

波向観測等におけるレーダの応用

井島 武士*・高橋 智晴**・佐々木 弘***

1. まえがき

沿岸海象の観測技術は、計測機器の開発により遂次進歩改善され、具体的な建設工事の計画・設計・施行・模型実験あるいは現象の解析に、現地における実測データが直接あるいは間接的に不可欠のものとなりつつあるが、なお実測的に未知の現象あるいは不十分な観測法が多く、特に港湾構造物法線の決定、漂砂現象の解析などにおいて主要因をなす波向の観測に関しては、その測定機の試作とともに二、三の試用例を見るにすぎない。

従来試みられた記録方式による波向観測の方法としては、

- (1) 航空写真による垂直撮影および陸上からの立体写真法による平面的波浪分布の測定。
- (2) 測定点における波浪による水粒子運動の水平成分を連続的に測定することにより通過する波の進行方向を知る方法。
- (3) 波高計を近接した数点に配置し、同一波波形の位相のずれおよび波速から波峰線を求める方法。

などがあげられる。これらの方法は限定された目的、測定条件に対しては一応の成果を得ていると思われるが、普遍的な観測法としては測定の実施あるいは整理に問題がある。特に現地波浪における不規則性を勘案する場合には、

- ① 波向の平面的分布。
- ② 波浪の進行にともなう波向の変化。
- ③ それぞれの地点においてそれぞれの波のもつエネルギー。

などが測定値から求められる必要があり、

- ④ 上記各項の連絡的かつ継続的データの測得が可能なこと。

また、基本的事項としては、

- ⑤ 天候および日照条件により測定に支障をきたさぬこと。
- ⑥ 定常業務化された場合の取り扱いおよび整理方法が簡便であること。

などが観測法の要点となるものと考えられる。

以上の観測条件に対し最大多数の目的を満足する一つ

の手段として、レーダを使用し PPI 表示方式により波峰線の連続映像を得ることができれば上記③項に含まれる波高の測定を除き、ほぼ所要の目的を達しうることとなる。

レーダ装置が実用的な測定機器として効果を認められたのは第2次世界大戦以後であり、開発の歴史は浅いが軍事目的のほかにも現在では船舶、航空機関係の航行の安全を確保するうえの必需品となり、さらに気象観測分野へも応用されるなど技術的に急速な発達をとげ、波浪観測を試みた例は 1958 年 Rotterdam において行なわれ H.M. Oudshoorn によって Coastal Engineering に報告されたことがあるが、従来海上において使用されたレーダは、海面上の目標物あるいは陸岸と自局あるいはそれら相互間の測距を目的としたものであり、海面における反射電波は目的間を伝播する信号電波に対し障害となって介在する Sea Clutter (海面反射妨害あるいは海面擾乱エコー) として取り扱われ、これを正規化された信号入力として受信し指示することは考えられていなかった。

当所(港湾技術研究所)においては昭和 37 年度より高分解能レーダを中心に標流桿追尾による流況観測などとあわせ、特に波向観測法の開発を主体に研究を進め実用効果の可能性を確認しえたので、レーダ装置の概要と観測例について報告する。

2. レーダ装置について

(1) 波向観測用レーダにおける使用波長の選択

波向観測にレーダを使用する場合レーダの使用波長の選択はきわめて重要な意義を有する。レーダの性能を決定する要素は数多くあるが、それらは実験の結果によりそれぞれの面から改造することが可能である。しかし使用波長を変更することは、周波数管理の問題とともに使用波長によって電磁波の伝播特性および反射特性が異なることから装置全体および観測結果に大きな影響をおよぼし、ほとんど不可能な要求と考えられる。

電波の割当は国際管理下におかれ気象観測用レーダとしては、1.66~1.7 GC (L バンド) ……、33.4~36 GC (Q バンド) (などの周波数が割当てられているが、このうち 10.5 GC 以上(40 GC まで)の波は 1960 年 1 月の国際電気通信条約会議で周波数割当てがつぎのように決定

* 正会員 工博 元港湾技術研究所

** 正会員 港湾技術研究所

*** 港湾技術研究所

された。すなわち Radionavigation 用として 13.25~13.4 GC/S, 14~14.4 GC/S, 15.4~15.7 GC/S, 24.25~25.25 GC/S, 31.8~33.4 GC/S の5 周波帯, Radiolocation 用として 9.5~10.55 GC/S, 10.55~10.7 GC/S (Secondary Service), 13.4~14 GC/S, 15.7~17.7 GC/S, 23~24.25 GC/S および 33.4~36 GC/S の6 周波帯が割当てられ、いずれも Primary Service として国際的に監督・保護を受けることとなった。

