



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	流氷レーダーの分解能の測定 III : 標的の含水率と反射強度の関係
Author(s)	藤野, 和夫; FUJINO, Kazuo; 大井, 正行 他
Citation	低温科学. 物理篇, 32, 229-233
Issue Date	1974-03-31
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18260">https://hdl.handle.net/2115/18260</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	32_p229-233.pdf



## 流水レーダーの分解能の測定 III<sup>\*,\*\*</sup>

— 標的の含水率と反射強度の関係 —

藤野和夫・大井正行

(低温科学研究所)

(昭和49年10月受理)

### I. ま え が き

レーダースコープ上の標的映像と標的の幾何学的形状との関係は、標的の有効反射断面積と言う概念的な関数で与えられている。標的の有効反射断面積はその様な幾何学的な関数であると同時にその誘電的性質の関数でもある。これ等2つの関数関係を明らかにすることは、我々の流水レーダーの場合には、対象とする標的が他の一般のレーダーと異なるので、特に重要な問題である。既に我々は前報(I)及び(II)に於て、既知の有効反射断面積をもつ標的とそのP.P.Iスコープ上の映像との関係、及び氷、雪の反射強度について報告した<sup>1),2)</sup>。今回の報告はそれらの実験に関連して、標的の含水率とその反射強度との関係を知るために行った実験結果である。

従来、主としてマイクロウェーブに対する実用的要求から、同種の実験<sup>3),4)</sup>や理論的<sup>5)</sup>な研究がなされ、問題点が明確化されたり、又実用的解決がなされている。しかし、未だに明確な解を得ていないものも数多く、含水率との関係もその一つである。したがって、この問題は実用的見地から、又学理的見地からも興味のある問題と考えられる。

### II. 実験の方法とその結果

実験は昭和49年2月15日から19日にわたって、北海道オホーツク沿岸の紋別市付近で行なった。実験に使用した器材及び測定方法は、前回とほぼ同様である。すなわち大山局レーダー(送信出力40kW, 波長5.42cm)を使用し、大山局南東10哩のコムケ湖上に標的を設置した。使用した標的は基準用、測定用共アルミ製のコーナーリフレクターで測定用は1辺50cm, 基準用は1辺22cmである。それ等の有効反射断面積は測定用が89.1m<sup>2</sup>, 基準用が4.2m<sup>2</sup>である。これ等の標的を、その3面对称軸が電波入射軸と平行になる様にして、木のやぐらに固定した(第1図)。標的相互間及び陸地からの影響を避けるために、測定用は岸より640m, 又測定用と基準用とは475mはなして設置した。大山局のアンテナ水平軸が標的に正確に一致する様に調整して固定し、レーダーを作動させ、標的の反射強度をAスコープで測定した。

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第1341号

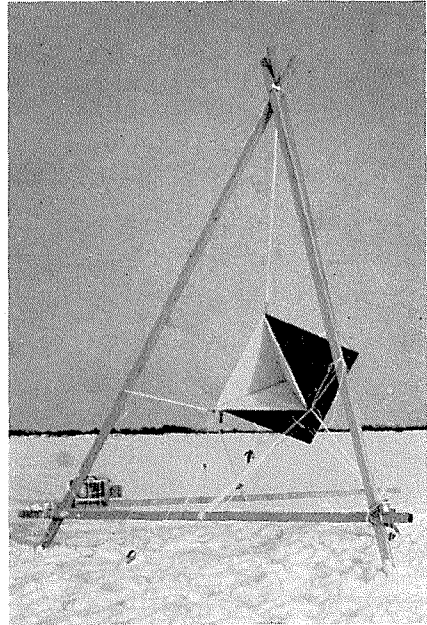
\*\* 流水研究施設 研究報告 第37号

測定用リフレクターの反射表面に 2.5 cm 厚のウレタンフォームをはりつけた。ウレタンフォームを完全に水で飽和させた状態から反射強度の測定を開始する。時間と共に水が流出して、ウレタンフォームの含水率が低下し、それに伴って変化するリフレクターの反射強度を A スコープで測定した。24 時間以上の連続測定を終了した後で、はりつけたウレタンフォームをはずし、その重量を計量し最終含水率を求めた。含ませた水は蒸溜水及び塩分 10‰ の海水である。含水率の時間変化は室内で同様の実験を行ない、流出した水量を時間と共に計量して、ウレタンフォームの含水率を逆算した。

