



Title	流氷レーダーの分解能の測定 IV : 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, 34, 187-193
Issue Date	1977-03-25
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/18311">https://hdl.handle.net/2115/18311</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	34_p187-193.pdf



## 流氷レーダーの分解能の測定 IV<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51年10月受理)

### I. ま え が き

前報 I, II, III に於て、既知の有効反射断面積をもつ標的を用いたとき、そのレーダーコープ上の映像と反射強度、雪及び氷の反射強度、異なる導電率の水を含んだ場合の含水率と反射強度等の関係について報告した<sup>1-3)</sup>。標的の有効反射断面積は標的の幾何学的関数であると同時に標的の誘電的性質の関数でもある。完全導体の単純な幾何学的形状の標的について、その有効反射断面積を理論的に求めることは不可能ではない。しかし、我々が対象とする流氷は、その幾何学的形状が複雑であるばかりか、その誘電的性質も複雑であり、理論的にその有効反射断面積を求めることは不可能である。したがって、実験的に有効反射断面積を推定し、実用的解決をしようと言う試みがなされて来たが、未だに多くの問題が未解決のままに残されている。特に含水率との関係もその一つである。

今回の報告は、前報 III と同様に電解質溶液を含んだ場合の標的の反射強度に関し、その後引き続いて行った実験結果である。

### II. 実験の方法とその結果

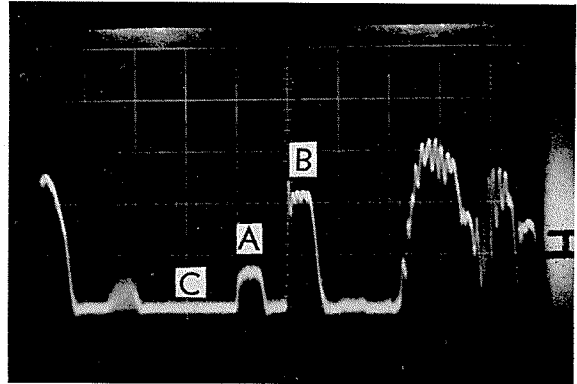
実験は前報と同様に、北海道オホーツク海沿岸の紋別市に於て行った。実験期間は昭和50年3月初旬、及び昭和51年3月下旬から4月初旬である。実験に使用した器材、及び方法は前回とほぼ同様である。すなわち、紋別市大山局レーダー(送信出力、40 kW、波長 5.42 cm)を使用し、標的は大山局南東10 哩のコムケ湖上に設置した。設置した標的は、アルミ製コーナリフレクターで、基準用が一辺 22.0 cm、測定用が一辺 55.0 cm の3角錐である。それぞれ有効反射断面積は、基準用が 4.2 m<sup>2</sup>、測定用が 89.2 m<sup>2</sup> である。標的は相互間及び陸地の影響を避けるために、十分な間隔を置いて設置した。第1図に標的の A スコープの映像と相互の位置を示した。測定用リフレクターは、その3面対称軸がレーダー電波の入射方向とほぼ平行になる様に固定した。その後、大山局のアンテナの水平軸が正確にコムケ湖上の標的に一致する様に調整して固定した。その状態でレーダーを作動させ、標的からの反射強度を A ス

\* 北海道大学低温科学研究所業績 第 1787 号

\*\* 北海道大学低温科学研究所 流氷研究施設研究報告 第 52 号

コープで測定した。

測定用リフレクターの反射面に、前回とは異なり、3面の内の平坦な一面に厚さ1.5 cmのウレタンフォーム3枚を重ねて張りつけた。ウレタンフォームは蒸溜水、又は5% NaCl溶液で飽和させ、その状態から反射強度の測定を始めた。反射強度の測定はAスコープで行い、15~20時間にわたり、30分毎に自動カメラで記録した。又、今回は記録処理をはやめるために、ビデオカメラを併用し、4分毎に10秒間、Aスコープを撮影し、レコーダーに記録することを試みた。測定終了後、ウレタンフォームを取り外し、その重量を計測して最終含水量を求めた。



