



Title	流氷状況とレーダー像との対応
Author(s)	石田, 完; ISHIDA, Tamotsu; 小野, 延雄 他
Citation	低温科学. 物理篇, 27, 317-325
Issue Date	1970-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18120
Type	departmental bulletin paper
File Information	27_p317-325.pdf



流水状況とレーダー像との対応^{*,**}

石田 完・小野延雄

(低温科学研究所)

(昭和44年7月受理)

I. ま え が き

昭和43年に北海道オホーツク海沿岸の流水観測レーダーシステムが完成し、稚内から網走の沖合、約60 km 迄の流水が昼夜・天候にかかわらず見えるようになった。レーダー像のコマ撮り写真を連続して、映画にして見ると、流水の運動が明瞭に観察できる。丁度、墨流しの模様を眺めるようである。この一定時間間隔のレーダー像から氷縁とか氷湖の特定点の位置の変化を次々に読みとり、流水野の速度ベクトルを求める仕事もなされた¹⁾。

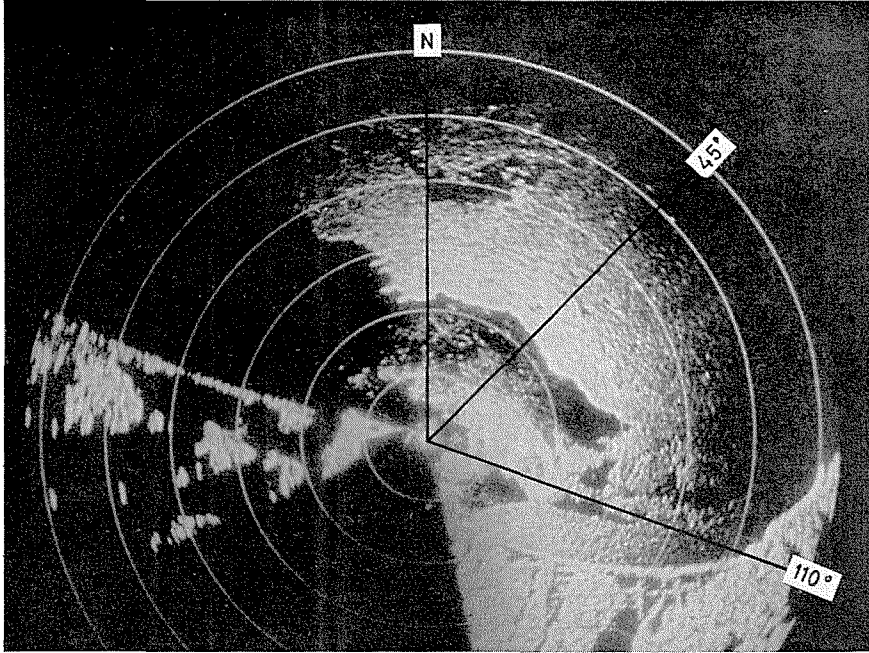
しかし、ブラウン管に現われた映像 (PPI) と実際に眼で見る流水形態とは、かなり違う所がある。眼で見る可視光線の波長は大体 $4,000 \sim 8,000 \text{ \AA}$ であるのに対し、吾々が使っているレーダー電波の波長は 5.42 cm で約10万倍、しかもほぼ完全な単色光である。そこで、PPI に得られた流水野に関する情報が、実際の流水形態とどのような対応を示すかを調べることとした。すなわち、PPI 上で問題となるような電波発射方向の一直線を定め、その直線に沿ってヘリコプターを飛ばして連続航空写真を撮る。同時に、その方向にレーダーアンテナを止めて PPI のもとになる A スコープを記録する。レーダー電波は約 $1 \mu\text{s}$ の幅のパルスが毎秒1,000個発射されているが、それは流水野の反射体によって次々に反射され、同じアンテナによって受信される。受信電力を時間と共に追ってゆくと、それは近いものから遠い反射体へと距離を横軸とした反射体の位置、及び特性を示すパルス列となる。これが A スコープである。

