

ミュオン粒子を利用した河川堤防の非破壊探査に向けた半導体小型検出器の精度評価実験

中央大学大学院 学生会員 ○並河 奎伍 中央大学 正会員 小山 直紀
 中央大学研究開発機構 フェロー会員 山田 正 川崎地質(株) 正会員 鈴木 敬一
 川崎地質(株) 非会員 草茅 太郎

1. 研究背景

水害を防ぐためには、河川堤防の維持管理が重要であり、目視で点検することのできない堤防内部を非破壊で検査することが求められている。そのための技術として、従来の物理探査方法では困難であった数十mの探査深度と数十cmの解像度を実現できる宇宙線ミュオン粒子を利用した探査技術が注目されており¹⁾、著者らのグループによって河川堤防にて解析が行われた²⁾。その後、総延長が長い河川堤防を省人力でかつ出来るだけ効率よく探査するため、半導体小型検出器の開発をした。本研究では、開発した小型検出器の導入に向けて、製造時期が異なる二検出器の精度評価実験を行った。

2. 観測概要

本研究では屋根など遮るものがない屋外にて、図-1のように2018年製と2021年製の小型検出器を重ね合わせ観測し、鉛直方向から観測したミュオン粒子数のデータを比較した。観測期間は2021年10月12日から2022年1月10日の約3か月間である。また、ミュオン粒子の観測の際に、外部温度の上昇を原因とした熱雑音を誤って検出することが明らかになっている³⁾。したがって観測結果からその影響を見るために、直射日光の当たらない

各検出器の側面に温度計を設置し、計測した。なお、ミュオン粒子の観測データには統計誤差という変動が含まれており、ポアソン分布に従うと考えられている。したがって観測数 N が十分に大きい場合は統計誤差と標準偏差と同等となり、 $\sigma = \sqrt{N}$ で表せる。

3. ミュオン粒子数と筐体温度の関係

観測で得られた鉛直方向の一日あたりのミュオン粒子数の推移と筐体温度の時系列を図-2に示す。上段図の丸が実測値で、エラーバーは統計誤差 2σ を表す。2つの検出器が1日で観測する鉛直方向のミュオン粒子数のエラーバーはおおむね重なっており、2018年製検出器と



図-1 観測機器および設置状態

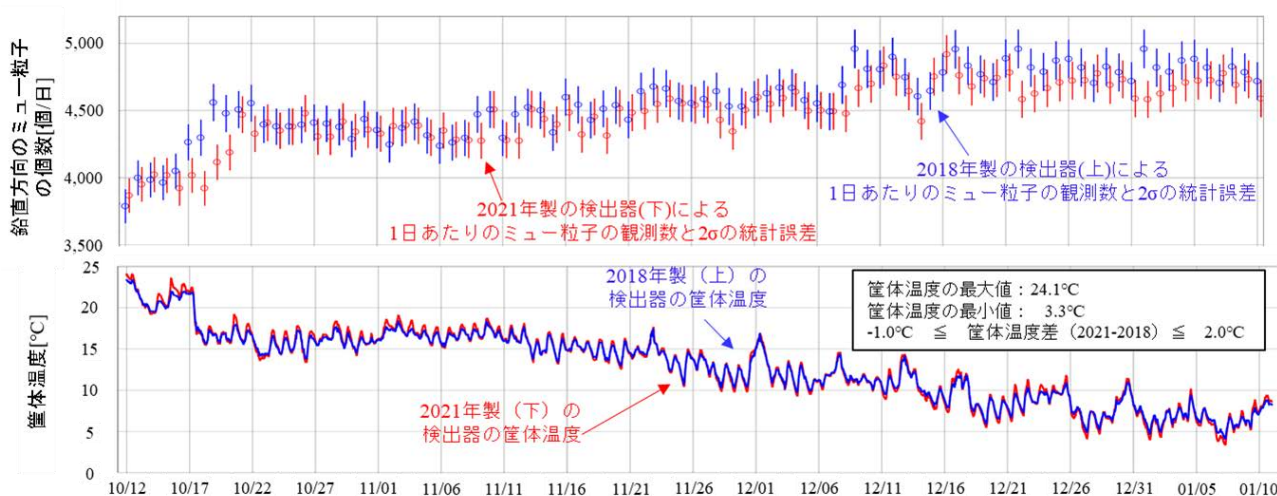


図-2 1日あたりの鉛直方向のミュオン粒子数と筐体温度の時系列グラフ

キーワード 宇宙線, ミュオン粒子, 空洞探査, 統計誤差, 熱雑音

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 TEL: 03-3817-1805 E-mail: a17.38nk@g.chuo-u.ac.jp

2021年製検出器は同等の観測が出来ていると言える。一方で10月17日から10月21日でエラーバーが重なっていない要因として、同時期の筐体温度が急激に下降したことが要因として考えられる。

