

超音波による積雪検知

木村 忠志

国立防災科学技術センター雪害実験研究所第2研究室

Snow Cover Detection by Ultrasonic Waves

By

Tadashi Kimura

Institute of Snow and Ice Studies, Nagaoka

Abstract

The energy of sound waves transmitted in snow cover is absorbed by snow cover and reduced. In view of this fact, the snow cover detection by ultrasonic waves has been tried. On the other hand, a measuring apparatus that takes repeated measurements for every additional 2-cm snow depth was constructed by the same detection principle, and a field observation has been carried out by using this apparatus.

In the present paper, two experimental results are shown as follows:—

(1) The test equipment for the detection of snow cover by ultrasonic waves is able to detect snow surface with the accuracy of ± 2 mm, which is not affected by variations of snow depth, environmental noises of audio frequency range, and wind speeds under 5 m/sec.

(2) About 80 percent of the totalized snow depths, which were obtained from the field observation with the apparatus of repeated measurement, well correspond to the snow depths measured with ordinary snow stakes.

1. 序 論

積雪の深さを量的に検知する装置として、低周波音波の伝搬速度が、積雪層内において、空気中におけるよりも遅いことを利用したものが報告されている(木村, 1970)。この低周波音波による積雪検知装置は、簡単なハウリング・オシレータにより、5 kHz の低周波音波を発生させ、これを空気中と積雪層内に放射して、空気中を伝搬した音波と、積雪層内を伝搬した音波の位相差を検出することが基本動作である。したがって、可聴周波数範囲の周囲雑音によって動作を乱されやすく、これを防ぐためには、超音波を搬送波とするなどの処置が必要で、このためには、かなり複雑、かつ高価な装置を必要とする。しかし、この種の、一定の積雪の深さを検知する装置は、一種の警報装置として、たとえば道路除雪組織のなかで利用される場合が多いと考えられるので、高価で複雑な装置は実用的でない。そこで、周囲雑音による誤動作

を避けるために、積雪層による超音波の吸収を利用して、積雪の深さ数 cm 以上の新積雪を検知する方法について、室内実験を行なった。音波のエネルギーが、積雪層に吸収され、弱められることは、すでに明らかにされている（大浦，1953；石田・小野寺，1954）。

一方、室内実験の結果に基づいて、積雪の深さ 2 cm の新積雪を、超音波の吸収によって、くり返し計測する装置を試作した。この装置より得られる積算積雪深は、雪尺で測られる積雪の深さに比べて、ほとんど縮みを含まないはずである。このことを確かめ、また、一般の新積雪の深さと、積算積雪深の関係を見いだす目的で、野外観測を実施した。

2. 積雪検知装置の構成と作動原理

図 1 に、積雪検知装置の基本的な構成図を示す。図中の Tx は超音波の送波器で、Rx は受波器である。これらはいずれも同じ構造のもので、全長の 1/3 の位置に、チタン酸バリウム振動子をはさんだ、直径 15 mm のアルミニウムの棒で、全体の長さを 60 kHz の超音波に共振するようとり、振動のノードの点で全体を支持している。送波器に 60 kHz の振動電圧が与えられると、全体が長さ方向に振動して、60 kHz の超音波が、送波器の前方にビーム状に放射される。この超音波ビームは、送波器のところで

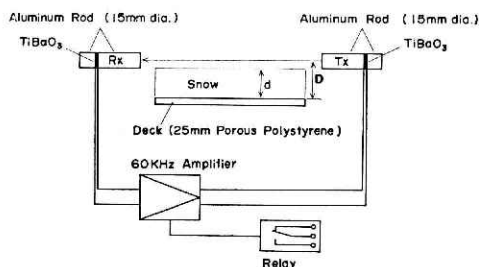


図 1 積雪検知装置の構成

直径 15 mm、開き角が約 10° である。放射された超音波は、受波器に達して振動電圧に変換され、60 kHz の選択増幅器で増幅されて、再び送波器を作動させ、いわゆるハウリング・オシレーションが継続する。ここで、水平に対向する送波器と受波器を結ぶ直線と並行して、距離 D をへだてた下方に、水平に受雪板を置き、この上に雪を積もらせる。そうすると、積雪の深さ d が増加して、送波器と受波器の間の空間が積雪で占められてゆきにつれて、送波器から放射される超音波が、積雪層に吸収されて弱まる度合いが強くなり、ついには発振を維持できなくなる。そして、増幅器のゲインを適当に調節することにより、 $D=d$ のとき発振停止がもたらされるようにすることができた。それで、この装置では、発振出力の一部でリレーを作動させておき、これによって発振停止を検出した。

