研 究

ラジオスノーゲージによる積雪水量の連続測定

板 垣 和 彦* 肥 沼 正 一**

Continuous Measurement of Water Equivalent of Snow by Radio-Snowgauge

KAZUHIKO ITAGAKI and SHOICHI KOENUMA

(The Faculty of Science of the Hokkaido University)

Abstract

A new type of the radio-active snowgauge with telemetering system was produced. This snowgauge measures the water equivalent of snow by gamma radiation and transmit it with temperature and humidity by Morse code.

This snowgauge has been set in the Lake Shikaribetsu basin and obtained the continuous record of the depth of snow, temperature and humidity. This record shows that the mode of increase and decrease of snow divided five parts schematically, two in increase and two in decrease. The total water equivalent of snow stored in the basin calculated from the radio snowgauge has fairly good agreement with snow survey of several snow course.

§ 1 緒 論

戦後大貯水池式発電所が各地に作られるようになると共にその貯水池の流域における総積雪水量の調査が盛んに行われるようになった。このために使用する器械としてはスノーサンプラーを主としその外測深棒或は積雪標が補助的に用いられている。しかし此等の方法はその測定に当って実際現地に行って行われなければならないと云うこと、及び連続的測定に不適当なことが欠点として挙げられる。放射線を用いたラジオスノーゲージは遠隔測定を作ることが容易であり、又測定に当って積雪を乱す事がないので連続測定には最も適している方法である。このラジオスノーゲージは内外において色々な研究者¹⁾²⁾³⁾⁴⁾によって研究されているが我々は新しいアイデアのもとに、一つの装置を完成し、この装置によって1956年の秋より1957年の春にかけて積雪水量の連続測定を行うことが出来た。以下これについて報告する。

§ 2 装 置

装置についての詳細は 6) に述べる通りであるが、その概略をここに記すと第1図に構成を示してあるように空中に鈎したコバルト60より放射されるガンマー線は積雪により吸収を受けて地表面直下に置いてあるG-

Fig. 1 Block diagram of radio snowgauge system

Fig. 2 Ratemeter and logarithmic amplifier circuit.

*, ** 北海道大学理学部物理学教室

Mカウンターに達する。この間積雪によりガンマー線は吸収されてG-Mカウンターのカウント数は減少する。このG-Mカウンターのカウント数の減少はレートメーターにより電流の変化に直される。レートメーターは第2図のような配線で最初に1S5増巾1, 2本の1S5と抵抗及び容量よりなるレートメーターに続いて1T4による対数特性回路を用い、出力電流がカウント数の減少とともに対数的に増加するようにしてある。この回路があるのでガンマー線が雪によって吸収されるときに積雪水量の増加とともに指数函数的に減衰するのを補償して積雪水量の増加と出力電流が直線の関係となるようになった。対数特性回路がない時は、モールス符号と積雪水量の関係は第3図に鎖線で示すように積雪水量で50cm程度迄だった測定範囲がこの回路を附属したために図中に実線で示すように70cm迄測定出来るようになった。

Fig. 3 Relation between water equivalent of snow and Morse code of new and old type circuits.

このようにして毎分計数率は電流の変化に直され、更に柱上に置いたモールス符号変換機によってモールス符号に変換される。モールス符号変換機は針先に接点を有する電流計と、モールス符号を表面に刻んだ回転ドラムよりなり、電流計の針先の振れに対応するモールス符号がドラムの回転によって生成される。そして無線電信により受信局に送信される。これらの全体の様子は写真に見られる通りで柱上の小屋の中にモールス符号変換機と温度計、湿度計が送信機と共に入っていて、積雪水量と

同時に此等の気象要素が送信される。モールス符号を使うことにしたために直接計数パルスを送る方式をとる時に問題となる雑音による誤差やフェーディングによる誤差を除くことが出来たばかりでなく、気象要素も同時に送ることが容易となった。このように積雪水量以外のデータも連続的に測定し記録することが出来るので単にこの器械はダムコントロールの目的に用いるばかりではなく地球物理学的な立場からも色々興味のある現象をつかむことが出来る。

§ 3 測定結果

この装置を用いて北海道十勝国然別湖の流域において1956年11月から1957年4月迄積雪水量及び温度湿度の連続観測を行った。この間数回受信機の故障のため記録は中断されている。この然別沼の流域は第4図のような形をしており面積48km²の小さな流域である。その大体の

Fig. 4 Location of radio snowgauge and receiving station.

