



Title	流氷状況とレーダー像との対応 II
Author(s)	小野, 延雄; ONO, Nobuo; 石田, 完 他
Citation	低温科学. 物理篇, 28, 281-289
Issue Date	1971-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18158
Type	departmental bulletin paper
File Information	28_p281-289.pdf



流水状況とレーダー像との対応 II^{*,**}

小野延雄・石田 完

(低温科学研究所)

(昭和45年8月受理)

I. ま え が き

北海道のオホーツク海沿岸の流水分布状況は、枝幸・紋別・網走の3局からなる流水観測レーダー網の完成によって、昼夜・天候にかかわらず随時観測できるようになった。そして、流水のレーダー像の時間的変化をもとにして、氷野の移動や変形などに関する各種の解析や研究が進められている^{1),2)}。このような研究を進展させるためには、レーダー像と実際の氷状との対応についての基礎的な調査が必要である。

前報³⁾では、空中斜め写真を図化した氷状図とレーダー像とを対比して、氷縁・独立氷・大きな開水面などにはよい対応が見られるが、氷野内部の氷状にははっきりした対応が得られないことを述べた。そして氷野内部の氷状を知る手がかりとしては、A スコープ上に現われる反射パルス数が利用できることを指摘した。

しかし、レーダー像に比較的是っきりと現われる氷縁・独立氷・大きな開水面などの場合でも、その細かな形、大きさ、氷野と氷野との相対位置などが、空中写真による実際の氷状と一致しないことがある。そのずれの程度やその原因あるいはその性質などを知るためには、流水のレーダー像を垂直写真のような精度のよい氷状図と対比してみる必要があった。

1970年3月に行なわれた海上保安庁のビーチクラフト機による海氷観測の際に、レーダー空中線から沖合に引いた直線上での、測量用写真機による垂直連続写真の撮影を依頼した。また同年2月には、前年に引き続いて、ヘリコプターからの氷状斜め写真を撮影した。これらの空中写真の撮影時には、指示機の距離範囲をいろいろに変えたレーダー PPI 像と A スコープ像とを、それぞれ写真および 16 mm 映画にとって記録した。

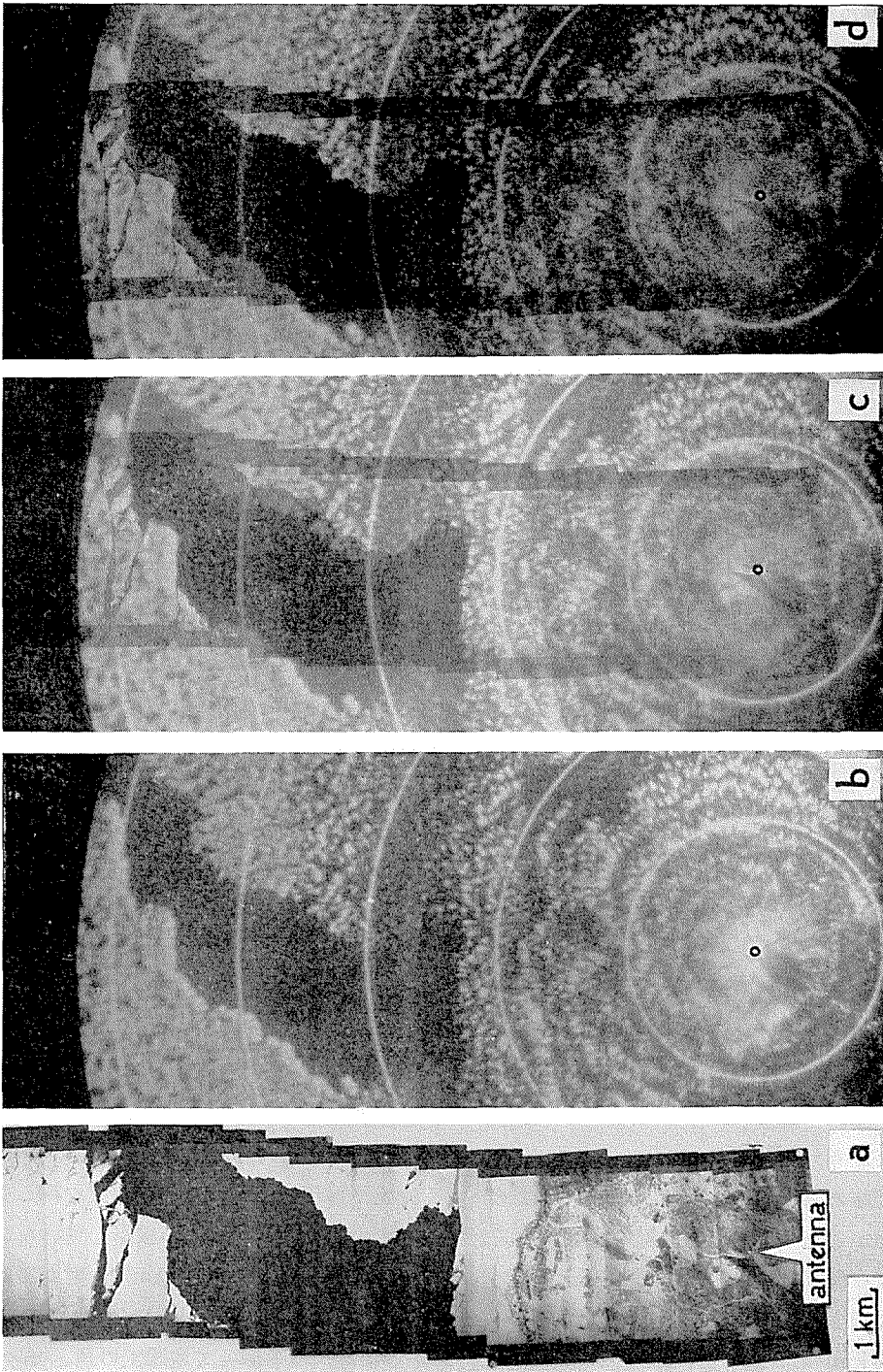
この報告は、それらの資料をもとにして、レーダー像と実際の氷状とのあいだの位置のずれの大きさを調べ、そのずれの原因、そのずれに起因する映像上の形のひずみ、形状の識別限界など、流水のレーダー像を判読する上での問題点について考察したものである。

