



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	流氷観測レーダーにおける流氷と海面反射の識別
Author(s)	青田, 昌秋; AOTA, Masaaki
Citation	低温科学. 物理篇, 30, 163-174
Issue Date	1973-03-05
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18207">https://hdl.handle.net/2115/18207</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	30_p163-174.pdf



## 流水観測レーダーにおける流水と海面反射の識別<sup>\*,\*\*</sup>

青田昌秋

(低温科学研究所)

(昭和47年10月受理)

### I. ま え が き

北海道オホーツク海沿岸の流水の分布状況は、流水レーダー網の完成によって昼夜随時観測できるようになった。このレーダー網によって得られた資料をもとにして、流水の漂流、変形等に関する研究が行なわれている。同時に、これらの研究の基礎となるレーダー映像と実際の氷状との対応に関する調査研究が進められている。特に、石田<sup>1),2)</sup>、小野<sup>3)</sup>らは空中斜め写真による氷状図とレーダー像の比較、レーダー反射信号のパルスの数と氷状の対応などについて論じている。しかし一見すると全く同じに見える流水からの反射波と流水のない海面からの反射波とをどのようにして識別するかについてはまだ殆ど研究されていない。特に凹凸の小さい発生初期の流水、および発達した流水でも、風波がはげしい場合には、海面反射波と流水からの反射波の判別ができぬことがしばしば起る。流水と海面反射波との識別は、適確な流水分布状況を知るために解決されねばならぬ問題である。

筆者<sup>4)</sup>は既に風向、風速および波高と海面反射電力の強度の関係について報告した。ここではレーダー受信電力の時間変化を周波数分析することによって、海面反射波と流水からの反射信号を識別する試み、および砕氷あるいは泥氷による風波の吸収—海面反射波の消滅—に関する観察について報告する。

### II. 観測方法

測定は昭和46年4月5日に網走、47年4月4日に紋別において実施した。網走美岬局および紋別大山局レーダーの波長は5.4 cm、ビーム幅水平1度、垂直3度であり、空中線設置点の標高は網走美岬局は220 m、紋別大山局は300 mである。

測定にあたっては、空中線を流水と開水面の両域が存在するような方向に向けて固定し、両者からの信号の時間変化を測定した。反射電力の測定は、レーダー装置の対数増幅器の出力電圧をシンクロスコープに導入し、このAスコープ像を16ミリ映画カメラで撮影した。このフィルム各コマを読み取って受信電力の時間変動を得た。なお、昭和46年4月網走での撮影速度は毎秒64コマ、47年4月紋別では毎秒24コマである。

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第1224号

\*\* 北海道大学低温科学研究所付属流水研究施設 研究報告第28号

### III. 観測結果

#### 1. 昭和46年4月5日網走北方向

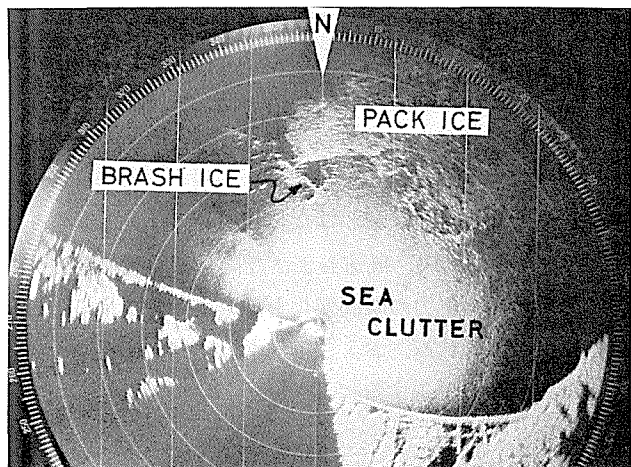
第1回目の観測は、昭和46年4月5日12時30分から13時まで網走美岬局レーダーを用いて行なった。網走地方気象台で測定された観測時の風は南の風、平均8.5 m/secであった。第1図の測定時のレーダー映像で示すように中心から約20 哩までの海域に海面反射がみられた。測定方向は開水面、砕氷域および流氷野が存在する北方向である。なお、標高220 mの美岬局空中線設置点からの目視観測によって、美岬局北方、沿岸から約13~14 哩は開水面、その沖合には砕氷群が散在することを確かめた。それより沖合は目視観測だけでは断言できないが、第1図のレーダー映像と考え合せて流氷野と考えられる。第2図は北方向40 哩までのAスコープ像である。

目視観測および第1図のレーダー映像から美岬局北方の観測海域の沿岸から13 哩までを海面反射域、14~17 哩を砕氷域、18 哩以遠を流氷域と3つに区分した。海面反射域中の距岸7 哩点、砕氷域中の15, 16, 17 哩の3点、流氷野から18, 19, 20 哩の3点、合計7コの測点を選び、その各点からの反射電力の時間変化を測定した。

