

審査の結果の要旨

氏名 橋本 周

本論文は、複数放射線検出器による放射線測定に閉凸空間データ処理法を適用することにより、線量評価が目的量の取りうる範囲を特定する形で評価できることを述べたものである。論文は4つの章により構成されている。

第1章は序論であり、背景と研究の目的について述べている。現行の中性子線量測定法とその抱える課題などを本論文の背景として述べ、本研究で多変量解析手法の一種である閉凸空間データ処理法の、複数検出器による線量評価への適用を提案している。閉凸空間データ処理法は複数検出器の出力情報を相乗的に扱うため、より高度な目的量評価が期待されるとしている。

第2章では、閉凸空間データ処理法による線量評価の理論について述べている。放射線場 $\phi(\mathbf{E})$ での評価目的量 \mathbf{Q} と、それを測定する独立した i 個の検出器の出力 N_i から、関数 ${}_j\mathbf{K} = \mathbf{Q}/N_j$ 、 ${}_j\mathbf{R}_i = N_i/N_j$ を導入し、この \mathbf{K} と \mathbf{R} を軸とする直交空間を定義すると、その空間中に $\phi(\mathbf{E})$ に対応する点が決まり、その集合は直交空間中に閉凸空間を形成するとしている。 ${}_j\mathbf{K}$ を全て特定すると閉凸空間と交わる \mathbf{R} 軸に平行な弦が決まり、この弦の範囲から目的量 \mathbf{Q} の取り得る範囲が決まるとしている。閉凸空間の一般的な評価にも言及し、一次関数型や単調関数型の閉凸空間は目的量を一意に決めやすく望ましく、周期関数型は目的量評価が困難であり、閉曲線型も目的量の特定が困難、と指摘している。また、最適値の選定方針については、閉凸空間内では測定値は無作為に分布するわけではないため、統計的代表値ではなく、各ケースに応じた最適値を評価すべきとしている。さらに、理論の適用条件にも言及している。

第3章では、閉凸空間データ処理法の放射線測定への実際的な適用について述べている。ここでは、放射線測定を「線量測定」と「放射線エネルギー測定」に大別し、さらに前者を「空間線量測定」と「個人線量測定」に分類し、その各々に対して本方法の適用性を体系的に検討している。

第1の場合として、「空間線量測定」たる中性子周辺線量測定への適用について述べている。測定器として、ここで新しく、単一検出器で複数の応答を示す ${}^3\text{He}$ と CH_4 を混合充填した混合ガス比例計数管を考案している。この設計要素は計数管応答のシミュレーション計算で決め、その設計に基づき製作した計数管の応答は加速器標準中性子場にて実地に検証されている。次にこの計数管の応答特性を、単色中性子場、核分裂中性子を線源とする様々な減速中性子場、多数の現場実測事例での中性子場に対し、それぞれ詳細な計算により求めている。その結果から、両反応数を抽出し中性子周辺線量評価のための閉凸空間を

形成できることを示している。また、多くの実測中性子スペクトル事例に基づいて計算された計数管出力は全てこの閉凸空間に適合しており、さらに同一施設の測定結果は閉凸空間中に一定の傾向で配置されることが示されている。

また、実験用原子炉において核分裂中性子に対する応答試験も行い、それらの結果は計算で得られた閉凸空間に適合することや、出力エネルギーで弁別した検出器出力でも中性子周辺線量評価のための閉凸空間が形成され実験結果とも整合することなどが示されている。これらより、混合ガス比例計数管を用いた閉凸空間データ処理法による中性子周辺線量評価が可能としている。本方法は、既存の中性子線量計と比して同等以上の線量評価能力を示し、軽量化が図られた点でも優れていると結論付けている。

第2の場合として、「個人線量測定」たる中性子個人線量測定への適用について述べている。中性子個人線量計出力を2個組み合わせる閉凸空間データ処理法を適用し、特性を評価している。組み合わせ毎の閉凸空間の良否は、測定器の応答関数の相対内積値で数値化している。一般に相対内積値の小さい組み合わせは閉凸空間も狭く、他方で、相対内積値の大きいものは閉凸空間が拡大し線量評価が困難であり、閉凸空間の特性図と組み合わせ良否判定が定量できるとしている。個人線量計の良好な組み合わせでは、単体で使用する場合より優れた特性を示し、閉凸空間データ処理法が有効であるとしている。最も良好な事例では線量評価の変動が変動係数2の範囲に抑制され、中性子個人線量計として優れた線量評価性能が得られたとしている。他方で、組み合わせを誤れば単体での測定よりも線量応答特性が劣る場合もあり、その判定も可能としている。

第3の場合として、「放射線エネルギー測定」の内、X線エネルギー分布測定への適用について述べている。積層型電流モードX線検出器に閉凸空間データ処理法を適用し、X線のエネルギー分布は線量測定のように複数の条件の合成ではなく、個々の条件に固有の分布となるため、閉凸空間の境界が検量線として機能するとしている。その結果、X線エネルギー分布測定にも適用できると結論付けている。

第4章は、全体を通じた考察をしている。閉凸空間データ処理法を適用する測定器の組み合わせは相補的であることが望ましいこと、それぞれの応答関数の相対内積値が閉凸空間の評価指標となること、目的量もそれに対して直交性の高い測定器出力との比で評価することが望ましいこと、代表値の選定には個々の測定状況に応じて判断を下すべきであることなどを考察している。また高次元空間への展開についても触れている。

以上を要するに、本論文は複数の放射線検出器による目的量の測定への、閉凸空間最適化法の適用を検討し、その効果と有効性を述べたものであり、放射線防護における測定への利用価値は極めて高い。よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格を認められる。