定置漁具のレーダー映像について—II—

— シイラづけ探知障害についての考察 —

神 鳥 昭*

Radar Echoing Characteristics from the Floating Part of
Fishing Gear—II.— Radar Detection of Dolphin Bamboo Shelter, with Reference to
its Obstructions —

A. Kandori

Abstract

The previous paper of this series had revealed that the marine radar had small target but was available for detection of the dolphin bamboo shelter under the ordinary meteorological and oceanographic conditions. But the navigator should be aware of the critical conditions of the radar to pick up the target. This is due to the following possibility: They are frequently obliged to detect even small objects such as small fishing craft and floating part or marker of the fishing gears settled. These will usually have the target of small equivalent echoing area, consequently give fluctuating echo weaker than the rain or sea clutter echos. The above-mentioned facts meant that it is hard to neglect of the possibility of mis-detecting the small objects in these obstructive clutters. In addition, the detection range of target will suffer considerably from the reduction of the projected area of the target or the effect of the shadow sector due to the ships structure.

The present paper dealt with the radar detection of the dolphin bamboo shelter in relation to either the relative direction of the shelter or the obstruction due to rain and sea clutters or to shadow sector.

1. ま え が き

夏期日本海の船舶の航行する沖合海面には多数のシイラづけ定置漁具が敷設される。これらのシイラづけは、夜間・狭視界時等に航行船舶の接触に起因すると思われる流失事故がきわめて多い。これらの事故を防止するため、船舶に装備したレーダーを使用する場合のシイラづけ探知の可能性について前報〔1〕で報告した。

前報では晴天・海上平穏時のレーダー観測結果について考察したが、シイラづけは小型目標物であるため、気象・海象状態が悪化すれば種々の障害をうけて探知距離は減少し、場合によつて探知不能となることも考えられる。探知障害の要因としては、降雨・海面反射・シイラづけの向きによる反射指向特性・船体構造物による電波の遮蔽等が考えられるので、各々の場合について

*水産大学校（下関市吉見永田本町）

観測・調査し、レーダー観測によるシイラづけ探知の限界について考察した。

2. Rain clutter による探知障害

降雨による探知障害は、雨滴による電波の吸収と反射が考えられるが、前者はきわめて小さく、障害要因の主たるものは后者である。雨滴からの反射映像はPPI上をマスクして、目標映像の識別を困難にする。雨の強さは表1に示す5段階に分けられており、降雨強度と rain clutter との間には相関があるものと考えられる。しかし多くの雨は強くなったり、弱くなったりして降り続けるのが普通

表1 降雨強度

雨の強さ	雨量強度 (mm/min)
特に弱い雨	0.02以下
弱い雨	0.02~0.05
並雨	0.05~0.25
強い雨	0.25~1
特に強い雨	1以上

で、同一降雨域内でも降雨強度は必ずしも一様でないといわれている。

同一降雨域内の降雨状態を調べるためレーダー観測を行ないその結果を図1に示す。温帯性低気圧による持続性降雨で、比較的安定した降り方をしていていると思われる時期を選びPPI上にそのrain clutterを観察し(図1・a)、次いで suppressor を徐々に上げて、rain clutter 消滅の状態から同一降雨域内の降雨状況を推定した。図1(a)の場合は rain clutter は半径5浬の範囲に及び、この範囲内は一様に雨の反射像でマスクされているが、この範囲外にある左げん正横の淡路島・後方の友ヶ島および0°~90°方向の航

図1 (a) Suppressor 2

図1 (b) Suppressor 6

図1 (c) Suppressor 10

図1. レーダー観測による同一雨域内の降雨状態

(注) 観測日時 1963年3月24日 1342
観測位置 大阪湾 (31°—21.4' N, 135°—00.5' E)
使用レンジ 10浬

行船舶は、鮮明な映像として認められる。これは降雨によるレーダー電波の吸収・減衰がきわめて小さいことを裏づけるものと思われる。 suppressor を上げた(b)・(c)では rain clutter の消滅状態は、必ずしもレーダー空中線からの距離に比例せず、同一降雨域内でも降雨強度は全く一様でないことが推定できる。