従来海面観測を目的としたレーダの使用に関する具体的発表はなく、船舶用・航路管制用などを目的とするレーダの開発において Sea Clutter として海面反射に関する観測がなされているにすぎない。その結果を要約すると、波長が短いほど海面からの電波の反射は強くなり、海面反射が強く出る。また比較的規則正しい海面の変化は波長が短いほど顕著に(電磁波的に見た変化は小さいが)観測される。これらのことは理論値にも確認されており、

- ① 微小目標に対する探知能力
- ② 海面上の電波の反射による相互干渉
- ③ 反射波の指向性および高分解能

などにおける利点およびミリ波帯の基本特性から、波向観測用レーダとして 8.6 mm 波を使用することとした。

一方、ミリ波帯では大気中の水蒸気あるいは降雨などの影響を受けやすい欠点を有するが、現在の段階では上述の利点がこれらの欠点を補ってあまりあるものと考えられ、漂流桿による流況観測においても同時にその目的を満足すると考えられる。

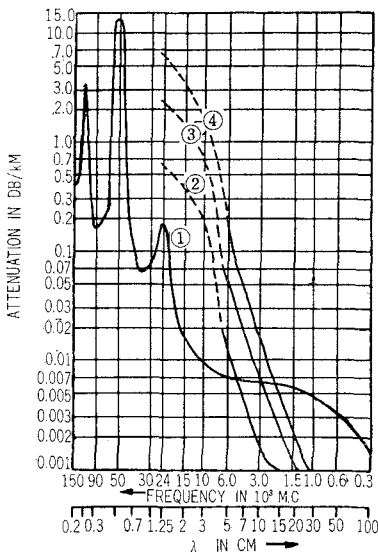
(2) ミリ波帯の基本特性

a) ミリ波

領域における 波長帯の選択

一概にミリ波と称されるものには波長として 1~10 mm のものが含まれるが、この領域においては大気ガスによる共鳴吸収が起こったり、波長が短くなるにしたがって雨霧などによる反射、減衰が急激に増加する。

図一1 大気中の片道伝播の減衰



- ① 酸素と水蒸気 ($P=760$ mmHg, $T=20^{\circ}\text{C}$, 水蒸気含有量 $=7.5$ g/m³ の場合の総計)
- ② 中くらいの雨 (6 mm/h)
- ③ 強い雨 (22 mm/h)
- ④ 豪雨 (43 mm/h)

図一1 はこれらの関係を表わしたもので減衰の程度は気圧・温度・水分含有量・地表面からの距離などによって異なるが共鳴点の周波数は変わらない。したがって中ミリ波帯は酸素ガスによる共鳴吸収が非常に大きな帯域であるから、われわれの目的とするレーダには不適当であり、大気ガスの吸収による減衰の極小点および現段階での一般的ミリ波発生技術の限界ということから 8.6 mm (減衰約 0.08 db/km) の波が本目的に対し選択された。

b) ミリ波とレーダの性能との関係

ミリ波がレーダの性能に与える影響は、レーダ方程式に大気内伝播中の減衰を考慮して波長とレーダの性能との関係を知り、最小受信感度における最大探知距離を求めるとレーダの性質のすべてを表わす次式が得られる。

$$r_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_0}{P_{\min}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{A_e}{\lambda}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\sigma}{4\pi}} \cdot 10^{-0.005 \left(\int_0^r K_A + \int_0^r K_R \right) dr}$$

ここに $r_{\max}$ = 最大探知距離, P_0 = 送信電力, $P_{\min}$ = 最小受信感度, $A_e = G\lambda^2/4\pi$ = 空中線有効面積 $\approx 0.7 A$, G = 空中線利得, λ = 波長, A = 空中線の実際の開口面積, r = 目標までの距離, K_A = 大気中の片道の単位距離当たりの減衰 (db), K_R = 降雨、霧などによる片道の単位距離当たりの減衰 (db), $r_1 \sim r_2 = K_R$ の率で減衰を受ける距離範囲, σ = 物標の有効反射断面積 (Radar Cross Section)。

この式から知られることは

① 第1項は送信機の出力と受信機の最小受信感度に関するもので直接波長とは関係なく、われわれが対象とする数十 kW 程度の場合には現在の技術水準で送受信装置とも cm 波の場合とほとんど同一条件にあると考えられる。

② 空中線の利得について第2項を考えれば $r_{\max}$ は $\lambda^{1/2}$ に比例するから、3.2 cm 波 (一般の船用レーダに使用) と 8 mm を比較すると、同一最大探知距離の場合空中線開口面積は 1/4 に縮小され、同一開口面積の場合は空中線利得が 16 倍すなわち 12 db の利得となる。

