



Title	レーダー電波の海面反射の観測
Author(s)	青田, 昌秋
Citation	低温科学. 物理篇, 27, 327-337
Issue Date	1970-03-31
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/18121
Type	bulletin (article)
File Information	27_p327-337.pdf



[Instructions for use](#)

レーダー電波の海面反射の観測^{*,**}

青田昌秋

(低温科学研究所)

(昭和44年8月受理)

I. ま え が き

レーダーを用いて海上にある目標を観測しようとするときに波があると、これがレーダー電波を反射して、この海域中の目標の識別が困難となるばかりでなく、時には全く不可能となる。この現象は海面反射妨害とよばれている。筆者は、流水観測レーダーを用いて流水観測を行なっているが、発生初期の海氷の凹凸はきわめて小さいので、その反射電力は微弱で、海面反射波との判別が困難なことがしばしばある。この識別を確実に行なうためには、海面反射波の性質を知る必要がある。近年、海面反射波を利用して海面状態を探知しようという試みがなされているが¹⁻³⁾、海面反射波の基礎的研究は少ない⁴⁾。海面状態のマイクロ波に対する反射能力は理論的にも殆んど未知であり、かつ、波浪の形態自体もまだよくわかっていない。筆者は、海水面からの反射波の性質を調べるために、流水の退去後の昭和44年4月以後、紋別大山局レーダー(波長5.4 cm, アンテナ標高300 m, レーダー電波ビーム幅水平1度, 垂直4度)を用いて海面反射波の観測を行なった。今回は観測方法の確立を目的としたものであったが、得られた資料に基づいて、海面反射波と風および海面状態との関係について考察を行なった。

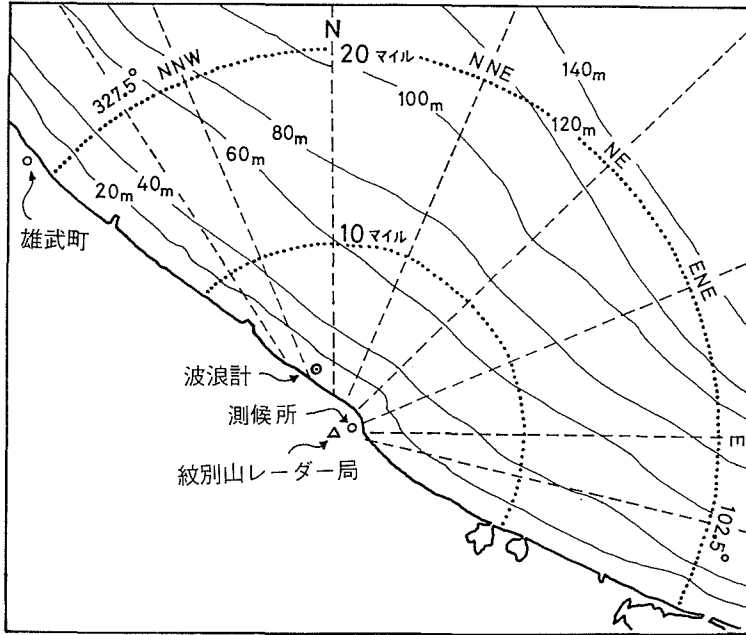
II. 測定方法

測定海域、レーダー設置点、等深線等を第1図に示す。図から明らかなように等深線は海岸線にほぼ平行である。また同時に北海道開発局網走開発建設部紋別港修築事業所の波浪計と、紋別測候所の位置も示した。

海面反射電力の測定はレーダー装置の対数増巾器の出力電圧をシンクロスコープに導入して、いわゆるAスコープ法を用いて行なった。測定にあたっては空中線のある海域に向けて固定して、一方向の海域からの海面反射電力を測定する方法と、空中線を回転させながら全方向からの反射電力を次々に測定する場合の2通りの方法を用いた。シンクロスコープ上の像を、一方向の測定するときには35ミリ・カメラで、全方向のときには16ミリ映画カメラにより每秒32コマの撮影速度で撮影した。アンテナは5秒間に1回転するから映画の各コマの方向の差は2.25度である。露出は約1/60秒であるから、各コマのAスコープ像は約1.2度巾の方向の平均である。陸地のAスコープ像は安定であって海面のそれとははっきり識別されるので、ビーム

