レイマーク信号の消失域について

宮崎 正 名*

On the Fading Zone of the Ramark Signal at the Radar Scope

M. Miyazaki

Abstract

The author studied the estimation method of the fading zone where the remark signals disappear.

These dead zones for the ramark navigation are caused by the interference between direct wave and sea-reflected that with phase difference of $n\pi$

So; the distance may be estimated from the following formula well-known

$$\frac{2\pi h_1 h_2}{d} = n\pi$$

where

h_1 ; height of ramark antenna
 h_2 ; height of radar antenna
 d ; distance
 λ ; wave length

The apparent height of antenna, howezer, is decreased influenced by the carvature of the earth in the long surface propagation. The author tried to estimate the distance and breadth of dead zone with effective heights in consideration of the distance effect. A practical sea experimental value is about 10 % in distance and 2 or 3 times in breadth.

1. ま え が き

一般に V. H. F. 以上の周波数における地上伝搬では大地反射波の干渉による振動電界の現象を生ずるが、レイマーク信号受信の状況も、約30秒に1回の間欠的な受信であることと、風波による船体の上下動や横揺れ等から生ずるミス・スキヤンのチャンスがあることを除けば、全く同一の地上伝搬の条件であつて、ある範囲内の受信距離の変化にともなう信号強度の動揺、すなわち、スコープ上のレイマーク信号の明滅や、極端な場合にはある地点における信号の消失の現象がある筈で、もしその地点や領域が相当の精度を以つて推定されることができれば、レイマーク航法に従う運航者にとって船位の推定その他にとって有意義な資料となる訳で、本研究はこのような超遠距離伝搬の振動電界における極小点の解析を試みるものである。

* 榎青木建設 (大阪市大淀区大淀町南1-5)
(旧ブルドーザー工事K. K.)

2. 超遠距離伝搬におけるレイマーク方程式

近距離におけるレイマーク方程式は一般に平面大地の条件が成立して次式で示される。

$$P_r = \frac{G_t \cdot P_t \cdot A_r}{4 \pi d^2} \cdot \sin^2 \frac{2\pi h_1 \cdot h_2}{\lambda d} \dots \dots \dots (1)$$

ここに

G_t : ビーコン・アンテナ利得

P_t : ビーコン・尖頭出力

A_r : 受信空中線有効面積

d : 伝搬距離

h_1 : レイマーク局アンテナ高さ

h_2 : 受信船アンテナ高さ

λ : レイマーク波の波長

(1)式で $4 \sin^2 \frac{2\pi h_1 \cdot h_2}{\lambda d}$ の項は、いわゆる大地反射波の干渉に基づく補正項で電界振動の要

因となるものである。

ところで、初認標識として約30浬を越える送信範囲を以つて動作するレイマークの場合、もはや地球の曲率は平面大地の仮定を許さなくなり、この結果、反射点の決定から等価アンテナ高さの計算に特別の考慮を必要とすることになる。

すなわち、図1のように大地反射点Pにおける地球の接平面STを求め、その平面大地ST上で、(1)式を適用しなければならなくなり、反射点P、言い換えると d_1 (又は d_2) の決定が必要となる。然し、この d_1 の決定については、例えば d_1 が h_1, h_2 の関数で、同時に h_1, h_2 が d_1 の関数というような相互関係があるため三次方程式を解くような相当煩雑な過程を必要とするものであつて、このため2・3の解法や資料[1]が考案されているが、ここでは最

第1図 球面大地の電波通路

第2図 反射点決定用チャート

も実用的な資料として図2のグラフを採用している。すなわち、図2において $m = \frac{d^2}{b_1 + b_2}$, $c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2}$ から y を求めれば $d_1 = y \cdot d$ から d_1 (および d_2) が決定されることになる。

d_1 および d_2 が求まれば

$$\Delta h_1 = \frac{d_1^2}{2ka} = \frac{d_1^2}{1.7 \times 10^7}, \quad \Delta h_2 = \frac{d_2^2}{2ka} = \frac{d_2^2}{1.7 \times 10^7}$$

$$h'_1 = h_1 - \Delta h_1, \quad h'_2 = h_2 - \Delta h_2$$

によつて、接平面ST上の等価アンテナ高さ、 h'_1 , h'_2 が求まるから、この受信距離 d に対して、レイマーク方程式が次式で与えられることになる。

$$P_r = \frac{G_t \cdot P_t \cdot A_r}{4 \pi d^2} 4 \sin^2 \frac{2\pi h'_1 \cdot h'_2}{\lambda d} \dots\dots\dots (2)$$