3. 検 定

この装置では、超音波ビームの直径が、雪片に比べて大きいので、落下中の雪片によって動作を乱されることはないが、積雪の深さの測定精度を実験的に確かめておく必要がある。そこで図 2 上段に示すような実験装置により、 -1°C の低温実験室内で検定を行なった。送波器と受波器を、1 m 離して水平に対向させ、縦横 320 mm、厚さ 25 mm のフォームスチレン板を、戸外に水平に置き、20 mm 以上 200 mm までのいろいろな積雪の深さに、雪を積もらせたも

の下からせり上げ、発振を停止する積雪面の高さと、そこから下げて、発振を開始する積雪面の高さを、送波器と受波器の中心線を基準として測定した。増幅器のゲインは、積雪の深さ 20 mm のときに、送波器と受波器の中心線と雪面を一致させ、発振を維持する臨界値に調整した。

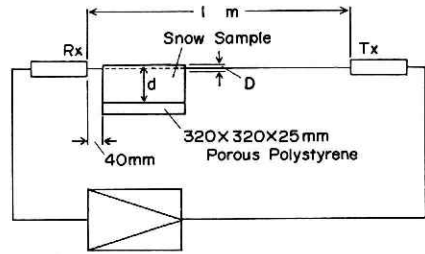


図 2 下段は検定の結果で、縦軸は送波器と受波器の中心線を基準にした雪面の上下距離、横軸は積雪の深さである。このときの積雪は、大雪片やアラレなど、雪面に大きな凹凸を生ずるものを含んでいなかった。図中の黒丸は発振が停止した雪面の位置、白丸は発振が開始した雪面の位置を、それぞれ示し、白丸から下の領域では発振し、黒丸から上の領域では発振しない。

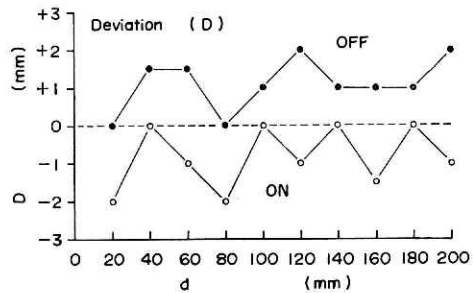


図 2 積雪検知装置の検定

この結果によると、雪面検出精度は $\pm 2\text{mm}$ である。

4. 風の影響

超音波による積雪検知装置は、使用周波数以外の周波数の周囲雑音に動作を乱されることがなく、ばい煙やちりのような感部を汚染する物質、周囲の明るさの変化などによっても影響されない。しかし、超音波は、空気の乱流によって散乱され、伝搬を妨害されるので、風によって装置の発振が停止することがある。この風による誤動作は、装置の発振強度を、雪面の検出が可能な範囲で強くすることにより、ある程度防ぐことができ、後述する 1970 年 3 月に実施した、この装置による野外観測では、10分間平均風速が 5 m/s 以上になるまで、風による誤動作を生じないように装置を調整して、雪面の検出を行なうことができた。そこで、このときと同じ発振強度で、1970年 5 月、野外試験を実施し、風と誤動作についての資料を得た。

図 3 は野外試験の装置で、送波器と受波器を間隔 1.4 m で水平に対向させ、発振が停止したとき、リレーによって記録計に直流 3V をつなぎ、これによって発振停止を記録した。送波器と受波器の地上の高さは、3月のときと同じく、1.9 m とした、取り付け状況を写真 1 に示す。前方が送波器、後方が受波器で、東から西に並んでいる。

図 4 に、5月10日、11日、12日に得られた、風と誤動作についての観測結果を示す。図の横軸は時間で、3段のグラフは、いずれも最上部に風向を 1 時間ごとに記入し、その下に装置の動作パルス、最下部に縦軸を風速として、黒丸で、10分間平均風速を 1 時間おきに、それぞれ