普通アンテナは連続的に回転しているが、 360° 1回転するのに約5秒要する。従って、アンテナが 1° 回転する間、約14個のパルスが発射され、PPI 上では 1° の扇形内に14回の反射強度が重ねられる。通常 PPI の写真はアンテナ回転2回転分を撮影しているので、PPI 写真上 1° の扇形内では28回の反射強度が重ね合わされている。第1図 (a) は1969年2月18日14時02分の網走局における PPI 像である。図の同心円は5 N. Mile 毎の距離目盛である。この図で方位 45° 、及び 110° にアンテナを止めて見た A スコープを第1図 (b), (c) に示す。これらは $1/15$ 秒の露出時間で撮ったので、約67回の反射強度が重ね合わされている。横軸の1目盛は $20 \mu\text{s}$ 、図の左端がアンテナの位置で、距離に換算すると1目盛は3 km となる。縦軸は受信電力のデシベルに相当する。

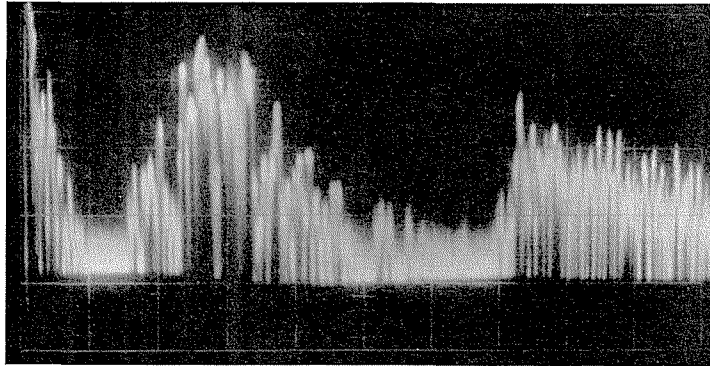
* 北海道大学低温科学研究所業績 第971号

** 北海道大学低温科学研究所流水研究施設 研究報告 第7号

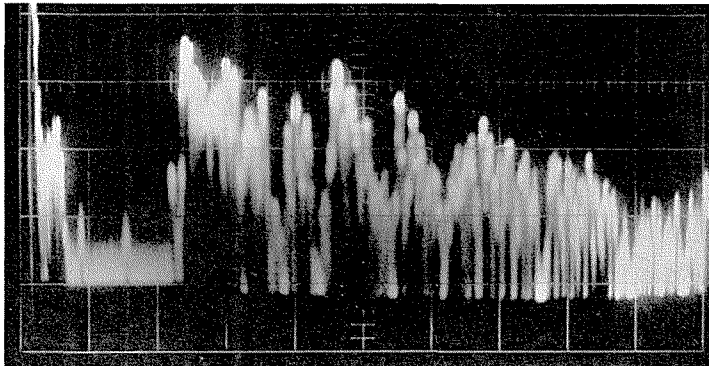
(a)



(b)



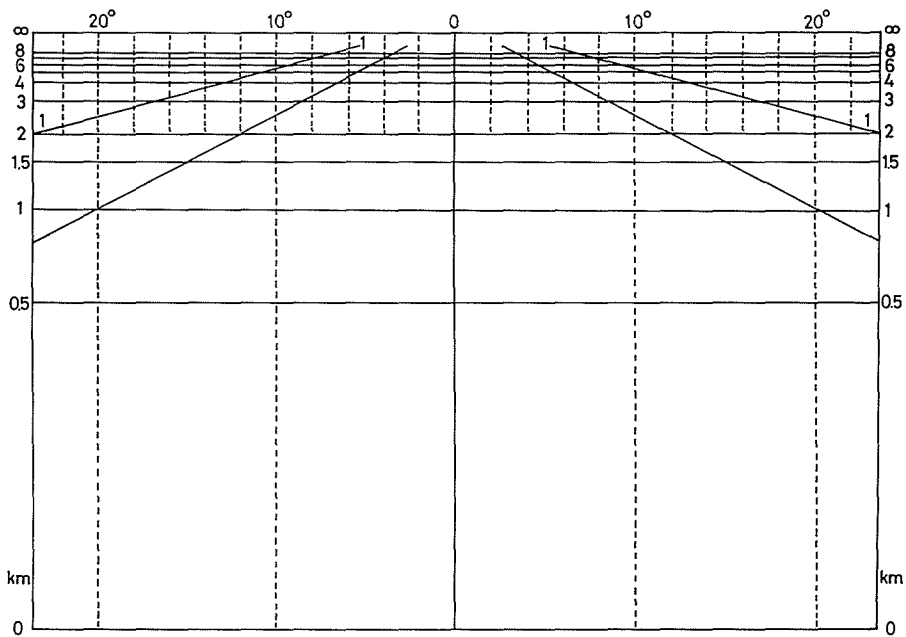
(c)



