

論文審査の結果の要旨

氏名 小栗 秀悟

本論文は10章からなる。第1章は序論であり、本論文の目的が書かれている。ニュートリノは、西暦1956年に原子炉を用いた実験により発見されたが、その後約半世紀を経て、ニュートリノを原子炉の運転状況をモニターするためのツールとして応用する研究が盛んに行われている。ニュートリノは貫通力が強く、原子炉の外から非破壊的に原子炉内をモニターすることが出来る。更には、ニュートリノのスペクトルを詳細に観測することで、原子炉内の核物質の組成までを測定することが可能である。ニュートリノのこのような特性は、特に国際原子力機関 (IAEA) が中心となって実施している、核の保障措置 (核物質の量と使用が国際公約の通りか否か) を、これまでの方法とは完全に独立に調査する目的に応用することが可能であるため、IAEA では、ニュートリノによる原子炉モニターの開発を推進している。殊に、12 m長の標準サイズのコンテナに収納可能な小型で、且つ地上でニュートリノによる原子炉モニタリング可能な測定器を5~8年で建設することが求められている (2008年のIAEA報告)。このように、原子炉モニタリングを目的とした地上での測定器が強く求められている一方で、この章で述べられているように、これまでの研究では、地上でのニュートリノ観測は、宇宙線を起源とするバックグラウンドに阻まれ、成功していなかった。本研究では、このバックグラウンドを抑制し、地上での原子炉モニターを完成すべく、プロトタイプ (PANDA36) を、福井県の大飯原子力発電所2号機 (熱出力3.4GW) の外、原子炉中心から35.9mの位置に設置して測定を行い、ニュートリノを測定し、更にその結果に基づいて将来の原子炉モニターの可能性を論じた研究である。本研究の主眼は、原子炉モニターの開発研究であるのだが、本研究の更にその先には、原子炉ニュートリノアノマリーと呼ばれる問題、即ち、原子炉からのニュートリノのフラックスが理論的に予測された値から約6%欠損しているという問題を解くための測定器の開発という側面を持ち、非常に興味深い研究である。

第2から4章では、原子炉からのニュートリノの特性と本研究で用いたニュートリノ測定 の原理と測定装置の説明である。ここでは、論文提出者が中心となって構築した検出器のトリガDAQシステム、インターネットを用いたモニタリングシステムの詳細が記述されており、装置の開発研究、製作における論文提出者の寄与が非常に大きいものと高く評価された。第5章はDAQとデータの較正について述べたもので、続く第6、7章で、ニュートリノを主なバックグラウンドである中性子から抽出するため

の事象の選択の方法の詳細とその系統誤差が述べられている。この第6章は本論文で最も重要な章であり、論文提出者は、ニュートリノ事象、バックグラウンド事象の特徴と検出器の特性の双方を理解した上で、主にモンテカルロシミュレーションに基づいて、事象弁別の手法を確立した。この事象弁別の過程で特に重要なポイントは、本プロトタイプ検出器が、 6×6 個にセグメント化されている点であり、これを最大限利用することで、ニュートリノを含んだ事象のグループとニュートリノを含まない事象、即ちバックグラウンド事象のグループに分離することが可能となっている。第7章では、これらの弁別の方法の系統誤差が、校正線源を用いた実験とモンテカルロシミュレーションによる数値実験を用いて詳細に見積もられている。過去に行われた研究ではこのような事象の分離が不可能であり、本研究によって初めてニュートリノ事象をバックグラウンドから抽出可能であることが実証された。このことは、バックグラウンドを抑制し、地上で原子炉モニターを実現する上で非常に大きな一歩であり、この部分のほとんど全てが論文提出者によって研究されたものであることは、特筆すべき事柄である。第8章では、最終的なニュートリノ事象数が計算され、原子炉が稼働中と休止中を比較して、理論的な予測値 18.1 ± 6.5 事象/日と無矛盾な 22.9 ± 11.7 事象/日を原子炉稼働中に観測したと結論付けた。更に9章では、このプロトタイプ検出器の結果に基づいたモンテカルロシミュレーションによって、本研究のプロトタイプを単純に拡張すること (PANDA100) で、地上での原子炉モニターの実現性を具体的に提示した。このように、本論文では、ニュートリノの応用として、地上での原子炉モニターの実現に向けた非常に大きな第一歩が記されている。

なお、本論文は、PANND A 実験グループとしての共同研究の一部であるが、上述の様に、検出器のトリガ DAQ システム、モニタリングシステムからデータ解析と結果の導出まで、ほとんど全ての研究は、論文提出者が中心となって実施されていると判断する。従って、博士 (理学) の学位を授与できると認める。