HOKKAIDO UNIVERSITY

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	低温科學. 物理篇, 37, 125-129
Issue Date	1979-03-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18377
Type	departmental bulletin paper
File Information	37_p125-129.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Masayuki OI Tadashi TABATA 1978 Reduction with Increasing Range in Intensity of Reflected Power of Sea Ice Radar Waves. *Low Temperature Science, Ser. A, 37.* (With English Summary p. 129)

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*,**

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

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

で表わされる。ここで P_t は逆信電力，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。

連続した流氷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

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

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

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

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，

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

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。

しかし実際の流氷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所業績　第1971号

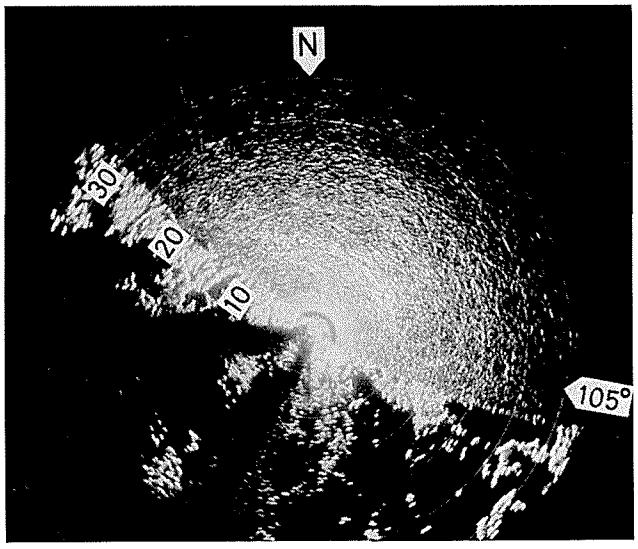
** 北海道大学低温科学研究所　流氷研究施設研究報告　第65号

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のべる。

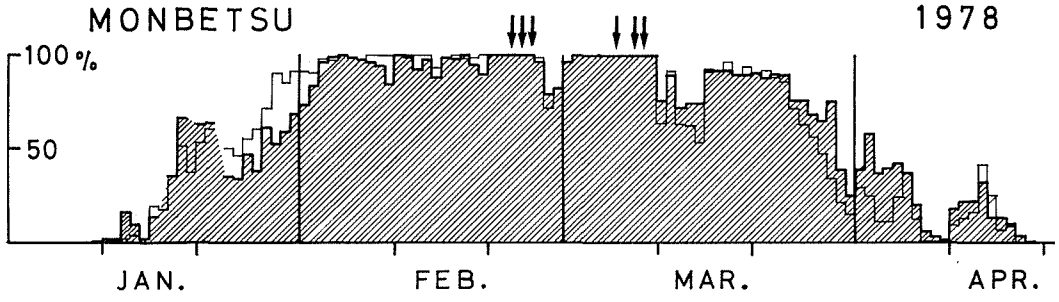
II. 測定の方法および結果

測定は昭和53年2月23日，24日，25日と3月6，8，9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浬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経30浬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)。距離の表示は浬