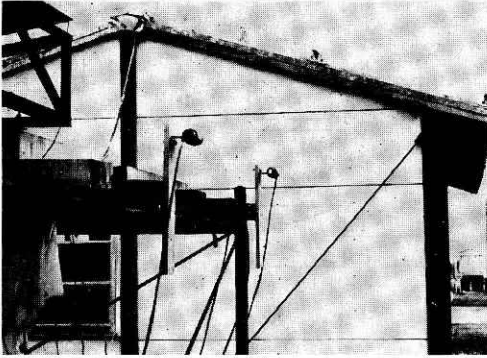


写真 1 誤動作試験

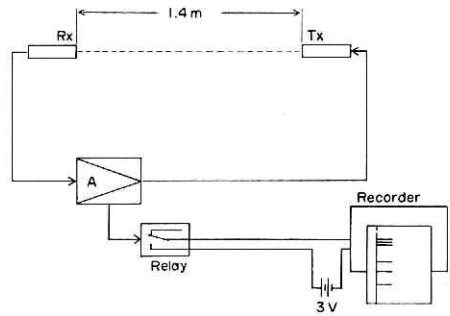


図 3 誤動作試験

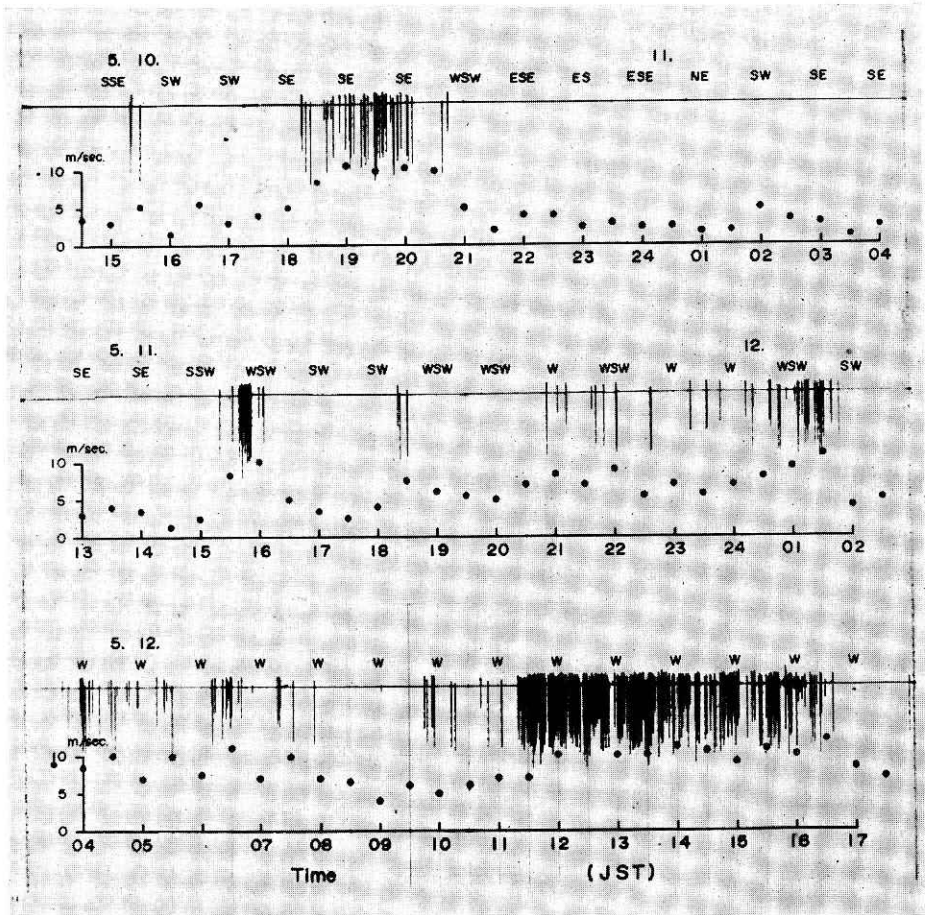


図 4 風と誤動作の関係

記入した。装置の動作パルスは、リレーの開閉速度が大きく、かつ一定でないために、波高値が最大 0.5 V 程度で、かなり不ぞろいであるが、一つのパルスが 1 回の誤動作を示している。

