



Title	流氷観測レーダーにおける反射電力の距離減衰について
Author(s)	大井, 正行; 田畑, 忠司
Citation	低温科学. 物理篇, 37, 125-129
Issue Date	1979-03-26
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/18377
Type	bulletin (article)
File Information	37_p125-129.pdf



[Instructions for use](#)

流水観測レーダーにおける反射電力の 距離減衰について**

大井正行・田畑忠司

(低温科学研究所)

(昭和53年10月受理)

I. ま え が き

レーダーによって物標を探知する場合に、距離 R における単一物標からの反射電力 P_r は、いわゆるレーダー方程式

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

で表わされる。ここで P_t は送信電力、 G は空中線利得、 λ は波長、 σ は物標の有効反射断面積、 h_1 及び h_2 はそれぞれレーダー空中線と物標の高さである。

連続した流水野は空中線の水平ビーム幅よりも広く分布している。このような場合には反射断面積は距離に比例して増大すると考えられ、 σ は

$$\sigma \doteq \frac{1}{2} c\tau \times R\theta \times \sigma^0 \quad (2)$$

となる。ここで c は電波の速度、 τ は送信パルス幅、 θ は空中線の水平ビームの半値幅、 σ^0 は単位面積あたりの反射断面積である。したがってこの場合の反射電力は

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 c\tau \theta \sigma^0}{2(4\pi)^3 R^3} \left(2 \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda R} \right)^4 \quad (3)$$

となる。ここで $\left(2 \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda R} \right)^4$ は干渉による減衰項であり、

$$2 \sin \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda R} \right) = 1 \quad (4)$$

が成立する距離は屈折点と呼ばれている。

第(3)、(4)式から反射電力 P_r は、はじめ R^{-3} に比例して減衰し、屈折点を境にして R^{-7} に比例して減衰する領域に移ることになる。

しかし実際の流水野は電磁的性質も形状も極めて複雑な連続した集合体であり、石田・小野の測定によると¹⁾、実際にはこのように単純ではなさそうである。一方レーダー情報を解析するにあたっては、この距離による反射電力の減衰を補正して距離に関係なく比較解析できることが望ましいことはいうまでもない。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1971号

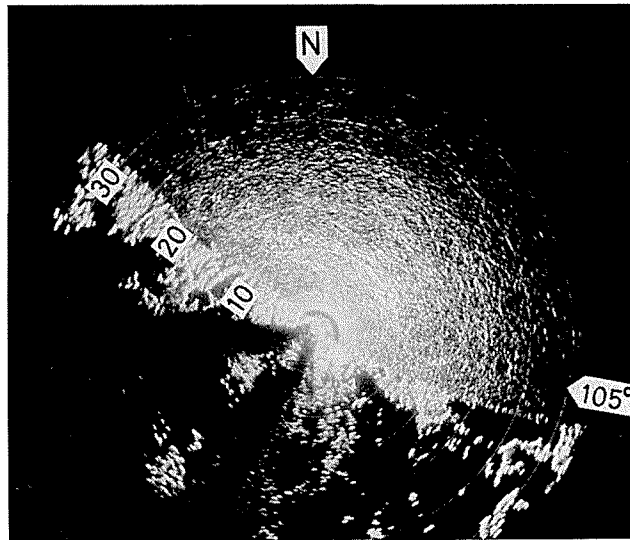
** 北海道大学低温科学研究所 流水研究施設研究報告 第65号

この報告では、北海道オホーツク海沿岸沖にある流氷の最盛期に、ほぼ均一と思われる流氷野からのレーダーの反射電力を定量的に測定し、距離による減衰特性を求めた結果について述べる。