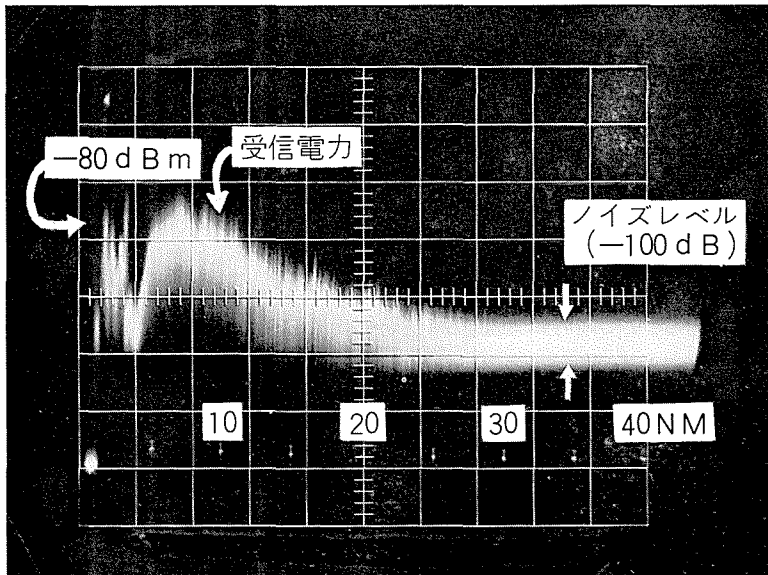
* 北海道大学低温科学研究所業績 第981号

** 北大低温科学研究所附属流水研究施設研究報告第8号



第1図 観測海域

観測点、水深、レーダー設置点、紋別測候所および波浪計設置点を示す

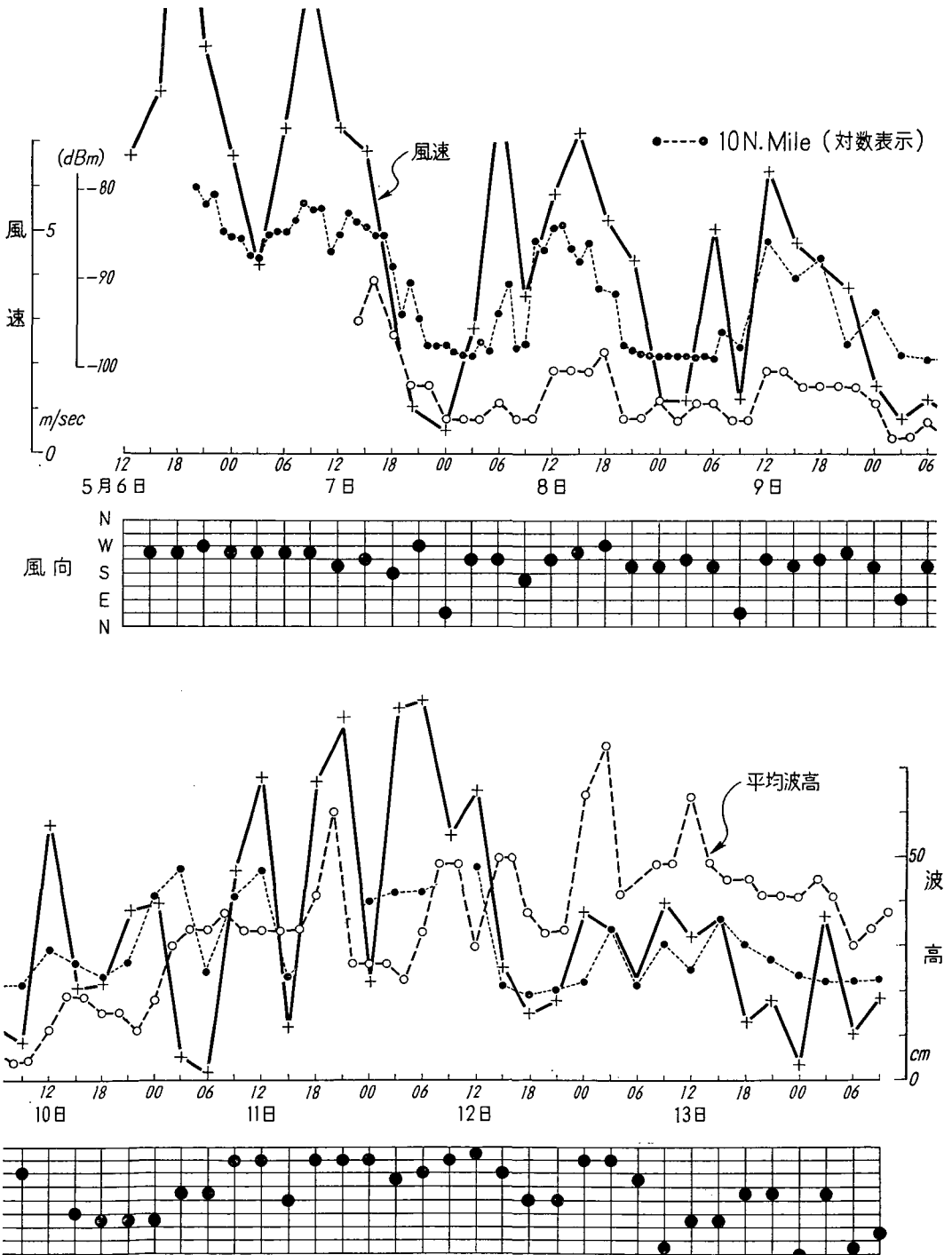


第2図 A スコープによる海面反射電力測定の一例

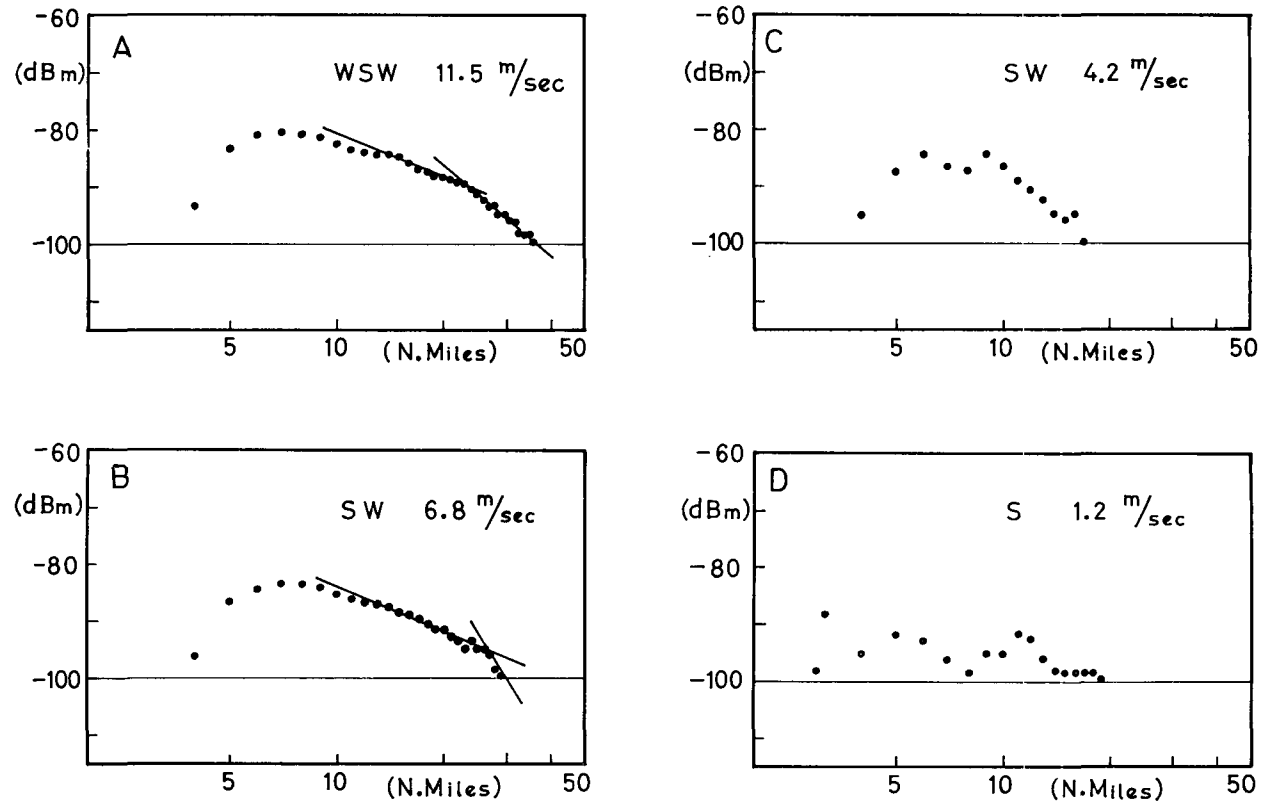
昭和44年5月6日21時、北東方向。

風向：西、 風速：9.2 m/s

方向が陸地から海面に変わる(310°)方向に対応するコマは容易にみつかる。これを基準にして任意のコマのビーム方向が推定できる。なおAスコープ像はマイクロ波標準信号発生器による校正を行なった。第2図に海面反射のAスコープの一例を示した。



第3図 紋別沖北東10渚点からの反射電力と波高・風との関係
(1969年5月6日~13日)



第4図 空中線からの距離に対する海面反射電力の減衰の例 (北東方面)