シイラづけのレーダー探知について考える場合、その範囲は半径2浬程度の狭い範囲であるから、レーダー空中線とシイラづけは同一降雨域内にあり、かつこの範囲内では降雨強度は一様であると考えても差支えないものと思われる。シイラづけとレーダー空中線が同一降雨域内にある場合、シイラづけ映像が rain clutter によつて識別不能となる降雨強度の限界について受信電力比から考察する。

レーダー波の雨滴からの反射および降雨強度と反射波の受信電力との関係については、気象学の分野で多くの実験・研究結果が報告〔2〕・〔3〕・〔4〕・〔5〕されているので、これを参考にし船用レーダーの特性を考慮して雨の反射強度を計算した。レーダー波の全ビームが雨滴で遮断されたときの受信電力は次式で与えられる〔6〕。

$$P_r = \left(\frac{\pi^5}{72} \frac{P_t A_p^2 \theta \phi h}{\lambda^6} \right) \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 \frac{Z}{r^2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで P_r は受信電力(w), P_t 送信電力(w), A_p 空中線開口面積 (m^2), θ 水平ビーム幅(rad.), ϕ 垂直ビーム幅(rad.), h パルス長(m), λ 波長(mm), m 複素屈折率, Z 雨のレーダー反射因子($mm^6 m^{-3}$), r 雨滴とレーダー空中線の距離(m)である。

反射係数 $|(m^2 - 1)/(m^2 + 2)|^2$ はレーダーの波長と温度による関数であるが、3 cm波の場合温度による変化は小さく 0.93 として差支えない〔7〕。また反射因子 Z ($mm^6 m^{-3}$) と降雨強度 R (mm/h) との関係はかなり複雑であるが、温帯性の降雨については $Z = 200R^{1.60}$ が適当とされている〔8〕。次に空中線利得を G , 空中線の実効面積を A_e とすると、 $A_e = G\lambda^2/4\pi$, $G = 8\pi/3 \times A_p/\lambda^2$ なる関係があるので、表1の降雨強度 R' (mm/min) について、その受信電力を考える場合(1)式は次のようになる。

$$P_r = \frac{\pi^5 P_t A_e^2 \theta \phi h \times 0.93 \times 200}{32 \times \lambda^6} \frac{(60R')^{1.60}}{r^2} \dots\dots\dots (2)$$

(2)式に実験に使用した JMA-103 型レーダーの諸元 $P_t = 3 \times 10^4$ (w), $\theta = 0.026$ (rad.), $\phi = 0.332$ (rad.), $h = 120$ (m), $A_e = 0.4$ (m^2), $\lambda = 32$ (mm) を入れ、各降雨強度 (R' mm/min は各クラスの中央値をとる) について受信電力を計算した。なお船用レーダーの場合、垂直ビームの下半分は海面でカットされるため受信電力は半減するものとし、得られた受信電力を

図2 雨滴およびシイラづけの反射強度
(注) (a) 強い雨 (b) 並雨 (c) 弱い雨
(d) 特に弱い雨シイラづけ

dbm 単位に換算して、レーダー空中線からの距離による雨の反射強度の変化を図2に示す。

次にシイラづけ反射強度については測定できなかったため、シイラづけの最大探知距離および有効高さから推定した。レーダーの最小受信感度は、おおよそシイラづけ映像がPPI上から消失するときの受信電力で示され、一般に最小受信感度は $-80 \sim -85$ dbm、また受信電力が距離の4乗に比例する区域から8乗に比例する区域への移行点は、 -65 dbm 付近といわれているが目標物により多少の差異がある。目標物の有効面積・有効高さにおいて、シイラづけに近い伝馬船について受信強度の実測結果が報告[9]されているので、これを参考にシイラづけの最小受信感度を -80 dbm、移行点を -50 dbmと推定した。この推定にもとづくシイラづけの受信電力と距離との関係を図2に点線で示した。この図から降雨中でシイラづけをレーダー探知できる限界は特に弱い雨で0.7浬、弱い雨では0.5浬と認められ、この限界内では、suppressorを最良の状態に調整すれば rain clutterを抑制して必要なシイラづけ映像のみをPPI上に残すことができる。また並雨以上の強い雨では suppressorを如何に調整してもシイラづけをレーダーで探知することはほとんど不可能であると考えられる。