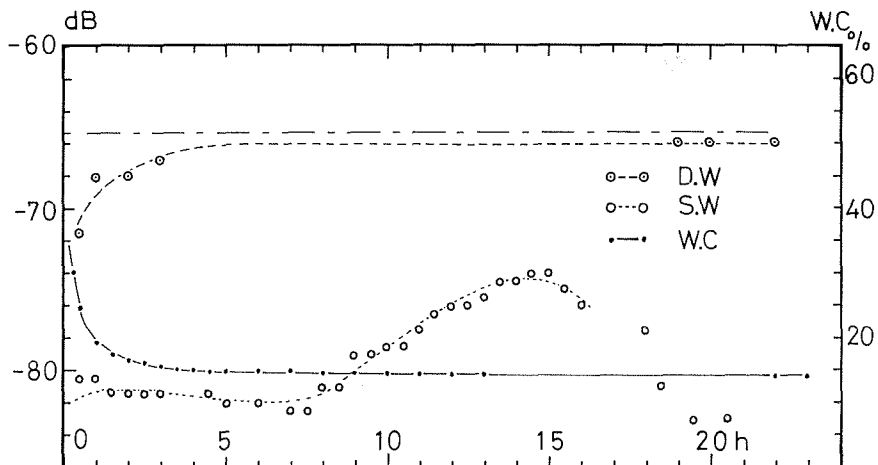
ウレタンフォームの含水率の時間変化の一例を第 2 図に示した。図から明らかな様に、含まれた水は最初の飽和状態から時間と共に指数関数的に急激に流出して減少するが、約 3 時間程度でほぼ定常状態に達し、以後の変化は極めてわずかである。

リフレクターの反射強度の時間変化を第 2 図に示した。図から明らかな様に水を含ませた事によってリフレクターの反射強度は著しく変化するが、その時間的変化の様相は蒸溜水と海水の場合では著しく異なる。

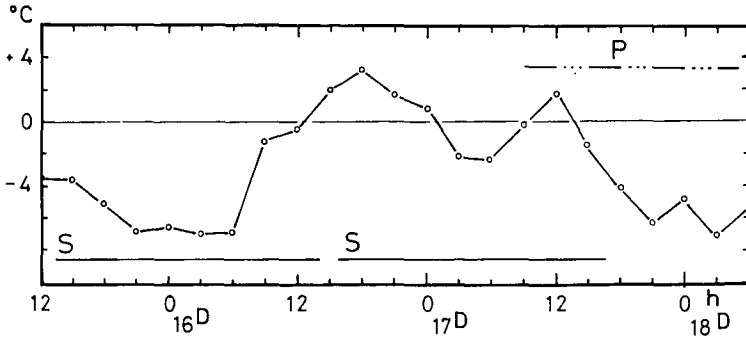
蒸溜水を含ませた場合には飽和状態で約  $-9$  dB 以上の反射強度の減少が起こるが、時間の経過と共に次第に回復し定常状態に達する。その状態で水を含まない場合よりも約  $-1.5$  dB 程度の減少となった。反射強度と含水率の時間変化とは非常に良い相関を示している。



第 1 図 設置した標的  
(反射面に見えるのはウレタンフォーム)



第 2 図 反射強度及び含水率と時間の関係  
W.C.; 含水率; ---○--- D.W.; 蒸溜水を含ませた場合  
S.W.; 海水を含ませた場合



第3図 測定期間中の気温の時間変化  
S; 測定期間 P; 降雪期間

一方、海水の場合には飽和状態で、反射強度は約  $-25$  dB 程度の大きな減少を示す。時間の経過に伴う反射強度の回復は見られず、ほぼ一定の値を保つ。夜間、気温の低下と共に反射強度は次第に回復し、最終的には海水を含まない場合より約  $-8.5$  dB 程度の減少に迄回復した。しかし気温の上昇と共に反射強度は再び急速に減少した。海水を含ませた場合の反射強度と含水率の時間変化とはあまり良い相関を示していない。又気温の低下と共に見られた反射強度の回復は、含まれた海水の凍結によって起こったものである。同様の現象が蒸留水の場合にも起こったと思われるが、マイクロ回線の個障によって測定出来なかった。又、18時間以上経過した付近から急速な反射強度の減少が見られるが、これは降雪がリフレクターの反射面の一部に堆積し3面の直交性が害われたために起こった減少である。第3図に測定期間中の気温を図示した。