(A) 5月6日20時

(C) 5月9日18時

(B) 5月7日15時

(D) 5月11日15時

III. 観測結果

観測は昭和44年4月2日～4月6日と4月24日～5月2日、および5月6日～5月14日の3回、1時間毎または3時間毎に行なった。第1回目は露出テストを兼ねて全方向の観測を行なったが、測定器の調整を誤ったため相対的変動しか得られなかった。第2回目は全方向を、第3回目は空中線を沿岸線に対してほぼ直角の北東方向に固定して測定した。

第3図は、昭和44年5月6日～5月14日の観測結果の1例である。方向は北東方向で、5月6日～5月9日9時は1時間毎、それ以後5月14日までは3時間毎に測定した。図には10湊点からの反射電力の変動、紋別測候所(標高19.7m)で観測した風向、風速および波高計による20分間の平均波高を示した。

レーダー理論によれば反射電力は、空中線と目標との距離に応じてはじめは距離の4乗あるいは3乗に反比例して減衰するがやがて8乗または7乗に反比例して減少する領域へと移行する。このふたつの領域の境界は屈折点とよばれている。第4図に距離による海面反射電力の減衰の例を示す。図中には同時に当時の風向風速も示した。これらの図はAスコープ像の横軸を対数目盛にしたものである。

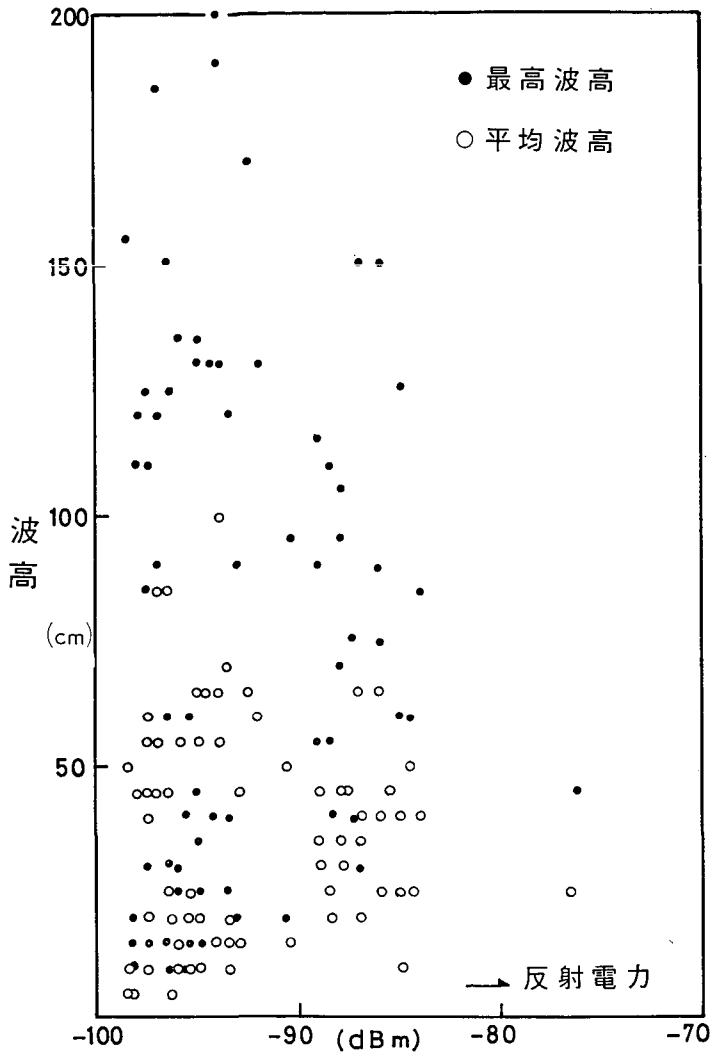
第4図で風速が大きいとき(図A、B)は屈折点がみとめられるが、風速が小さいとき(C、D)ははっきりしない。なお、近距離の反射電力が小さいのは空中線の指向特性によるものである。空中線からの距離の相違による反射電力の違いをさけるため、以下の解析は10湊点の資料についてのみ行なった。

1. 海面反射電力と海面状態

第3図で特に5月6日20時～5月9日06時の1時間間隔の反射電力の風速増加に対する応答がきわめて速いが、風速減少と反射電力の減少とは必ずしも対応していない。風による海水表面の変化としては、表面張力波を含む短周期小波長の風波から長周期のうねり、碎波、海水の飛沫等さまざまな形態が存在するが、風速増加時に反射電力増大の応答が速いということは発達に長時間を要する波ではなく、短時間のうちに変化する短波長の波に受信電力が大きく左右されることを意味している。