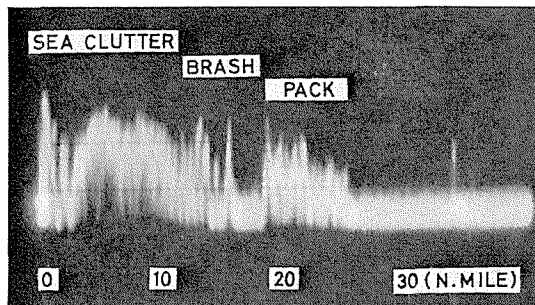
なお、反射電力は目標物体までの距離が大きくなると減少するが、ここでは反射電力の絶対値ではなく、その時間変動にのみ着目しているため反射電力に対する距離補正は行っていない。

第3図に得られた網走沖北方の7点からの反射電力の時間変化のうちの代表的な3点の結果を示す。No. 1は海面反射波である。No. 2は砕氷域、No. 6は流氷野からの信号である。なお、各回とも毎秒64個の読み取りを行なったが図には3コの値を示した。

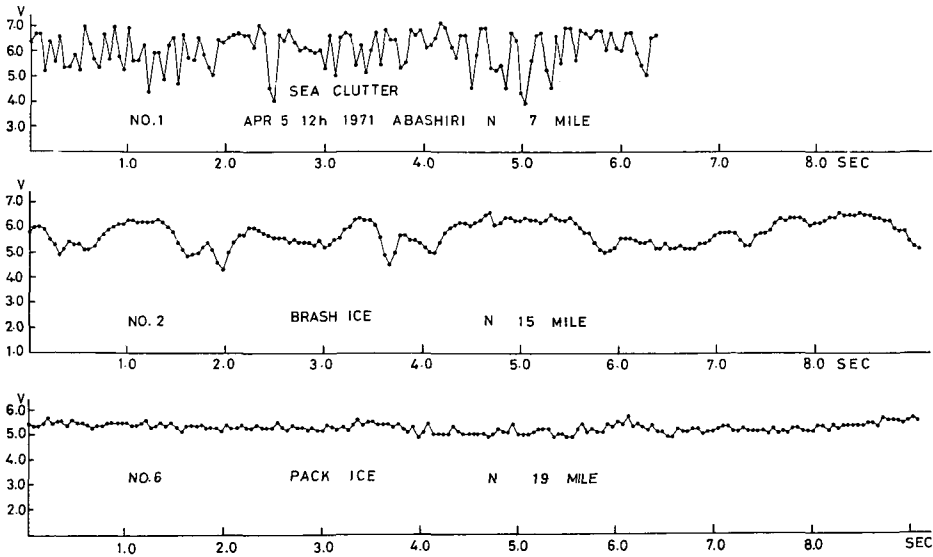
図に見られる反射波の変動は対象物体の何等かの原因による振動あるいは動揺にもとづくものと考えられる。図から明らかのように、海面反射であるNo. 1の変動の振幅が最も大き



第1図 昭和46年4月5日12時網走レーダー映像(同心円は各5 哩毎)



第2図 第1図北方向のAスコープ像



第3図 反射電力の時間変動 昭和46年4月5日12時

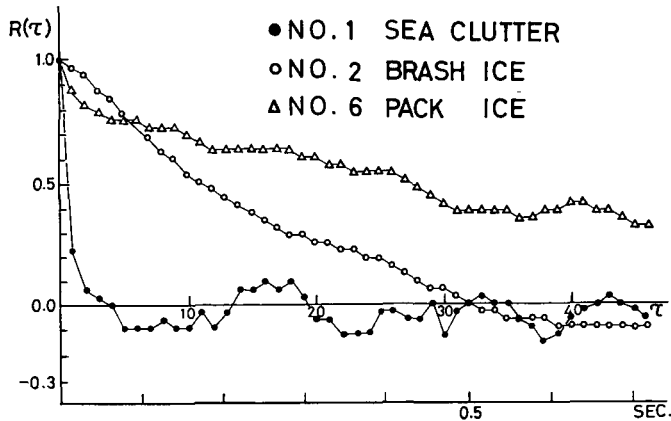
- No. 1: 美岬局北7 湊点 (海面反射域)
- No. 2: 同上 北15 湊点 (砕水域)
- No. 6: 同上 北19 湊点 (流水野)

く、しかも周期の短い変動が顕著である。これに比して砕水域の反射波の変動 No. 2 の振幅は海面反射のそのほぼ 2/3 でありしかも周期の短い変動が著しく少なくなっている。流水域の変動 No. 6 は最も振幅が小さい。

以上の3海域からの反射電力の時間変動の特性を比較するために、各々の平均値からのずれの値について自己相関係数、およびそれからパワースペクトルを計算した。自己相関係数からパワースペクトルを求める際には平滑化の定数として HAMMING WINDOW を用いた。海面反射域、砕水域および流水野の各海域から選んだ No. 1, No. 2, No. 6 の自己相関係数を第4図、これらのパワースペクトルは第5~7図に示した。なお、パワースペクトルの図には、測定された値の80% 信頼限界を示した。