このことは一方において

$$\theta \propto \lambda/D \quad (D = \text{空中線口径})$$

なる関係から空中線の指向性角度 θ を鋭角にすることが出来る利点を有する。

③ 目標のレーダ断面積との関係は第3項により知ることが出来る。一般に目標の反射面を波長に比して大きな寸法を持つ円筒面と平面の集合体と見なせば、2種の波長に対する σ の変化の場合は $10 \log (\lambda_2/\lambda_1)$ db から $20 \log (\lambda_2/\lambda_1)$ db となる。8.6 mm 波と 3.2 cm 波を比較した場合 5.7~11 db の増大となり 8.6 mm 波の使用は送信電力が 4~13 倍に増大したと同じ結果となる。このことは反射面の形状によって決まるレーダ断面積が周波数とともにいちじるしく増大し小目標の検知に有利であり、波向観測の場合の利点と考えられる。

一方、球形の目標に対する σ は、形状が波長に比して大きい場合は、 $\sigma = \pi a^2$ (a は半径) で表わされ波長に無関係であるが、雨、霧のような波長に比してきわめて小さい球形の目標の場合は

$$\sigma \propto \frac{\pi^5 a^6}{\lambda^4}$$

となり、ミリ波の使用によって雨はもちろん霧さえも検出できるようになるが、われわれの使用目的から見るとこれらのエコーが擾乱雑音となって目標映像をマスクする結果となり、この種の擾乱雑音の除去が必要となる。

④ ミリ波

が大気ガスおよび降雨の中を伝播する際の減衰は図-1に示すように、大気ガス中の減衰は吸収点を避ければ実用上いたした支障をきたさないが、降雨中での減衰はミリ波をレーダに利用する場合の根本的に不利な

問題であり、前式における減衰項がミリ波において特に増大することとなる。図-2に降雨のみの影響を受ける場合の波長と最大探知距離の関係を示す。

(3) CPSH-4 A の仕様について

レーダ装置の構成は図-3に示すようで、送・受信機は導波管による損失を減らすため空中線反射鏡と一体とし、反射鏡は送信用と受信用とに分かれデュプレクサー用のTR管は使用せず、送信機と受信機は完全にシャ断されて送信出力が受信系統に漏洩するのを防ぎ、受信機の前置増幅器のうち中間周波信号が指示機に送られ、

図-3 レーダ装置の構成

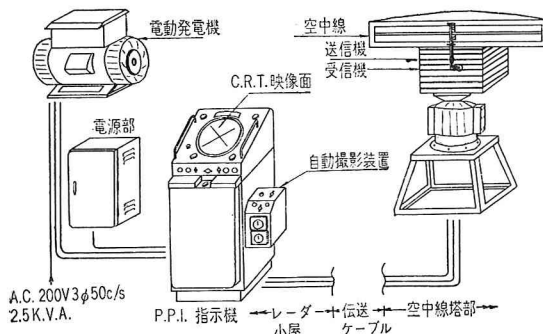
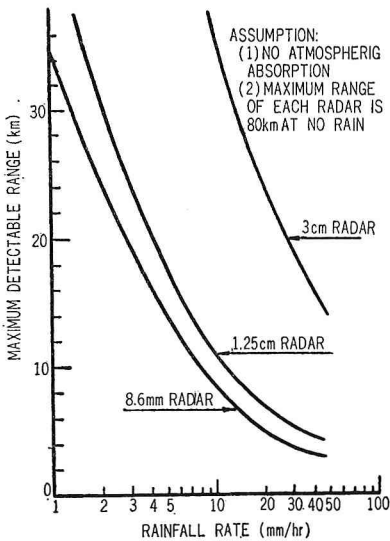


図-2



装置の全電源は送受信機の軽量化のため1000 c/sの電動発電機を使用している。

装置の主要性能は下記のようなのである。

周波数	34 860 Mc ($\lambda=8.6$ mm)
尖頭送信出力	30 kW 以上
空中線ビーム幅	水平 15' 垂直 5°
空中線回転数	25 rpm
パルス幅	0.02 μ sec/0.12 μ sec
くり返し周波数	400 c/s
雑音指数	16 db 以下
中間周波帯域幅	50 Mc
指示方式	12" ブラウン管, P.P.I. 離心表示
距離範囲	500 m, 1 km, 25 km, 5 km, 10 km
距離分解能	4 m
最小探知距離	6 m
方位分解能	15'

3. 波向観測例について

当初実験は、CPSH-1 および船用12型レーダにより港研前面の久里浜湾内において基礎研究を行ない、さらにミリ波帯レーダの既存実用機種を検討して機器装置の仕様を作成し、昭和38年度において第2港湾建設局鹿島港（茨城県）に海象観測用レーダ CPSH-4 A の設置を実現し、本年度よりレーダによる波向観測法および波向の性質の研究と定常的波向観測の実施を計っている。