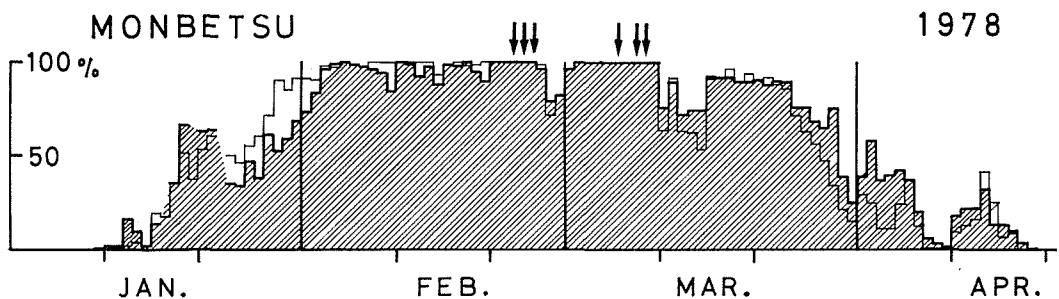
II. 測定の方法および結果

測定は昭和53年2月23日、24日、25日と3月6日、8日、9日の計6日間北海道紋別市にある大山レーダーで行なった。第1図はこのうち2月23日10時のレーダーの流氷映像(PPI)で、30哩までの海域は全域がほぼ均一な密氷野でおおわれていた。このことは、航空機観測および気象衛星ひまわりの写真からも確かめられている。

第2図は大山レーダー²⁾による昭和53年冬の流氷量の日変化で、毎日午前9時のレーダー観測から求めたレーダー局を中心とする半径30哩の海面中に占める流氷の面積比(%)である。図中の矢印は測定を行なった日で、流氷の最盛期でしかももっとも安定した時期であったことがわかる。



