

(III-1) 宇宙線を用いた土中水分量の計測方法に関する研究

日本大学大学院 学生会員 前田 利和

日本大学 正会員 坪松 学

日本大学 正会員 今野 誠

日本大学 境 孝祐

1.はじめに

土中の含水状態や積雪量などを知ることによって、自然災害や水資源に関する情報を得ることが出来る。これらの情報を得る方法の一つとして、地表に降り注ぐ宇宙線を利用することについて検討を行った。従来、土木工学分野ではコバルト 60 やカリフォルニウム 252 などの人工放射線を用いて土中の含水量、土中の密度などの計測が行われている。ここで、人工放射線の代わりに自然に存在し、またほぼ同じ強度で降り注いでいる宇宙線を利用することが出来れば、改めて放射線源を求める必要も法律による取り扱いの規制もない。ここでは、水などの試料に対する宇宙線の吸収に関する基礎的なデータの収集を行った。

2.実験装置

これまでの実験では、宇宙線観測用の直径 10 cm、長さ 1m の同筒形比例計数管を使用してきたが、測定器の持ち運びの不便さと計数効率の悪さのため、本実験では、直径 10 cm、長さ 40 cm の計数管 3 本を並列に配列しほぼ正方形にしたものを 1 組とし計 4 コ（それぞれを A,B,C,D とする）を使用した。こうすることにより、装置は図-1 のように A と B（又は C と D）を上下に配置した場合同時放電回路の出力の計数は前のものに比べると鉛直方向からくる宇宙線をより多く測ることになりカウント数を増やすことが出来る。

3.実験方法

宇宙線は地上付近で様々な方向からやって来るので、試料を通過した宇宙線であることを知るため上の計数管（A）と下の計数管（B）が同時に放電しものだけをカウントできる論理回路を作り、その出力をスケーラーでカウントする。ここでは、計数管 A と B の組の間には試料を置き、A と B の計数管を同時に通過した宇宙線（即ち、試料の物質中で吸収されなかった宇宙線）の計数と、試料の質量や含水量との関係を調べた。試料には、材質の均質なレンガ(密度 1.99 g/cm^3)や水を置き、それらの量を変化させ宇宙線の減衰を測定した。また、C と D の間には試料は何も置いていないが、これは A と B での計数の変化が宇宙線自身が変化したのではなく確かに試料中で吸収されたものであることを示すために設置してある。

4.期待値の計算と測定結果

計数管の上下の間隔を大きくすると、立体角が小さくなり宇宙線の計数は減少する。そのため観測を実際に行う場合、上下の測定器の間隔をどの位にすべきかの目安が必要である。そこで上下の間隔によってどれほどの宇宙線のカウントが期待出来るかを知るために、上下の計数管の間隔 h を変化させたときの立体角 Ω と測定器の面積 S との積 $S\Omega$ を計算によって求める。この場合、 h が測定器の大きさに比べて十分大きい場合はほぼ鉛直方向からやってきた宇宙線を測定する。しかし、 h が小さい場合、斜めからやって来る宇宙線も測定することになる。宇宙線の強度は、斜めになると減少する（天頂角分布）。ここでは、その変化を $\cos^2 \theta$ (θ : 天頂角) として計算した。

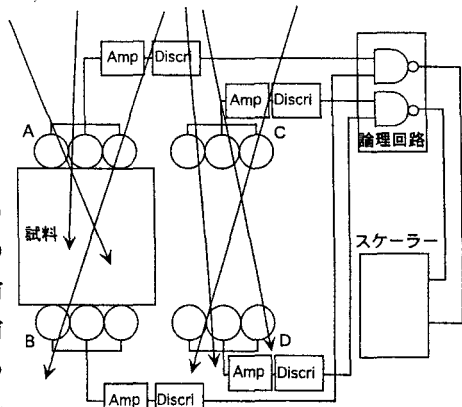


図-1 実験装置

キーワード 宇宙線 含水量 吸収 計測

連絡先 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 047-474-2451

上方の測定器の微小面積を ΔS_1 、下方のそれを ΔS_2 、計数管の間隔を h とすると立体角と有する面積の積 $\Delta(S\Omega)$ は、 $\Delta(S\Omega)=\Delta S_1 \cdot \Delta S_2/h^2$ で表される。測定器が有限の大きさを持つ場合は、積分して、

$$S\Omega = \iint \frac{h^2}{(h^2 + (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)^2} dS_1 dS_2$$

ここで、 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ はそれぞれ、微小面積 $\Delta S_1, \Delta S_2$ の位置座標である。