II. レーダー像上の水路と実際の水路とのずれ

ビーチクラフト機からの垂直連続写真が撮影された3月13日の午前には、紋別局では第1図に示すような流水のレーダー像が得られていた。図中の同心円は5海里ごとの距離指標である。紋別の沿岸はほぼ全域が流水で覆われ、紋別港のすぐ北を東にのびている弧状の水路がわ

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1095号

** 北海道大学低温科学研究所流水研究施設研究報告 第14号

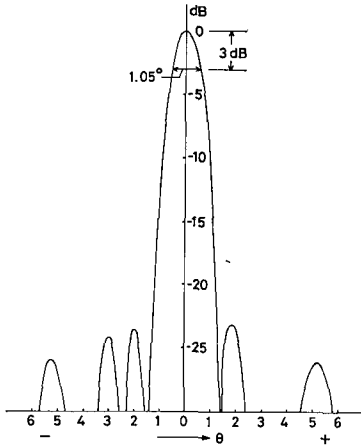


第2図 空中写真とレーダー像との対比

がレーダー像とつなぎ写真ではほとんど変っていないことから、レーダー像上の水路は横方向のみが縮んでいることになり、水路の形がひずんで映っていることがわかる。

III. レーダービームの広がりによる映像の幅およびそれに起因する形のひずみ

レーダー像における水路の幅が実際の水路の幅より狭く映る原因として考えられるのは、レーダーの電波が第3図に示すようなビームの広がりを持って放射されていることである。ビーム中心の電力の半分の値がとる広がり（半電力点の幅）は、空中線の指向性を示すものとしてビーム幅と呼ばれている。流水観測レーダーの場合、空中線のビーム幅は3局とも水平 1° に設計されている（その他の諸元については文献^{2),4)}参照）。



第3図 流水観測レーダー空中線の指向性（紋別大山局）

それゆえ、いま、形状は小さいが充分大きな反射断面積をもつ物体が沖合にある場合を考えると、ビーム中心が丁度その物体を照射する少し前からレーダー指示機にその映像が現われはじめ、照射の少し後まで輝き続けることになる。その結果、沖合にある小さな物体は、レーダー像の上では円弧状の横の広がりをもつ映像として認められる。以後、この映像がもつ円弧状の広がり（の大きさを映像の幅と呼ぶことにする）。