第4図に示した海面反射域 No. 1 の自己相関係数は  $\tau=4$  (約0,006秒) で0となっておりそれ以後、相関係数は0.1~-0.1の間の値を示している。また、第5図に示したパワースペクトルは低周波領域から高周波領域まで比較的には一様で、いわゆる白色雑音に近い特性を示している。これに較べて砕水域および流水野からの信号の自己相関係数の減衰は、極めてゆるやかである。これは長周期の持続的変動に短周期の雑音成分が混在していることを示している。パワースペクトルで見ると砕水域 No. 2 および流水域 No. 6 はいずれも周波数が大きくなると急激に減少する傾向を示しており、周波数2~3ヘルツ以下の低周波領域でのみ海面反射波より卓越しているが、これ以上の周波数領域では急速に減衰している。

すなわち、海面反射波は白色雑音に近い特性を示し、砕水域あるいは流水野からの反射波は前者に比較して長周期の変動が卓越しているが、数ヘルツ以上の短周期の変動成分は劣勢である。

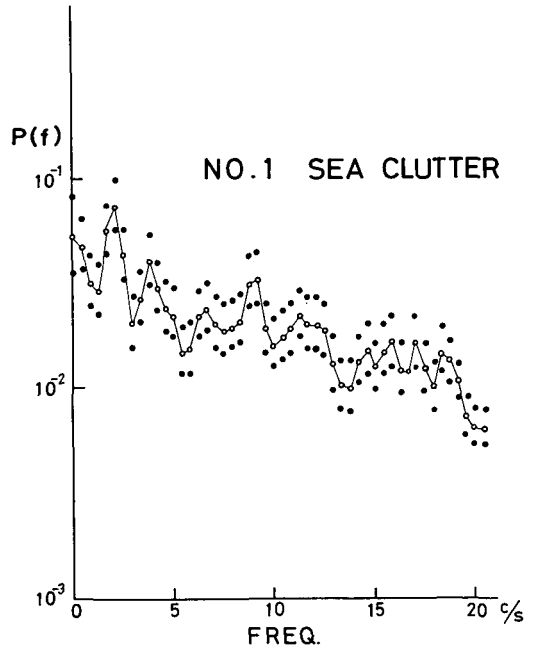


第4図 第3図に示した反射電力の時間変動  
No. 1, 2, 6 自己相関係数

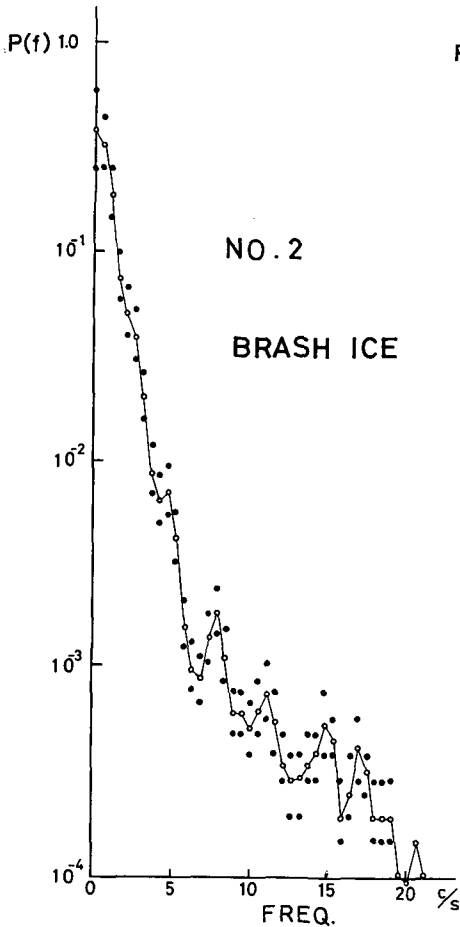
砕氷域 (No. 2, No. 3, No. 4), 流氷域 (No. 5, No. 6, No. 7) の自己相関係数を比較してみると砕氷域の減衰の方が速い。また同じ流氷野でも開水面に近い点から流氷野の内部へ行くに従って No. 5, No. 6, No. 7 の順に自己相関係数の減衰がゆるやかになっており、流氷野の奥の方からの反射波がより定常的、持続的であることがわかった。

美岬局東方の開水面でも、第1図でみられるように20哩まで海面反射波が認められる。海面反射波が白色雑音的であることから、開水面と氷塊の共存している砕氷域からの信号には高周波成分が含まれることが期待される。しかし、砕氷域のスペクトルをみると5ヘルツ以上の周波数領域で急激に減衰してそのような傾向はみられない。むしろ流氷野の水縁に近い No. 5, No. 6 の点からの反射波の高周波成分の方がより大きい傾向がある。

