the area of a small included angle, even if the OMEGA signal can be received in fine condition.

1. 緒 言

近年オメガ受信器を装備する船舶が増加しているが、このシステムによって得られる位置に対する評価は一定していない。筆者らは1978年1月15日から3月10日までの間、北海道大学水産学部練習船北星丸による日本、オーストラリアの往復航海中に衛星航法システムにより得た位置に基づき、オメガ信号の測得値を比較、検討することにより、海上における利用者がどの程度信頼して使用出来るかについての評価を試みた。受信器は2チャンネルのため、C-H, D-H pair (1月15日～1月20日)と C-H, E-H pair (1月20日～3月10日)の組合わせにより測定を行った。受信周波数は 10.2 KHz である。

2. 受信状態

測定海域および記録紙上から見た日々の測定困難または不能であった時間を Fig. 1 に示す。位置は世界時の正午を用いて示してある。D-H pair の観測時間数は延べ137時間であり、このうち16.37時間が測定不能であり、南下するに従い、その時間数も長くなる傾向がみられた。E-H pair については全海域にわたり受信状態が良好であり、南太平洋において一日だけ長時間連続して測定が不能であっただけである。すなわち観測時間数1119時間に対し10.75時間が不能であったに止まる。C-H pair では観測時間数1256時間に対し143.87時間が測定不能であった。特徴として北半球における測定不能時間数は少ないが、南半球、特にニューカレドニアの南西海域で多く、Fig. 2 のような状態が時には半日以上続くこともあった。

E-H pair に比べ C-H pair の受信状態が悪いことからその原因は C 局からの信号伝搬に問題があると考えられる。Fig. 3 に日々の測定不能時刻および C 局と測点の日出没時を示した。測定不能の時刻帯は C 局の日没時から測点の日出時との間の時刻とよく一致しており、夜間に測定不能となることがあきらかである。また赤道付近よりニューカレドニアに至る海域 (1月21日頃より2月5日頃) では C 局と測点の日出没時の中間頃、すなわち世界時の6時と18時付近で Fig. 4 にみられるような位相の異常が認められた。

* 正会員 北海道大学水産学部 (函館市港町 3-1-1)

Fig. 1 The observed area and the time of impossible observation condition each day.

Fig. 2 Example of an impossible observation condition for the C-H pair.

Fig. 3 Time zone of an impossible observation condition for the C-H pair.

CR : sunrise at C Station CS : sunset at C Station SR : sunrise at a position by the satellite navigation system SS : sunset at a position by the satellite navigation system

Fig. 4 Example of an abnormal phase difference for the C-H pair about 06 and 18 hour of U. T.

Fig. 5 The measurement error of the phase difference.

A : daytime B : an hour around sunrise and sunset
C : nighttime

れるが、細分化による資料数の不足をきたす恐れがあること、大略どの程度の誤差を想定しておけば安全であるかを概括的にみることにし、全海域を一括して検討することとし、時刻帯を昼間、日没時（日没前後1時間

3. 測定結果

3.1 測得誤差

衛星航法システムにより測得した位置に基づきオメガ Lop 値を計算し、これを理論値とした。同時に測得したオメガレーン値に PPC を加減し、測得値とした。PPC 値は現在刊行されている表を利用した。理論値と測得値との差を求めこれを測得誤差とよぶことにする。測定は赤道をはさんで 41°N から 35°S までと広範であり、伝搬経路の相違など海域により測得誤差に差異が出るのが考えら

Table 1. The measurement error of the phase difference (unit : cec).

A : daytime B : an hour around sunrise and sunset

C : nighttime N : number of data X : mean value

S : standard deviation around theoretical value

OMEGA pair	C-H				D-H				E-H			
condition	A	B	C	Total	A	B	C	Total	A	B	C	Total
N	257	107	236	595	31	8	38	77	209	97	197	503
X	6.4	-2.0	-0.9	2.1	4.4	1.2	7.7	5.7	-2.3	-11.4	-24.5	-12.8
S	14.30	30.98	39.44	29.45	12.32	18.34	14.71	14.24	11.36	24.52	31.46	23.61

Fig. 6 The distance error of the phase difference.