前節の水路をはさむ氷縁の場合でも、左右の氷縁上の各点がそれぞれ幅をもった映像として映るために、左右の氷縁とも水路内に映像の幅の半分ずつの広がり（を示し、その結果水路の幅が狭く映ると考えることができる。そして平均 1.5° のずれの角は、この映像の幅の大きさを示しており、ビーム中心の電力の半分以下のところまでレーダー像上に映っていることを意味している）。

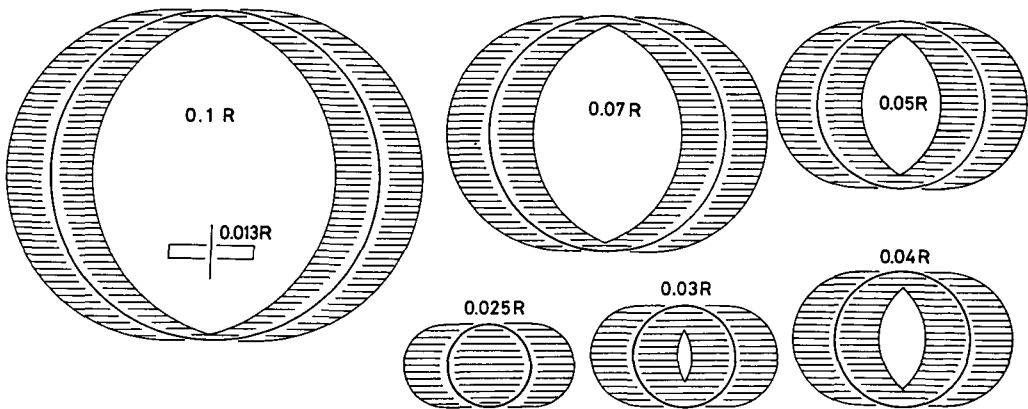
この映像の幅は、反射物体から帰ってくる電波の強さで決まると考えることができ、空中線からその物体までの距離とその物体の反射断面積とに關係する。水路をはさむ氷縁から求めた映像の幅（最大 2° 、平均 1.5° ）は、空中線から5~10 km という近距離の場合の値であった。レーダー電波の強さは距離とともに弱くなるから、この映像の幅も距離が増すにつれて小さくなる（ことが考えられる）。

遠距離の場合の映像の幅は、流水ではあいにく位置や形状のはっきりした映像を得ることができなかった（ので、海岸地形の映像を地図と比較して求めてみた。流水が接岸していない時のレーダー像写真を使って、紋別の北西海岸の日の出岬（空中線から約19 km）と南東海岸のコムケ湖沼上浜（同18 km）、および、サロマ湖をはさんで福島番屋（同52 km）とキムアネップ岬（同54 km）の2組を選び、それぞれ空中線位置から望む角度を測って地図上の角と比べると、いずれもレーダー像上の角の方が小さい、すなわち映像が海側や湖面側にはり出していることがわかった。その角の差は、同様に映像の幅を与えていると考えられるが、日の出岬と沼

上浜の組では $1^{\circ}23'$ 、サロマ湖をはさむ組では $1^{\circ}15'$ と、空中線からの距離が増すとその値が小さくなる傾向が見られた。

以上のことから、反射断面積が比較的大きいと考えられる氷縁や海岸地形の映像が、数 km から 20 km では 1.5° 位、50 km でも 1.2° 位の幅をもっていることがわかった。したがって、沖合の水路や氷湖などは、もしその氷縁の反射断面積が大きければ、この映像の幅の半分ずつが左右の氷縁からはり出した形となって、映像上では幅狭い形として見られることになる。