北海道開発局紋別港修築事業所の超音波波浪計による1時間毎の20分間の平均波高と、反射電力との関係を第5図に示した。波浪計の設置点は第1図に示すように、海岸線から800m沖合・水深20mのところであり、この平均波高は10湊沖合のそれらとは異なるが変動は沖合の変動にほぼ対応していると考えられる。

第5図で反射電力と最高波高、平均波高のあいだには全く関係がないばかりでなく、波高が特に高い場合には反射電力がむしろ減少さえしている。波高の高い波のときに反射電力が減少しているという事実は非常に興味深いことである。レーダー電波の海面に対する入射角が小さい場合、微小波面が波高の高いうねりにのっているときには、レーダー電波に対して影の部分が生じて、海面全体の波高の増大にもかかわらず有効反射面積が減少して、かならずしも反射電力の増大とはならないばかりでなく、逆に減少することもありうる事は容易にうなづけることである。すなわち、第5図の結果もまた海面反射電力は主として短周期の波によることを



第 5 図 波高と反射電力の関係

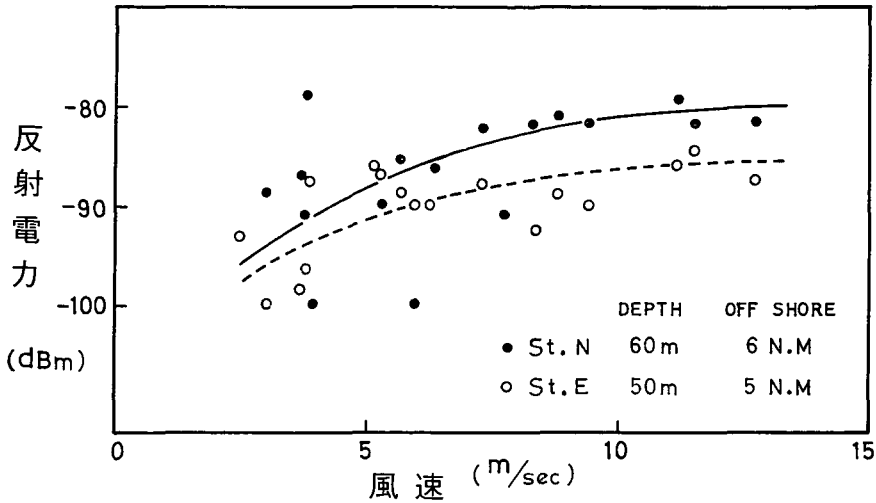
示しているということができるであろう。

Martin Katzin⁴⁾ は円板状の反射面を仮定して、レーダー電波と海面のなす角が小さいときには、レーダー電波の波長程度の小波面が海面反射電力に最も大きく寄与するとのべている。

2. 水深および吹走距離

一般に海面状態は水深、風の吹走距離、連吹時間などによっても変化する。水深が減少すると、波長と波速が減少し、波のエネルギーの保存性から波高が増大する。また沿岸近くでは波向の変化も著しい。風向がほぼ一定で海岸線に直角(南西)であった4月26日から4月29日6時までのあいだにおける、レーダー局から第1図に示した8方向の10測地点からの反射電力と風速の関係を求めた結果のうち、北方向および東方向を第6図に示した。

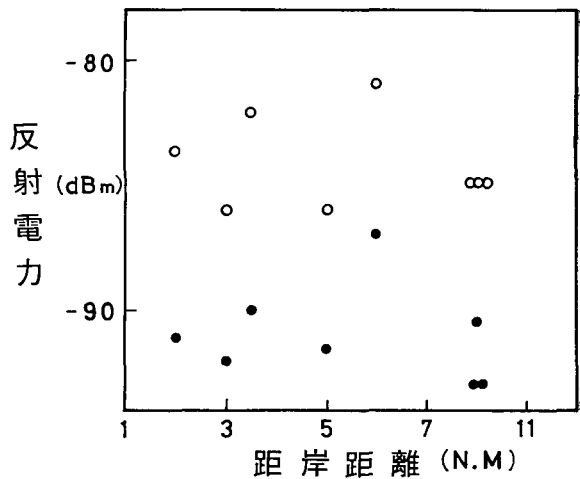
北方向の測定値が東方向の値より大きいのが両測点とも風速が大きくなると、反射電力は増



第6図 4月26日12時~4月29日の10測点からの反射電力と風速の関係
黒丸実線はN方向，白丸破線はE方向

大しながら，図中の曲線であらわされるような，一定値に近づく傾向があるようである。他の6点についても同様であった。

第6図の曲線が風速に対する平均反射電力を表わすと考えて，風速5m/sおよび10m/sのときの両測点の平均反射電力を読みとる。同様なことを他の6測点についても行ない，距岸距離と比較したのが第7図である。風は海岸線に直角に陸から吹いているので，距岸距離をそのまま吹送距離とみなすことができる。図によると反射電力は吹送距離とは無関係のようである。また水深と反射電力の間にも関係はないようであった。



