

Ⅲ - A321

宇宙線を利用した地中の含水状態や積雪量の観測について

◎中村組 正会員 ○村田圭吾
 日本大学 正会員 坪松 学
 日本大学 境 孝祐

1. 序論

この論文は地球へ降り注ぐ宇宙線を利用して自然災害や水資源の情報となる地面表層の含水状態や積雪量などを知る方法について検討したものである。従来、人工放射線源を利用した方法があるが自然に存在する宇宙線の利用ができれば、法律による規制もなく、ほぼ同じ強度で降り注いでいることから改めて放射線源を求める必要もない。原理的には宇宙線の強い透過性と質量に比例した宇宙線粒子のエネルギーの減衰を利用するもので、調べようとする物質の上下に置かれた宇宙線検出装置を通過する数の違いから質量の大小やその変化量を予想する。しかし、対象とする質量に対し宇宙線のエネルギーが大きい場合、ほとんどの粒子が通過する。また、小さい場合全て吸収され識別はできない。そこで対象とする質量に対し適当なエネルギー分布を持つ宇宙線粒子が必要であり、今回数百kg/m²までの質量変化を対象とし宇宙線中の μ 粒子の利用を検討した。

2. 実験方法

実験に用いた検出器の構成をFig-1に示す。上下の計数管を通過した宇宙線をカウントする2組の検出装置の一方に試料を置き、他方は宇宙線の自然変動のチェックを行う。

3. 結果及び考察

3.1 水、砂の吸収係数

Fig-2は実験により水や砂の質量の違いによる宇宙線の減衰量の関係である。一般に、物質量 x 、その物質の宇宙線の吸収係数 μ 、比例計数管の間に試料のない場合のカウント数 N_0 、及び物質中を通過する宇宙線のカウント数 N とは次の関係がある。

$$N = N_0 \cdot \text{Exp}(-\mu \cdot x) \cdots (1)$$

この図から吸収係数 μ を求めると、水の場合 $\mu = 0.031 \pm 0.002 \text{ m}^2/\text{kg}$ 、砂の場合 $\mu = 0.029 \pm 0.003 \text{ m}^2/\text{kg}$ となる。誤差を考慮すると、水と砂はほとんど同じと考えられる。

3.2 有効なカウント数

この吸収係数 μ の値を用いて、含水量を検出するのに必要な最低のカウント数の統計誤差を考慮し計算することができる。単位面積当たりの質量が ΔX だけ変化すると(1)式より

$$N + \Delta N = N_0 \cdot \text{Exp}(-\mu \cdot (X + \Delta X)) \cdots (2)$$

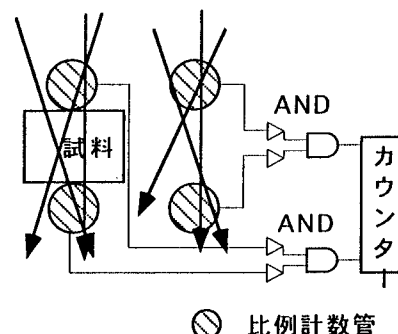


Fig-1 検出器の構成
 (上下の比例計数管の間隔約1m)

(2) 式を (1) 式で割ると、 $1 + \Delta N/N = \text{Exp}(-\mu \cdot \Delta X)$

$|\mu \cdot \Delta X|$ が1に対して十分小さいとき、

$$1 + \Delta N/N = 1 - \mu \cdot \Delta X \quad \therefore \Delta N/N = -\mu \cdot \Delta X$$

統計誤差を $\sqrt{N}$ とし、 ΔX の物質を検出するには安全率をみて統計誤差の3倍、すなわち $\Delta N = 3 \cdot \sqrt{N}$ 程度必要であるとすると、

$$3 \cdot \sqrt{N}/N = -\mu \cdot \Delta X \quad \therefore N = (3/\mu \cdot \Delta X)^2 \quad (3)$$