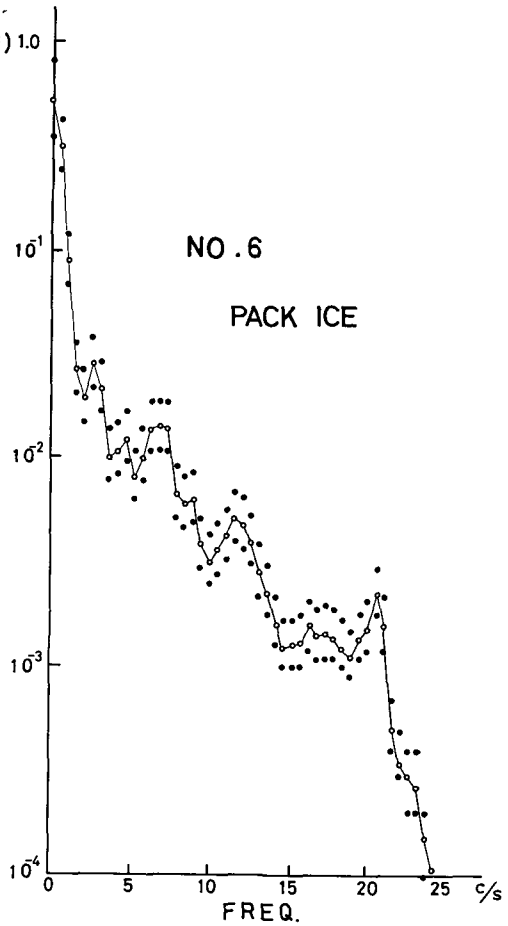
波の実測がなされなかったので推測の域を出ないが、当時安定した南8~10 m/secの風が吹き続けていたので、開水面では風波が充分発達していたと考えられる。よく知られているように開水面で発生、発達した波浪は砕氷域、流氷野へと伝播していく。しかし、氷によって忽ち減衰する。流氷野の奥の方からの信号がより定常的、持続的であることは、氷野の奥では極めて小振幅の長周期のうねりのみしか存在せず、氷が極めて安定しているためであろう。また、



第5図 第3図 No. 1 の自己相関係数から計算したパワースペクトル。黒丸は80%信頼限界を示す



第6図 第3図 No. 2 の自己相関係数から計算したパワースペクトル。黒丸は80%信頼限界を示す



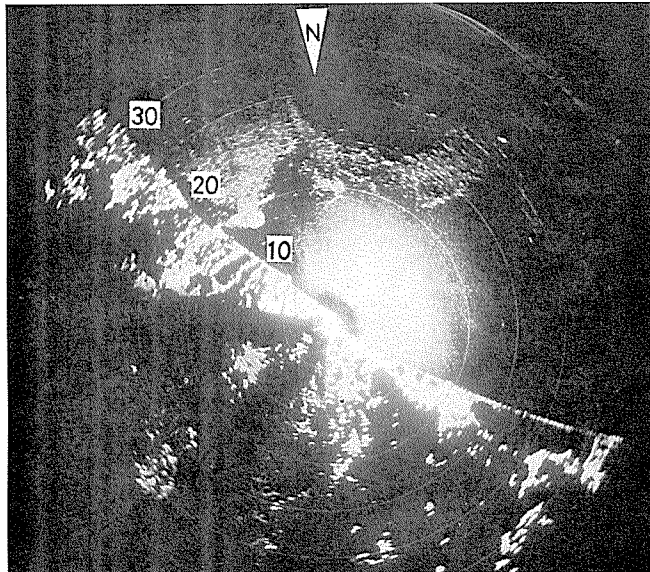
第7図 第3図 No. 6 の自己相関係数から計算したパワースペクトル。黒丸は80%信頼限界を示す

砕氷域からの反射波には海面反射波にみられる高周波成分が著しく劣勢であるという現象は、砕氷群あるいは泥氷によって海面反射の主な原因となっている短波長の風波が消波・吸収されたためであろう。

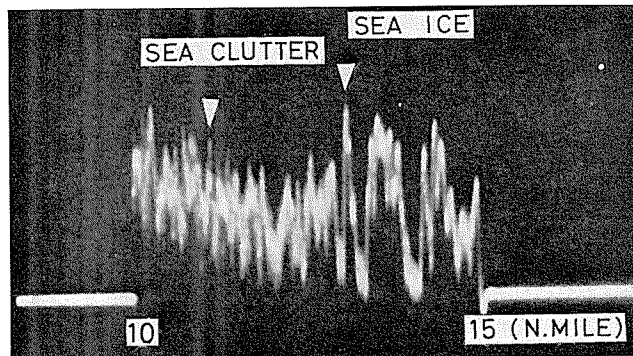
## 2. 昭和47年4月4日紋別北方向

昭和47年4月4日10時紋別大山局北方を選んで観測を行なった。第8図に9時のレーダー映像を示す。当時、南東、7.5 m/sec の風で第9図に示すように15~18 哩以内に海面反射がみられた。レーダー空中線を北方向に固定して観測を行なったが、北13 哩以遠には流氷域が存在している。第9図に北方向10~14.9 哩のA スコープ像を示す。測定にあたっては10~14.9 哩の範囲を拡大して撮影した。なお、撮影速度は毎秒24 コマである。測定点は、海面反射域である北方向11 哩点 (No. 8)、流氷域である北方向13 哩点 (No. 9) の2点である。