地形は海拔800mの湖面を最低とし1300乃至1400mの山に囲まれた摺鉢型の流域である。この流域について我々は1954年よりスノーサーベヤを行って来た。この結果より見るとこの流域の降雪の大体の特性は湖の北部を東西に横断する線により二分され、北部流域の方が南部流域よりも、やや積雪水量が多くなっている。ラジオスノーゲージはこの北部流域の平均面積高度の地点に設置しており、受信局は南部流域の南端近い然別湖畔に設置してある。ラジオスノーゲージと受信局との直線距離は、約10km 高度差は200mである。このラジオスノーゲージによって得られたデータを第5図中に●印で示す。受

Fig 5. Results of radio snowgauge compared with accumulated precipitation and snow depth of receiving station.

信局においては積雪水量は測定していないのであるが比較のために積雪及び積雪が出来てからの降水量の積算値を○及び×印で示す。このように地形的にも離れており又直接比較の困難なデータではあるが一応これを比較して並べて見ると色々似ている点が目に付く。勿論送信局と受信局とは地形的な条件も非常に異なっているののでいちいちの降水について直接比較することには、大きな意義はないのであるが全体を平均して眺めると色々な特徴を見出すことが出来る。以下その主な特徴について調べよう。

1) 今年の最大積雪水量はラジオスノーゲージにおいては3月23日に現われている。放射線測定において統計的変動はあるのであるがこの変動の影響はこのラジオスノーゲージにおいては大体±1cm程度の積雪水量の変動として現われる。このことを考慮に入れると今年の最大積雪水量は、3月22日から3月26日にかけて現われ、以後急速に減少している。すなわち今年の融雪は3月26日から始まっている。これは又受信局における積雪深の減少の開始した日附ともほぼ一致している。このことからこの流域の1000m以下の地点においては地形高度等の影響は多少あっても今年の融雪は3月26日頃から始まったことがわかる。例年然別沼積雪量の調査はこの時期の前後に行っていたのであるが、この3月下旬と云う時期が積雪調査を行うのに最も適した時期であったことがラジオ

スノーゲージによる測定からも裏づけることが出来た。

2) 積雪水量の一般的な増加傾向は2月中旬で大体止まり以後3月下旬における急激な増減を除けばほぼ一定である。積雪の初期より2月上旬迄における積算降水量の1日あたりの平均増加率は2月上旬迄は0.19cm/dayであったのが、それ以後は0.12cm/dayと減っている。一方この時期以後には日射が強くなって来、又地表面でもある程度の融雪が行われるので2月中旬から後になると降水量と融雪とがほぼバランスするようになると思われる。一方ラジオスノーゲージ地点における2月上旬迄の積雪水量の平均増加率は0.3cm/dayであり受信局より50%余計降っている。もっとも受信局のデータは毎日の降水量の測定値を積算したものであり実際にボーリングした結果は図中に⊗印で記したようにこれよりずっと大きくなっている。この理由は受信局における降水量の測定場所とボーリングを行なった所との風当りの差及び測定法の違い等が原因であろうと思われる。又ラジオスノーゲージ地点においてもボーリングによる検定を3回行いスノーゲージによる測定値のキャリブレーションとした。●印がそれで2月6日と3月4日の検定は非常によく合っているが3月26日の測定では6cmばかりの差が出た。このような差が出た理由としては積雪水量が大きくなったために場所による差が大きくなったことの外に融雪開始直前であったので雪面において融けた水がボー

