

宇宙線 粒子を用いた土中水分や積雪質量変化の推定方法について

日本大学 学生会員 望月 直樹 前田 利和
正会員 坪松 学 今野 誠 境 孝祐

1.はじめに

土中の水分状態や積雪量を知ることは、自然災害や水資源に関する重要な情報となる。本研究ではそれらを知る 1 つの方法として宇宙線中の 粒子の利用を検討した。原理は、 粒子が物質に入ると物質中の電子との電磁相互作用によってエネルギーを失い物質に吸収されることを利用するものである。ここでは水に対する 粒子の吸収およびフィールド中における盛土中の雨量などによる水分変化や積雪質量について観測した結果について報告する。

2.実験概要

土中含水量や積雪質量を推定する前に水によって 粒子が減衰される割合を調べる必要がある。その割合を水の吸収係数 K とし、 K を求めるための実験を図-1 に示す。実験装置は直径 10cm、長さ 40 cm の比例計数管 3 本を並列に配置したものを 1 組とし計 4 個（それぞれ A,B,C,D とする）を用いた。実験は図-1 の様に A と B の上部に試料（水）を置き試料を通過した 粒子の数と水の単位面積当たりの質量（ g/cm^2 ）との関係を調べた。

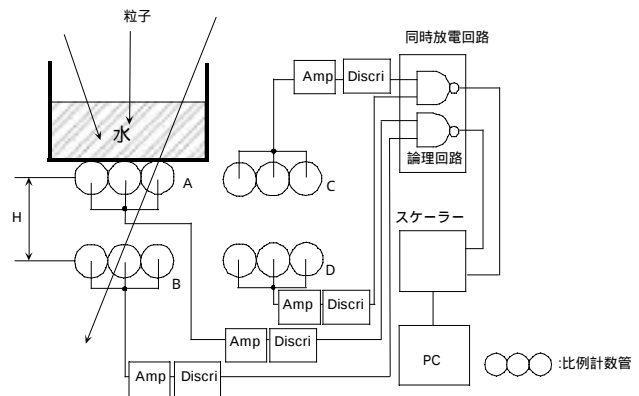


図-1 実験の概略図

粒子は、地上付近では様々な方向から入射して来るため 粒子が本当に試料を通過したかどうかを知る必要がある。そこで B の上に A を配置し、A と B が同時に信号を出すときのみ検出する同時放電法により試料を通過した 粒子のみを検出した。また C と D の組には、試料を置いていないが、これは AB の計数の変化が試料に入射する前の 粒子自身の気圧等による変化ではなく、確かに試料により吸収されて変化したものであることを示すために設置してある。本研究では、この AB と CD の計数の比をとることで試料に吸収される 粒子の割合を吸収曲線で示している。

3.吸収曲線

一般に 粒子の物質中での吸収については、単位面積当たりの物質の質量 X 、その物質における 粒子の吸収係数 K 、物質を通過する前の 粒子のカウント数 N_0 、および通過したカウント数 N との間に、次式の関係が仮定される。

$$\frac{N}{N_0} = \text{Exp}(-KX) \dots (1)$$

ここでは、水の単位面積当たりの質量を変化させ N と N_0 を観測した。その結果を図-2 に示す。

図中の黒点は実験値でこれに(1)式の関係式を用い最小二乗法で吸収係数を求めると $K=0.0013\text{cm}^2/\text{g}$ となる。

また検出可能な水の単位面積当たりの質量 dx と 粒子のカウント数 N との関係は(1)式より

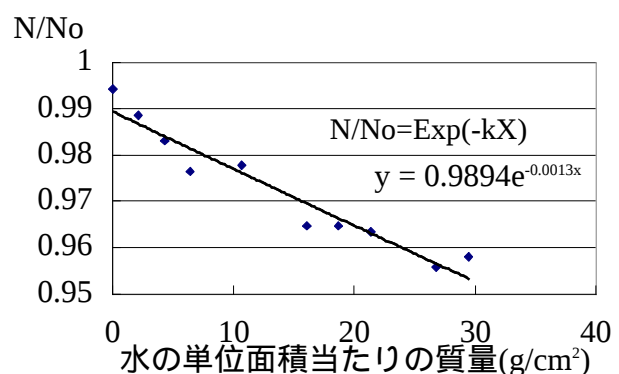


図-2 水の吸収曲線

キーワード 宇宙線 土中含水量 積雪量 計測

千葉県習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部土木工学科坪松研究室 TEL 047-473-2415

$$dx = \frac{2}{K\sqrt{N}} \dots(2)$$

となりその計算結果を図-3 に示す。今回の観測で得られた 粒子のカウント数は 1 時間あたり約 10000 カウントであったので図より読みとると 1 時間当たりの水分変化が 15 g/ cm² 程度あれば検出が可能である。