海面反射域 No. 8、流氷域 No. 9 の自己相関係数ならびにパワースペクトルは第10, 11 図に示した。自己相関係数で海面反射 No. 8 は  $\tau=1.5$  (0.05 秒) で0になり、それ以後  $\tau=6$



第8図 昭和47年4月4日9時紋別レーダー映像



第9図 第8図北方向10~14.9 A 湮のスコープ像

(0.25 秒) に多少大きな負の相関係数を示しているが、スペクトルにも卓越した周波数成分はなく全体としてほぼ白色雑音の特性を示しているとみてよい。一方、流氷域 No. 9 は、自己相関係数およびパワースペクトルから周数約 2 ヘルツ (周期約 0.5 秒) の周期的変動に高周波の雑音加わったものと考えられる。

### 3. 電子計算機による識別の試み

昭和47年1月当研究施設にレーダーの情報を電子計算機によって実時間処理するための流氷レーダー情報処理装置が設置され<sup>5),6)</sup>、これによってレーダー反射信号の数値化が可能となった。海面反射波の周波数特性を求めるために、昭和47年6月5日10時、紋別レーダーの空中線を北方向に向けて固定し、距岸7~8.5 湮の海域から75 m 毎36点の反射電力の時間変動を記録させた。測定時間は約3秒、測定時間間隔は0.01158秒(約1/88秒)である。当時、南東6.3 m/secの風が吹いており、距岸12 湮まで海面反射がみられた。得られた36点のうち

7.0 湮と 8.0 湮の 2 点からの反射電力の時間変動の自己相関係数およびパワースペクトルを第 12, 13 図に示す。

第 12, 13 図から、網走、紋別の例と同じく海面反射波が白色雑音であることがわかる。

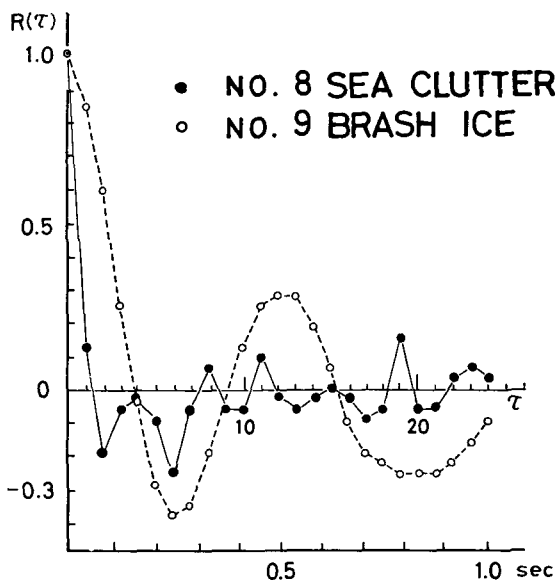
第 1 項、第 2 項で述べた網走および紋別での測定の読み取り時間間隔はそれぞれ 1/64 (約 0.016) 秒および 1/24 (約 0.042) 秒、今回は 1/88 (0.0116) 秒であるが、いずれの測定結果も海面反射波の周波数成分は白色雑音的であることを示している。これに対して流水からの反射波は特異な周波数特性を有している。それゆえ、レーダー反射波の周波数特性を求めることによって流水からの反射波と海面反射との識別を迅速に行なうことができる。