図 4 から、風速が 5 m/s 以上になると誤動作を始め、10 m/s 近くなると誤動作が非常に多くなることがわかる。また、同じ風速でも、風向の相違によって誤動作の回数が異なっているが、これは周囲の地物の影響によるものであろう。この方式の積雪検知装置では、風速 5 m/s 以下が実用条件の一つになるとしてよいであろう。

5. くり返し計測装置の構造と動作

室内実験で得た雪面検出精度が、野外使用にも適用されるかどうかを確かめ、また、超音波による積雪検知方法を応用した一種の雪量計をまとめるための、基礎資料を得る目的で、深さ 20 mm の新積雪を、くり返し自動計測する装置を試作した。図 5 に、試作装置の構造と、各部の名称を示す。

図中の Rd は受雪板で、昼間の日射のあるときでも雪が積もりやすいことから、厚さ 25 mm、幅 400 mm、長さ 300 mm のフォームスチレン板を使用した。この受雪板と、積雪検知装置の感部 Sh のみを外部に露出し、あとの部分は木製ケースにおさめた。受雪板は、この図では左右に、水平移動するテーブル ST に固定してあり、テーブルのストロークは 300 mm である。この図は、装置の待機状態のもので、受雪板上の積雪の深さが 20 mm に達するまでこの状態が継続する。積雪の深さが 20 mm に達すると、超音波の発振が止まり、積雪検知装置のリレーの接点 S_0 が閉じてモータ M が回る。モータの回転は、歯車箱 G と滑車機構により、テーブル ST を、図では右向きに引き、受雪板をケースのなかに引き込む。テーブルが引き込まれるにつれて、マイクロスイッチ S_1 が右側に倒れる。 S_1 が右側に倒れると、以後は S_0 の作動とは関係なく受雪板が引き込まれることになり同時に、パルスが一つ、記録計に記録される。受雪板の引き込みとともに、ケースの入口に固定してあるブレード B が、受雪板上の積雪を

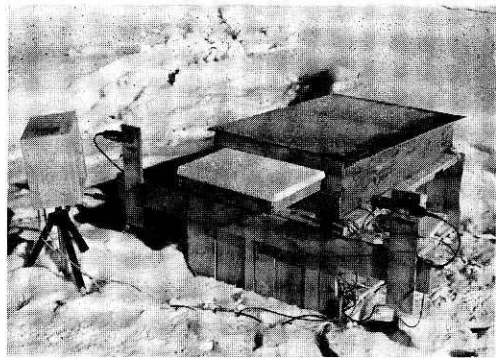
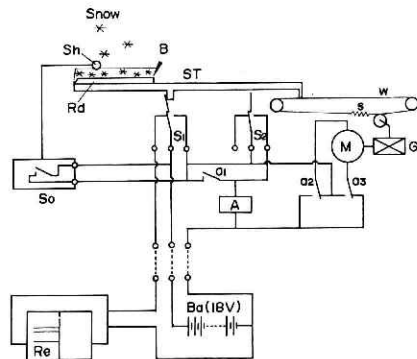


写真 2 くり返し計測装置全景



ST: sliding table; Rd: receiving deck (25 × 300 × 400-mm porous polystyrene plate); Sh: sonarm head; B: blade; S_1 : microswitch (stopper); S_2 : microswitch (reverse); S_0 : sonarm contact; A: reverse relay; a_1 : self-holding contact (in A); a_2 , a_3 : reverse contact (in A); Ba: dry cell (18V); Re: recorder; M: motor; G: gear box; s: spring; w: wire

図 5 くり返し計測装置の構造

けずり落とす。受雪板の前端がブレードの位置に来て、積雪のすべてがけずり落とされたとき、マイクロスイッチ S_2 が右に倒される。そうすると、リレー A が作動して、接点 a_1 がリレー A を自己保持させ、同時に接点 a_2, a_3 が逆転して、モータの回転を逆向きにするので、受雪板はくり出される。受雪板がもとの位置にもどると、 S_1 がもともどり、リレーが開く。このとき、 S_0 もすでに開いているので、装置は待機状態にもどり、1サイクルの計測動作が完了する。この1サイクルは約1分を要するのみなので、記録計のパルス数に2cmをかけると、一種の積雪の深さが得られる。これを2cm積算積雪深と名付けることにする。