A : daytime B : an hour around sunrise and sunset

C : nighttime

均一に分布しており、理論値の回り $\pm 10\text{cec}$ 内にわずか20.0%が含まれるだけである。また E-H pair の場合、分布の中央値は -30cec 付近にあり、 $\pm 10\text{cec}$ 内には7.8%であった。しかしながら問題は衛星航法システムで求めた基準位置とオメガ測得位置とどの程度合致するかということであり、距離で表わす必要がある。そこでこれらの測得誤差を距離に換算して示したのが Fig. 6 と Table 2 である。分布範囲は昼間で5マイル以内、日没時、夜間ではそれよりも大きく10マイル以内であった。標準偏差は昼間で各 pair とも1マイル台であるのに対し、日没時、夜間では D-H pair を除いて3~5マイル弱と大きな値を示した。これらの誤差は位置決定の際の誤差となる。一般に測定位置の評価は位置確率または誤差界によってなされるが、伝搬経路により信号

Table 2. The distance error of the phase difference (unit : n.m.).

A : daytime B : an hour around sunrise and sunset

C : nighttime N : number of data X : mean value

S : standard deviation around theoretical value

OMEGA pair	C-H				D-H				E-H			
condition	A	B	C	Total	A	B	C	Total	A	B	C	Total
N	257	102	236	595	31	8	38	77	209	97	197	503
X	0.8	-0.1	-0.1	0.3	0.5	0.2	0.9	0.7	-0.3	-1.3	-2.8	-1.5
S	1.73	3.87	4.80	3.60	1.41	1.98	1.69	1.79	1.41	2.96	3.81	2.86

以內), 夜間の3層化に止めた。

Fig. 5 に測得誤差の頻度分布を示し、Table 1 にその平均および理論値の回りの標準偏差を示す。ただし後述するが E-H pair の場合、両局からの伝搬方位の夾角が 30° 以下の資料は除いた。D-H pair の場合は資料数が少なくはっきりしたことはいえないが、いずれの pair も昼間において標準偏差は小さく、日没時、夜間に大きな値を示した。昼間の C-H pair では理論値の回り $\pm 10\text{cec}$ 内に 67.5%, E-H pair では 58.8%が入るのに対し、夜間では C-H pair の頻度分布はほぼ台形状であり、誤差が広い範囲にほぼ

Table 3. The relative errors of OMEGA's position to a fixed position by the satellite navigation system (unit:n.m.).

A : daytime B : an hour around sunrise and sunset C : nighttime N : number of data
X : mean value S : standard deviation around theoretical value

OMEGA pair		C—H, D—H			C—H, E—H		
		D.lat	Dep	Dist.	D.lat	Dep	Dist.
A	N	31	31	31	202	202	202
	X	0.3 S	0.4 W	4.2	0.6 N	0.9 W	1.9
	S	5.78	1.30	5.93	1.51	1.78	2.33
B	N	8	8	8	78	78	78
	X	4.8 S	0.0	5.8	1.3 N	0.0	4.4
	S	7.30	1.82	7.52	2.94	4.32	5.23
C	N	38	38	38	168	168	168
	X	3.7 S	0.8 W	5.2	2.7 N	0.3 E	6.5
	S	8.07	1.63	8.23	4.08	5.51	6.85
Total	N	77	77	77	448	448	448
	X	2.5 S	0.5 W	4.9	1.5 N	0.3 W	4.1
	S	7.15	1.53	7.31	2.96	4.01	4.98

Fig. 7 Distribution of the position fixed by C-H and D-H pairs.
● : daytime + : an hour around sunrise and sunset
○ : nighttime