3. Sea clutterによる探知障害

PPI上の sea clutterの範囲は波高・海水の飛沫および波浪の走向とレーダービームのなす角によって決まるものと考えられる。sea clutterの最大要因である波高と sea clutterとの関係を直接求めたいと考えたが、船上での波高目視観測は相当の熟練者でないと正確を期し難い。一方風浪の状態は風速・吹送距離・風の継続時間によって決まるが、最も関連性の大きいのは風速である。日本海における風速と風浪の関係については調査結果が発表[10]されており、風速と波高との間には対応が認められるので、さらに風速とPPI上の sea clutterとの間にも相関があるものと考えられる。

図3は1963年7月日本海方面を漁業練習船天鷹丸(旧)で航海し観測した風速とPPI上の sea clutterとの関係を示す。観測に使用したレーダーの調整はシイラづけ探知実験に使用したものと同一条件とし、2浬レンジを使用した sea clutterが2浬以上に及ぶときは5浬レンジに切替えた。図3では風速に対する sea clutterの範囲(風上側)はかなりのばらつきがみられるが、相互間には相関が認められる。

図3 PPI上の sea clutterの範囲と風速との関係

次に晴天・海上平穏時のシイラづけのレーダー最大探知距離は1.3浬である[11]。しかし海況が変れば探知距離も多少変化することが考えられるが、ここではシイラづけの最大探知距離を1.3浬として、sea clutterがPPI上をマスクすることによりシイラづけのレーダー探知が不能となる限

界風速を推定すると、図3から 5.9m/sec を得る。したがって風速 5.9m/sec (ビューフォート風力階級で4) までは suppressor を適当に調整すれば sea clutter を抑制してシイラづけを PPI 上に探知できるが、5.9m/sec 以上の風速では suppressor を如何に調整してもシイラづけのレーダー探知は不可能と考えられる。

4. シイラづけの向きとその探知距離の変化

シイラづけは長さ10m余の大竹十数本をイカダ型に束ねたもので細長い形状をしているため、長い辺に対するレーダービームの入射角度が探知距離に影響するものと考えられる。シイラづけの碇綱はつけの一端にとりつけられているので、海潮流の影響をうけて、シイラづけはその流線に沿ってほぼ同一方向を向く。したがってシイラづけ定置海面を航行して、レーダーでこれを探知する場合レーダー空中線からみるシイラづけの所在方向によって、シイラづけの長い辺に対するレーダービームの入射角は異なる。この入射角の差異が探知距離に及ぼす影響度を前報の観測結果を使用して解析する。

観測結果を発見・消失時の方向・距離によつてプロットしたのが図4である。この図から船を基準としたシイラづけの所在方向によつて探知距離に差異があるものか、正確に判断することは困難であるから確率的に考察する。まず発見・消失時のものに大別し、さらに図4に示すように方向別に P_1 (観測番号5, 10, 19, 20, 24), P_2 (3, 4, 9, 13, 15, 17, 23), P_3 (1, 7, 12, 14, 16, 22, 25, 26), P_4 (6, 11, 18), P_5 (2, 8, 21), P_1' (5, 7, 10, 19, 20, 23, 24), P_2' (1, 12, 14, 16, 22, 25, 26), P_3' (3, 4, 9, 11, 13, 17), P_4' (2,

図4 シイラづけ発見・消失時の船からの相対位置

表2 分散分析表

(a) 発見の場合

要因	S S	DF	MS
P	0.0354	4	0.0088
$B(P)$	0.2234	21	0.0106
PB	0.2588	25	

$$F_s = \frac{0.0088}{0.0106} = 0.830$$

$$F_{21}^4(0.05) = 2.84$$

$$\therefore F_s < F_{21}^4$$

(b) 消失の場合

要因	S S	DF	MS
P	0.0110	4	0.0028
$B(P)$	0.2664	20	0.0133
PB	0.2774	24	

$$F_s = \frac{0.0028}{0.0133} = 0.211$$

$$F_{20}^4(0.05) = 2.87$$

$$\therefore F_s < F_{20}^4$$

8, 21), $P_s'(6, 18)$ に分類する。なお確率的に考察するためには、対称となる量が正規型でなければならないので探知距離 R は $\log(2.0 - R)$ に変換し分散分析(表2)すると、5%の危険率で有意でなく、シイラづけの向きによるレーダー探知距離の差異は認められない。