#### 4. 海水による風波の吸収について

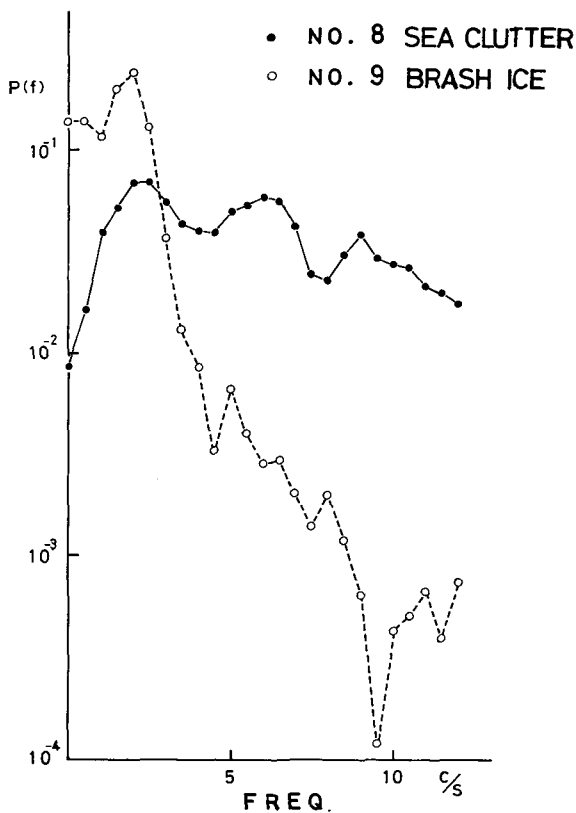
##### (1) 昭和 46 年 1 月 14 日の例

第 (1) 項に示した網走の観測の際に砕氷域では、海面反射電力の主な原因である表面張力波～短周期重力波すなわち短波長の風波が砕氷あるいは泥氷によって吸収・消波されるのではないかと推察した。この現象は特に流水発生初期のレーダー映像の適確な判断のためには無視できない。ここでは、これまでに見た、泥氷あるいは砕氷による風波の吸収・消波の現象について 2, 3 の観察を述べる。

筆者は既報<sup>4)</sup>において、海面反射電力と風速および波浪階級との関係から、海面反射波は主に短周期の風波によると報告した。風速と海面反射電力との関係から、海上の風速を知ることによって反射電力の強度ならびにその発生範囲を知り得る。



第 10 図 No. 8, 9 の自己相関係数



第 11 図 第 10 図の No. 8, 9 の自己相関係数から計算したパワースペクトル

第14図は、昭和46年1月14日9時2分、第15図は、1月15日4時54分の紋別大山局レーダー映像である。紋別測候所による14日9時の風は南南西8.5 m/secであり、既報<sup>4)</sup>から25哩までの海域に海面反射波が起ることがかかる。

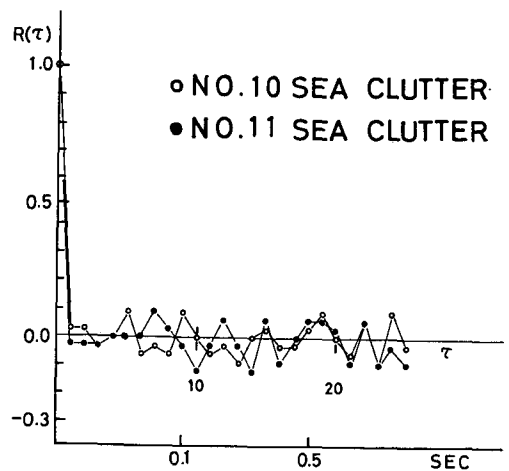
第14図でも25哩以上の範囲まで海面反射が認められる。ところが、紋別北方10~20哩の海域および北東15~20哩から20哩距離マーカーに沿う帯状の黒い部分が認められる。この海面反射波中の黒い部分は、何らかの原因で海面反射波を起すだけの風波が発生しなかった海域と考えざるを得ない。第15図は、この黒い部分を追跡した約20時間後の15日4時45分のレーダー映像である。

15日5時には風は南南東4.2 m/secで海面反射は少し弱まっている。前日14日時の北方の黒い部分は約20時間後に南東へ0.5哩/時の速さで約8哩移動している。一方、14日9時北東にみられた帯状の黒い部分は、同じく南東へ6~8哩移動したが、15日4時45分には白く輝る帯状氷と変化している。すなわち、さきの黒い部分は発生初期の海氷—泥氷—によって風波が吸収され、この海域だけに海面反射が起らなかったために生じたものである。なお、15日紋別海上保安部の巡視船そらちによって、このレーダー

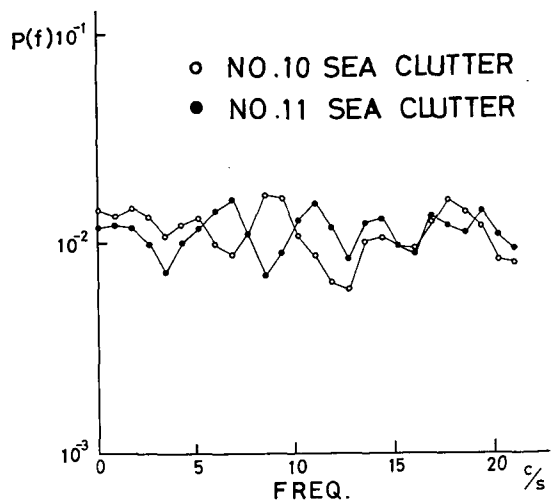
映像の黒い部分に相当する海域に発生初期の流氷が存在することが確認された。既報<sup>7)</sup>で、この時期には低温、低塩分の東カラフト海流系水塊が斑状(パッチ状)で断続的に流入することを述べた。また、昭和46年12月25日~47年1月9日の紋別沖北東5哩の海流観測の結果、0.5哩/時の南東の定常流が存在することがわかった。これらの事実から考えると、さきの局所的泥氷発生域は、おそらく東カラフト海流系の分離水塊がパッチ状に流入した局所的海域で起ったものと考えられる。