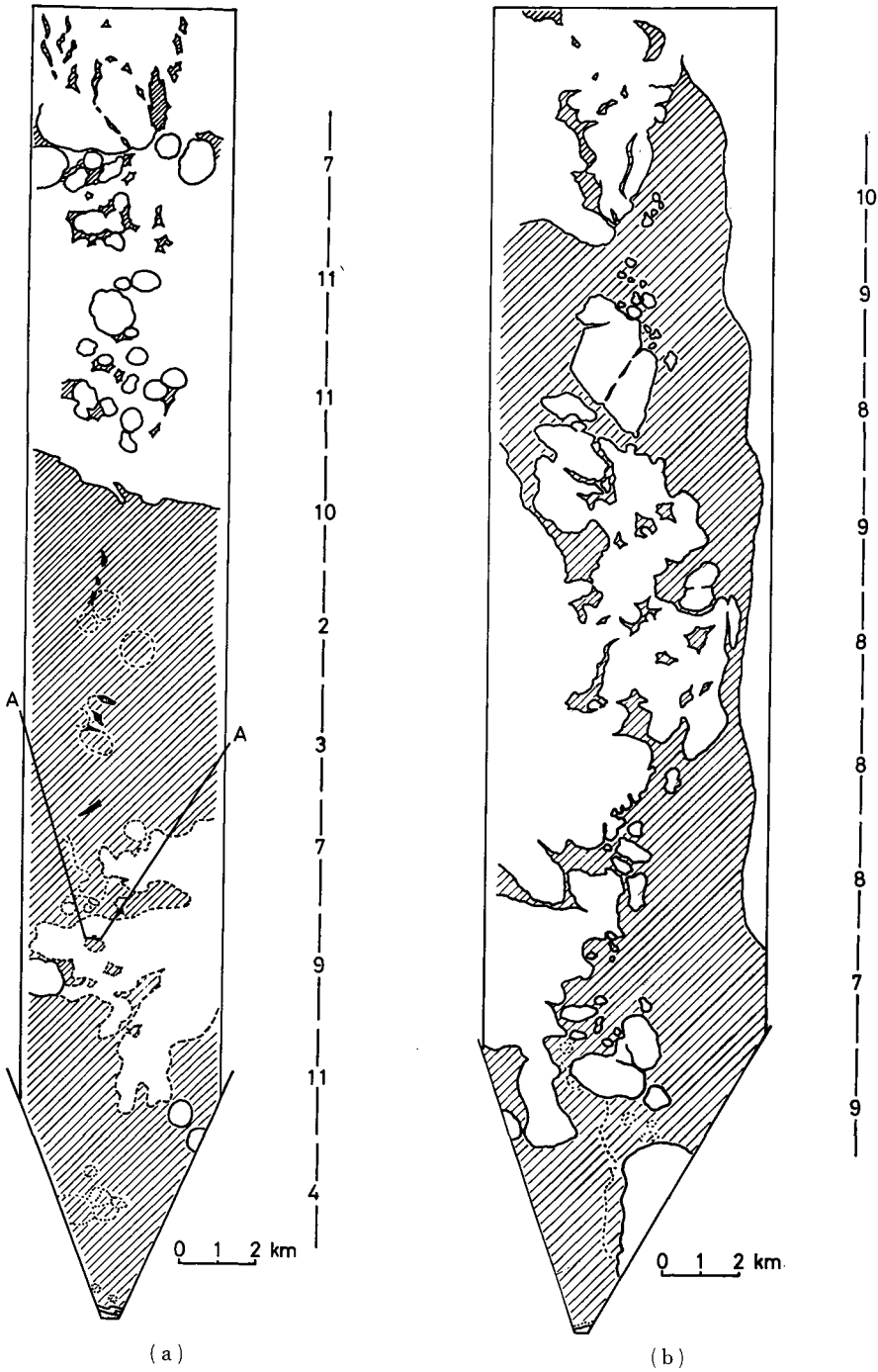
第1図 (a) 網走局のPPI, 1969年2月18日14時02分
 (b) 方位45°のAスコープ
 (c) 方位110°のAスコープ