第1図 紋別市大山レーダーによる紋別沖の密氷野 (昭和53年2月23日10時)。距離の表示は哩

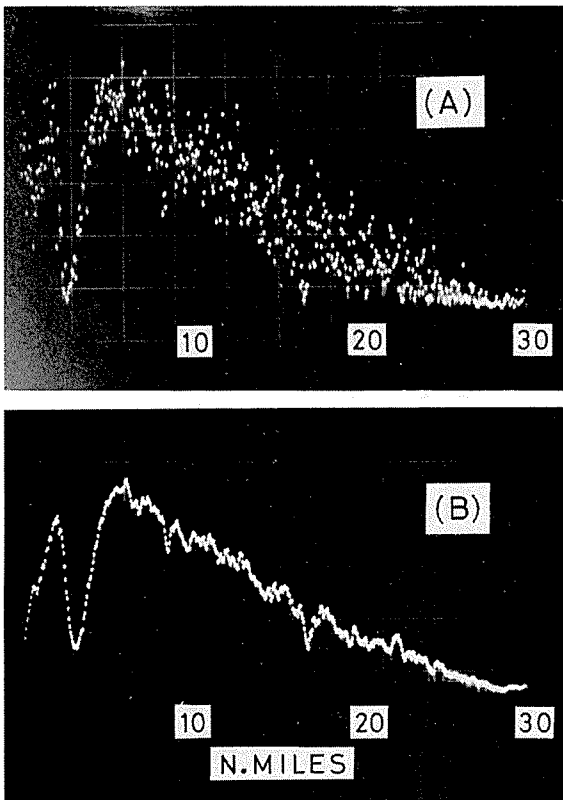


第2図 大山レーダーによる昭和53年冬の流氷量の日変化

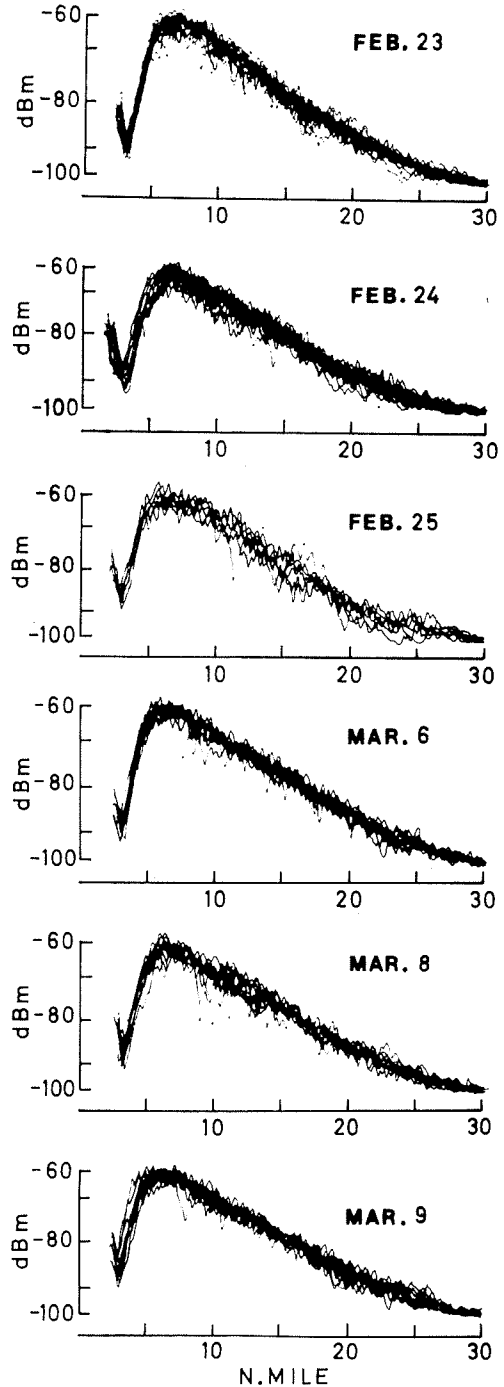
流水野の任意方向の反射電力を測定するために、レーダー受信器の対数増幅器の出力をレーダー信号解析器に導入して、距離による反射電力強度を求めた。なお、測定は流水域を方位角5度毎に行ない、同一氷野について約30方向の測定を行なった。

使用した流水レーダーは、波長5.4 cm、送信出力40 kW、空中線ビーム幅水平1°、垂直3°であり空中線は海拔300 mである。

第3図(A)は、得られた測定値の一例で、第1図の105°方向、30 哩までの反射電力の変化である。ここではレーダーの16 線返し周期の間、送信パルスごとにA/D変換した信号のいわゆるスイープ相関をおこなった結果である。これは、特定の距離からの送信周期ごとの反射信号の電圧 x_n をレーダーの繰り返し周期ステップ数 n によ



第3図 (A) 第1図105°方向、30 哩までの16 スイープ相関処理後の電力分布
(B) (A)の信号の前に低域フィルターを通した場合の電力分布



第4図 密氷野からの反射電力の振幅分布

て指数関数的な重み付平均処理をする α フィルターに通したもので、出力電圧 y_n は

$$y_n = \alpha x_n + (1 - \alpha) y_{n-1} \quad (5)$$

となる³⁾。この結果、16 繰り返しスイープ相関を行なった第 3 図 (A) における各距離の信号では、20 Hz 以上の変動が遮断されている。

A/D 変換は分解能が 8 ビット、測定間隔が 0.7μ 秒で、距離方向に 105 m ごとに測定したことになる。第 3 図 (A) は距離による減衰を示しているが、点のばらつきが大きい。これは空中線を回転させているために、ある送信パルスと次の送信パルスでは、同一目標に対して、目標面積内に含まれる状態が変化するためと思われるが、このままでは距離による信号の減衰を求めることはむずかしい。

第 3 図 (B) は、A/D 変換した直後に時定数 6.4μ 秒の低域フィルターを通したのちに第 (5) 式で示した重み付平均処理を行なったものである。なお 16 繰り返し周期の相関による A スコープは、レーダー空中線が回転した角度にすると 1.15° にあたり、空中線の水平ビーム幅 1° に近い。