第7図 海面反射電力と距離の関係
黒丸は風速5m/sec，
白丸は風速10m/secを示す

第7図で，距岸2哩地点と10哩地点で反射電力に差がないことは，反射電力が，吹送距離2哩ですでに充分発達しきる程度の短波長の波に支配されると考えれば説明できる。

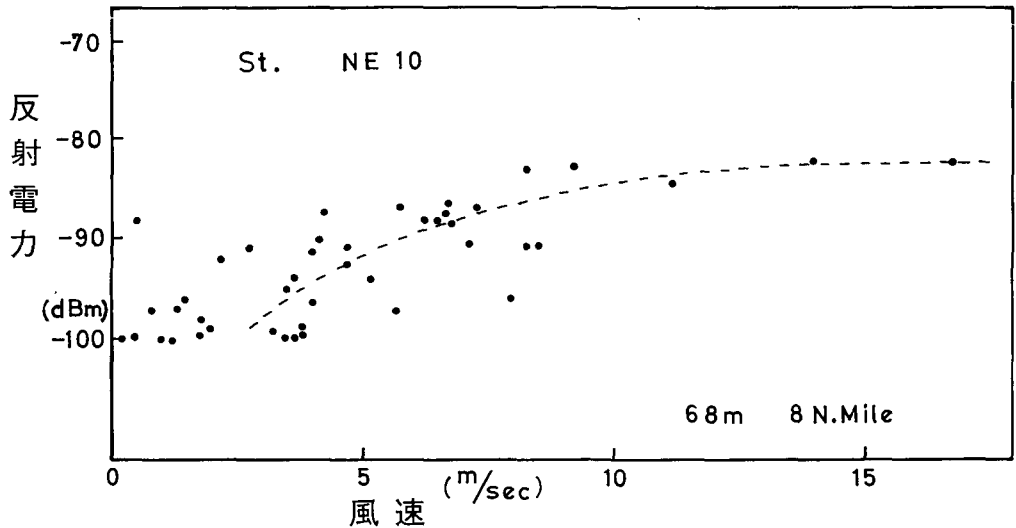
3. 波向に対するレーダー電波の相対方向のちがいによる反射電力の相違

レーダー電波が波向に対して正面から入射する場合，背面から入射する場合および側面から入射する場合によって反射電力に差異が生ずることが考えられる。第6図における北方向と東方向の反射電力の差はこれによるのかも知れない。このことを更に調べるため4月24日~5月2日の全資料につき，電波放射方向が風上方向，風下方向，直角方向について反射電力を比較したが，電波が風上に向かう場合，すなわち波の前面に電波が当たる場合に反射電力は最大で

あり、つぎが波の側面から入射する場合で波の背面から入射する場合がそれより更にいくらか小さい傾向がみられたが、定量的に論ずることはできなかった。

4. 海面反射電力の飽和現象

第6図で点はかなりばらついているが、風速の増大に伴って反射電力がある一定値に近づく傾向があることは既に指摘した。第8図に5月6日～5月14日の全期間にわたる北東10湮点からの反射電力と風速の関係を示す。

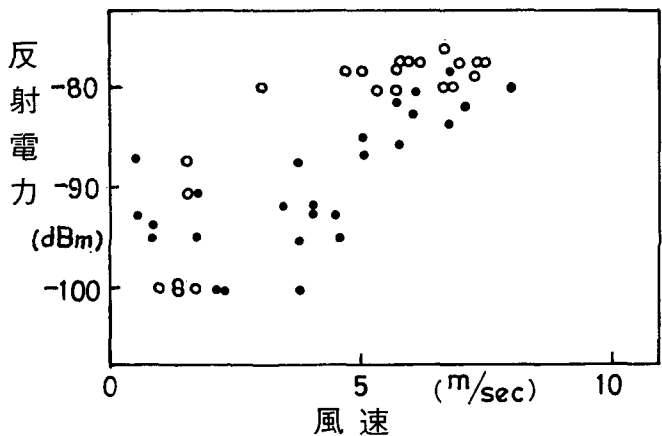


第8図 5月6日～5月14日の北東10湮点からの反射電力と風速の関係

種々の異なる条件を含んでいるが、風速と反射電力は点線で示すような関係にあるといえる。

Martin Katzin は反射電力は風速に比例するとのべている。第6図、第8図で風速はたかだか 16.8 m/s で 10 m/s 以上の点も少ないので断言はできないが、風速の増大に対して反射電力が飽和する傾向があるようにおもわれる。