第2図 氷状斜め写真の一例 (方位 45°)



第3図 斜め写真上の km 方眼



第5図 航空斜写真から図化した氷状図

(a) 方位 45°

(b) 方位 110°

どはその形をそのまま記入した。その他の白い領域は、中・小氷盤と板氷・板状軟氷・開水面などが混ざった所であり、写真でも全体として白く見えるような領域である。第5図(a)の岸近くで白い領域を点線で囲んであるのは、その中は板氷あるいは小氷盤で、他の白い領域と比べると厚さが薄く、凹凸も少ないことを示している。

第2図に示した氷状斜め写真は、第5図(a)にAと記した画角での写真である。写真の中に白い領域と斜線の領域との境界を容易に見出すことができる。

また、第5図の氷状と第1図のPPI写真とを見比べると、かなりよい対応を見出すことができる。第5図(b)の右側の白い領域が、網走から斜里への海岸に接岸している流氷野の水縁であることもわかる。

III. A スコープから得られる情報

アンテナから発射された電波は、球面状に拡ってゆくので、単位面積内の電力は距離 R の⁻²乗で減衰してゆく。これが反射物体の単位面積で反射されると、再び球面状に拡り R^{-2} で減衰しながらアンテナにもどるので、受信電力は発射電力の R^{-4} に比例する。もし反射物体が広い面積にわたり一様に分布しているなら、反射面積は距離と共に R に比例して大きくなる筈だから、一様に分布した反射体からの受信電力は R^{-3} に比例することとなる。

海面反射による干渉も考慮した厳密な受信電力 P_r はいわゆるレーダー方程式(1)で与えられる。

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \left(2 \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda R} \right)^4 \quad (1)$$

ここで P_t は高さ h_1 にある電力利得 G のアンテナからの送信電力、 σ は送信アンテナから距離 R 、高さ h_2 にある反射体の反射断面積、 λ は電波の波長である。反射体が流氷のようにアンテナビームの広がり(現用では 1°)に比較して広い分布をしている場合は、反射体の反射断面積は R に比例すると考えられるから

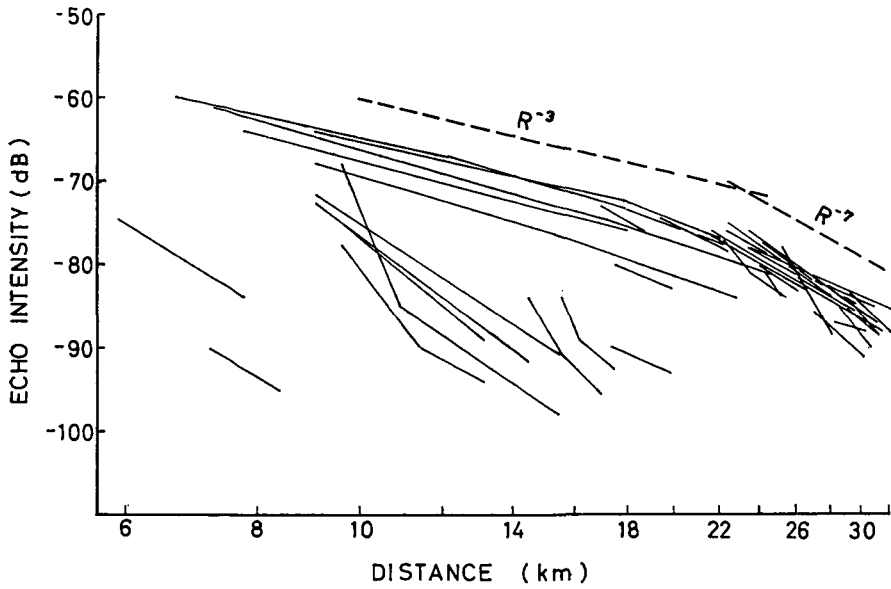
$$\sigma = \frac{\sigma_0}{R_0} \cdot R \quad (2)$$