(1) 鹿島港におけるレーダ設備の概要

a) 装置の目的 鹿島港の開口部は太平洋に面する鹿島灘の平坦な砂浜海岸に突出して建設されるため、外

図-4

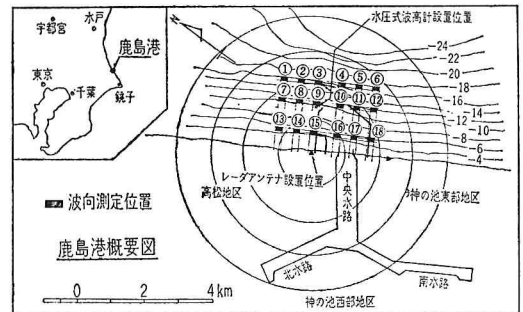


写真-1 レーダ施設外観（鹿島港）



港部付近における漂砂現象および航路の安全に対する波浪条件として波向の占める割合はきわめて大きく、外港部を広く包括する範囲の波向分布の実態を、定常的な統計資料ならびに異常海象時における動態として把握しようとするものである。

図-4 に鹿島港計画図を写真-1 にレーダ施設 (空中線および観測所) の外観を示す。

b) レーダ装置 レーダ装置本体は前述の CPSH-4A を使用し、CRT 映像記録撮影用カメラの制御タイマーは下記のように設定した。

撮影時設定間隔	2 時間または 4 時間間隔
露光設定	自動および手動
露光設定時間	④ スカナー回転角同期の連続撮影 ⑤ スカナー 3 回転連続 — 5 分間隔 — 5 回 (20 分間) ⑥ 任意時間開放
制御方式	電接時計、タイムリレー、スカナーの連動
使用カメラ	ニコン自動 250 枚撮り

上記露光設定時間における④は波向分布の連続的動態の解析、⑤は定常観測用に主として使用し、⑥は短区間、短時間内の波速および波向変化、あるいは流況観測の場合のレフレクター漂流樫追尾に使用する。

c) レーダ観測施設 写真-1 に見られる空中線塔、観測所および引込み電源よりなる。

空中線塔は上端にスカナーが取り付けられ、その位置はレーダ映像の中心基点となる点で、鹿島港においては汀線より約 70 m 後方の砂丘上に観測所と並置されている。

空中線塔は直径 1 m の鋼管を主柱とし地上高 15 m、空中線の高さは海面上約 22 m に設置されている。観測所はコンクリートブロック建約 20 m² で商用電源 3 φ 220 V (3 kVA) および電灯線が引込まれている。

d) 測定範囲 波向観測のための測定範囲としては、外港を中心に半径 3~5 km 以内の海上の区域が包含されれば一応目的を達しようと思われるが、海面における電波の反射条件はきわめて不安定であり、機器装置の設計仕様のみから実用上の測定範囲を決定することはできない。

本機による実用範囲については後述する。

(2) 波向測定例について

a) CRT 映像記録 測定記録用の CRT (ブラウン管) 映像は PPI 方式任意方向 off center で表示するものとし、写真-2~4 に

その一例を示す。

写真-2 はスカナーの回転と映像接写装置の露光時間を同期させ瞬間的な波峰線分布映像を記録したもので、このような記録写真を継続的に撮影することにより波の進行にともなう波峰線の平面的分布の連続的な変化を知ることができる。写真-4 ①~⑥ にその一例を示す。

①~⑥ はスカナーの 1 回転おき (47 sec 間隔) に連続撮影したもので、波の進行にともなう平面的分布の変化、砕波点とその拡がり方などが明らかに見られる。また、写真-3 に示す映像記録はスカナーの 3 回転間隔撮影装置の露光を開放したもので、スカナーの 1 回転間隔 (2.35 sec) ごとの波峰線を継続的に一投の写真上に示しており砕波位置、波速などを知るのに便利である。

b) 記録の整理例 沿岸波浪における波向の不規則性を考慮し、その平面的分布特性を求める方法はまだ明らかでなく、かつ観測期間も短いため本報告には試みた整理例を紹介するに止める。

① 測定点を通過する波向分布: 測定方法は図-4 に示すように測定位置を設定し、一定時間内に同地点を通過する波向を、連続的にスカナーの回転と同期撮影した

写真-2 映像例 1

レンジ; 1.5 km, off center
距離マーカ; 300 m
波浪; $H=1.7$ m, $T=13$ sec
うねり、やや風浪あり

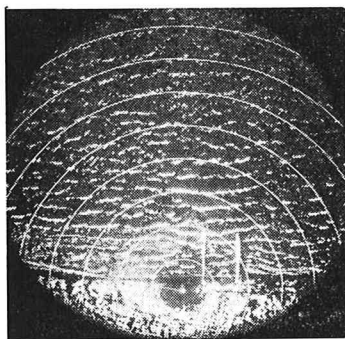


写真-3 映像例 2

レンジ; 500 m, off center
距離マーカ; 100 m
波浪; $H=1.2$ m, $T=12$ sec
うねり

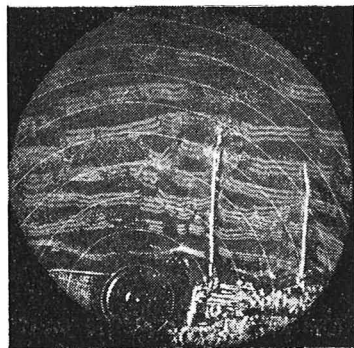
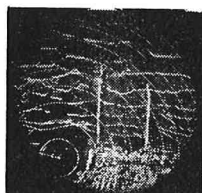
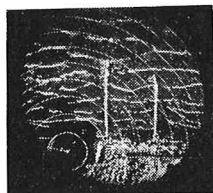