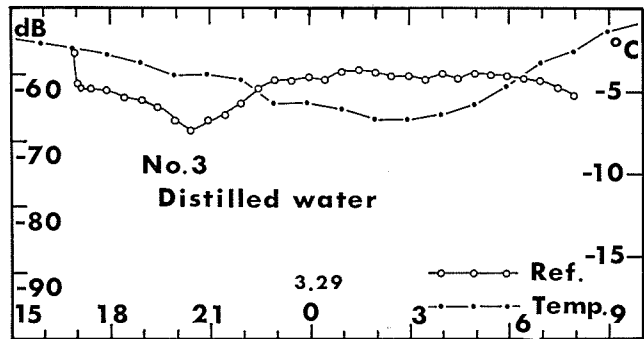
第1図 基準用、測定用リフレクターのコムケ湖上のAスコープ像

A: 基準用リフレクター。 B: 測定用リフレクター。  
C: グランドノイズ

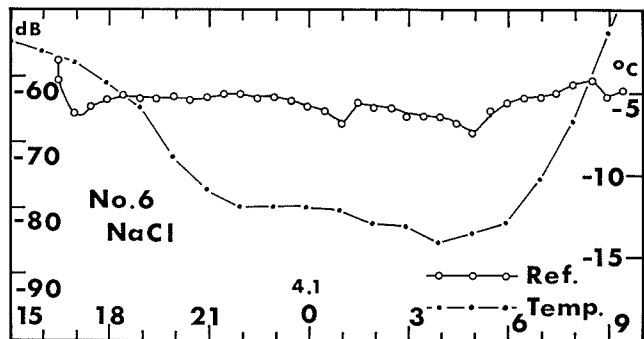
基準用リフレクターの反射強度の変化も同時に測定し、測定期間中のレーダーの機械系の変化、及び空中状態の変化等による測定値の変化を補正した。

測定した反射強度及び現場の気温の時間変化の例を第2図及び第3図に示した。

蒸溜水4例、NaCl溶液7例についての実験結果は、定性的には図から明らかな様に、前報IIIと同様である。すなわち、ウレタンフォームが水を含むと、標的の反射強度は著しく減少する。含ませた水が電解質溶液で、導電率が高い場合程、反射強度の減少の割合は大きくなる。又、含ませた水が凍結して、ウレタンフォーム内部に氷が出来、その結果含水量が減少するにつれて、反射強度は回復する。しかし、定量的には今回の実験結果は、前報IIIに見られ



第2図 蒸溜水を含ませた場合の標的反射強度及び現場気温と時間の関係



第3図 NaCl 5% 溶液を含ませた場合の標的の反射強度及び現場気温と時間の関係

た程、反射強度と含水率及び気温との間の相関は著しくはなかった。特に、含ませた水が蒸溜水の場合に、それ等の中に明らかな相関が見られたのは、4例中2例のみであった。残りの2例中1例では全く相関は見られなかった。

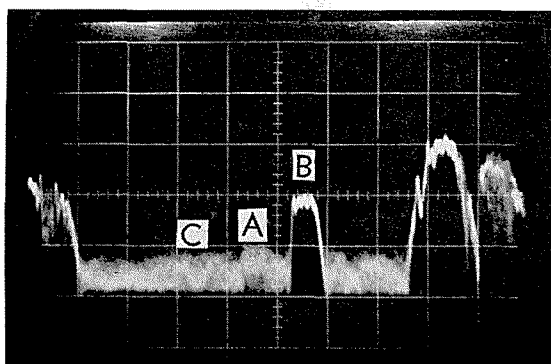
標的の反射面にウレタンフォームを張りつけない状態で、その反射強度は最大  $-55.5$  dB、最小で  $-60.5$  dB の範囲の値であった。水を含まないウレタンフォームを張りつけた場合には検知出来る程の反射強度の変化は見られなかった。ウレタンフォームを水で飽和させ、それを反射面にのせて放置すると、含まれた水は急速に流出して、凍結が起らない場合には約3時間程で20%前後の一定値に達し、以後はほぼ平衡を保って含水率はあまり変化しない。凍結が起る場合には、反射面に接した最下層と寒気に接している最上層から凍結が起る。そのために、ウレタンフォーム内部からの水の流出が妨げられ、含水率は凍結の起らない場合より比較的高く保たれる。含ませた水の流出と凍結がウレタンフォーム内部で同時に進行するにつれて、含水率が変化し標的の反射強度が変化する。通常の場合、凍結と流出のかね合いで、反射強度は約1時間程で最小値を示し、その後次第に回復増大する。