さらに、宇宙線の天頂角分布 $\cos^2 \theta$ を導入すると、

$$S\Omega = \iint \frac{h^2}{(h^2 + (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2)^2} \cos^2 \theta dS_1 dS_2$$

となる。これを具体的に積分し数値を代入して計算したのが図-2中の実線である。また実際に用いる計数管の間隔を変化させて、観測した宇宙線の計数を示したものが図-2中の実験値である。二つのグラフを比較すると、ほぼ同様の変化となり $S\Omega$ の計算と $\cos^2 \theta$ の仮定がほぼ正しいことを示す。これにより、 h を変化させたとき、どれほどのカウントが期待できるか知ることが出来る。

5. 吸収曲線

図-3は水の吸収曲線を示したもので、横軸に水の単位面積当たりの質量 (g/cm^2)、縦軸に宇宙線の通過量を示している。一般には単位面積あたりの質量 X 、その物質中の宇宙線の吸収係数 μ 、物質中を通過した宇宙線のカウント数 N 、および計数管の間に何も物質をおいていない場合のカウント数 N_0 との間には次のような関係がある。

$$N = N_0 \cdot e^{(-\mu \cdot X)}$$

しかし、この実験では物質質量 $0 \sim 50 \text{ g}/\text{cm}^2$ の間を一つの Exp 関数で表現することは困難で、もっと複雑なものであることが分かった。

図-4はレンガの質量の違いによる宇宙線の減衰量の変化を示したもので、横軸にレンガの物質質量 (g/cm^2)、縦軸に宇宙線の通過量を示している。こちらは、測定値が $10 \text{ g}/\text{cm}^2$ 以上であるためかほぼ一つの Exp で表現され、 $\mu = 0.0018$ であった。水においても、測定値が $10 \text{ g}/\text{cm}^2$ 以上のときはほぼ Exp で表現された。これは、宇宙線の中には二つの成分 (吸収されやすい成分と吸収されにくい成分) があると解釈することもできる。しかし、10,000 程度カウントではまだ統計誤差が大きくもっと長時間の計測をし、カウント数を上げる必要があると考える。

6. まとめ

宇宙線を用いて含水量の変化状態の推定に必要な水の吸収曲線を求めることが出来た。また、計数管の間隔を変えたときの、立体角の変化、宇宙線の天頂角分布によるカウント数の増減についても知ることが出来た。今後、さらに詳しい吸収曲線を求めて行くとともに、その曲線を利用し実際の土壌の含水量の推定をおこなっていく。

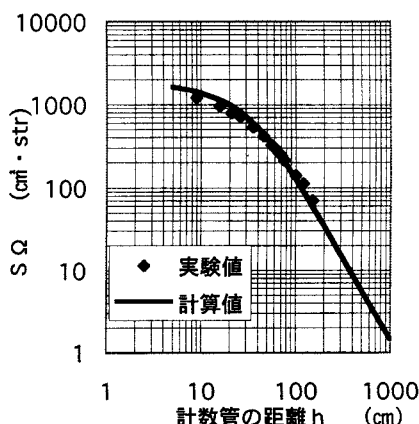


図-2 $S\Omega$ の計算値と実験による宇宙線の計数

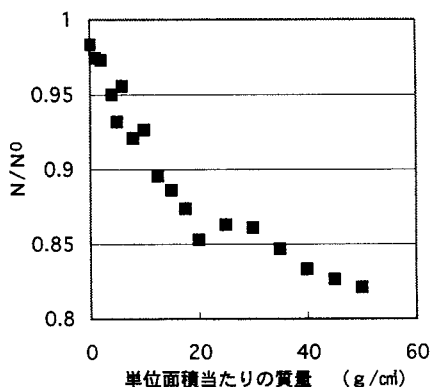


図-3 水の単位面積当たりの質量と宇宙線の計数

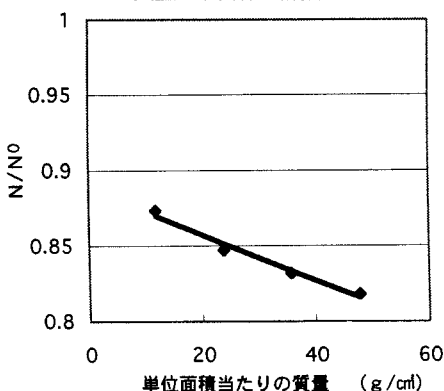


図-4 レンガの単位面積当たりの質量と宇宙線の計数