

II-8

人工ガンマ線源を用いた積雪水量の

推定に関する基礎的研究

北見工業大学大学院 中野 誠二郎

北見工業大学工学部 正員 佐渡 公明

北見工業大学工学部 正員 海老江 邦雄

1 はじめに

積雪はときとして人間の社会生活上、弊害を引き起こすことがある。しかし、その反面、利雪の観点から見るならば、特殊な形で貯留された水資源とみることができる。そのため、水資源として積雪を有効に利用するためには、積雪水量(SWE)を推定することが必要条件となってくる。従来行われているスノーサンプラーを用いた積雪調査ではなく、リモートセンシングの方面から放射線の性質を利用し積雪の状態を乱すことなく、この積雪水量を算出する実験について述べる。

2 積雪水量遠隔測定法(放射線積雪水量計)

この測定原理は、 β 線、 γ 線などの放射線が物質に吸収されるとき、その質量吸収係数の値が物質の相の形、すなわち密度によらないことを利用し、積雪を透過してくる放射線の強度の減少を測って積雪水量を求めようとするものである。放射線強度の物質による減衰は次式で与えられる。

$$N = N_0 \cdot \exp(-\mu d) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで N_0 は吸収物質がないとき($d=0$)の線源の強度、 N は厚さ d の物質を透過した放射線強度で、 μ はこの物質の吸収係数である。ところで、この吸収係数を物質の密度 ρ で割った $\mu/\rho = k$ は質量吸収係数で、物質の相に無関係な定数であり、放射線のエネルギーによって決まる。従って、(1)式を書き直すと

$$N = N_0 \cdot \exp(-\mu/\rho \cdot \rho d) = N_0 \cdot \exp(-k \cdot \rho d) \quad \dots\dots\dots (2)$$

となり透過放射線強度は、物質の密度に水深をかけたもの、すなわち単位面積当りの質量について指数関数的に減少する。ここで積雪について考えると、積雪 ρd は水の密度に厚さをかけたもの等しいから積雪水量 H_w である。従って、積雪による γ 線の吸収は、

$$N = N_0 \cdot \exp(-k \cdot H_w) \quad \dots\dots\dots (3)$$

となり、積雪水量のみによって決まる。これが積雪水量の測定に放射線の吸収を利用する理由である。

(3)式から H_w を求めると、

$$H_w = (\ln N_0 - \ln N) / k \quad \dots\dots\dots (4)$$

となり、 N_0 と k が既知であれば、 N を測定することによって積雪水量がわかるというものである。実際には H_w と $\ln N$ との間に検定直線を定める。つまり、いくつかの水深に対する放射線強度 N を測定し、回帰直線を求めて k と N_0 を決定する。

3 実験方法

3.1 実験装置 図1に実験に用いた γ 線測定装置を示す。

- I γ 線源；放射線を利用して積雪水量を測定するさい、波長の短い電磁波である γ 線が一般的に透過力が強く有効であり、本研究では人工 γ 線源Cs-137を使用した。
- II 吸収体試料の容器；吸収体(水、雪)を6.9cm ϕ ×52.0cmのメスシリンダーに入れ、底面に線源を置く。

- III 補助台； γ 線源と検出器の中心にズレが生じた場合、四方に γ 線を放出する線源に対する立体角の影響により、放射線強度の測定に誤差を起こすことになる。線源と検出器との距離を決め、それらの中心を一致させる補助台である。
- IV コリメーター；検出器にはいる γ 線強度の変化を測定するさい γ 線が吸収体（積雪、水）によって吸収されるだけでなく散乱もするため、検出器の前に散乱 γ 線を十分遮ることで鉛に小さな穴をあけたコリメーターを置き、検出器に入る γ 線が細いビームをなすようにする必要がある。
- V ガンマ線測定器〔シンチレーションカウンタ（結晶シンチレータ NaI(Tl)）〕；この測定装置は荷電粒子のエネルギーを光りに変換するシンチレータaと、光のパルスを電気的パルスに変換する光電子増倍管b、光電子増倍管に一定電圧を供給する高压電源d、増幅器c、d、電気的パルス波高を分析する装置eから成る。