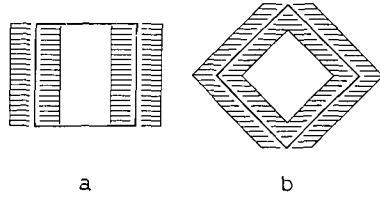
いま、空中線から R の距離のところ、形は小さいが充分大きな反射断面積をもつ物体を色々な直径の円の円周上にぎっしりと並べたと考えよう。そして、その円周上の各点がさきほど得られた 1.5° の横幅をもつ映像になったとして、レーダー像上に現われる形を求めると第4図のようになる。図は、円の直径を空中線からの距離 R の 10% から 2.5% のあいだで変えたものである。レーダー像に現われる映像の幅を $0.1R$ の図の中に示し、その片側のくり出し幅が R の 1.3% であることを示してある。色々な直径の円の映像は、それぞれ横線をつけて示したような幅をもつ映像として映ることになる。いま、これらの円が反射のない開水面に浮ぶ独立氷野の縁であると考え、横線部の外側の輪郭にあたる大きな横長の映像が得られることになり、逆にその円が反射体の多い氷野の中の開水面の縁であると考え、横線部の内側の輪郭で示される小さな縦長の映像となることがわかる。



第4図 円周上に並んだ反射体の映像

さらに、第4図は映像上で開水面として認めることのできる限界の大きさが、映像の幅を 1.5° とした場合、空中線からの距離 R の約 3% であることがわかる。すなわち、空中線から 20 km のところを例にとると、直径 500~600 m の氷湖が識別限界の大きさになる。ここで映像の幅が 1° の場合を考えると、識別しうる開水面の直径は R の約 2% となり、空中線から 20 km のところでは直径 400 m 位の氷湖まで見えることになる。このことは、一定距離で比較するとき、映像の幅が小さくなるような反射断面積の小さな氷縁で囲まれている開水面の方が、識別限界の大きさが小さくなる、すなわち小さな径のものまでよく映るという可能性を暗示している。

次に形状が円でない場合として、映像の幅の 2 倍位を 1 辺とする正方形の場合を考えると、



第5図 正方形の縁に並べた反射体の映像と正方形の向きによる映像の形の変化

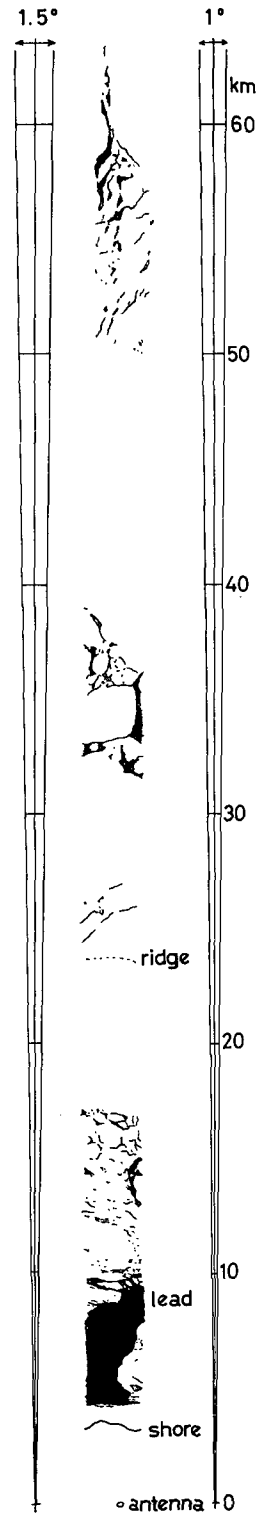
第5図に示したように、正方形の一対の辺がビーム方向に向いている場合 **a** と、対角線がビーム方向に向いている場合 **b** とでは、レーダー像上の映像のかたちはかなり違うことになる。いま、正方形の氷湖が **a** の向きから **b** の向きへと 45° 回転すると、レーダー像上では長方形から正方形へと形の変化を伴って観測されることになる。

