

## 論文審査の結果の要旨

氏名 小高裕和

本論文は、天体における X 線の吸収、散乱、再放射過程をモンテカルロ法によって取り扱う計算コードを開発し、それをを用いて中性子星連星 Vela X-1 近傍の降着流の解析や、我々の銀河系中心部の分子雲における X 線反射のモデル化を行ったものである。本論文は全体で 9 章から成る。第 1 章の総合的イントロダクションに引き続いて、第 2 章では X 線の再放射過程の物理機構とその宇宙物理学的重要性についてまとめている。第 3 章はモンテカルロシミュレーションコードの開発について、考慮に入れた物理過程を含めて詳しく記述されている。第 4 章は観測データの取得に用いた X 線望遠鏡すざくのレビューで、第 5 章に Vela X-1 の観測データ解析が述べられている。第 6 章、7 章が Vela X-1 近傍の降着流と光電離プラズマについての議論、第 8 章が銀河中心部の X 線反射星雲についての議論で、第 9 章で全体をまとめる構成となっている。

強重力天体による物質の降着は中性子星から活動銀河核の巨大ブラックホールまで広いスケールに渡って存在し、そこからの X 線放射の観測は、すざく、Chandra 等で近年大きな進展を見せている。その結果、従来の単純なモデルや現象論的手法では十分に観測データを生かしきれない状況となっており、天体の現実的構造、物理状態を考慮して、X 線放射輸送問題を正確に解くアプローチが求められている。本研究ではモンテカルロシミュレーションによって、X 線放射輸送を計算する枠組みを構築し、観測と比較した。

モンテカルロシミュレーションコードは、コア部分に高エネルギー物理学実験等で用いられている Geant4 というライブラリーを活用し、それに必要な物理過程を埋め込む形で開発した。水素とヘリウムに束縛された電子による散乱や、リチウム様イオン以降のイオンとの相互作用なども取り込んで、様々な環境での X 線再放射を取り扱えるようにした。それを、次に示すいくつかの系について適用した。

まず、中性子星近傍の降着流からの X 線放射については、すざく衛星によって、2 ks というかつてない時間分解能で 140 ks にわたって中性子星連星 Vela X-1 からの X 線放射のスペクトルの時間変動を決定し、その結果を、開発したシミュレーションコードを用いて議論した。まず、球対称プラズマの熱コンプトン散乱という単純なモデルを作って、スペクトルをシミュレーションした。これまでは NPEX (Negative-Positive Exponential) モデルが現象論的に使われてきた。シミュレーションの結果は、NPEX モデルでよくフィットできる。その時の 2 つの項の係数比 ( $A_2/A_1$  比) は、たとえば Photon index  $\Gamma$  と逆相関関係にある。これは、観測で得られた結果とよく対応しており、このことから、Vela X-1 の降着流からの X 線放射が熱コンプトン散乱で解釈できることが、第一原理的シミュレーションで確かめられた。さらに、降着流のダイナミクスを考慮して、観測されるスペクトルを説明するようなモデルを構築し、降着柱のサイズや物理状態について重要な情報を得た。本研究のアプローチは、現象論的なスペクトルフィットに物理的根拠を与えるものとして大きな意義があり、また、中性子星近傍の降着柱における物理過程の理解を進める強力なツールとなり得ると期待される。

次に、我々の銀河中心における分子雲からの X 線反射に適用した。銀河中心核 Sgr A\* は現在は静かだが、かつて激しい活動性を示したと考えられていて、その時の X 線が分子雲に反射して我々に届いている。この状況を開発したコードによってシミュレーションし、そのような X 線反射星雲における X 線輝度分布を調べれば、X 線放射天体と反射星雲との位置関係、雲の質量などを探ることができることを示した。

このように、論文提出者は、X 線の再放射過程を取り扱う計算コードを開発し、それを上記の宇宙物理学現象に適用して新しい知見を得た。これらの研究は、指導教員や共同研究者の助言を得つつ、本人が自ら着想し実行したものであり、論文に対する本人の寄与は十分である。以上のことから、博士 (理学) の学位を授与できると認める。