強度が異なり、また位置線の交角が刻々変化する航海中の資料を一括して論ずる場合困難があるため、単に基準位置からの変緯、東西距をもって表わし、直行距離を加えて C-H, D-H pair の組み合わせ 77 例、C-H, E-H pair の組み合わせ 448 例について示したのが Table 3 である。C-H, D-H pair の組み合わせで変緯の標準偏差が東西距のそれと比べて大きな値を示しているのは両位置線の方位が南北に近く C-H pair では大略 194° 、D-H pair では $168^\circ \sim 180^\circ$ で交角が $11.2^\circ \sim 22.5^\circ$ と小さいためである。C-H, E-H pair の組み合わせの場合、位置線の方位は C-H pair では $200^\circ \sim 163^\circ$ 、E-H pair では $115^\circ \sim 63^\circ$ であり、交角は $79^\circ \sim 90^\circ$ であった。変緯より東西距の標準偏差が若干大ききなのは、Table 2 にみられるように C-H pair のばらつきが E-H pair より大きいことによる。そして基準位置に対するオメガ測得位置の分布を昼間、日没時、夜間に分けて示した

Fig. 8 (a) Distribution of the position fixed by C-H and E-H pairs at daytime.

Fig. 8 (b) Distribution of the position fixed by C-H and E-H pairs at an hour around sunrise and sunset.

Fig. 8 (c) Distribution of the position fixed by C-H and E-H pairs at nighttime.

この位相の異常は日没時頃に起きていることから電離層高さの変化によるものと思われるが、PPC 表による補正が十分でなかったのか、あるいはたまたまこの時期、この海域に現われた一時的現象であるのか判然としないが、いずれにしろ夜間における測得誤差を大きくしている一因であり、利用者にとっては注意しなければならない事項である。

3.2 基線延長線近傍における測得値

双曲線航法において位置線の精度が最もよいのは基線上であり、夾角が小さくなるに従い精度は悪くなり、基線延長線上では利用出来ない事がよく知られている。今回測定した E-H pair は夾角が 30° 以下となる北日本沿岸域が含まれており、基線延長線近傍の値を記録することが出来た。この付近の受信状態は Fig. 1 よりみて観測不能な時間は少なく、受信記録などからみても良好な状態であった。また測得誤差の理論値の回りの標準偏差をこれまでに測得したのと比較しても差はなく同程度のばらつきを示している。

のが Fig. 7, 8 (a)(b)(c) である。Fig. 8 (a) において、原点より半径 1 マイル内に 28.7%, 2 マイル内に 57.9%, 3 マイル内に 87.6% が含まれ、C-H, E-H pair による昼間の位置はほぼ安定した信頼性のあるものといえよう。しかしながら日没時の場合 3 マイル内に 33.5%, 5 マイル内に 69.3% が入りばらつきが大きくなり、夜間では 3 マイル内にわずか 6.5%, 5 マイル内でも 23.2% しか含まれず、5 ~ 8 マイルに全体の 47.6% を占めていて昼間とは大きな差がみられ信頼度が低いといえよう。またさきに述べた赤道付近からニューカレドニアに至る海域で位相の異常が記録された 6 時と 18 時頃の間の時刻帯に測定されたものについては Fig. 8 (c) の北西方向に一団となって分布している部分に示されている。

Fig. 9 (a) Relation between the included angle and the distance error at daytime.

Fig. 9 (b) Relation between the included angle and the distance error at an hour around sunrise and sunset.

しかし夾角の小さい海域ではこれを距離に換算した時大きな値となるのは当然の結果である。いま位相を変動させる様々な要因を無視し、単に夾角を横軸に、距離誤差の絶対値を縦軸にとって全海域を昼間、日没時、夜間に分けて示したのが Fig. 9 (a)(b)(c) である。夾角 30° 以下の場合、いずれも距離誤差は大きな値となり昼間において75マイルという値も記録され、平均でも13マイルの誤差があった。日没時、夜間においても同程度の平均値となり、標準偏差は14.0~20.9マイルであり、交角 30° 以上の Table 2 に示した値と比べ相当大きく、基線延長線近傍における測位が非常に不安定なものであり、誤差が大きくなることを示している。なお図中の点線はごく単純に夾角 10° 毎の標準偏差を求め、 $\sigma = a\varphi^{-b}$ の型でならして描いたものであり、位相を変動させる要因については考慮されていない。したがってこの曲線が即、夾角の変化に対するばらつきを示すとはいえないが、ある程度の目安となるであろう。

Fig. 9 (c) Relation between the included angle and the distance error at nighttime.