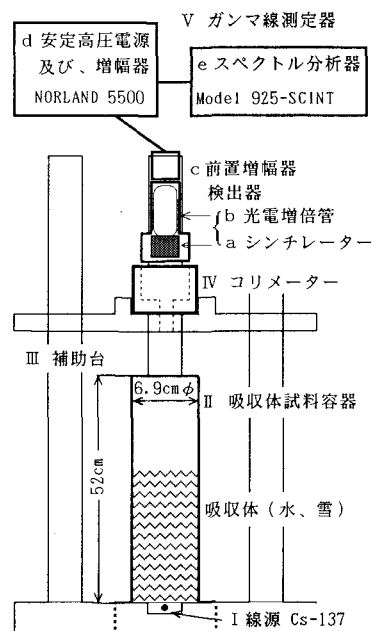


図1 ガンマ線測定装置

3.2 バックグラウンド、コリメーター、FWHM

γ 線ビーム（Cs-137）が水（水深10cm）を通過したときのシンチレーションカウンタによる波形分布を図2に示す。 γ 線が物質を通過するさい、引き起こす相互作用の諸過程のうち主要なのが光電効果とコンプトン効果である。図2の波形分布を大ざっぱに見ればエネルギーのそろった光電効果を示すピークPと様々なエネルギーのコンプトン反跳電子のエネルギー分布Sを示しているのがわかる。本研究では入射光子の特性が最もよく示されているピークPに着目した。この入射光子はエネルギーが一定であるため、理論的には垂直に立ち上がるべきだが入射光子からシンチレーション光子への変換、光電子増倍管内各電極における電子増幅作用などの過程での統計的なばらつきが発生など、測定システムの性質により、ある傾斜を持つことになる。このある幅を持ったピークに対して、そのピークの最高値(H)の半分の高さ(H/2)におけるエネルギーチャンネルの幅（半値幅、Full Width at Half Maximum 以下 FWHM）を光電効果による入射光子とした。また、Bの波形は放射線源がないとき自然に入射する放射線を

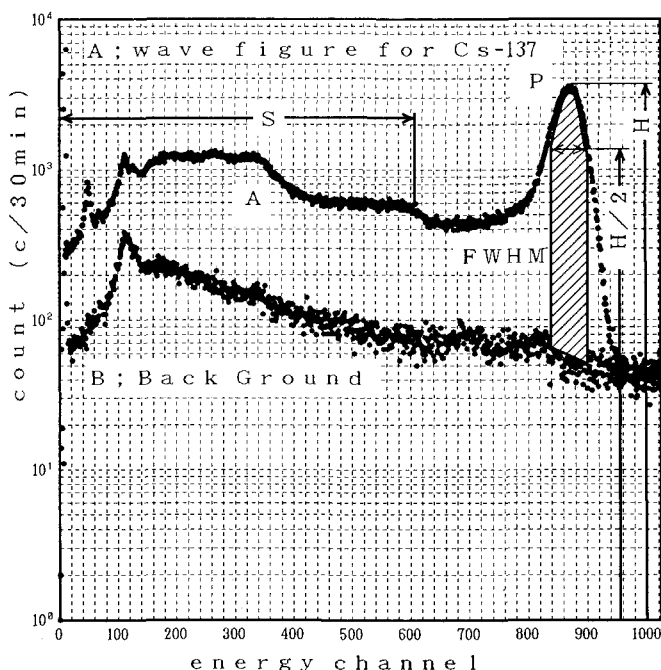


図2 Cs-137とバックグラウンドの波形分布（水深10cm）

示す。これはバックグラウンド（放射線源とは関係のない宇宙線や気中放射能）である。

図3はコリメートしたときFとそうでないときGの波形分布を示したもののだがコリメートすることによって散乱部分 $h\nu'$ はコンプトン端 E_{max} までの所で4/5程度カットされている。また、光電効果によるピークの所ではシンチレーターの直径よりもコリメーターの穴が小さいので光電効果も多少カットされているが光電効果の所で影響するコンプトン散乱 $h\nu''$ も E_{max} から $h\nu - E_{max}$ の範囲で全部ではないがカットされたことになる。