### III. 測定結果の考察

前章で明らかな様にリフレクター表面にはりつけたウレタンフォームが、水を含むと反射強度は著しく減少する。

反射強度、 $P_r$  はレーダー方程式によって次の様に表される。

$$P_r = \frac{P_t \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{(4\pi)^3} \frac{\sigma}{R^4}$$

ここで、 $P_t$  は送信電力、 $G$  はアンテナ利得、 $\lambda$  は波長である。式から明らかな様に反射強度は標的の有効反射断面積、 $\sigma$ 、と標的迄の距離、 $R$ 、の関数である。我々の実験では距離一定で既知の有効反射断面積をもっている場合である。したがって反射強度は標的の物質の誘電的性質の関数として表される。測定された反射強度の変化はウレタンフォームの含水率の変化に対応したものと考えられる。

今、ある物質の固有インピーダンスを  $\eta$  とすれば良く知られている様に、 $\eta$  は次の様に表される。

$$\eta = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\varepsilon}} = \frac{\tilde{\gamma}}{\sigma + j\omega\varepsilon}$$

$$\tilde{\gamma} = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\varepsilon)} = \alpha + j\beta$$

ここで、 $\omega$  は角周波数、 $\mu$  は透磁率、 $\varepsilon$  は誘電率である。又、 $\gamma$  は固有伝播数と呼ばれる。

多層媒質中を伝播する電磁波は、各層の境界面で各々の固有インピーダンスの差によって、反射、屈折を起こしながら媒質中を伝播する。又、レーダー波の様な水平偏波が境界面にある入射角  $\theta_0$  で入射した場合には、その反射係数  $R$  及び透過係数  $T$  はそれぞれ次の様に表される。

$$R_{1,2} = \frac{\cos \theta_0 - \sqrt{(\gamma_2/\gamma_1)^2 - \sin^2 \theta_0}}{\cos \theta_0 + \sqrt{(\gamma_2/\gamma_1)^2 - \sin^2 \theta_0}}$$

$$T_{1,2} = \frac{2 \cos \theta_0}{\cos \theta_0 + \sqrt{(\gamma_2/\gamma_1)^2 - \sin^2 \theta_0}}$$

ここで添数は、偏波の進行方向を表す。又  $\gamma$  はそれぞれの媒質の固有伝播定数である。

我々の場合に第1媒質は空気、第2媒質は水を含んだウレタンフォーム、第3媒質はアルミである。したがって、空気は真空で、又アルミは完全導体と仮定しておきかえると、

$$R_{1,2} = 0 \quad T_{1,2} = 1, \quad R_{2,3} = 1 \quad T_{2,3} = 0$$

として、第2媒質の現象を考えれば良い。しかし、実際にその固有伝播定数は複雑でそれを定量的に取扱うことは不可能ではないが、極めて複雑なものとなる。

ウレタンフォーム自体は空気との混合誘電体で無損失誘電体と考えられる。実際の測定にも水を含まない場合には反射強度には変化は見られなかった。しかし、水を含んだ場合に、その水は内部に3次元網目状に分布し、含水率によって単位網目の領域が変化すると共に分散媒から分散質へと変化する。この様な混合誘電体の複素誘電率は体積比の関数のみでなく、分散系の関数でもある<sup>6),7)</sup>。又 cm 波の様な高周波領域での混合誘電体や強電解質溶液の複素誘電率のふるまいについては未だ定量的には明確化されていない<sup>8)</sup>。