4. 結 言

1978年1月15日から3月10日までの間、Fig. 1 に示す海域においてオメガによる測位を行ない、衛星航法システムで測得した位置と比較した。測得した記録紙上からの受信状態を見ると、E-H pair は良好であるが C-H pair はC局の日没から測点の日出までの間、すなわち夜間が不安定であり、特にニューカレドニア南海域が悪く、しかも長時間におよんでいる。Fig. 2 の状態をみると、信号強度の低下により受信出来なかったと思われる。地理的にみてC信号はBortzら⁽⁴⁾による -20 dB 領域からはづれていることと関連しているものと思われる。

C-H, E-H pair による測位結果は昼間において基準位置から3マイル内に87.6%が納まり比較的良好な位置が得られると判断されるが日没時、夜間には受信状態の不安定さと共に測得位置のばらつきが大きく信頼性に乏しい。またE-H pair では夾角が小さくなると急激に距離誤差が大きくなり、海域によっては位置測定に適さないため注意する必要がある。

最近のオメガ受信器は電算機を組み込み、緯度、経度をデジタル表示する自動式が多くなり、オメガチャートやテーブル、補正表等が必要なく、利用者にとっては非常に便利になって来ている。反面これらを利用することによって得られるオメガ情報に無関心となりがちとなる。そのため測得位置が推測位置から決められた一定範囲を外れた時に警報を出す装置を有するものもあるが、その原因まで表示するものはない。また測位誤差は種々の要因が複合しているのが現実であるから表示することは不可能に近い。しかしながら電算機を有するオメガ受信器では測点における局からの伝搬方位、距離を求めることは可能であり、それらから夾角、位置線の交角は容易に計算出来る。これら幾何学的に求め得る要素を常に計算させておき、利用者の求めに応じてそのつど表示させる方法を取り入れるなら、今回のようなC-H, D-H pair による交角の悪い場合、あるいはE-H pair の基線延長線近傍の測定等は事前に他の局に変更出来、最適組局を選定する際の参考となり、オメガ測得位置に対する信頼性も増すであろう。また伝搬方位、距離を知ることが位相の伝搬状態の良否にある程度の目安を与えることにもなり、それだけ確度の高い位置を求める助けになると考える。最後にオーストラリア局が完成されていない現在、局の選定は限られており、南太平洋においてオメガシステムを利用する場合は他の方法による測位も行ない、位置決定に十分な配慮が必要であろう。

おわりにこの実験に御協力くださった北海道大学水産学部練習船北星丸ならびに漁業航海学講座関係者各位に

深謝する。

参 考 文 献

- (1) J. E. Bortz, Sr., R. R. Gupta, D. C. Scull and P. B. Morris : Omega Signal Coverage Prediction, *The Journal of Navigation*, 23 (1), 1~9, 1976.

質 疑 応 答

田口 一夫 :

1. なぜ F 局, B 局を受信しないか。
2. 図 2 の ϕ の流れは OSC のドリフトではないか。
3. 図 4, C-H はサイクル・ジャンプが原因と思われるが。
4. 豪州海域では D も範囲外であるし, C はジャンプ発生海域であるから, これらを用いるペアによる船位を用いて, 精度を論ずるのは不適當と思う。

米田国三郎 :

1. 全航海を通じ, 同一組局で行ない, その組局の実際の使用可能な範囲をみきわめることを目的としたためです。
2. 出港時には一応確めてありますが, その後同期が完全であったかどうかについては確認しておりません。したがって同期が微かにドリフトしておれば, 信号が微弱となる夜間に図 2 の現象は起り得ると思われます。しかしいずれにしろ信号強度の低下が最大要因であると考えます。
3. 御指摘の通りと思います。
4. 1. に述べましたようにどこまで受信可能であり, 位置測定に使用出来る範囲はどこまでなのかを事実として確める意味においては必要なことと思います。