

ラジオアイソトープによる 積雪量の測定

大 沼 匡 之

ラジオアイソトープの平和的利用の一例として、積雪の測定に応用する実験を行った。

A 積雪測定への応用の意義

ラジオアイソトープによる積雪観測といえは主として、アメリカで計画され積雪水量の遠隔観測が考えられている。この方法はたしかに遠隔観測に有利である。それは積雪に直接測器を触れなくとも測定が出来、従って積雪層を乱さず、同一地点で何回でもくりかえし測定が可能となり、連続観測もできる。積雪の場合は特に測器の影響を受けやすいので、この点積雪調査研究上の新鋭測定法といえる。これまで積雪量の測定はスノーサンプラーを用い、積雪層からサンプルを採取測定して来た。現在もこのサンプリングが唯一の測定方法である。この方法の欠点は

1. サンプルを採ることから来る誤差。
2. ある地点からサンプルを一つしか採れないので、連続観測にあたって観測位置を固定できない。
3. 遠隔操作が不可能である。

となる。これに対し前記のラジオアイソトープ法(ラジオアクターズスノーゲージともいう)はサンプル採取上の誤差がなく、観測位置を固定し連続観測が可能であり、遠隔自動操作が容易である。

B 原理及方法

ラジオアイソトープは常に放射線を周囲に放っている。放射線は物質を透過するが、放射線の種類によって透過能を異にする。α線、β線、γ線の順で大きくなり、α、βに比較して、γ線の透過能はオーダーを異にする程に強い。γ線が物質を透過する際、その物質の原子核やそのまわりの電子に衝突し、エネルギーを失って消滅するか散乱される。

エネルギーの強いγ線は深い積雪の層を透過するが、透過後のγ線の量は Lambert の法則により次の形で減衰する。

$$I = I_0 e^{-\mu m \cdot \rho \cdot HS} \quad (1)$$

I 及 I_0 はそれぞれ積雪があるときとないときの放射線量を表わす。 HS は積雪の深さ、 ρ は積雪の全層密度、 μm は積雪の質量吸収係数。 $\rho \cdot HS$ は単位面積当りの積雪の質量である。水 $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ gr}$ とすれば、積雪の量を単位面積当りの深さで表わした積雪量又は積雪水量(HW)となる。従って水の線吸収係数を μx とすれば

(1)式は

$$I = I_0 e^{-\mu x \cdot HW} \quad (2)$$

となる。ラジオアイソトープからある一定距離に放射線量測定器を置き、その間に積雪のある時の放射線量 I を測定し、あらかじめ I_0 と μx を測定して置けば、(2)式からその時の積雪量は

$$HW = (\log I/I_0) / \mu x$$

として知られる。放射線量測定の際は、宇宙線やその他の自然放射線も、測定値の読みに入り込むので、バックグラウンドとして読みから差し引いて算出する。



ラジオアイソトープは人工的に種々のものが作られているが、積雪の測定に最も適した放射線を出すものが望ましい。すなわち

1. 深い積雪層を透過させるためエネルギーの強いγ線を放射するもの。
2. 積雪の測定や連続観測は長期にわたるので、減衰率の小さいもの、すなわち半減期の長いもの。
3. 吸収係数を一定にするために放射線がモノクロマチックであること。
4. 取りあつかいの便利なもの、例えば金属の形のものであれば種々の形に加工ができる。外側を他のものでシールドすれば、汚染による危険がない。
5. 価格の安いもの。

などで現在のところ、 Co^{60} であろう。 Zn^{65} も強いγ線を出す、半減期が Co^{60} の $1/8$ で長期使用に不向きである。 Cs^{137} は Co^{60} の6倍の半減期を有し、価格も $1/2$ 程度であるが、γ線のエネルギーが小さいので、透過能が落ち、深雪にはむかない。

Co^{60} は2本のモノクロマチックなγ線を放射し、エネルギーは 1.1 及 1.3 MeV という強いものである。その外に最大エネルギーが 0.3 MeV の弱いβ線を出し、

半減期は 5.3 年である。金属として種々の形に加工が出来、比較的安価なアイソトープである。

ここに使用した Co^{60} はアメリカ製のもので、長さ 23 mm 及 19 mm 外径 1.6 mmφ の管と針である。強さは 20 mc 及 1 mc のものである。

本来ならば積雪期前に鉛製の遮蔽容器などにアイソトープを入れて、使用方向だけに放射線が出るようにして Co^{60} を地面に埋設するのであるが、このたびは簡便法を採った。 Co^{60} をパイプの先端につめて、積雪下の地表面に接して、積雪断面より水平にさし込み、測定器をその眞上に支持して測定した。