今回の実験結果で、ウレタンフォームに蒸溜水を含ませた場合、測定開始1時間後の反射強度の減少は、水を含まない場合よりも  $-5\sim-6$  dB 程度であった。NaCl 5% 溶液の場合には、蒸溜水の場合よりもやや大きかったが、最大で  $-9$  dB 程度の減少が起った。

その後のウレタンフォーム内部の凍結の進行による反射強度の回復は、あまり著しくなかった。特に蒸溜水の場合には、含水率の減少につれて、反射強度はむしろ減少の傾向を示した。最終的には、反射強度は回復増加したが、その回復率は最大で約60%程度で、前報 III で見られた様な90%近い回復は見られなかった。NaCl 溶液の場合には、蒸溜水の場合の様な減少傾向は見られなかったが、同様に反射強度の回復率は著しくなく、最大で約50%程度の回復で、大部分は20%以下の回復に止まった。

ウレタンフォームの最終含水率は、蒸溜水の場合には49~44%、NaCl 溶液の場合には42~35%といずれも比較的高い値を示した。ウレタンフォームを回収した際に、蒸溜水を含ませた場合には、いずれも3枚中の中層の一枚が凍結していた。NaCl 溶液の場合にはいずれも全層にわたって凍結はみられなかった。このことが蒸溜水の場合とNaCl 溶液の場合との含水率の違いとなったと考えられる。

今回、記録処理を迅速化するために試用したビデオカメラは、本来の目的のためにも非常に有効であったが、これを用いたために、非常に興味深い現象が観察された。3月28日10時頃より約1時間にわたり、グラウンドノイズが著しく増加した。通常の場合にはグラウンドノイズ



第4図 グラウンドノイズが増加した時のAスコープ像(第1図と対照すると増加の状態が明らかとなる。)

A: 基準用リフレクター。B: 測定用リフレクター  
C: グラウンドノイズ

は第1図の様に  $-95$  dB 以下の値であるが、それが  $-85$  dB 程度に迄増大した。同様の現象が3月30日18時前後、及び3月31日0時より9時頃迄断続的に起った。第4図にグラウンドノイズが増大した例を示した。第1図と対照するとその増加が明らかとなる。この増加の起った期間はいずれの場合にも降雪はなく、気温は  $-2^{\circ}\text{C}$   $\sim$   $-4^{\circ}\text{C}$  程度で、風速は  $8$  m/sec 前後であった。従来、この様なグラウンドノイズは地ふぶきによって生ずると考えられていた。今回の観測で、この様な現象が特定の風速範囲で起っていることが明らかとなった。特に3月31日の場合には、風速が  $7.5$  m/sec  $\sim$   $8.7$  m/sec の範囲ではグラウンドノイズが急激に増大しているが、風速が、その範囲以下及び以上ではいずれもグラウンドノイズは  $-95$  dB 以下の値になっている。又、3月28日の場合にも同様に  $7.7$  m/sec  $\sim$   $8.3$  m/sec の風速範囲でのみ増大が起っている。

### III. 実験結果の考察

今回の実験結果は、定性的には前報 III の実験結果に、ほぼ一致していると考えられる。しかし、部分的にはかなりの違いがある。特に、蒸溜水をウレタンフォームに含ませた場合に見られた、標的の反射強度の減少傾向は、従来見られなかったものである。この原因については明らかではないが、レーダー系の機械的原因によるものと、標的自体がもたらしたものの2通りが考えられる。レーダー系の原因については、後に述べる実験結果の定量的な差異には充分に考慮しなければならないが、定性的な差異を説明することは難しい。この定性的な差異はやはり標的自体の原因によるものと考えられる。