リング地点の雪に含まれてたまっていたのではないかと思われる。一方ラジオスノーゲージの所では地下に器械を設置したために穴を掘ったので、この融雪水は下の方に流れ去っていたことが考えられる。又ボーリングによる測定は場所によってかなりの差が生じるもので、この3月26日の検定の場合には50cm程度の間隔で行なった2本のボーリングについて38cm及び42cmと云う4cmも差のある結果が出ている。このようにボーリングによる測定は、しばしば大きな開きがあるものでこれを平均化して、その地点における積雪水量として採用するのであるが、ラジオスノーゲージと云う新しい器械が出来た今日ボーリングで得られた測定値の意義について再検討すべき時期であろう。

3) 前に述べたように積雪水量の増加は大体2月上旬で止まるのであるがこの増加期間もよく見ると更に12月上旬迄とそれ以後とに二分出来て、12月上旬迄の増加は0.66cmであるのに対し、その以後2月上旬迄は0.14cm/dayと増加率は非常に少くなっている。この傾向は受信局における積算降水量についても同様で、同じ期間の間に前期では0.28cm/dayに対し後期では0.15cmとなっている。このことから今年のラジオスノーゲージと受信局の積雪の差は12月上旬迄に出来てしまっていて、それ以後はほぼ平行して増加していることがわかる。このような現象の起る原因については今後の研究の課題として残されている。

4) 受信地点における積雪深の変動を○印で示してある。積雪深の測定点と積雪水量の測定点との距離は10kmも離れており又風当り等の条件も非常に違っているので大体の傾向しか合わないものだろうと予想されたのであるが比較して見ると意外な程よく似た傾向を示すことがある。最も著しい例は11月中旬の測定で、その他2月9日から10日にかけての急激な増加、3月26日から始まっ

た融雪開始の時期及び積雪減少の傾向は非常に良く似た例である。このように良く似た傾向を示す理由として次のようなことが考えられる。積雪の初期あるいは融雪期には雪面より地表迄ほぼ一様な密度となっているため厚さの差と積雪水量の差とが大体比例した関係になったと云うことである。

5) 融雪の場合の1日の積雪水量の減少は時に5乃至6cmに及ぶことがある。この値は太陽常数 1.9cal/day/cm^2 と考えると雪を完全黒体として1日4時間日射によるエネルギーを完全に吸収するわけであり、雪面における反射を考慮に入れるとこの値は大き過ぎるように思われる。3月26日前後の現象は現地において観測していたのであるが当時は晴天が続いており、この日の前後に特にこのような急速な減少が起る原因は思い当たらない。このような現象はこの他に11月の下旬4月中下旬にも見られる。この原因はよくわからないが雪の層の間に含まれていた水が何らかの原因で急速に流れ去ってしまったということも考えられる。実際に融雪が流出したのであれば、湖水への流入量に何等かの変動があつてよい筈であるが調べて見ると特に関係のあるような変動は認められない。従つて今述べたような考え方は充分可能なことである。いづれにしても融雪機巧の研究に非常に興味のある問題であろう。

6) 前に述べたようにこの器械においては放射線の統計的変動により起る積雪水量の測定値の変動は $\pm 1\text{cm}$ 程度である。ところで2月上旬以前の測定値を見ると3cm以上に及ぶ変動が見られる。この原因として一番大きいと考えられるのは、風による雪の移動である。このような現象は雪の軽い時期に起りやすいのであるから2月以前の測定値の変動が大きく2月中旬以降のように雪がしまつて来た場合に起らないことから考えてこの推定は正しいものと思われる。

Table
The total water equivalent of snow stored in the Lake Shikaribetsu basin

Date	Water equivalent of snow		Total water equivalent of snow				
	Radio snowgauge (cm)	Receiving station (cm)	Nothern basin (10^6m^3)	Southern basin (10^6m^3)	Total (10^6m^3)	Snow survey (10^6m^3)	Difference (%)
Dec. 11 '56	16.0				7.7		
Jan. 15 '57	22.5				10.8		
Feb. 9	24.5	24.0	8.1	3.7	11.8	12.1	2.5
Feb. 11	28.5				13.7		
Mar. 6	30.0				14.5		
Mar. 29	28.5	44.0	9.5	6.7	16.2	18.9	14.0
Apr. 11	24.0				11.6		

7) この測定値から積雪が出来てより一ヶ月毎の流域内の全積雪水量を計算した結果を表に示す。1月と3月は丁度その日が欠測であるので最も近い測定日をもって代用した。この期間中2回孫野氏等によって全積雪水量を多

Photo. Whole view of radio snowgauge.