放射線量の測定器にはローリッツェン検電器、ガイガーカウンター、シンチレーションカウンターなどが用いられる。ローリッツェン検電器は電源を要せず取りあつかいが簡単であるが、この測定には読みとりが不便である。シンチレーションカウンターは γ 線の測定に適しているが入手出来ず、このたびはガイガーカウンターを用いた。

C. 実験一

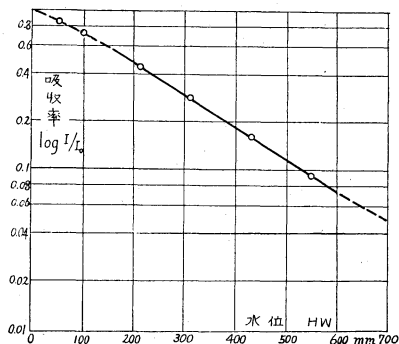
水の吸収係数 μx の測定

前項で書いたようにあらかじめ μx を測って置かなければならない。今まで多くの人によって測定されているが、条件が異なるので多少の差がある。ここでは積雪を実際に測る場合と同じ条件で μx を求めた。水槽の底にアイソトープを固定し、水位を順次上昇させて水位に対

表一 水の吸収係数測定
水槽 90×60 cm
放射線源 Co^{60}/mc
1954. Mar. 4 新庄

測定番号	水深	I	I/I ₀
	cm	cpm	
1	0.0	730	1
2	5.0	632	0.86 ₆
3	10.0	547	0.74 ₉
4	21.0	329	0.45 ₁
5	31.0	213	0.29 ₂
6	43.0	120	0.16 ₄
7	55.0	67	0.09 ₂

註 cpm は count per minutes を表わす



図一 水の吸収係数測定

する放射線量をカウントして表一の結果をえた。これを片対数グラフに描いたものが図一である。

これから μx を求めれば

$$\mu x = 0.045_6 \text{ cm}^{-1}$$

となる。放射線源の周囲を遮蔽しないで使用しているから、広いビームとなって、広角度で水中に拡って行く。従ってスキヤッターリングの影響があつて、上の値を採ったものと考えられる。狭いビームを用いればこれより小さな値を示す。しかし実際に積雪を測定する時も、線源を同じ無遮蔽で使用するので、以下の実験にこのままの値を用いることにする。

D. 実験二

積雪量測定のサンプラー法との比較

積雪の下に放射線源を挿し込み、その眞上にガイガー管を保持して、3 分間の測定を行った。その際のカウント I と、積雪を取り除いた後のカウント I₀ を測定し、積雪量を算出した。積雪を取り除く前にガイガー管の眞下にスノーサンプラーを挿し、線源の Co^{60} の所までの積雪を取って、積雪量を採って置く。このような操作を数回繰り返してえた結果が表二であるが両方法に特別の関係が認められず、±8%以内の差で一致している。

表二 ラジオアイソトープ法とサンプラー法による積雪量比較

測定番号	ラジオアイソトープによる積雪量		スノーサンプラーによる積雪量		差 HW (R)-(S)	百分差 (R)-(S) (S) × 100
	積雪量	雪量	積雪量	雪量		
	cm	cm	cm	cm		%
1	22.6	22.6	22.6	22.6	0	0
2	25.0	25.2	25.2	25.2	-0.2	-0.8
3	25.6	27.8	27.8	27.8	-2.2	-7.9
4	28.0	27.2	27.2	27.2	+0.8	+3.1
5	28.8	26.6	26.6	26.6	+2.2	+8.3
6	28.7	30.2	30.2	30.2	-1.5	-5.0
7	27.8	29.6	29.6	29.6	-1.8	-6.1

いずれの測定値に信頼がおけるか測定 1 について吟味してみよう。この測定の際のバックグランドは表三に示すように 24.9 cpm で、標準偏差 2.0 である。この標準偏差を考慮して、I₀ 及 I の標準偏差を計算すると 1.0 以下で、相対誤差は 0.003% 程度である。バックグランドの偏差を無視してもよいことがわかる。次にバ

表三 測定 1

	カウント	時間	cpm	標準偏差	相対誤差
バックグランド		min			
I ₀	299	12	24.9	2.0	0.050
I	7619	3	2539.7	29.3	0.012
I	3262	3	1062.3	19.0	0.018

ックグランドを無視すれば I/I₀ に 2% の誤差が入る。それでネットカウントを使用する。測定 1 から 7 までに要した時間は約 1 時間であるので、その間自然計数に特異の変化がないものとして、12 分間一回の測定から 25