第 4 図は、このような方法で得た 6 日間の測定結果である。ここでは明らかに氷湖などによって反射電力が急激に変動しているものはのぞいてある。図中の曲線の重複している部分が距離による減衰を示している。ここでは均一氷野からの実測値から距離減衰数を求めることを試みる。いま反射電力を

$$P_r = A \times \frac{1}{R^N} \quad (6)$$

で表わされるとする。

第 4 図にある各測定日ごとの距離に対する実測の平均値から、最小自乗法によって N および A を求めた。ただし 8 裡未満の距離では、レーダー空中線の垂直指向性が 3 度にすぎないので近距離による信号の低下がおこっているため、8 裡から 30 裡の実測値を使用した。第 1 表にこの結果を示す。

すなわち反射電力は、8 裡から 30 裡の範囲内ではおおよそ $R^{-6.3} \sim R^{-6.8}$ で減衰していることが判かった。レーダー方程式によると近距離では R^{-3} 、遠距離では R^{-7} で減衰することになる。

また、石田・小野によると¹⁾、屈折点は 20 裡付近にあると述べている。しかしこの測定では 8~30 裡の範囲には屈折点は認められなかった。

第 1 表 第 (6) 式の N および A の値

測定日時	N	A
2月23日10時	6.8	1.5
2月24日10時	6.5	0.5
2月25日14時	6.8	1.4
3月6日16時	6.5	0.7
3月8日10時	6.4	0.8
3月9日14時	6.3	0.3

III. あとがき

流水観測レーダーによる流水からの反射電力は、流水面に照射される電波の接地角が小さく干渉領域となっている。さらに流水面のあらさや複素誘電率および気象の影響による伝播路の変動など複雑な要因がある。このため反射電力の距離による減衰を理論的に求めることは現

段階では極めて難しい。そこで均一な密流水野からの反射電力を多数測定した。

その結果、定量測定の可能な8浬から30浬までの間では、反射電力はおおよそ $R^{-6.5}$ で減衰していることがわかった。

この結果は更に氷状の異なる氷野についても確かめてみる予定である。

これ等の結果は、今後レーダー情報の画像処理またはレーダー装置に距離補正を導入する際には不可欠であると思われる。

測定に際し終始御協力及び助言をいただいた流氷研究施設の石川正雄、福士博樹両氏、また論文を書くにあたって数々の有益な御指導をいただいた青田昌秋助教授に併せて感謝の意を表します。

文 献

- 1) 石田 完・小野延雄 1969 流氷状況とレーダー像との対応. 低温科学, 物理篇, **27**, 317-325.
- 2) 田畑忠司他. 1978 レーダー観測による北海道オホーツク海岸沖の流氷分布. 低温科学, 資料集, **35**, 未発表.
- 3) 清水紀雄 レーダー信号の統計的処理 (II). 日本無線技報, No. 9, 6-12.

Summary

Reduction in intensity of reflected power of radar waves from sea ice was investigated as the first step for the introduction of a range correction to the sea ice radar.

The usual radar equation for the variation of reflected radar power with distance shows that a fall-off is proportional to R^{-3} in a close distance and that in a long distance, the considering interference of waves reflected from the flat earth it becomes proportional to R^{-7} . However, in the case of an actual ice field, because both the shape of its surface and its electromagnetic properties are very complicated, there is a doubt about whether the usual equation can be applied or not.

It is necessary to check the equation by an actual measurement of reflected power. In the period when the ice field looked fairly stable and (23~25 Feb., 6~9 Mar., 1978) the precise measurements were carried out of reflected power for every five degrees of the antenna rotation up to 55 km of a distance.

The power obtained for every 105 m in distance was digitized into 8 bits and filtered by a low pass filter of 6.4 μ sec. time constant. Then, the weighted mean was calculated by equation (5) (Fig. 3 (b)).

Each picture in Fig. 4 is the product of superimposition of data of every direction. The radar equation can be written as equation (6), in which the coefficient was estimated as shown in Table 1 from the curves of Fig. 4. The fall-off coefficient for a distance longer than 8 nautical miles was $-6.3 \sim -6.8$. An average reduction on the distance of a radar signal for sea ice was estimated as $R^{-6.5}$.