IV. レーダー映像と氷状図との対比による検討

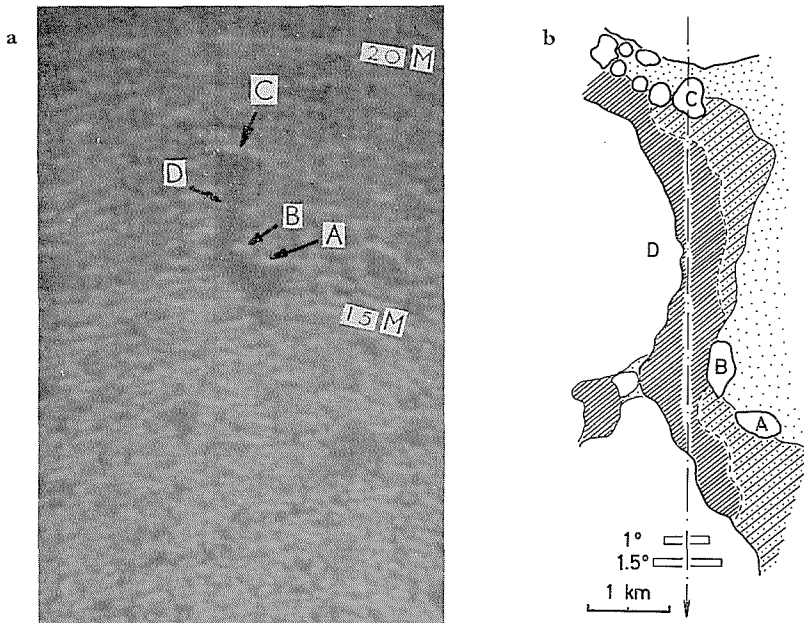
前節での考察は、主として反射断面積の充分大きな物体について行なったものであった。しかし実際の流氷の反射断面積はさまざまであるから、帰ってくる電波の強さもまちまちであり、流氷の映像が必ずしも大きな幅をもつとは限らない。第1図の流氷の映像を見ても、ひとつの光点で映像の幅が1°以上あるものはそれほど多くはない。そこで、空中写真による実際の氷状とレーダー像とを対比しながら、前節で考察した映像の幅や形のひずみ、形状の識別限界などがレーダー像にどのように現われているかの検討を試みた。

第2図 **a** のつなぎ写真は、その先約 60 km 沖合まで続いて得られている。第6図は、垂直連続写真をもとにして描いた幅約 2.5 km の細長い氷状図である。その両側には、左に 1.5° 幅、右に 1° 幅の広がり的大小を示した。その氷状の方向は第1図に白い三角で示してあるが、あいにく沖合の大きな形の映像の上を通過していない。第6図では、空中線からおよそ 14 km, 34 km および 60 km のところに若干の開水面を見ることができる。しかし、その時のレーダー像から、それらに対応する映像を見出すことはできなかった。それは、それらの開水面が 1° 幅あるいは 1.5° 幅のビームの広がりで覆われてしまうので、かりに映っているともしも左右の氷縁の各点の映像が交錯して、開水面として識別できないためと考えられる。

1970年2月11日のレーダー像には、紋別局の空中線から北東 15~18 海里のところ、第7図 **a** に示したような反射の少ない箇所があった。それが現地のどのような氷状と対応するかを調べるため



第6図 垂直連続写真から描いた紋別の北東方向の氷状図 (1970年3月13日)



第7図 空中斜め写真を図化した氷状図とレーダー像との対比
(1970年2月11日, 紋別沖北東15~18海里)

に、ヘリコプターによる氷状偵察を行ない、空中斜め写真を撮影した。それを図化した氷状図が第7図**b**である。そこには、結氷していない開水面(第7図**b**の斜線部分)、氷殻などの平坦な薄氷(斜線内に点刻した部分)、小氷盤などで若干起伏のあるところ(点刻した部分)、中氷盤以上の氷塊や氷野(白い部分)が見られた。開水面と平坦な薄氷の部分とを合わせた形が映像上の暗い部分の形とほぼ対応していることがわかった。第7図の**a**と**b**とで、それぞれ対応することのできる三つの氷塊をA, B, Cと名付け、左側の氷縁をDと名付ける。レーダー像と氷状図との上で、A, B, Cの相互間の距離の比をとると、比較的よい一致が得られた。一方、レーダー像と氷状図との上で、Cの中心から空中線の方向に引いた直線を基準にとってBやDの位置のずれを比較すると、Bは映像の幅を 1° としたときの広がり程度までこの線に近づいて映っているのに対して、Dの映像はほとんど幅をもっていないことがわかる。第7図**a**で気付くように、BとDとの映像の強さには、はっきりした差が認められ、Bの映像は比較的強いので大きな幅をもって映っているのに対して、Dの映像は弱いのでほとんど幅が現われていないものと考えられる。このことは、氷塊Bと氷縁Dとから帰る反射電波の強さの差によって生ずるものと考えることができ、氷縁Dの位置のずれが少ないことは、反射電波が弱い場合の方が形状の識別限界の大きさが小さくなるという前節の考察を裏付けているものと見ることができる。