写真-4 映像例 3

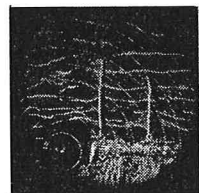
レンジ; 500 m, 距離マーカ 100 m, 波浪; $H=1.2$ m, $T=12$ sec, うねり



①



②



③



④



⑤



⑥

映像写真から測定するものである。

測定点として、鹿島港においてはその海底変化がほぼ一様で平坦な海岸線とほとんど平行な等深線であることから等深線（水深、約 16 m, 11 m, 5 m）とほぼ平行な沖合 500 m（A 測線）、1500 m（B 測線）、2000 m（C 測線）の線上に 500 m 間隔で、幅 200 m、沖合方向 100 m の 18 区域を設定した。この幅は測点を通過する波峯線の均一的な連なり（すなわち波向）を判断するのに適当な長さとして経験的に定め、沖方向への長さは波長映

図-5 波向頻度分布

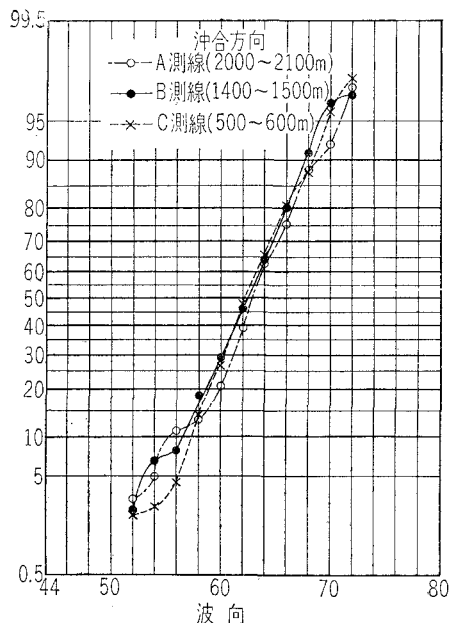
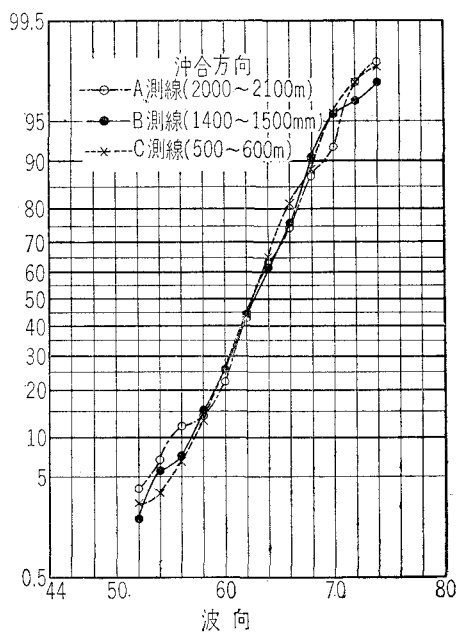


図-6 波向エネルギー分布



像とスカナーの回転速度（約 0.43 rps）から定めたものである。

記載例は昭和 39 年 3 月 14 日 12 時におけるもので、数日前に関東南岸から急速に発達しながら東進した低気圧によりほぼ西高東低型の気圧配置に落着き房総沖の低気圧による不連続線の影響で局地的な風はやや強いが、うねり性の波が卓越して観察される状態で目測による波高 1.7 m（汀線より 500 m 付近）、周期 13 sec 程度の波であった。

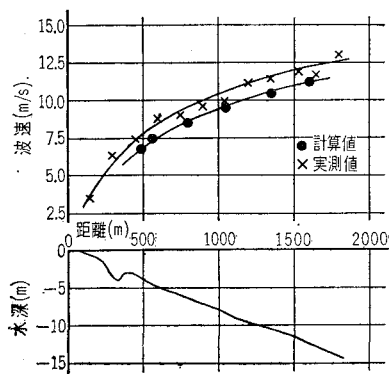
整理に使用した映像は 47 sec 間隔、65 枚の連続写真で、上記各測点について波向を測定し、各水深における統計的な性質を知る一例として各測線（水深）における波向別の出現頻度を集計し、正規確率紙に示すと図-5 のように表わされ、一応正規分布と見なしうる。したがって平均波向および標準偏差として、それぞれ 62.5° , 4.5° を知ることができる。この場合、波の入射方向と前面水深の関係から屈折現象はほとんど現われていない。また波向を測定する場合スカナーの角速度が問題となるが、各測点の幅を 200 m と限定しているの、その間の走査時間の遅れによる測角誤差は A 測線で 2.0° 、C 測線で 4.0° 以下となり整理上無視するものとした。