シイラづけは不規則な形状をしているにもかかわらず、その反射指向性が認められないのは、主として水面上の高さがきわめて低い(0.2~0.3m)ためと考えられる。

5. Shadow sector による探知障害

船体の上部構造物特にマストはレーダー電波を遮って影を作り、この shadow sector は目標物の探知に障害があるといわれている。

この実験に使用したレーダー空中線と船体構造物の配置関係から shadow sector を推定できるが、単純な幾何学的計算によるものと実際では多少異なることもあるので rain clutter を利用して shadow sector を確認した(図5)。この図から、shadow sector は右げん船首の $8^\circ \sim 12^\circ$ と右げん後方の $173^\circ \sim 177^\circ$ にあることがわかる。いずれもマストが原因であり配置関係から計算したものとはよく一致する。

この shadow sector がシイラづけ探知に及ぼす影響を1963年7月20日能登沖のシイラづけ探知実験で観察した。右げん船首方向に発見したシイラづけ映像は、それぞれ1.0浬と0.8浬で輝度がおち、shadow sector による障害が認められたが、ヨーイングもあり、shadow sector の影響を詳しく観察することができなかつた。船体構造による shadow sector が小型目標物のレーダー探知に及ぼす影響については、今後さらに多くの資料を得て検討したい。

図5 マストによる Shadow Sector

(注) 観測日時 1963年3月24日 1340
観測位置 大阪湾($31^\circ-21.4'N, 135^\circ-00'SE$)
使用レンジ 5浬

6. む す び

近時船用レーダーは広く普及し、安全運航に不可欠の計器となりつつあるが、レーダーが目標物をPPI上に探知・識別する能力には限界がある。

ここでは日本海の沖合海面に敷設される小型目標物のシイラづけ漁具について、rain clutter sea clutter および目標物の反射指向特性・船体上部構造物による shadow sector が、シイラづけ探知に及ぼす影響について実験・考察した。

結果を要約すると次のとおりである。

- (1) Rain clutter による障害は、並雨以上の強い雨でシイラづけ探知をほとんど全面的に不可能とする。また弱い雨・特に弱い雨でも、それぞれ0.5浬および0.7浬を限度として以遠のシイラづけは探知できない。
- (2) Sea clutter の影響は風速6m/sec(ビューフォート風力階級で4)以上でシイラづけ探知を不可能とする。
- (3) シイラづけの向きによる探知距離の差は認められない。

(4) マストによる shadow sector が認められたが、この shadow sector がシイラづけ探知に及ぼす障害については十分な資料が得られなかった。

終りに種々御助言をいただいた本校前田弘博士、気象関係の諸文献を貸与下さった下関地方気象台瓜生健治技術課長、実験に御協力下さった旧天鷹丸士官各位に対し厚くお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- [1] 神鳥 昭：定置漁具のレーダー映像について…………… I
日本航海学会誌, 32 (1964) p. 7~p. 14
- [2] Louis J. Battan : Radar Meteorology (1959), The University of Chicago Press
- [3] 吉原善次：レーダー受信強度記録装置による降雨強度の観測
気象研究時報, VII. 7 (1955) p. 439~p. 445
- [4] 小平信彦：レーダーによる雨量観測 気象研究時報, VII. 7 (1955) p. 434~p. 438
- [5] 今井一郎他：雨のレーダー反射因子と粒径分布について
気象研究時報, VII. 7 (1955) p. 422~p. 433
- [6] Louis J. Battan : Radar Meteorology (1959), p. 51
- [7] Louis J. Battan : Radar Meteorology (1959), p. 28, p. 30
- [8] Louis J. Battan : Radar Meteorology (1959), p. 55
- [9] 井関 貢：船用 3 cmレーダーの小型船反射強度について (第3報)
日本航海学会誌 13 (1955) p. 43~p. 46
- [10] 星 為蔵：風と波, 海の気象II, 12 (1957) p. 6
- [11] [1]に同じ p. 13