3. レイマーク信号の消失点

(2)式は $\frac{2\pi h'_1 \cdot h'_2}{\lambda d} = n\pi$ において $P_r = 0$, すなわち、極小点を生ずることになる。この点は n の変化に応じて殆ど無数に存在しているが、 d が小さい範囲における極小点は、航法上の意味が薄いこと、余りにピッチが速い上にその領域が狭いことが想像されるので、ここでは $n = 1$ つまり、第1ローブに続く、最初の極小点だけを考えることにする。

レイマーク信号の消失点はとりもなおさずこの極小点であり

$$\frac{2 h'_1 \cdot h'_2}{\lambda d} = 1 \dots\dots\dots (3)$$

を満足する点であることになる。

すなわち、2. で述べた要領に従つて適当な d を定めそれによつて求まる h'_1 , h'_2 を得て、(3)式の成立を吟味すればよい訳である。

表1は海上保安大学校の教育訓練用巡視船こじまによる佐田岬レイマーク局受信のケースによる計算結果を示すものである。

[注] h_1 : 佐田岬局レイマークアンテナ高さ 53 [m]

h_2 : こじまアンテナ高さ 18 [m]

これによれば、ほぼ27,430[m]に消失点が存在するものと推定されることになる。

表1 $\frac{2 h'_1 \cdot h'_2}{\lambda d}$ の 計 算 値

d	m	y	d_1	d_2	Δh_1	h'_1	Δh_2	h'_2	$\frac{2 h'_1 \cdot h'_2}{\lambda d}$
27,420	10.6	0.693	19,002	8,418	21.240	31.760	4.168	13.832	1.001
27,430	10.6	0.693	19,009	8,421	21.255	31.745	4.171	13.829	1.000
27,440	10.6	0.693	19,016	8,424	21.271	31.729	4.174	13.826	0.999
27,450	10.6	0.693	19,023	8,427	21.287	31.713	4.177	13.823	0.998

4. レイマーク信号の消失域

消失点は理論的には受信電力 P_r が零となる点であつてこの点において信号が消失することは

白明であるが、必ずしもこの点でなくとも $\sin \frac{2\pi h'_1 \cdot h'_2}{\lambda d}$ の大きさ次第では総合された P_r が低下して、レーダにおける限界信号値を下回るようになれば信号は消失する筈で、このためには P_r 全体の計算が必要となる。このとき、 d の選定については消失域が消失点を挟んでいることは当然であるから、これを手がかりとして計算を進めればよい。

ここに計算に必要な式と諸元は次のようである。

$$P_r = P_t[\text{db}] - L_w[\text{db}] + G_t[\text{db}] + A_r[\text{db}] - F[\text{db}] - A[\text{db}]$$

$$P_t : [600\text{m. W.}]$$

$$A_r : f=0.65, \text{ 開口面積 } 0.38[\text{m}^2]$$

$$\lambda : 0.032[\text{m}]$$

$$L_w : \text{ビーコン導波管損失 } 3[\text{db}]$$

$$F : \text{自由空間伝搬損失}$$

$$A : \text{補正項による損失}$$

[注] $A = 10 \log 4 \sin^2 \frac{2\pi h'_1 \cdot h'_2}{\lambda d}$ であるが、ここでは零点の近傍においての扱いであるから

$$A = 6 - 20 \log \pi \left(\frac{2 h'_1 \cdot h'_2}{\lambda d} \pm 1 \right) [\text{db}]$$

と近似することができる。

表2は以上の計算

結果を示すもので、スコープ上の映像の視認について視覚上2[bd]の余裕をみると、おおむね27,340

[m] および 27,520[m] における受信電力がほぼ限界信号値に近いようである。

すなわち、以上の計算結果から、以上の様な条件においては、消失領域は、だいたい、180 [m] の間にわたって存在しているように推定される。

5. 海上実験の要領と結果

こじまによつて次の要領で佐田岬レイマーク局に対する海上実験を行つた。

5.1 実験の要領

- (1) レーダの調整、殊に輝度と利得の調整は適正であること。
- (2) 本船はレイマークが通常の送信状態で作動する海域で適当な陸標によつて船位の決定、すなわち受信距離の測定が容易になされるようにレイマーク局に向針占位すること。
- (3) レイマーク信号初認の後、熟練した観測者によつて、次の方法で連続不斷的観測を継続すること。
- (4) 初認したならば信号がスコープ上に発現する周期を秒時計で測定する。

