

宇宙線ミュオン粒子を利用した地盤探査システム

キーワード

宇宙線, ミュオン粒子, 密度, 空洞探査, シンチレータ, 原子核乾板



1. はじめに

地盤の空洞や埋設管を探査するには、これまで地中レーダが適用されてきた。地中レーダは、簡便で効率が良いことが特長である。しかし、探査深度が数メートル程度と浅いことが短所である。空洞の発生源は、地下のインフラ施設の老朽化により、土粒子が吸い出されることにより空洞が発生することが多い。すなわち空洞の発生位置は、インフラ施設の直上である。これが時間経過とともに上方に移動して、空洞天端の土被りが少なくなると陥没が生じる。

このような空洞は、できるだけ早期に発見し、対処する必要がある。インフラ施設内部の壁面から、覆工の背面近傍などの空洞を探知する技術は存在するが、空洞発生から時間が経過して、覆工背面から空洞が離れるとそれを探知する技術はほとんどない。

本稿では、宇宙に起源をもち、上空から常に降り注いでいるミュオン粒子を利用した地盤探査システムと得られた成果及び今後の展望について示す。

2. 宇宙線ミュオン粒子

宇宙線とは、宇宙空間に飛び交っている高エネルギーの素粒子であり、そのほとんどは陽子である。超新星の爆発など太陽系から離れたところに起源をもつ銀河宇宙線と、太陽に起源をもつ太陽宇宙線がある。宇宙線は、荷電粒子であるため地球に近づくと地球の磁場に曲げられて、地球からは離れていくものもあるが、高エネルギーの宇宙線は大気中に突入する。大気

中の原子や分子と衝突した宇宙線によって、様々な素粒子が発生するが、その多くは他の原子や分子と衝突して原子に取り込まれる、あるいは寿命が尽きて別の素粒子に変わる。

このうちミュオン粒子（英語ではmuon：ミュオン）は、大気中でもあまり数を減らすことなく、地表付近まで到達する。静止状態のミュオン粒子の寿命は、2マイクロ秒と非常に短いですが、光の速度に近い速度で移動するため、特殊相対性理論の効果（いわゆる“浦島太郎効果”）により、見掛け上の寿命は100倍以上に延びる。ミュオン粒子は荷電粒子であるが、原子との相互作用が少ないため物質中も適度に透過する。ミュオン粒子のエネルギーは、非常に高く、これを人工的に発生させるには巨大な加速器（直径数～数十キロメートル以上）が必要である。宇宙線起源のミュオン粒子は、空から常時降り注いでおり、その数もほぼ一定であることが知られている。表-1は素粒子の透過距離を示したものである。電子やX線（素粒子として取り扱う場合は光子という）は、物質との相互作用が大きく、物質中では数メートルしか透過しない。中性子などでは、10メートル程度の透過距離が限界であるだけでなく、検出が難しい。一方、2015年に日本人研究者のノー

表-1 素粒子の透過距離（文献¹⁾を和訳）

素粒子	透過距離(m)
電子・X線	数mあるいはそれ以下
陽子・中性子・パイ中間子	10m以下（不安定・検出困難）
ニュートリノ	地球規模（検出困難）
ミュオン粒子	100～1000m（検出容易）