## (2) 昭和47年3月4日の例

第16図は、3月4日11時の30哩までのレーダー映像、第17時は第16図に点線で示した



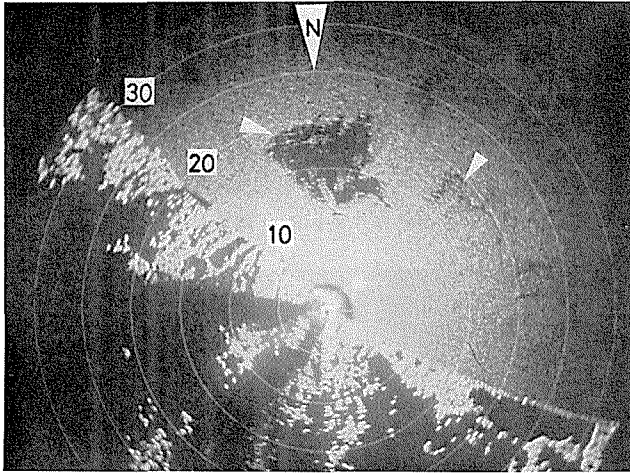
第12図 昭和47年6月5日13時30分流水情報処理電算機によって得られた紋別北11, 13哩点からの反射電力の時間変動の自己相関係数



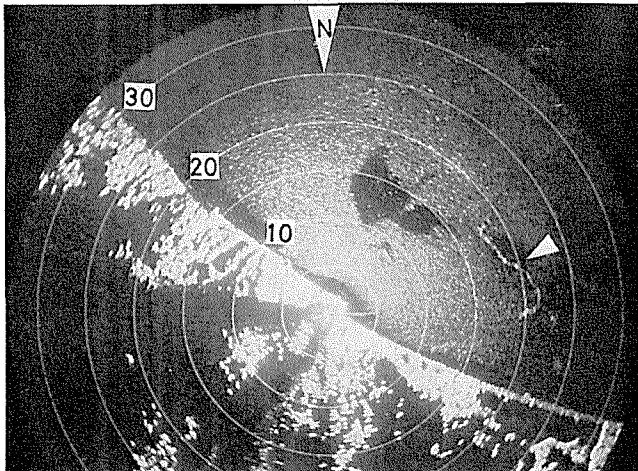
第13図 第12図の自己相関係数から計算したパワースペクトル

65° 方向 20 哩までの A スコープ像である。

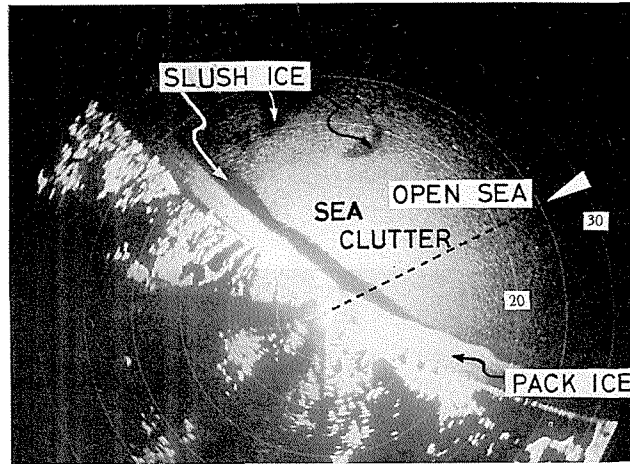
観測時の風は南東 5.0 m/sec であり、レーダー映像および A スコープ像からは、第 16 図の SEA CLUTTER と記入した範囲に流氷が存在するものとおもわれた。ところが航空機による現場の観察の結果は期待したものとは全く逆で、第 16 図のレーダー映像で沿岸から 3 哩までが密接氷、3~6 哩の一見開水面とおもわれる黒い部分は泥水域、その沖合の白く輝いている所は流氷野ではなく、風波のはげしい開水面であることがわかった。



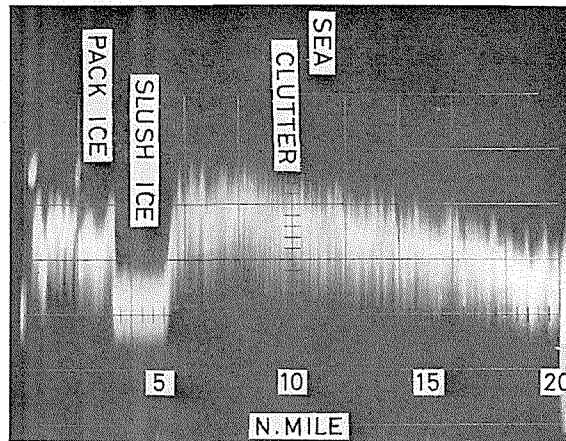
第 14 図 昭和 46 年 1 月 14 日 9 時 2 分紋別レーダー映像。  
矢印で示す部分が海面反射の無い海域である