したがって、この問題を定量的に取扱うためには室内実験を併用しながら推めなければ困難と思われるので、今回の測定結果については定性的な考察のみに止める。今回の測定結果から明らかになったことは、1) 水を含ませると3次元網目が形成され、水が系の分散媒となり誘電損失が増大し、反射波の干渉によって反射強度が減少する。2) 含水率が低下すると水が系の分散質となり、誘電損失が低下するので、反射強度は含水率の低下と共に増大する。3) 水の導電率が高い程、誘電損失も増加するので、同じ含水率の場合でも反射強度の減少は著しい。4) 水の導電率が高い場合でも、それが系の孤立分散質になるにつれて誘電損失は低下するため系の分散度によって反射強度は増大する。

#### IV. ま と め

我々の流水レーダーが対象とする標的は、通常のレーダーと異なり、誘電体である。したがってその反射強度は幾何学的形状の関数のみならず、その誘電的性質の関数でもある。これ等の関係を明らかにすることは、映像解析のためには必須条件であるが、定量的取扱いは非常に困難である。今回の実験条件に類似した状況は実際の海水では普遍的現象である。今回の実験結果は定性的考察に止まったが、レーダーの映像を解釈する上に極めて重要なことと考える。今後この問題を室内実験を併用して定量的解析が可能な方向に研究を推めたい。

実験に際し御便宜をいただいた流水研究施設長田畑教授並びに研究員技官諸氏、結果の整理解析に有益な御討議をいただいた、応用物理学部門若浜教授並びに部門の諸氏に心から感謝の意を表す。

実験に要した費用の一部は文部省科学研究費補助金より支出された。

## 文 献

- 1) 藤野和夫・大井正行 1970 流水レーダーの分解能の測定 I. 低温科学, 物理篇, **28**, 291-299.
- 2) 藤野和夫・青田昌秋・大井正行 1971 流水レーダーの分解能の測定 II. 低温科学, 物理篇, **29**, 191-198.
- 3) 黒岩大助 1956 着雪と着氷. 北大応電研彙報, **8**, 4, 153-174.
- 4) 小野光弘・鈴木道也 1967 マイクロ波に対する雪の透過減衰量. 雪氷, **29**, 5, 150-155.
- 5) 浅見義弘・小沢保知他 1956 マイクロ波輻射系への着氷雪の影響. 北大応電研彙報, **8**, 4, 51-76.
- 6) 藤野和夫 1967 海水の誘電的性質に関する研究. 低温科学, 物理篇, **25**, 127-169.
- 7) 黒岩大助 1951 積雪の誘電的性質に関する研究. 低温科学, 物理篇, **8**, 1-57.
- 8) Glen, J. W. and Paren, J. G. 1974 The Electrical Properties of Snow and Ice. Proceedings of Internal. Conf. of Remote Sensing, London, England, (in press).

## Summary

Measurements of radar echo intensities from a target were carried out by using as a target a metal coner reflector (Fig. 1) lined with plates of uretane foam which had been soaked in either distilled or saline water.

The intensity of a radar echo from such a target was measured by images on the A-scope.

The results obtained showed a remarkable decrease in intensity by such dielectric mixtures of water distilled or saline and uretane as well as a gradual increase in intensity with both time and the lowering temperature.

In the case of distilled water, changes of intensity seemed to correspond to changes of free water content in uretane foam as shown in Fig. 2. In the case of saline water, an incerase in intensity was not recognizable compared with the case of distilled water. But a remarkable increase in intensity occurred with the lowering temperature as shown in Fig. 2.

From these results, it was concluded that the intensity of a radar echo from a target was greatly influenced by the conductivity of the material covering the target. When the free water content of uretane foam was fairly high, the water dispersed in the foam was brought closer to form a kind of three dimensional network, in which case the conductivity of the aggregate was not negligible; then, it interfered with reflection, causing a considerable decrease in its reflecting power. With the lowering temperature, the freezing of free water in the foam occurred, which caused a decrease in conductivity, because the water network changed to an ice network. The same change occurred with the decreasing free water content as the collapse of the water network proceeded in the foam. It was observed that the collapse of the network accompanied an increase in reflecting power from the target.