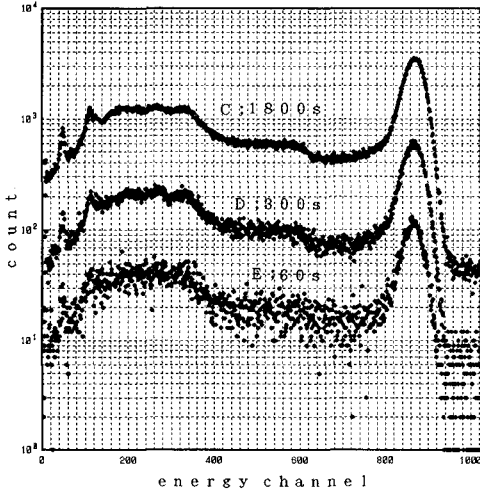


図3 コリメーターの有無による
波形分布への影響（水深10cm）

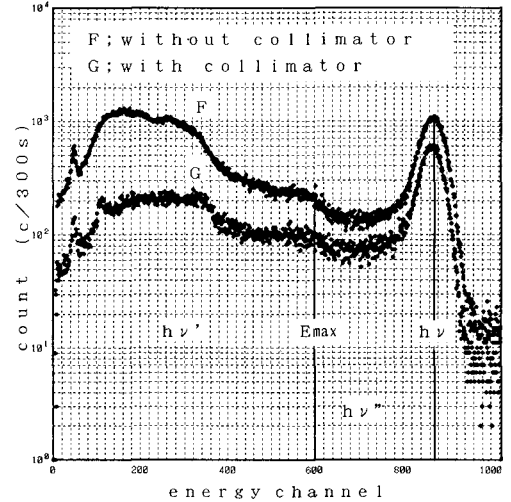


図4 測定時間による波形分布
への影響（水深10cm）

3.3 実験データの採取方法

線源Cs-137による全体の波形分布から線源とは関係のないバックグラウンドを除く必要があり、差し引いた波形が真の線源Cs-137の波形分布となり、3.2によるFWHMにわたる総カウント数をγ線強度とした。測定時間に対しては図4を示すように測定時間が十分でない場合には波形分布が乱れているのがわかる。正確かつ敏速に実験を行うために、測定時間を5分×6回行い最高値と最低値を除いた4回の平均値からγ線強度を求めた。

4 実験結果

4.1 水の質量吸収係数の決定

水深を0cmから35cmまで5cm毎に変えて、3.3のデータ採取方法によりγ線強度Nを測定した。この8個のデータから回帰直線を求めたものを図5に示す。このときの回帰式（相関係数 $r=0.9996$ ）の傾きが水の質量吸収係数kとなり、y切片が吸収体がないとき線源強度 N_0 となり、 $k=0.0724$ 、 $\ln N_0=5.249$ の値となった。従って、(4)式は次式となる。

$$H_w = (5.249 - \ln N) / 0.0724 \quad \dots\dots (4')$$

検証のために、このkと N_0 を用い上記7個の水深に対するNから水深を算出した。実測水深35cmに対する計算水深34.45cmのとき最大絶対誤差0.55cmとなった。

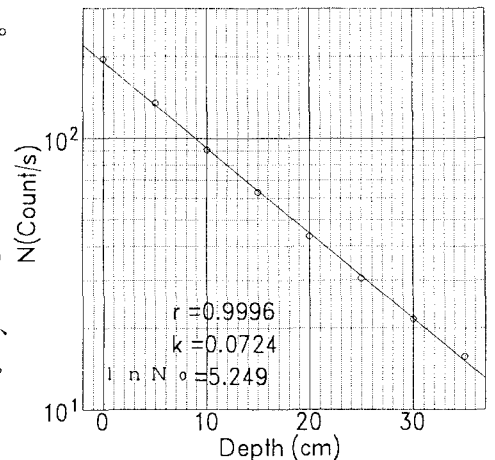


図5 水の質量吸収係数

4.2 積雪水量測定

雪は'93年2月中旬に採取し、低温室に保存していたものを使用した。また、容器に雪を入れるさいの充填方法は5mmふるいを通した雪を自然落下させた。

この充填方法により50cmまで10cm毎にNを測定し、(4')式から積雪水量 H_w を求めた結果を表1に示す。積雪水量の実測値は積雪試料の重量と断面積から求めた。

表1 積雪水量の測定結果

積雪深 (cm)	密度 (g/cm ³)	γ 線強度 N(cpm)	積雪水量 H_w		
			実測値(cm)	計算値(cm)	相対誤差(%)
10	0.58	123.054	5.8	6.03	3.97
20	0.51	90.054	10.2	10.34	1.37
30	0.51	54.396	15.2	17.30	13.82
40	0.49	39.575	19.7	21.70	10.15
50	0.49	30.264	24.5	25.40	3.67

5 考察

実験結果により水の質量吸収係数は $k=0.0724$ と得られたが相関係数が0.9996なので、この k は妥当だといえる。しかし、図5を見ると点にバラつきがある。このバラつきの要因として測定器による影響が考えられる。検出器のシンチレーターやスペクトル分析器は温度や温度変化に弱いため実験室の温度や温度変化によって測定器に多少の誤差が起こったのではないかと思われる。

積雪水量を求めた結果、表1の相対誤差を見ると10%以上のものが出てきた。これは明らかに大きく、最低でも5%以内におさえたい。また、相対誤差が全て正となった。この原因はメスシリンダーの直径として、全体の平均値ではなく、それより多少大きな上端の値を用いたためであると思われる。

今後の実験方針としては水の吸収体試料を用いた実験、及び屋外測定を行う予定である。

謝 辞

本研究は平成5年度 財団法人 北海道河川防災研究センターの研究助成を受けて遂行された。ここに記して感謝する。

<参考文献>

- 1) Elmer L. Offenbacher and Samuel C. Colbeck: Remote Sensing of Snow Covers Using the Gamma-Ray Technique, CRREL REPORT 91-9, 1991.
- 2) 小川 岩雄著: 放射線、コロナ社、1992.
- 3) 関口 晃著: 放射線計測概論、東京大学出版会、pp78-90、1989.
- 4) 東 晃著: 寒地基礎論、古今書院 pp97-102、1981.