のように書ける。従って(1)式は

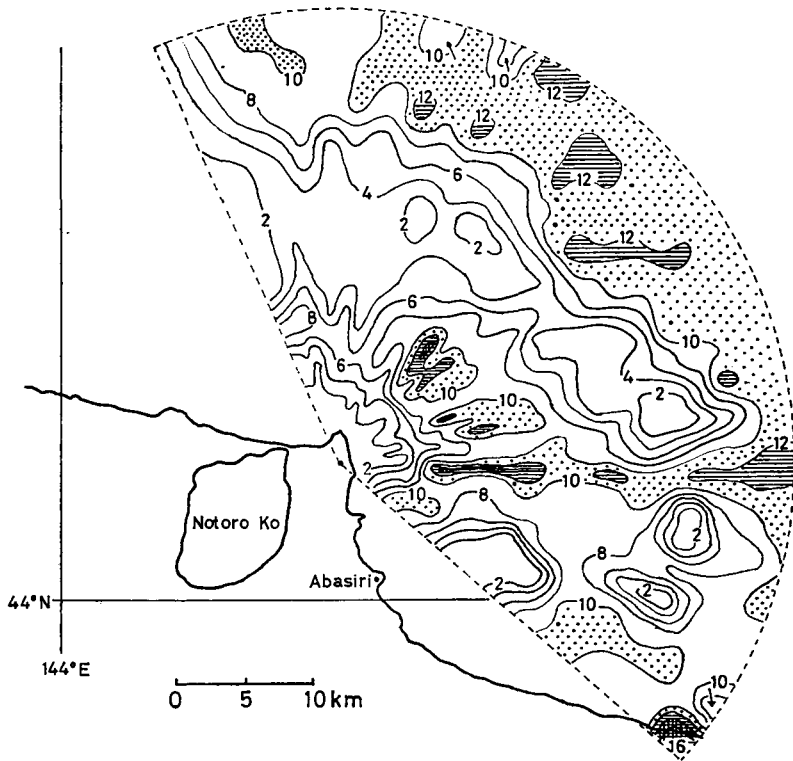
$$P_r \propto \frac{P_t}{R^3} \cdot \sin^4 \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda R} \right) \quad (3)$$

の如くになり、受信電力は距離が遠くなると距離の⁻³乗に比例して減衰する領域から、距離の⁻⁷乗に比例して減衰する領域に移ることが判る。この減衰曲線の屈折点の距離と受信電力とから板谷ら³⁾は流氷の有効高さや反射断面積、また反射能を表わす係数を求めている。

第1図のPPIの場合 方位 $340^\circ-0^\circ$ (N)- 130° の間で 5° おきに A スコープが記録されている。一方位の A スコープでは受信電力と距離の対数との関係がほぼ直線になるので、各々の A スコープから得た直線群を一つの図にまとめて示すと第6図のようになる。 R^{-3} および R^{-7} の直線の傾斜に近いものが多いが、個々の減衰特性では、それぞれ異なった傾斜を持っている。これは複雑な形態の集まりである流氷野に対しては(1)式が厳密にはあてはまらないので



第6図 1962年2月18日網走の流氷から得た受信電力の減衰特性



第7図 第1図(a)のPPIに対応するパルス数分布図

あろう。また受信電力は一応、標準信号発生器によって更正され、A スコープ上の振幅 1 mW (0 dB) を基準とした電力に換算できるのであるが、増幅度は受信機の種々の状態により変動するので、常に正確な受信電力の絶対値を求めることは困難である。