この式を用い、1例として600kg/m³の土に対する含水比とそれを精度よく識別するための妥当なカウント数を示したのがFig-3である。以上の結果から土中水分の変化や積雪密度状態を知ることは可能と思われる。しかし、実際の表層は場所ごとに状態が異なり、また上部の計数管による積雪表面への影響がある。これらの影響を小さくする方法として、例えば計数管を設置しやすい上部に複数配置することによりそれぞれの方向からの平均的な状態を知る事ができ、また積雪の影響に対して上下の計数管をずらして設置することが考えられる。しかし、垂直方向からの宇宙線 I_0 に対し θ 方向からの宇宙線の I_θ は $I_\theta = I_0 \cdot \cos^2 \theta$ で示され、仮に宇宙線エネルギースペクトルの方向の違いが少なくとしても、必要なカウント数を得るには多くの観測時間が必要となる。Fig-4にこの関係及び今回用いた計数管を上下の垂直間隔約1mとし、地面に平行にずらした(計数管の間隔が変化する)場合の双方の計数管を通過する μ 粒子の数 I_c をいずれも計数管が垂直に設置されている場合の比として示している。45°方向の粒子の数は半分に、また平行に計数管を離して45°とした場合距離も長くなることから1/3程度になるが、先に述べたように複数の計数管により、平均的な値と同時に管の数に比例して短い計測時間で済む事になる。

4. 結論

以上のことから μ 宇宙線の水や土での吸収係数を利用して土中水分量の変化や積雪状態を予測する事が十分可能であることがわかる。また、少ない誤差で識別するために必要な宇宙線の計測数の目安も得ることができた。変化の少ない地中深い場所に比べ表層では降雨による含水量や積雪量の相対的な変化は大きく識別は容易である。積雪状態に関しては水分量に置き換えて実験を行ったが今後実際の積雪域での観測を検討したい。

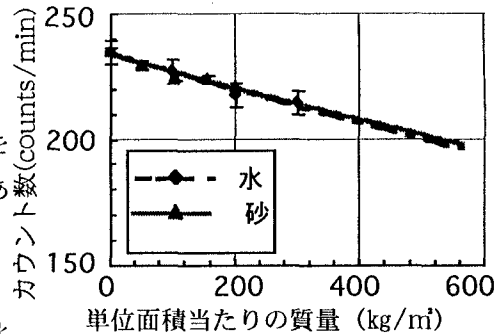


Fig-2 質量の違いによる

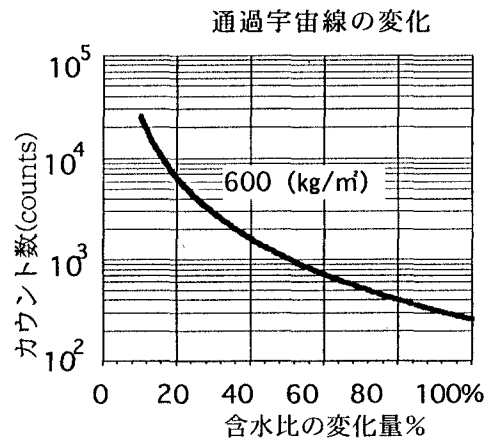


Fig-3 含水比の変化量と
識別するためのカウント数

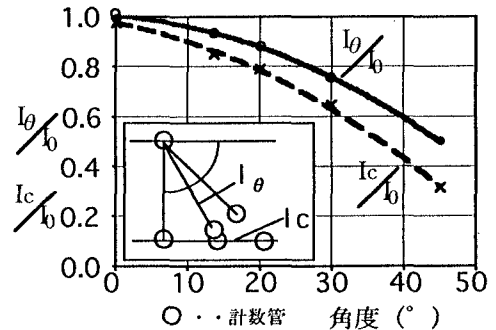


Fig-4 方向の違いによる

宇宙線の数の変化率