写真2に雪面にすえつけた、くり返し計測装置の全景を示す。中央に受雪板があり、これをはさんで送波器と受波器が対向している。これは試運転のときの状況で、左側の自動カメラで動作状況を監視している。この装置は、雪が大量に降りつづく場合など、各部に付着する雪を、ときどき払い落とす必要があり、このままでは実用装置とはいえないが、試験装置としては、完全に作動した。送波器と受波器には、それぞれ先端にヒータをまきつけて着雪を防止した。

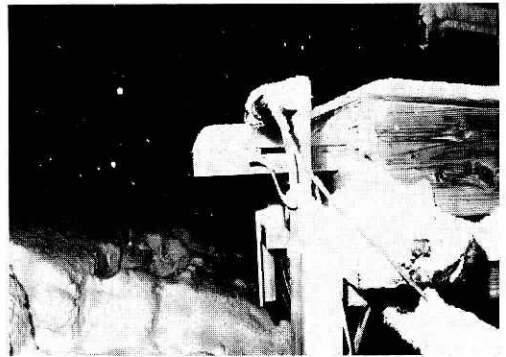


写真3 作動中のくり返し計測装置

6. 野外観測とその結果

写真3に、野外観測の状況を示す。これは1970年3月8日の23時のもので、雪が受雪板の上に積もって検知装置が作動し、受雪板が引き込まれ始めたときの様子である。この写真は、受雪板上の積雪の深さを測定できるように、真横からとった。風が5m/s 近くになったときに、このような写真を念のためとって、受雪板上の積雪の深さを確かめた。この写真は、写真1と逆の方向からとったものである。

この写真には出ていないが、もっと左側の、装置から2mほど離れた雪面に、幅60cm、長さ90cmのフォームスチレン板を水平に置いて、その上の積雪の深さを、くり返し測定装置が作動するたびに計測し、2cm積算積雪深との比較を行なった。

図6に、野外観測の結果を示す。1970年3月8日から9日にかけて、あまり風の強くない条

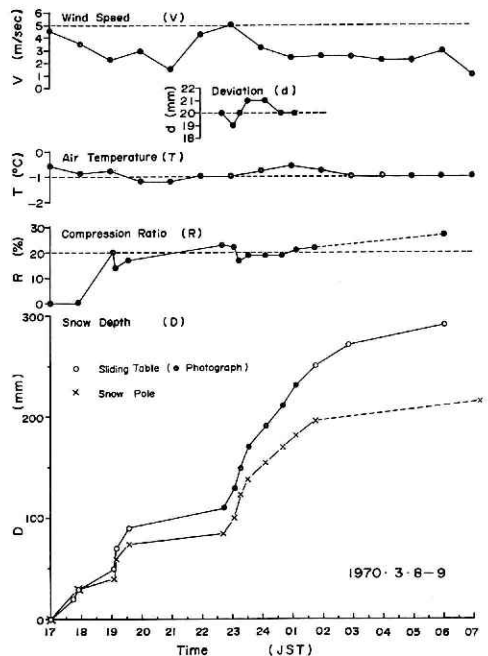


図6 野外観測の結果

件で大量の降雪があり、くり返し測定装置による観測資料が得られた。図6の横軸は時刻、縦軸は最上段が風速で、この風速は10分間平均風速を1時間ごとに記入した。観測期間中、風速が5 m/s以上になることはなかった。2段目は、受雪板上の積雪の深さの、装置作動時における値の、20 mmからのズレで、これは、風速が5 m/s近くになったときの写真計測によるものである。この結果は、くり返し計測装置の雪面検出精度が、 ± 1 mmであることを示している。3段目は気温で、このときの気温は $-1^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ で、室内実験の条件と一致している。4段目は縮小率 R で、これは2 cm積算積雪深の $(1-R)\%$ が、一般の積雪の深さに相当することを意味する。この値は、積雪の深さが5 cm以上で $20\% \pm 5\%$ の範囲にはいっており、いいかえれば、2 cm積算積雪深は一般の積雪の深さの約80%になっていることになる。最下段は積雪の深さの変化で、白丸と黒丸は2 cm積算積雪深、とくに黒丸は、風速が5 m/s近くになったときの値で、写真計測を伴うものである。×印は装置付近の積雪の深さを示す。積雪の深さの変化には、8日19時ごろと23時ごろに、降雪強度のピークが認められるが、これが、縮小率の変化では、行過ぎ量になっている。