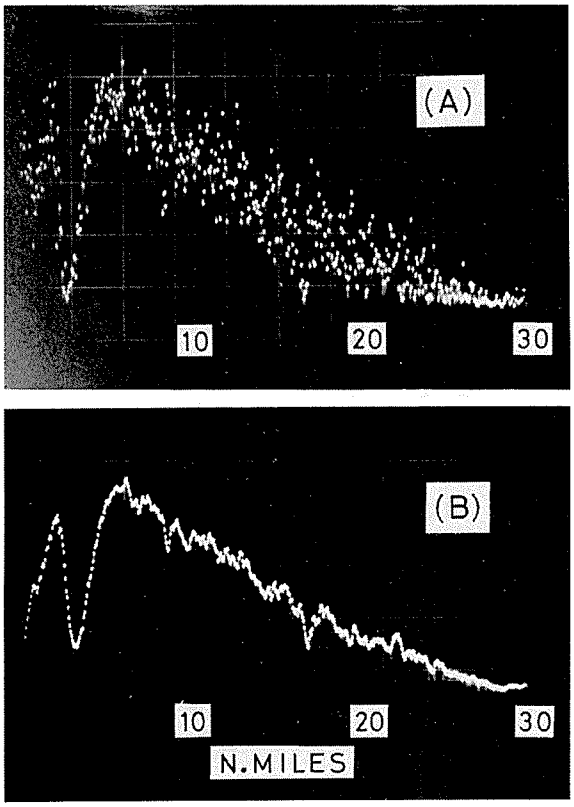


第2図 大山レーダーによる昭和53年冬の流氷量の日変化

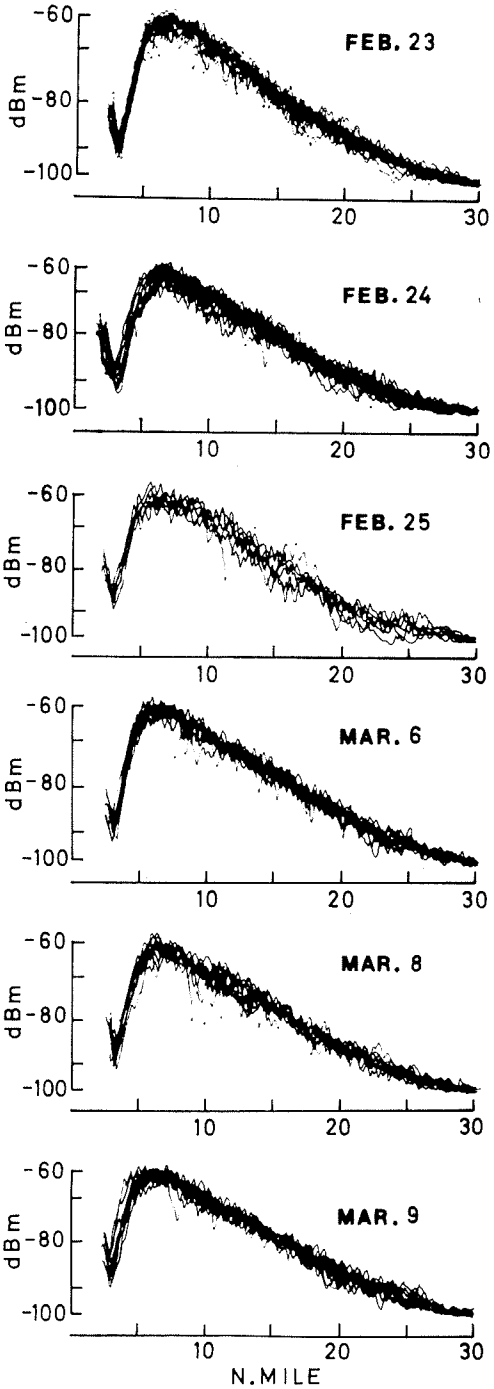
流氷野の任意方向の反射電力を測定するために，レーダー受信器の対数増幅器の出力をレーダー信号解析器に導入して，距離による反射電力強度を求めた。なお，測定は流氷域を方位角5度毎に行ない，同一氷野について約30方向の測定を行なった。

使用した流氷レーダーは，波長5.4 cm，送信出力40 kW，空中線ビーム幅水平1°，垂直3°であり空中線は海抜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浬までの反射電力の変化である。ここではレーダーの16繰返し周期の間，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によっ



第3図　(A)　第1図105°方向，30浬までの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

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

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 0.7 μ 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 6.4 μ 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。図中の曲線の重復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

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

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浬未満の距離では，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ので，8浬から30浬の実測値を使用した。第1表にこの結果を示す。

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

すなわち反射電力は，8浬から30浬の範囲内ではおおよそ $R^{-6.3}$～$R^{-6.8}$ 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浬付近にあると述べている。しかしこの測定では8～30浬の範囲には屈折点は認められなかった。

III. あとがき

流氷観測レーダーによる流氷からの反射電力は，流氷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。さらに流氷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

段階では極めて難かしい。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 prorortional to R^{-3} in a close distance and that in a long distance, the considering inteference 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 it 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 fleld 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 superimposion 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～-6.8. An average reduction on the distance of a radar signal for sea ice was estimated as $R^{-6.5}$.