数地点のボーリングにより測定したのでこの日のラジオスノーゲージによる測定値も合せて示して置く。現在のラジオスノーゲージの設置してある地点は第4図のように流域を南北に分けた北部流域の平均面積高度地点であるのでこの値で代表してよいのは北部流域だけで南部流域の価として採用するには測定地点が北により過ぎていて不適当である。しかし南部流域の測定地として採用出来る唯一の値である積算降水量は第5図中に示してあるようにボーリングによる数値と著しく異なっている。従って南部流域においてボーリングを行った日以外はラジオスノーゲージの価に流域の全面積を掛けて全積雪水量とした。このようにして計算した結果を流域の各地点について行ったボーリングにより求めた全積雪水量と比較すると2月9日には差が2.5%と云う驚くべき良い一致を示した。一方3月29日はラジオスノーゲージの方が14%少い値を示している。この理由は第5図からわかるように3月29日の測定を行った日には、もはや高度の低い地点では融雪が始まっていてラジオスノーゲージ地点の積雪水量もすでに減少を始めていたためと思われる。

8) 第1図中に温度の測定をラジオスノーゲージと受信

局を対照して記入してある。受信局は日陰にあり、測定時刻は午前9時一回であり一方ラジオスノーゲージは日当りの良いところにあたるので午前9時には日が当り、かなり高温となっている。そのためラジオスノーゲージと受信局の気温の相関はむしろラジオスノーゲージの午後9時の測定と受信局の午前9時の測定が比較的良好な相関を示す。それにしても気温の相関は3月下旬より4月上旬にかけての時期以外には余り良くない。

§ 4 結 論

以上述べたようにこのラジオスノーゲージの測定から色々の興味ある問題や疑問の点が見出された。これらの問題は今後の研究課題として残されている。又我々のラジオスノーゲージは一冬を通じてほぼ満足に動作をした。しかしこの器械が現在完成しているとは思っていない。その主な理由は二つある。その一はこの器械が電力を余計必要とすることである。一シーズンの測定に対して約60kgの乾電池を消耗する。この電池の消耗を少なくするために我々は回路の主要な部分をトランジスターで置きかえることを考えている。もう一つの欠点は測定範囲の少いことである。積雪水量にして70cm迄しか測定出来ない。もっともこれだけの測定範囲があれば然別沼の流域においてはほぼ充分なのであるが、しかし日本全国の到る所において使うことを考慮すれば少なくとも1m以上の積雪水量が測定出来なければならない。このような深い積雪水量を測定するには先づ放射線源の強さを相当強くしてガンマー線によるカウント数がバックグラウンドカウントより多くなるようにしなければならない。その他ガンマー線についての感度の高いシンチレーションカウンターを使うこと及びレイトメーター方式を離れた新しい方式を考案することである。これらの点について今我々は基本的な実験を進めつつある。

御指導を仰いだ北海道大学中谷吉郎教授、東晃助教授及び科学研究所山崎文男博士と山崎研究室の方々に厚く感謝する。なお研究費は北海道電力株式会社の御厚意によった。

文 献

- 1) R. W. Gerdel, et. al, 1950: Trans. Amer. Geophys. Union. **3**. p. p. 449-453.
- 2) J. A. Doremus, 1951: Electronics, Feb., p.p. 88-91.
- 3) 大沼匡之, 1955: 雪氷の研究 No. 2 p. p. 139-147.
- 4) 東晃, 板垣和彦, 1956: 応用物理 **25** p. p. 93-98.
- 5) 大塚巖, 定方希夫, 1956: 電気学会雑誌 **77**, No. 821 p. p. 192-199.
- 6) 板垣和彦, 肥沼正一; 電力気象彙報 (印刷中)