これらのことから A スコープから得られる情報量として、受信電力値はさて、一定距離内に含まれる反射パルスの数をとることとした。第 1 図 (b), (c) の如き A スコープの横軸 1 目盛 (3 km) 内に含まれるパルスの数を方位 5° 毎に計数してプロットしたものが第 7 図である。この図では見やすくするために、距離 3 km, 方位 1° 以内に含まれるパル数を 2 の整数倍の段階に分け、同じ階級に属する区域を線で結んである。この図は第 1 図の PPI の氷状に対応するものであるが、実際の氷状と比較するため第 5 図の氷状図の右側に、それぞれに対応する 3 km 毎のパルス数を示してある。これから、パルス数は氷厚には直接関係なく、氷盤の大きさに関係することが判る。板状軟氷のように薄くて平らな所ではパルス数は 0~2 であるが、同じ板状軟氷でも一部に開水面があったり、重なり合った部分が縞状にある場所では 3~4 となる。中・小氷盤では大体 8 以上であるが、沖合 10 km 位の薄い小氷盤でも、第 2 図の写真に見られる程度の分布をしていると 9~11 となるのに対し、沖合 30 km 以上のかかなり厚い氷盤でも 6~7 程度のことがある。アンテナの高さは網走局の場合、約 200 m なので、沖合 10 km の所にもし 1 m の高さの反射体があれば、その後方約 50 m 以内が影となるのに対し、沖合 30 km の所に高さ 1 m の反射体があれば、影の範囲は 3 倍の 150 m となる。従って、遠方の厚い氷盤の表面凹凸が大きいと影の部分も大きくなり、一定距離内に含まれる反射パルスの数は減ってくる結果となろう。しかし一般には氷盤が大きくなる程厚さも増し、表面の凹凸 (氷丘度) も大きくなるので、パルス数は増す傾向にある。第 1 図の氷状では最大 14 で、陸地の反射は第 7 図の右下の部分に見られるように 16 以上であった。

IV. む す び

航空写真から図化した氷状図とレーダー像との対応を調べたが、開水面とか独立氷塊また急に厚さの変わる境界線などは PPI によく現われる。ただ一様に平らな板状軟氷ではほとんど反射がなく、PPI では真黒くなるので開水面と見間違えないよう注意を要する。PPI の写真ではブラウン管の輝度特性上、反射強度の差は余り大きく現われないので、複雑な流氷野の反射強度の減衰特性を平均化して、かえって見やすくしている。A スコープから求めた一定距離内の反射パルス数は氷盤の大きさと対応がつくように思われた。このパルス数の分布図の方が PPI より実際の氷状図に近いように思われる。今回は A スコープの時間軸掃引速度が $20 \mu\text{s}/\text{cm}$ であったので、距離の区切りを 3 km としたが、レーダー電波のパルス幅は約 $1 \mu\text{s}$ なので反射パルス数を数える距離範囲を 1 km 位にすることは可能である。またアンテナを連続的に回転させながら反射パルス数の分布図を描くことは電子計算機を利用することにより可能であろうから、そのような設備は PPI 写真に代るものとして期待される。

最後に、この研究は流氷研究施設長田畑忠司教授を初めとする施設研究員の総力をあげて行なわれ、特にレーダー装置の運用・保守には大井正行・石川正雄両技官の尽力によったもの

であることを報告すると共に、網走に於ける観測では日頃より、網走漁業無線局の各位に非常な御協力を戴いている点、深く感謝する次第である。

文 献

- 1) 田畑忠司・青田昌秋・大井正行 1967 流氷観測レーダーによる流氷観測 (序報). 低温科学, 物理篇, **25**, 233-239.
- 2) 篠 邦彦 1967 写真測量 (実用写真シリーズ). 山海堂, 256 pp.
- 3) 板谷 繁・松代寿治・田畑忠司 1969 流氷のレーダクロスセクションの測定結果について. 電子通信学会専門委員会で発表 (未印刷).

Summary

Studies of drift ice on the shores of the Sea of Okhotsk, to the north-east of Hokkaido are being carried out by use of a sea ice radar system at the Sea Ice Research Laboratory of the Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University. Flow vectors of drift ice were determined from successive PPI photographs¹⁾. In this paper the correlation of sea ice construction to radar pattern was investigated in comparison with optical photographs from aircraft.

Aerial photographs were taken obliquely from a helicopter along the azimuth which became a subject of discussion on a PPI photograph. Sea ice construction charts were drawn from these oblique photographs, as shown in Fig. 5. On the other hand, A-scope along the same azimuth were analysed concentrating on the number of echo pulses at certain intervals (3 km). It became clear by comparison with sea ice construction charts that these numbers of echo pulses were related to the size of floes.

Radar cross section, target height, and reflecting efficiency of drift ice were determined from A-scope by S. ITAYA et al. In this paper, however, echo intensity was disregarded because the echo intensity reflected from sea ice field did not strictly satisfy the so-called radar equation.

A distribution chart of the number of echo pulses was shown in Fig. 7, where the number of echo pulses was counted at 3 km intervals and at every 5° of azimuth. It is expected that such an echo pulse number distribution chart instead of PPI photograph will become available for the purpose of deducing the sea ice construction.