第1に考えられるのは、標的を固定した際に反射面の3面对称軸を電波の入射方向と平行になる様にした。しかし、その後、固定状態の不完全さや支持したやぐらの沈下、風等の外力などで、その平行性がずれてしまった可能性がある。3角錐型のリフレクターでは、3面の交叉角の精度が良ければ、電波の入射角が対称軸に対して大幅な変動をしても、反射強度にはあまり影響がないと考えられている<sup>4)</sup>。しかし我々の実験結果ではこの平行性は極めて鋭敏に反射強度に影響することが確められている。

実際に、測定の前後で反射強度は数 dB 変化するが、その変化は主に固定状態の変化によるものである。しかし、今回の場合の様に  $-5$  dB 以上もの減少が、この原因のみで起ったとは考え難い。第2に考えられるのは、標的の反射面の洗浄状態の不完全さで、反射面の表面に固着していた電解質が、ウレタンフォームに含まれた蒸溜水に溶解し拡散した可能性である。反射強度の減少の大きさから考えると、その可能性は極めて大きいと考えられる。いずれにしろ蒸溜水の場合に見られた、反射強度の減少の原因は明確ではなく、今後更に検討しなければならない。

定量的に、前報 III の実験結果と異なるのは、今回の実験方法によるものと考えられる。前回の実験では、測定用リフレクターの3つの反射面に全てウレタンフォームを張りつけた。しかし、この方法では3面のそれぞれのウレタンフォームの含水率に大きな差を生ずること、及びウレタンフォーム内部に著しい含水率の不均性が生ずること等のために、実験結果の取り扱いが複雑であった。そのため今回は3角錐の底面の一面にのみ、ウレタンフォームを張りつけた。3角錐の3面对称軸に平行に入射した電波は直交するそれぞれの各反射面で、3重反射

を繰り返して再び入射方向に反射される。したがって、反射面の一面にのみウレタンフォームを張り付けた場合と3面全部に張り付けた場合とでは、入射波と反射波の減衰比が異なる。したがって、測定開始直後の飽和状態に近い場合の標的の反射強度の減少の割合が、前回に比較して量的に小さいのは、この原因によるものと考えられる。しかし、凍結の進行にともなう反射強度の回復が、同様に小さいのは、この原因からのみでは説明し難い。NaCl溶液を含ませた場合の反射強度の回復が著しくなかったのは、明らかに気温が高かったために、全層が完全に凍結しなかったためと考えられる。しかし、この場合も $-10^{\circ}\text{C}$ 以下の気温が6時間以上も継続したにもかかわらず、反射強度の回復は30%程度に止まり、前回の様な70%近い回復を考えると、未凍結ブラインのみで全てを説明することは出来ない。

レーダー系の機械的原因によるものとしては、増幅器系の直線性の劣化、リレースイッチ系による電圧変動等の影響が考えられる。しかし、測定の前後に標準電圧による校正を行い、又測定中も基準リフレクターからの反射強度の変動により測定値を補正しているため、それ等による影響の大部分は除去されていると考えられる。併用したビデオカメラの記録の観察では、明らかにレーダー系の変動と思われる数dB程度の反射強度の変動が、しばしば見られた。したがって、レーダー系の機械的原因による反射強度の変動を完全に無視することは出来ない。