風が吹き出すとまず短周期の波が成長するが、風速が増大していくと短周期の成分波のエネルギーの吸収能力が限界に達し、それ以上のエネルギーが加わると砕けてしまい、長周期の波が成長していくと考えられている。海面反射電力が主に短周期の波によっているとすれば、風速の増大にとまう反射電力の飽和現象は、短周期成分波の

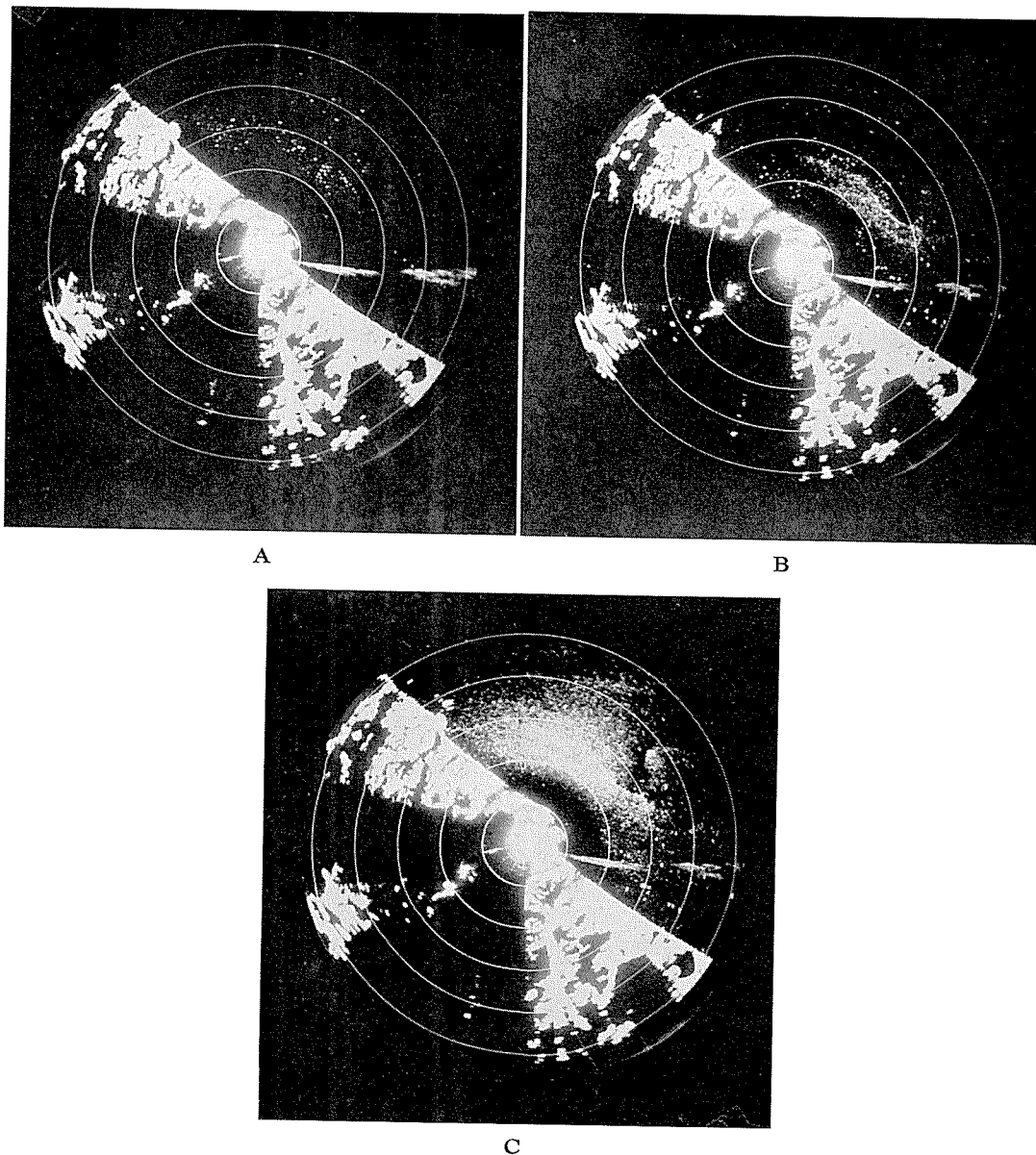


第9図 風速の増大時と減少時の反射電力と風速の関係
白丸は増大時、黒丸は減衰時を示す

エネルギーの吸収能力の限界によるものと考えられる。

5. 風速増大時と風速減少時における反射電力の違い

波と風との相対速度によって、海水表面の擾乱の度合が異なり反射電力に差異を生ずる可能性がある。4月2日～4月7日の観測時には、風向はほぼ一定の北北西の風で、風速はゆるやかに増大しのちにゆるやかに減少した。このときの風速の増大時および減少時の風速と反射電