一方、海浜あるいは構造物に対する波向の影響は、単なる頻度の問題ではなく、当然その波の持ち込むエネルギー量が関係することとなるから個々の波の波向に重みを持たせる必要があると考えられる。本観測実施当時は現地において波高計が設置されておらず進行波形が得られなかったので、映像上から有義波波長、周期を求め目測波高を有義波高と見なし個々の波の波高は波長と相似的なものと仮定して各水深、各測点を通過する波のエネルギーを求め、波向とともに集計表示した結果は図-6 に示すようで前述の出現頻度による場合とほとんど同様の結果となった。

また映像から測定した各地点の平均波速と、ストップウォッチによる平均周期および深浅図から求めた波速の関係は図-7 に示すようにほとんど一致する。

以上の結果あるいは波向分布の周期的変動などについて

図-7 波速図



ては今後のデータ採出法の改善とあわせ研究を進める予定である。

② 進行曲線による波向：波の進行方向は波峯線と垂直をなす方向に直進し、その方向をその地点における波向とするならば、波峯線と波速を設定しながら作図する

図-8 波峯線分布

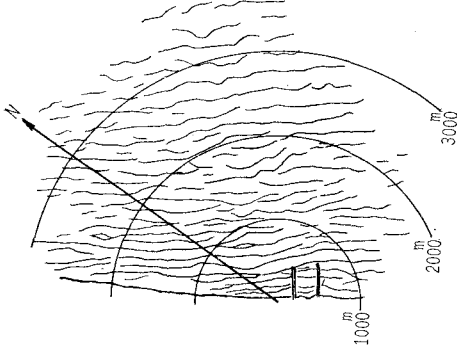


図-9 (a) 波峯線進行図

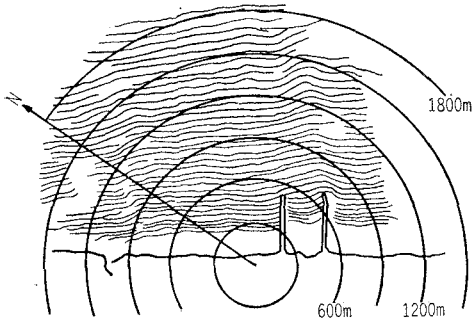
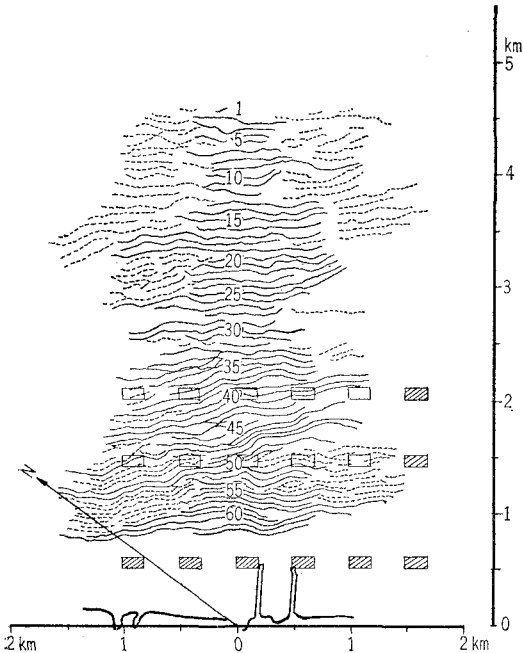


図-9 (b) 波峯線進行図



屈折図と同様の要領でその進行曲線を求めることができる。

この作業を行なう場合に映像は2種類の原型として使用することができる。すなわち図-8は瞬間的な波峯線映像の分布を図示したものであり、図-9は連続的な映像から特定の一波の進行状態を追跡し、その経過を一枚の図上に示したものである。図-9 (a)は割合、静かな海面にきわめて長い波峯線を有する一方向からのみと見られる波の場合で、一般に2方向以上の波向を有する波の場合には進行とともにそれぞれの波向の波浪映像として消長が見られ図-9 (b)のように作図上の交錯が多くなり以後の作業は困難である。

図-8を原型とする進行曲線は図-9 (c), (d)に示す

図-9 (c) 波浪進行線 (その1)