/sec 又は 25 cpm として I と I_0 から差引いた I_0 及 I の測定を3分継続し、ネットカウントとして表-3をえた。 I_0 及 I の標準偏差はそれぞれ 29.3, 19.0 となり、相対誤差は 1.2, 1.3 % である。すなわち真の I_0 の値は 2540 ± 29 の範囲内に 0.683 の確率で存在することを示している。 I についても同様に考えられる。この確率のもとに求める真の積雪量は 22.6 ± 0.9 cm となり、(表-4) 偏差 0.9 cm は 22.6 に対し 4.0 % に相当している。表-4 の第2, 3 のらんは確率がそれぞれ 0.954, 0.997 の場合の真の値の存在範囲を求め

表-4 測定1の積雪量

確率	0.683	0.954	0.997
I_0	2540 ± 29	± 58	± 87
I	1062 ± 19	± 38	± 57
I/I_0	0.418 ± 0.012	± 0.023	± 0.038
積雪量	22.6 ± 0.9 cm	± 1.2	± 1.8
%	100.0 ± 4.0	± 5.3	± 8.0

たものである。すなわち 0.954 の確率では 22.6 ± 1.2 cm, 0.997 の確率では 22.6 ± 1.8 cm が求める値の範囲である。別にいえば測定1の際の積雪量を 22.6 cm と算出した場合の誤差は 4.6 % の危険率で ± 5.3 % であり、0.3 % の危険率では ± 8.0 % である。

一方サンプラーによる積雪量の秤量は感量 5 gr の天秤を使用し、積雪重量が 1130 gr であるから、秤量の相対誤差は 0.5 % である。しかしサンプラーによる測定は同位置で繰り返し不可能であるから、測定値が真の値とどの程度の差を生じているか、その判定のしようがない。

両方法による測定値が No. 1 では 22.6 cm となっているが各々このような性格をもつ値である。

次に自然積雪を表面から切り除いて、積雪層の深さと全層密度を変えて、比較測定を行って見たが、アイソトープ法とサンプラー法との相対差は ± 10 % 内に大部分がおさまり、このたびの実験では特別な関係はえられなかった。放射線源の強弱についての測定値の変化も認められなかった。線源の強さを増し、カウントをあげれば

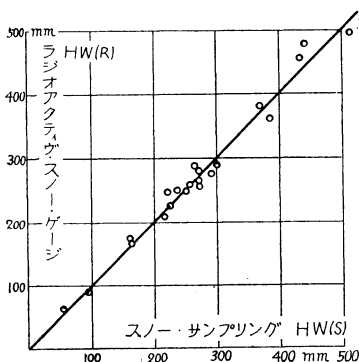


図-2

測定誤差を小さくし、相対誤差を小さくしうるのがアイソトープ法の強味である。測定時間を長くしてカウントをあげても同結果となる。

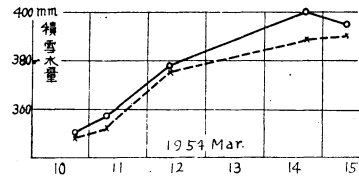
このたび実測した両方法による積雪量の比較を図-2に示して置く。

E. 実験-3

積雪量の連続観測

ラジオアイソトープによる積雪量の測定で、その特徴を最も発揮できるのは連続観測である。平坦な地面にアイソトープを埋めて、その上の定位置に測定器を固定して置き、毎日観測を行えば積雪層を乱すことなく、連日の積雪量の変化を測れる。この測定値は新たな降水、雪面への凝結、また雪面からの昇華も含めた地上積雪増減の正味の値を示すものである。

十和田湖の近くの藁で3月10~15日まで行った連続観測の結果を示すと図-3となる。この期間は前日まで吹雪き、期間中は多少の風雪があり、毎日少しずつ降雪



○—○ ラジオアイソトープによる測定値
×---× 降水量計による積雪量推定値

図-3 積雪量の日変化比較測定

があった。毎回の実験時を区切り降雪量を測定し、最後にスノーサンプラーによって総積雪量を測定した。これから降雪量を差し引いて各回の積雪量の推定値と比較した。推定値を正しいものとして相対差を見れば最大が 2.8 % で他は 1 % 前後である。この差は降水だけに注目し他の原因についての考慮を拂う観測資料がないので完全な比較にはならないが、大きな開きでないことだけは確かである。

次に従来行われているサンプラーによる毎日観測とこの方法による積雪量の日変化の実験例を3月31日から4月3日にかけて行った尾瀬沼畔の実験について説明する。この期間の気象状態は前例と正反対に、積雪量を増す降水は全くなく、融雪その他による減少変化だけであった。