第 15 図 1 月 15 日 4 時 54 分 第 14 図から 2 時間後のレーダー  
映像。矢印で示す部分に帯状氷の発生が認められる



第16図 昭和47年3月4日11時紋別レーダー映像



第17図 第16図の点線で示す65°方向20哩までのAスコープ像

#### IV. ま と め

流水観測用レーダーによる流水観測の際に、風波が強いと風波からの反射電波（海面反射防害）と流水からの信号の識別が困難となることがしばしば起る。レーダー反射電力の時間変動を測定し、この時系列を周波数分析した結果、海面反射波と流水域からの反射波の周波数成分には著しい差異があることが認められた。すなわち、流水域からの信号のパワースペクトルは低周波成分（0～5ヘルツ）が卓越しており、一方、海面反射波には顕著な卓越周波数成分がなく、白色雑音の特性を示している。このことを利用して海面反射を識別することができる。

氷野と砕氷域の信号の周波数成分の比較の結果、氷野の信号の卓越周波数成分は砕氷域よりさらに低周波領域に傾っており、氷野の奥にいくほどこの傾向は強まっている。また、開水面と氷塊の共存する砕氷域からの信号の雑音成分は極めて低いことが観測された。これらは開水面で発生した風波のうち長周期のうねりの氷野への伝播、減衰および短周期の風波の砕氷

域あるいは泥氷域での吸収・消波作用で説明できる。

流水観測用レーダー情報処理電子計算機を利用して海面反射波と流水域を識別することを試み、それが可能であることを知った。

航空機による氷状観測の結果とレーダー信号の比較によって泥氷域には風速が極めて大きいときにも海面反射波が生じないこと、すなわち、泥氷域での風波の吸収・消波作用が極めて著しいことを確かめた。この事実は、流水到来直前のレーダ映像の解釈には重要であり逆にこの性質から泥氷発生域の探知も可能であることがわかった。

流水による風波の吸収・消波作用の定量的関係、流水域からの信号の周波数成分と風速および波浪との関係、その機構については今後さらに研究を進めていきたい。

この研究に際しては、田畑忠司、石田 完両教授、大学院生西尾文彦君の懇切な御指導・御協力をいただきました。なお、この研究は、当研究施設大井正行、石川正雄、福士博樹の各技官の献身的な御協力によってなされたものである。資料の整理にあたっては、各技官のほか池田千江子嬢の献身的な御協力を得ました。ここに併せて深く感謝の意を表します。

また、この報告中に用いた風に関する資料をいただいた網走地方気象台、紋別測候所および氷状観察に御協力いただいた紋別海上保安部、同巡視船そらちの皆様にも厚く感謝致します。

## 文 献

- 1) 石田 完 1971 流水観測レーダー情報の数値化. 低温科学, 物理篇, **29**, 185-189.
- 2) 石田 完・小野延雄 1960 流水状況とレーダー像との対応. 低温科学, 学物理篇, **27**, 317-325.
- 3) 小野延雄・石田 完 1970 流水状況とレーダー像との対応 II. 低温科学, 物理篇, **28**, 281-289.
- 4) 青田昌秋 1969 レーダー電波の海面反射の観測. 低温科学, 物理篇, **27**, 327-337.
- 5) 田畑忠司・大井正行 1972 流水レーダー情報処理装置について. 低温科学, 物理篇, **30**, 175-181.
- 6) 田畑忠司・他 1972 流水データ処理装置. 沖電気時報, **94**, vol. 39, No. 3, 90-96.
- 7) 青田昌秋 1970 北海道オホーツク海沿岸沖における海況変動の研究 II. 低温科学 物理篇, **28**, 261-279.

## Summary

On the study of the movement of drift ice by means of the sea ice radar, the author sometimes found it difficult to identify the ice-water boundary in the radar scope, especially in a stormy condition.

The author carried out frequency analyses to find the characteristic behavior of receiving powers from the open sea, brash ice and pack ice.

The A-scope of radar in a certain direction was taken by a 16 mm movie camera at a speed of 64 or 24 frames per second. The direction was selected so carefully as to include the reflections from the open sea, slush ice and pack ice (Figs. 2 and 9).

Auto-correlation coefficients were calculated each time for a series of receiving powers from the open sea, brush ice and pack ice (Figs. 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12 and 13).

By comparing these auto-correlation coefficients and power-spectra, the author found that the spectra of sea clutter are almost independent of frequency (0-30 c/s), that is, it

can be assumed as white noise. On the other hand, the spectra of slush ice and pack ice are generally high at the low frequency (0-5 c/s) and decrease rapidly with increasing frequencies.

From the facts, it may be concluded that frequency analyses make it possible to distinguish ice-surface reflections from sea-clutter reflections.

The black area was often found within a bright portion in the P.P.I. scope especially in the initial stage of sea ice formation (Figs. 14 and 15). From air reconnaissances, the author found slush ice in places corresponding to these black areas. Short-period wind waves which reflect effectively the micro-wave of the radar had been absorbed by brush ice; it took place even when the wind velocity was high. This phenomenon is useful to find a region of the initial sea ice formation.