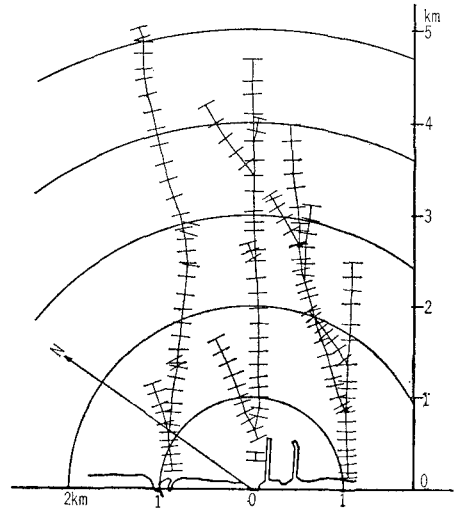
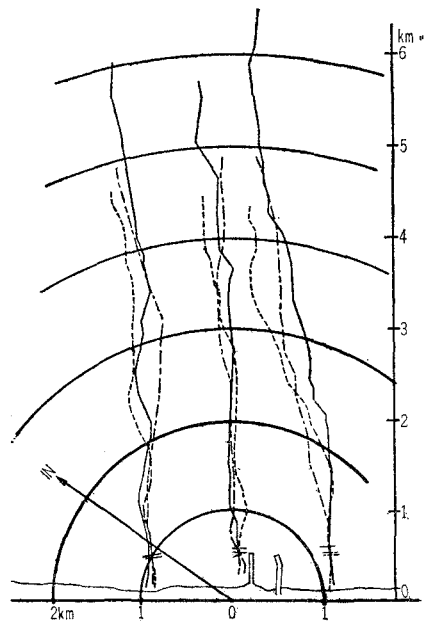


図-9 (d) 波浪進行線 (その2)



ように求められる。図-9(c)は追尾基点より前述の作図を行ない(岸から沖へ向かって逆に進行経路を求めている)、波向性の異なる(明らかに別方向と考えられる)波に出会った場合は進行曲線を別に設定することとした。図中ののはしご状の横線は幅約200m内の波峯線の平均方向峯を表わし、その間隔は波長を示している。図-9(d)は波向性に無関係に作業を単純に進めたもので、それぞれ基点を同じくする3本の線は約5分間隔の映像から求めたものである。

この平均曲線の移動、各曲線における部分的な偏位あるいは曲線相互の拡がりなどの有する波向特性的意義は現在のところ明らかでない。

③ 手動追尾装置：直接映像観察による手動波向追尾装置を付加し、任意測定点における時間的波向変化を連続的に記録し、定常観測におけるデータ処理を簡略化する方法を考慮し装置の試作を進めている。

(3) 波向観測例における効果および問題点

本稿執筆時においては現地観測例もまだ断片的なテスト段階であり、データ整理に関してもその方法が確立されていないため、波向観測に対するレーダの使用効果およびその取り扱いについて結論を得るに至っていないが、現在までの事例から概念的に下記のように推考される。

a) 測定能力

① 測定範囲：波向観測におけるPPI方式によるレーダの測定範囲とは、海面からの雑音的エコーを正規化された入力信号として波峯線の連りを映像面上に表示しうる能力範囲といえるが総体的な海面反射係数に対し、そのときの任意地点における波峯線部の反射係数を求め、電気回路によって自動的に分離し映像表示することはできず、手動調整によらねばならない。このことは電波反射面としての海面の不安定性によるもので、測定域における風の条件が支配的要素となり、波の大きさ、調整技術レーダ装置の基本性能とともに測定範囲を決定づけるもので、そのときの条件に応じ経験的に求める以外に方法がなく下記のように観察される。

② 波高1.5~2m、周期10~13sec程度の波の場合に風速10m/secでは半径5kmまで実用的な測定が可能であり、連続的な映像において顕著な波峯線は7~8kmまで確認される。また風速5m/sec付近では2~3km、風速0m/secの付近では測定範囲は1~1.5km程度に縮小される。

③ 従来の試料によるとSea Clutterはスカナーから見た風上側に強く現われるとされていたが、波峯線を観察する場合にはむしろ逆風のほうが良く、波峯線と平行な風向は好ましくないように見受けられるが、まだ明らかではない。

④ 波長50m程度以下の進行波はより長周期の波に

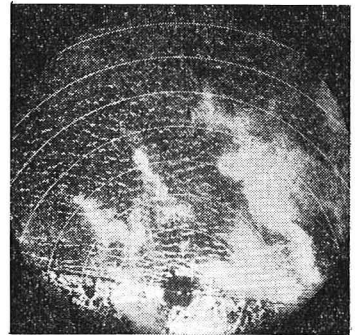
対し、波峯線の連続性が明確でないため一般に検出が困難であり、風浪のみが卓越する場合には連続的な映像の動態から観察的に波高を求めるようになる。