第3図 受信電力曲線と消失域

表2 受信電力 P_r の計算値

d	h'_1	h'_2	$\frac{2 h'_1 \cdot h'_2}{\lambda d}$	A	F	P_r
27,340	31.822	13.883	1.01	-34	-99.7	-89.0
27,520	31.666	13.774	0.09	-34	-99.8	-89.1

- (ロ) 補助者は秒時計によつて信号の現われる時刻を(イ)の周期に従つて観測者に知らせる。
- (ハ) 観測者は補助者の知らせる時刻を聞いて、レイマークの信号がスコープ上に現われることを視認しており、もし信号が現われなくなつたとき直ちに他の補助者に知らせて船位を測定し、その時の受信距離を求める。

5. 2 実験の結果とその状況

以上の要領による実験の結果、13.3浬において、レイマーク信号は徐々に薄くなり、終に消滅し、又徐々に現われたことが確認された。

〔注〕消失点は上記のほか、7.3浬、において生じた。又これら2つの消失点の前後附近および5.9浬、4.4浬、3.8浬、3.1浬、2.2浬の各地点では、かなり薄くなつて現われた。
このデータを他の関連資料と共に表3に示してある。

表3 実験値および関連データ

ビーコン名	日 時	計算値 [m]	実験値 [m]	誤 差 [m]	誤 差 [%]	水 温 [°C]	気 温 [°C]	波 階 浪 級	動 揺
佐田岬	11/16 11.00~13.00	27,430	24,632	2,798	10.2	18	12	1	な し

6. 検討とむすび

この研究においては実用計算を簡単化するため一般の慣例に従つて大地の反射係数を単純に-1としてあるが、これは常に正しいデータではない。殊に波浪のあるような状態では鏡反射とは異つた内容がある筈である。

又、主として、潮汐にともなうレイマーク局アンテナ高さの変動や、電波通路の屈折に関する地球の等価半径比の推定についても現実には処理し切れない種々の誤差が入る訳で、その他、図計算等に含まれる誤差等を総合するとき、誤差率10%は一応、精度の限界と見られるところであるが、この消失点は充分の遠距離であつて、これによる、初認船位〔2〕の補正、その他船位推定に用いる参考資料としては相当の価値を有するものと考えられる。

次に、消失時、13.3浬の点においては2回、すなわち、30秒をはさんで1回づつ現われなかつた。こじまの実験中の速力は約12節であつたから、この消失域の巾は、最小、180m から、最大540m ということになり、計算値は下限を示すに止まつたようである。

これは巾の問題であつて、点については誤差があつても巾においては相対的な関係は変化しない筈だから、消失点より高い精度が出てよい訳で、この意味を将来検討する予定である。

終りに、臨み、本研究の遂行にあたつて御指導を賜つた海上保安大学校教授、小野確良氏、海上実験において格別の御配慮と御協力を頂いたこじま船長、池田積富氏ほか乗組員の各位に深甚なる謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 〔1〕 黒川広治・渋谷茂一：マイクロ・ウェーブ伝搬解説
- 〔2〕 宮崎正名 ：レイマーク初認距離の推定方式について、日本航海学会誌40号（1968）

〔質疑応答〕

レイマーク信号消失域を実験によつて、理論通りに確認できたという意味なら、その通りの意味を持つが、これをもつて、船位決定の方法とするというのでは、航海術の手段としては若干不

完全な方法で、現在の航海術の水準からすると意味が少ないと思われるがどうでしょうか。

(茂在寅男)

〔解答〕

文献〔2〕にもふれてございますが、電界レベルの計算に決定的な条件となる電波屈折率の推定に問題があり、小論はいづれも、これらの困難が解決された時点でのレイマーク航法技術における2, 3の可能性を追求しているもので、現在のところレイマーク航法上の意味としては、

(1) マイクロ・ウェーブの分野に用いられる手法によつて超遠距離におけるレイマーク波の解析に一応の成功を収めたこと。これらは例えば内海レイマーク等の設計資料となる。

(2) レイマーク信号の受信地域および針路の選定に若干の注意を要すること。

を主とするものであり、船位決定法としては測深航法その他に準ずる補助的手段にとどまつていることは御指摘のとおりで、今後の技術としての充実と洗煉に関して一層の御指導と御支援をお願いする次第です。