4. ミュー粒子数の差と筐体温度差の関係

つぎに筐体温度差とミュー粒子の個数の関係性を分析する。ミュー粒子はポアソン過程で発生すると仮定されるため、観測数が多ければ正規分布に近似できる。図-3に示すように、各検出器でのミュー粒子数の分布に正規分布をフィッティングし、正規分布の再生性より、2つの検出器の差の分布を求めた。この分布の 2σ にミュー粒子の個数の差が何割おさまるかを、温度帯ごと、筐体温度差ごとに整理した結果が図-4である。これより、どの温度帯においても筐体温度差が $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内であれば、10分当たりの鉛直方向のミュー粒子の個数差(2021年製-2018年製)は、その分布の統計誤差 2σ に概ね収まり、2つの検出器は同等の結果を得られることが分かる。観測データ数が少ないため一概に言えないが、温度差が 1°C より大きい場合、一方の観測データに温度差分の熱雑音のノイズが含まれてしまい、同等の観測結果として扱えない可能性があるため、実運用していく上では棄却対象となるだろう。本研究で探査対象としている河川堤防の樋管内は、日が当たらず温度が低く安定しているため、検出器特性が同等な条件で観測を行えると考えられる。

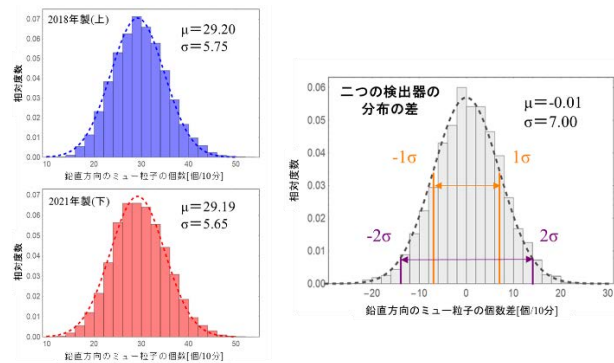


図-3 鉛直方向のミュー粒子の個数の分布

5. まとめと今後の展望

本研究では、河川堤防の非破壊探査に向けて開発された製造年の異なる複数の小型検出器の観測結果を比較した。その結果、急激な温度差を生じさせず筐体温度差を $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内に収めることで同様の観測結果が得られることが分かった。今後は実際に樋管内にて複数台を設置し観測を行い、河川堤防の密度分布を解析・可視化することを考えている。

参考文献

- 1) 鈴木敬一：ミュー粒子による土木物理探査の可能性，物理探査，第65巻第4号，pp.251-259，2012.
- 2) 福田竜平，山田正，鈴木敬一，草茅太郎：河川堤防の内部構造可視化へ向けたミュー粒子観測，令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会概要集，IV-313，2020.
- 3) 鈴木敬一：宇宙線ミュー粒子を利用した地盤や大型構造物の内部可視化技術，日本原子力学会誌，Vol.57，No.5，pp.14-18，2015.

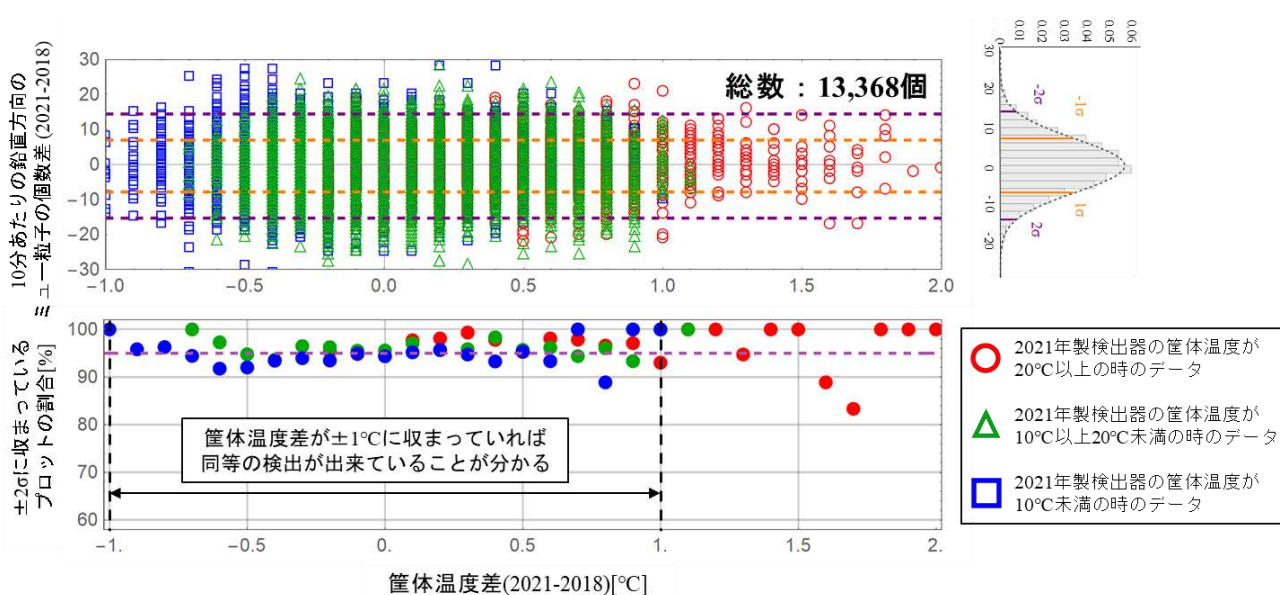


図-4 筐体温度および筐体温度差と10分間当たりの鉛直方向のミュー粒子の個数差の関係