⑤ 砕波状の波は波の大きさ、測定距離、風などの条件に関係なくきわめて明瞭に表示される。

⑥ 雨雪などの障害：雨、雪、濃霧などの条件下における電磁波の伝播特性については理論的・実験的に多くの結果が発表されており、レーダー装置としてもそれらの影響による障害除去の方法が開発されつつあるが、現在では小規模なミリメートル波帯レーダ装置において雨雪の影響をある程度以上除去することは困難であり、われわれの観測における雨による障害の一例を写真-5に示す。天候は全般

写真-5 映像例 4

レンジ：2.5 km, off center
距離マーカ：500 m
波浪：H=1.2 m, T=11 sec, ウネリ



である。このような場合、調整回路の使用などによりある程度雲状の影像を除去し波の影像を現出することは可能であるが、相対的に映像感度が低下するので全体的な測定範囲は実用上1/2程度にせばめられる。

⑦ 測定精度：測定精度はパルス幅、方位分解能、映像縮尺に対するスポットの大きさなどの装置特性と海面条件、特に波峯線付近における反射信号の性質により決定される。

機器装置の総合的絶対値精度は映像画面上、中心よりの実距離半径100m以内を除き映像図形と実測図形の誤差は任意の標定測線上において1mm以内の図形ひずみを許容誤差としており(1.5kmレンジにおいて約10m)、映像の距離分解能、方位分解能はそれぞれ4mおよび15'以下に設定されている。しかしながら複雑な反射面の集合体と見なされる波峯線映像は本機のパルス幅に対し1.5~2.5kmのレンジにおいて10~30m程度の帯状に表示されること、映像縮尺がCRTの大きさにより規制されること、測定者の個人誤差などにより±1°程度の誤差の介入が一応考えられる。

b) 機器装置の改善など 本レーダ装置は小型、軽便に製作されたため機械的、電気回路的にいくつかの問題点を発生したが逐次改良を計り、基本的にはほぼ満足な状態を得るに至ったが、実用性の向上から下記事項の開

発を促進したいと考えている。

① 定常観測の実施を円滑に行なうため、レーダ装置の安定化および作働、調整の自動制御化を計る。

② 電波伝播上の雨雪障害を除去するため、対数増幅器の性能向上、円偏波その他の方式を常に完全な映像を得るようレーダ装置の整備を計る。

③ 無風に近い海面状態における電波の伝播、反射特性を本使用目的の観点から解明し、その対策を研究して測定能力の向上を計る。

④ 将来寒冷地において使用する場合を考慮し、特にスカナー部における氷雪による障害防止策を検討する。

4. 流況観測などへの応用

海岸線付近に設置された高分解能レーダは、波向観測のほか流況観測、海上の位置測量などにおいてもきわめて有効に使用されるもので、大船渡港および鹿島港における試用からつぎの効果が確認されている。

(1) 流況観測への利用

レーダを利用した流況観測は漂流桿追尾方式によって行なわれ、測定範囲が広い場合、あるいは漂流桿が不規則な交差をする場合には、特殊なレフレクターを有する浮標を使用しなければならないが、従来の追尾方法による場合とくらべ下記の利点を有する。

① PPI 指示方式による場合、表示される映像がある縮尺の平面図であり、漂流桿の位置はその図上に輝点となって現われるから、流線は CRT 映像面上に直接プロットまたはトレースすることにより簡単に求められ、従来の測角・作図などの手続きにおける測定および個人誤差は一切介入しない。

② 映像の表示は連続であると見なされるから、単時間に起こる濁流などによる動きも正確に測定される。

③ レーダによる物標の映像は日照条件に関係なく表示されるから、昼夜にわたり同一条件で観測が可能である。

④ 広範囲にわたる多数の漂流桿の継続的追尾を、1人の観測要員で同時に行なうことが容易である。

⑤ 漂流桿の投入、回収などの場合に、レーダ観測によりその作業船を直接目的の位置に誘導できるから、昼夜の別なく能率的かつ安全に観測を遂行しうる。

(2) 海上における位置測量への利用

鹿島港に設置されたレーダ CPSH-4A は、有する機能の範囲においてハーバー・レーダに匹敵する性能を有するから、

① 任意に設定される航行線上の船舶の誘導および時間的位置の検知

② 目視目標を有しない目的位置への作業船の誘導

③ 海上における物標の探知と位置の決定
などが可能なことから、単に観測調査の目的に限らずその応用範囲は広い。

5. む す び

主として波向観測へのレーダの応用についてその概要をのべたが、測得例も少なく整理法も確立されていないため、波向の性質について論ずるに至っていないが、今後継続的な観測を実施して波向分布特性の実態を逐次究明したいと考えている。

なお本研究の開始にあたって昭和 37 年度には沖電気工業株式会社と共同研究を行ない、その後も岡田 高、橋本定雄氏などの御協力を得るとともに、現地観測の実施に当たっては第 2 港湾建設局各位の御配慮と茨城県鹿島港調査事務所の御助力を受けたことを記し、深く謝意を表するものである。