第II節では、第2図**b**のレーダー像上の水路が、実際的水路よりも約 1.5° 幅狭く映っていることをのべた。もし、この場合、映像の幅が 1.5° 位あることを何かの手がかりから知ることができれば、レーダー像上の氷縁の位置を左右に 0.75° ずつ広げることによって実際の氷縁の位置と正しい水路の形を知ることができる。

前述のように、映像の幅は帰ってくる電波の強さで決まると考えられるから、今後この受信電力強度と映像の幅との関係を詳しく調べれば、この位置のずれを補正する角度の大きさを知ることができ、開水面の形状や氷縁の正しい位置を求めることができると思われる。その補正を行なったレーダー氷状図を描くことは、将来、電子計算機を利用することによって可能となるであろうから、その後の解析をより高い精度で行なうことができるものと期待される。

V. 結 語

レーダー電波がビームの広がりをもっていることに起因する“映像の幅”の大きさを、氷状の空中写真や地図上の海岸地形とレーダー像上の形とを対比して求めた。比較的反射断面積の大きい氷縁や海岸地形から求めた映像の幅は、5~20 km のところでは、空中線から望む角度にして平均 1.5° (最大 2°) に達することがわかった。映像上の各点がこのような幅をもつ場合には、氷縁の位置のずれ、形のひずみ、形状の識別限界などが現われることを考察した。

ビーチクラフト機からの垂直写真は、海上保安庁第一管区海上保安本部の塚本孝雄測量係長、および同本部千歳航空基地の方々の御尽力により撮影されたものである。ここに記して厚く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 田畑忠司・青田昌秋・大井正行 1967 流水観測レーダーによる流水観測(序報). 低温科学, 物理篇, **25**, 233-239.
- 2) 田畑忠司・青田昌秋・大井正行・石川正雄 1969 レーダーによる流水の動きの観測. 低温科学, 物理篇, **27**, 295-315.
- 3) 石田 完・小野延雄 1969 流水状況とレーダー像との対応. 低温科学, 物理篇, **27**, 317-325.
- 4) 板谷 繁・松代寿治 1967 流水観測レーダーシステム. 沖電気時報, **34**, 第72号, No. 4, 5~11.

Summary

It was shown in the previous paper that the shape of ice edge appearing on a radar PPI photograph tallies approximately with that on an ice chart drawn from oblique air-photographs taken at about the same time.

In the present paper some variation of the position of ice edges of a lead were found in comparison between the air-photograph and the corresponding PPI photograph as shown in Fig. 2. Figs. 2-c and 2-d are superimposed photographs of air-photograph (Fig. 2-a) and the PPI photograph (Fig. 2-b), overlapping one another at positions of the radar antenna and at each ice edge of the lead. It may be seen from these photographs that the width of the lead on the PPI photograph is narrower than that of the actual lead in the air-photograph, though the shape of each ice edge is in fairly good agreement.

This discrepancy in the width of the lead can be explained well by the spread of the radar beam (Fig. 3). Consider that a small target is in a targetless area off shore. The echo of this small target appearing on the radar display has a breadth of spot illuminated in a very small interval of time between slightly before and slightly after the moment when the target is irradiated by the center of the radar beam. The breadth of echo

spot produces some effects of the variation in the position of ice edge, the distortion of the shape of target-less area (open water, lead, polynya, etc.), and the minimum size of polynya was recognized on the radar display. The shapes of echoes from targets arranged on circles of different diameters at a distance R from the radar antenna are illustrated in Fig. 4. All of the effects produced by the breadth of echoes are seen in this figure. Fig. 5 shows a change in the shape of echoes on the radar display when a square shaped targets on its margin is rotated to a bevel of 45 deg.

As the breadth of echo on the radar display seems to be related to the receiving power, the breadth of the echo is compared in Fig. 7 with the brightness of the echo. It was recognized from the figure that the breadth of a bright echo is larger than that of a dark echo, It may be therefore expected to obtain the correct position of the ice edge and the actual shape of the polynya on the radar display by use of received power measurements and of the relationship between the received power and the breadth of the echo.