実験地は約 15 m 平方の林内開地の平坦積雪地である。A, B 2カ所に 20 mc の C_{60} を地表に埋め、その上の積雪量変化を測定し、比較のため A, B の 10 m 以内の任意の3カ所からサンプラーによりサンプルを採ってその平均値をその日の積雪量とした。積雪深及密度変化もあわせて示したのが図-4である。

A, B の距離は 2 m であるが図に示すよう A は B より約 30 mm 積雪量が少ない。この原因の一つは A 地点の積雪深が B に対して 5 cm 少ないことである。こ

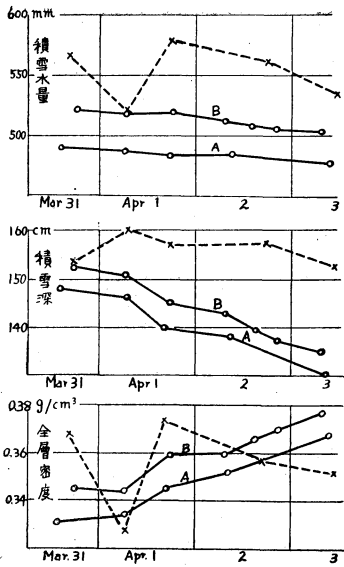


図-4 積雪量の日変化比較測定

○—○ ラジオアイトープによる測定
 ×---× スノーサンプラーによる測定

イザ・ゲージの信頼度を証明するものにならう。

Cは前記のように毎日サンプリングの位置を変えるので図に見るような変動を示している。図示は平均値であるが、個々の値の相対差の中は±10%である。A、Bの測定値の統計的相対差の中は±1%前後である。

積雪深の比較図を見ても降雪がないのに深さが増した値を示しているのはサンプリングの位置変化による覚乱である。A、Bは同位置であるので規則正しい減少曲線を示している。

次に平均密度の比較図を見ればA、Bは前記の原因で絶対値の差はあるが同じ傾向曲線で上昇している。Cは変動が大きく、むしろ減少の傾向を示している。降雪がなければ積雪深は減少し、密度は増加する。たとえ融雪を伴っても一般に密度は増加するものである。

以上のようにサンプリングによる連続観測は、測定値の変動が激しく信頼性の少ないのしかえられない。この理由の大部分は測定位置の変化から来るものと考えべきである。

あとがき

ラジオアイトープによる積雪量測定の可能性についてトライアルな実験を行った。従来スノーサンプラーで積雪量を測定して来たが、これと比較して大差のない測定が可能であるばかりでなく、サンプラー法では期待しえないような測定がなされることを知った。新たな測定方法の可能性は積雪の諸種の研究や調査に資する所が多いものと考えられる。今後この測定方法の簡易化、応用面の拡張、遠隔観測の実用上の諸問題が開拓されるべき分野であらう。

(農林省農業総合研究所積雪研究室)

のように地点がわずかにずれても積雪は不齊な形態を採る一つの例として挙げられよう。5cmの積雪深の差はどのような理由で生じたのか原因は不明であるが、恐らく地表の凹凸によるものであらう。地表近くの積雪密度はBで0.42g/cm³程度であったので、積雪量にすれば約20mmで、前記30mmに比してなお10mmの差を示している。この原因は実験後の積雪切開によって明らかになった。地表近くに約20×20の斜めの空洞があり厚さが約1cmで、付近の積雪の組織は荒く0.35に減じていたことが第二の原因であることがわかった。Bに対してAの絶対量がこのような原因で少なくなっているが、日を追うての両地点の減少傾向は図に見られるようにほとんど同じである。このことはラジオアクテ

昭和30年度気象学会総会・講演會のお知らせ

日時	5月19日(木)、20日(金)、21日(土)	
場所	大阪市北区中ノ島	大阪大学医学部講堂(第一会場) 同 理学部講堂(第二会場)
日程	5月19日	研究発表(9時30分より第二、第二会場)
	20日	研究発表(9時より第一、第二会場) 総会 学会賞贈呈・受賞記念講演・理事長就任 演説(13時より第一会場) 懇親會(16時より)
	21日	台風・数値予報 シンポジウム(9時より第一会場)
締切	総会議題の提出・4月2日	研究発表の申込・3月31日 (200字以内のアブストラクトをそえて)
	宿舍申込み(4月20日)	
宛先	(封書には 気象学会関係 と赤字表記のこと) 総会議題提出・講演申込み——東京都杉並区馬橋 気象研究所 神山恵三宛 懇親會、宿泊申込み——大阪市生野区勝山通 大阪管区气象台 喜多村一男宛	