

令和 7 年度（2025） 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：神岡地下観測所における中性子フラックス測定 英文：Measurement of neutron flux at the Kamioka underground laboratory
研究代表者	南野彰宏（横浜国立大学）
参加研究者	南野彰宏（横浜国立大学）、佐々木優斗（横浜国立大学）、竹田敦（東京大学）、関谷洋之（東京大学）、矢野孝臣（東京大学）、身内賢太朗（神戸大学）、東野聡（神戸大学）、伊藤博士（神戸大学）、寄田浩平（東京大学）、田中雅士（早稲田大学）、鷲見貴生（国立天文台）、中竜太（東邦大学）、白石卓也（神奈川大学）、吉田斉（大阪大学）、細川佳志（東北大学）、水越慧太（東北大学）、石徹白晃治（東北大学）
研究成果概要	本研究は、神岡地下実験室 Lab-B において ^3He 比例計数管を用いた環境中性子の長期測定を行い、中性子レートの時間変動や季節性、さらに降水・地下水・湿度などの環境要因との関係性を評価した研究である。先行研究では、岩盤中の水分量が中性子の熱化過程に影響し、地下実験室へ到達する中性子スペクトルや熱・高速成分比を変化させる可能性が示唆されていた。本研究では、この仮説を長期測定データによって検証することを目的とした。 測定には、熱中性子に高感度な Setup A と、高速中性子成分への感度を相対的に高めた Setup B を使い、2021 年から 2025 年にかけて継続的なデータ取得を行った。長期測定では、DAQ（データ収集系）のフリーズによるデータ欠測が問題となったため、データ品質評価を実施した。具体的には、事象間時間差分布を解析することで異常データを検出し、DAQ フリーズの影響を定量化した。その結果、一部期間ではデータ収集用 PC のフリーズに伴う欠測が存在することが確認されたため、欠測区間を <i>deadtime</i> として扱う補正を導入した。また、データ収集用 PC の安定化や信号取得系の二重化などの改良を施し、2025 年以降の測定ではシステムの安定性が大きく改善された。 解析では、Lab-B 内での測定位置変更や、坑内線源庫内の中性子線源への遮蔽体導入などの条件変化を考慮し、測定期間を <i>period1</i> (2021 年 7 月-2023 年 4 月)、<i>period2</i> (2023 年 4 月-2024 年 8 月)、<i>period3</i> (2025 年 2 月-2025 年 12 月) の三期間に分割した。それぞれについて日・週・月単位で中性子レート時系列を構築し、時間変動や季節性を調べた。

period 間差を補正した時系列解析を行ったところ、季節変動の寄与は Setup A で 1% 未満、Setup B でも約 2% が上限として制約され、季節項の追加は統計的に有意ではなかった。したがって、本研究で得られた環境中性子レートの長期時系列は全体としてはほぼ定常であり、強い季節変動を仮定する必要性は支持されなかった。一方で、period1 から period2 にかけては測定位置変更に伴うレート変化が観測され、測定環境が中性子レートに大きく影響することが示された。また、坑内線源庫に保管されていた中性子線源の周囲に遮蔽体を導入した後の period3 では、period2 と比較してレートの低下が確認された。このことから、中性子線源の影響が無視できないことが明らかとなり、周辺環境管理の重要性が示された。

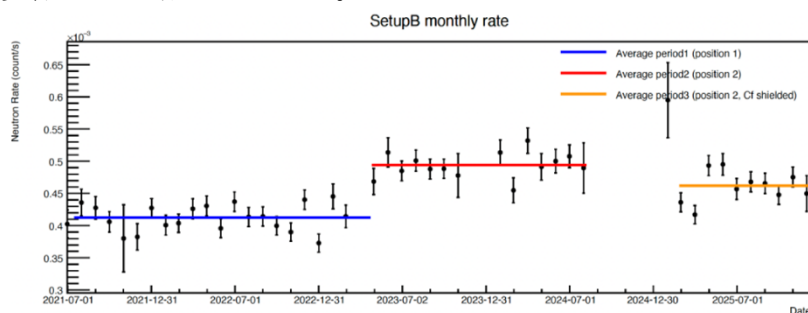


図 1 Setup B の中性子レート時系列（月 bin）。水平線は各 period の平均レート
さらに、環境要因との相関解析を行うため、雨量・排水量・絶対湿度を環境パラメータとして用いた。解析では、降雨直後だけでなく、岩盤への浸透や地下水流動に伴う時間遅れを考慮するため、環境パラメータを数日から数十日単位でシフトさせながら相関係数を計算した。相関の有意性評価には二種類のモンテカルロシミュレーションを用い、中性子レートの統計誤差および有限サンプルにおける偶然相関分布の影響を評価した。その結果、いずれの環境要因についても、中性子レートとの相関の強さ、有意な期間、相関の符号は period 間で一貫せず、period をまたいで再現される安定な相関は確認できなかった。したがって、単一の環境要因が長期的な中性子レート変動を一意に支配していると結論づけるだけの証拠は得られなかった。

以上より、本研究では、地下環境中性子の長期測定データに対する解析基盤を整備するとともに、地下実験室における環境中性子の長期安定性および周辺環境依存性について定量的な知見を得た。本研究成果は、将来の暗黒物質探索実験やニュートリノ実験における背景事象理解に向けた基礎データを提供するものである。

[1] 佐々木優人、「ヘリウム 3 比例計数管を用いた神岡地下実験室における環境中性子の長期測定の結果と展望」、日本物理学会第 80 回年次大会、2025 年 9 月 16 日

[2] 佐々木優人、「 ^3He 比例計数管を用いた神岡地下実験室における環境中性子の長期測定と環境要因の影響評価」、第 11 回極低放射能技術研究会、2026 年 3 月 6 日