今後の課題は、上に述べた色々の原因を定量的に検討し、実験誤差を明確にして、本質的な変動と区別する手段を講じることと考える。

グラウンドノイズの急激な増大が、ある特定の風速範囲に限られて現れる現象は、非常に興味深いことである。今回は風速の現場観測値がなかったために、約2km程離れた紋別空港測候所の10m高の平均風速の測定値を代用した。地表10m高の風速が対数的に高度と共に減衰するとして、地表1m高の風速に換算すると、10m高での8m/secの風速は1m高で約6~7m/secの風速となる。気温が $-2\sim-5^{\circ}\text{C}$ とすれば、この程度の1m高風速は地表に地ふぶきを起す臨界風速をやや超えた値で、地ふぶきが発生する可能性は充分にある<sup>5-7)</sup>。したがって、地ふぶきが発生して、地表付近での飛雪粒子による反射散乱が増大し、それがグラウンドノイズの増加を起したと考えることは可能である。しかし、風速が増加して、ある値を超えた場合にグラウンドノイズが減少する現象は、単に飛雪粒子の反射散乱では説明出来ない。風速の増加にともない地ふぶきによる飛雪粒子の全空間密度は比例的に増加する。したがって、飛雪粒子による反射散乱も、風速に比例して増大することになる。飛雪粒子による空間電場の変動やダクト効果等による利得の増減によるノイズの増減は、大規模な現象については考慮しなければならないであろうが、地表付近に限られた小規模現象には適用出来る可能性は少ないであろう。現在の段階では推測しか出来ないが、今後更に研究を推めたい課題である。

#### IV. ま と め

今回の実験結果は、定性的にも又、定量的にも前報IIIの実験結果をほぼ裏付けていると考える。しかし、部分的には両者にわたって理解し難い点もある。今後の課題は実験の系統誤差を明確に分離して、実験結果の定量的な取り扱いを可能にすることである。又、グラウンドノ

イズの増減の現象についても同様に定量的解析が可能な方向に推めたい。

実験に際して種々の御便宜をいただいた流氷研究施設長田畑教授並びに研究員、技官諸氏、結果の整理解析の際に有益な御討議をいただいた気象学部門小林俊一助手、種々の御協力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 流氷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 流氷レーダーの分解能の測定 II. 低温科学 物理篇, **29**, 191-198.
- 3) 藤野和夫・大井正行 1974 流氷レーダーの分解能の測定 III. 低温科学, 物理篇, **32**, 229-233.
- 4) 無線工学ハンドブック編纂委員会 1964 無線工学ハンドブック. オーム社, 2323 pp.
- 5) Budd, W. F., Dingle, W. R. J. and Radok, U. 1966 The Byrd Snow Drift Project: Outline and Basic Results. Antarctic Res. Ser., **9**, 71-134.
- 6) 小林俊一 1971 地ふぶきにおける雪面の波状模様生成と運動. 低温科学, 物理篇, **29**, 81-92.
- 7) 小林大二 1970 地ふぶきの発生と発達. 低温科学, 物理篇, **28**, 141-146.

## Summary

Measurement of radar echo intensities from a target were carried out by using images on the A-scope (Fig. 1).

A target used was a metal corner reflector having a known radar cross section; it was covered with plates of urethane foam which had been soaked with either distilled or saline water.

The results obtained showed nearly the same qualitative behaviour as that reported previously<sup>1-3)</sup>, that is, a remarkable decrease in intensity by such a dielectric mixture of water and urethane, as well as a gradual increase in intensity with time and the lowering temperature (Figs. 2, 3).

The behaviours of intensity were strongly influenced by free water contents and a three dimensional network causing a dielectric loss in the covering material.

It is, however, clear from Figs. 2, 3, that the behaviours of the intensity with time were slightly and partially different from those of the previous one. A gradual decrease in intensity with time after covering with the dielectric mixture was observed in the most cases of the distilled water (Fig. 2). Such was not observed in the previous measurements and cannot be explained clearly from the dielectric loss of the covering material.

In the case of either distilled or saline water, the recovery in intensity with the lowering temperature was not so remarkable and was kept up to the average of 20% of the original intensity, the maximum recovery being 60%. But this can be explained from the different arrangement of the plates and also fairly high temperatures.

Sudden increases in intensity of ground noise were observed from the records which were taken continuously by a video recorder, as is shown in Fig. 4 (cf. Fig. 1). These increases of ground noise have been considered to occur by drifting snow. On

examination of the ground noise and wind speed, these sudden increases seem to take place only when the wind speed was kept for a certain range at about 8 m/sec. This may suggest that other effects than the wind may have an influence for these sudden increases of ground noise.