第 10 図 レーダー映像にみる点状映像から面状映像への移行
 A 7月5日 22時 31分. 東の風, 2.0 m/sec
 B 7月5日 23時 48分. 東の風, 2.5 m/sec
 C 7月6日 00時 36分. 東北東の風, 4.0 m/sec

力の関係は第9図のようになる。

風速の増大時には、風と海面との相対速度は風速の減少時のそれよりも大きいものと考えられる。図では相対速度の大きい風速の増大時に反射電力が大きくなる傾向がみとめられる。

6. 海面反射の点状から面状への移行

最後に、A スコープ観測ではないが、PPI 映像 (普通のレーダー映像) にみられる興味ある現象を第10図に示す。第10図のA, B, Cは波の映像が風速の増加とともに点状から面状へと移行する過程を示している。

これは風が吹きはじめると、まず短周期の表面張力波が、広い海面のあちこちに散在している風波発生の領域で発生し、その後、風速が増大するに従って全域に広がっていくことを示している。

点状の映像の発生発達については今後風波の発生機構と結びつけて研究を進めたい。

ま と め

流氷観測用レーダーによる、海面反射波の観測の結果、レーダーの反射はレーダー電波と同程度の波長の波に支配されることでよく説明できる、次のような事実が見出された。

1. 風速増大時に反射電力は速やかに増す。
2. 波高の増大は反射電力を必ずしも増大させない。
3. 吹送距離が短かくても反射電力は変らない。
4. 反射電力は、風速の大きい所で飽和する傾向にある。

これらのことからみて、センチメートル波レーダーの反射電力から波浪階級を知ろうとする試みは原理的に無理と思われる。

短波長の波の、波形と、波面の大きさの分布、及び発生機構等の反射電力への影響についても2, 3の定性的な観察が行なわれた。これらについては、今後、風波の発生機構の理論研究、Munk-Cox^{5,6)}の光学的手段による短周期波の観測などを考慮して、更に研究を進めたい。

この研究に当っては、田畑忠司教授をはじめ流氷研究施設研究員の各位から懇切なる御指導をいただいた。なお、レーダーによる観測は当研究施設大井正行技官、石川正雄技官によって行なわれたものであり、資料の整理にあたっては両君のほかにも富士博樹技術員、池田千江子嬢の献身的御協力を得た。ここに併せて深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 成田信一・鳥居 貢 1967 シー・クラッターと波浪. 函館海洋気象台要報, **13**, 306-315.
- 2) 門脇俊一郎 1962 Sea-echo とその利用 (その1). 海と空, **38**, 1, 13-23.
- 3) 大迫盛夫 1962 レーダーによる海面状態の観測. 研究時報, **14**, 1, 104-107.
- 4) Martin Katzin 1956 On the mechanisms of radar sea clutter. *Proc. IRE*, **45**, January, 1957, 44-54.
- 5) C. Cox and W. Munk 1954 Measure of the roughness of the sea surface from photographs of the sun's glitter. *J. Opt. Soc. Amer.*, **44**, 37-40.
- 6) C. Cox and W. Munk 1954 Statistics of the sea surface derived from sun glitter. *J. Marine Res.*, **13**, 198-227.
- 7) 国司秀明 1962 風洞水槽による風波の研究 (II). 日本海洋学会創立20周年記念論文集, 470-486.

Summary

A radar sea clutter was observed in the vicinity of Mombetsu harbor on the Okhotsk Sea coast of Hokkaido, and the relation between its intensity and sea wave conditions was discussed.

As for the measurement of intensity, A-Scope images of radar echoes on a synchroscope were photographed with a 35 mm still camera, with a fixed radar antenna or with a 16 mm movie camera, with the antenna revolving at 12 rpm. In the latter case, the antenna direction for one frame of the movie film was determined by counting from frame to frame at a known antenna direction.

Since the intensity of the echo naturally depends on the distance from the antenna and the reflecting object, the echo from the sea surface 10 nautical miles apart from the antenna were mainly analyzed.

From the analysis, it was suggested that the intensity of the echo from sea surface depended on the existence of sea waves having a wave length of the same order of the radar waves (5.4 cm in the present case) but not on the wave heights. This means that the intensity of the echo is easily saturates by the increase in wind velocity.