4.土中含水量の予備観測

観測は 1999 年 8 月から 12 月の期間に地表約 1.5m の高さに盛られてある盛土の下に計数管 AB を設置し、CD は盛土がない場所に置いた。すなわち、図-1 で水の代わりに盛土があるので計測原理は前述と同様である。そして土中含水量の変化による粒子の変動と降雨量との時系列変化を観測した。

図-4 は 1 例として 1999 年 10 月 26 日から 10 月 30 日までの期間の変動で、 粒子のカウント数の 1 時間値を 25 時間の移動平均で求めた N と No の計数の比と雨量との関係を示している。図より計数の比は雨が降り始めると減少し降り止んでから暫くすると増加する傾向が読みとれる。このことから、今回の観測方法によって 粒子の変動から土中水分量の推定をすることが可能ではないかという結果を得た。

5.積雪質量の観測

積雪質量の観測の原理は土中水分量の予備観測と同様で盛土の代わりに積雪を計測している。ここで(1)式より求めた積雪質量(a)と、雪を融かして得た積雪質量(b)との相関を図-5 に示す。図-5 より両者の相関関数が 0.982 となる事や、(a)の値が以下の(3)式より求めた誤差内で(b)と一致していることから積雪質量の推定が十分可能であることが分かった。ここで (3)式は (1)式から求めたもので次式で表される。

$$DX = \frac{1}{k} \left| \frac{DN}{N} \right| + \left| \frac{DNo}{No} \right| \dots(3)$$

6.まとめ

粒子を利用して土中水分量や積雪量の推定に必要な水の吸収係数を求めることができた。またその吸収係数とカウント数を使って、どれ程の水の質量変化が検出可能であるかが推定できた。雨水による土中水分量の変動を計測したところ図-4 に示すような結果が得られた。積雪質量の推定に関しては、図-5 に示すように良好な結果が得られた。以上の結果から 粒子を利用した土中水分量や積雪質量の推定は、十分可能であることが分かった。今回の観測方法を気圧などの気象データの影響を調べながら長期的に行うことにより水資源の情報を得ることが可能であると考える。

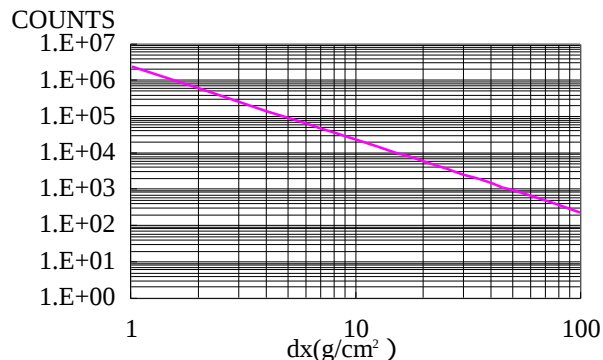


図-3 検出可能な水の単位面積当たりの質量 (g/ cm²)

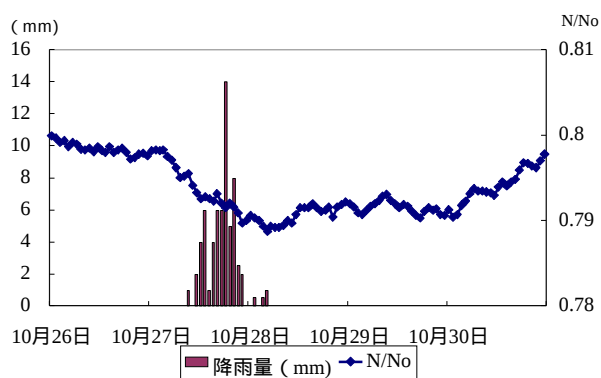


図-4 雨水と 粒子の変動の時系列変化

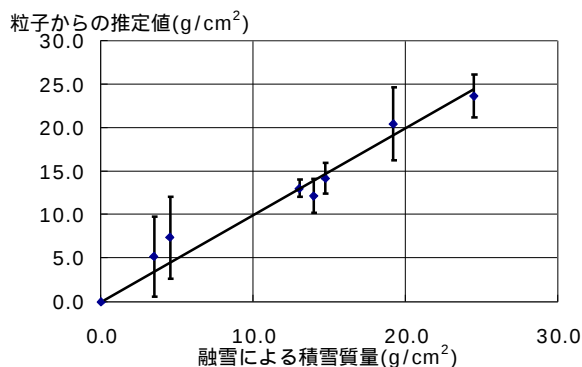


図-5 積雪質量の計算値と実測値の相関