7. 考 察

この研究では、積雪層による超音波の減衰を利用して、積雪表面の検出を行なう方法により、深さ20 mm以上の新積雪層を検知する装置を試作した。超音波による積雪検知装置は、次のような数多くの利点を持っている。すなわち、使用周波数の音波以外の周囲雑音によって、動作を妨害されることがなく、外気に露出する部分の汚染や、周囲の光量変化、降雨等に関係なく作動する。また、太い超音波ビームを使って、落下中の雪片による誤動作をさげることができた。ただし、超音波ビームが太いので、その強度が、たとえば50%に減じたときに装置が反応するといったような、アナログ的な動作になったが、実用的には、 ± 1 mmの雪面検出精度が簡単に得られた。

超音波による積雪検知で考慮すべきことは、風による誤動作である。試作装置は、風速5 m/s(地上の高さ15 mでの測定値)以上で誤動作が多くなり、実用にならなかった。しかし、この誤動作の発生度数は、風向にも関係があり、周囲の地物が、風向によって一種の風よけとして作用していると考えられるので、適当な風よけを併用することにより、さらに大きな風速まで、作用可能な限界を広げうるであろう。

超音波による雪面検出を利用して、一定深度の新積雪層を、くり返し計測し、その回数を積算して新積雪の深さを計測する、くり返し計測装置の試作機は、計画どおり安定に作動し、同時測定によって、積算積雪深と、一般の新積雪の深さの関係を求めうる可能性を示した。またくり返し計測装置の動作パルスの時間的分布から、降雪強度の相対値が読みとれるので、装置の受雪板上の積雪の深さが、もっと小さな値で装置が作動するようにして、分解能を高めることにより、光学的な降雪強度計(福井ほか, 1967)のように、瞬間値を得ることは望めないに

しても、構造が格段に簡単で作動が确实というメリットをもった降雪強度計が得られるであろう。

野外観測資料が、現状では1例よりないので、くわしいことは不明であるが、2cm 積算積雪深が、積雪層の沈降による変形をほとんど含まないと考えられるので、一般の新積雪の深さとの関係を求める目的で行なった同時測定の結果には、降雪の継続中の、新積雪層の沈降に関する情報が含まれていると考えられる。今後、野外用として、さらに適当な装置を準備し、観測資料を蓄積する必要がある。

8. 結 論

この研究により、下記の事柄が明らかとなった。

- (1) 超音波による積雪検知方法は、風による誤動作を防止できれば、実用上きわめて有効である。
- (2) 試作装置は、風速 5 m/s 以下の使用条件で、 ± 1 mm の精度で新積雪を検出できた。
- (3) 超音波を用いて、2cm ごとに新積雪層をくり返し計測する装置により、降雪強度、および降雪継続中の新積雪層の沈降に関する情報が得られる可能性が判明した。

謝 辞

この研究で使用した、超音波による積雪検知装置の着想は、海上電機株式会社の上子良治氏らとのブレンストーミングによって得られた。この着想は1969年中に、超音波による一般的な物体検出装置として、海上電機株式会社によって商品化された。この研究では、これをそのまま試用した。以上をしるして謝意を表明する。

参 考 文 献

- 1) 福井 篤・清水増治郎・木村恭三・五十嵐高志・監物勝英 (1967): 赤外線を利用した降雪強度計について。雪害実験研究所報告, 昭和42年, 1—16.
- 2) 石田 完・小野寺重男 (1954): 積雪の吸音率について。低温科学, Ser. A, 12, 17—24.
- 3) 木村忠志 (1971): 低周波音波による積雪検知。国立防災科学技術センター研究報告, 第5号, 41—49.
- 4) 大浦浩文 (1953): 積雪表面に於ける音の反射。低温科学, Ser. A, 9, 179.

(1970年8月10日原稿受理)