

論文審査の結果の要旨

氏名 鮫島 寛明

本論文は六章からなる。第一章では研究の背景と動機が記述されている。超新星爆発機構には、長寿命の低質量星が起こす Ia 型と、短寿命の大質量星の起こす重力崩壊型 (Ibc, II 型) があり、両者では生成される元素組成に大きな違いがある。よって、宇宙初期において星が誕生・進化した後、重力崩壊型に比して Ia 型超新星爆発が活発になる時期には遅れが生じ、それが宇宙の元素組成の進化に反映される。これを用いて、クェーサー中の元素分布を赤方偏移の関数として調べることによって、Ia 型超新星爆発が活発になった時期、およびそれから遡って第一世代の星の形成時期を推定できるのではないかとということが提唱されてきた。たとえば、クェーサースペクトル中の、紫外域の一階電離した鉄とマグネシウムの輝線強度比 (以下、輝線強度比を $\text{FeII(UV)}/\text{MgII}$ のように表す) などが、そのような「宇宙時計」の役割を果たすとして期待されてきた。しかし、観測された $\text{FeII(UV)}/\text{MgII}$ の値は、単純な超新星モデルによる予想とは異なり、同じ赤方偏移のクェーサーでも大きな分散を示すことがわかってきた。これは、クェーサー中で輝線を放出する広輝線領域 (Broad Line Region; BLR) において、輝線強度比は単純に元素組成比を反映しているのではなく、別の物理機構が働いて組成比を隠していることを示唆している。つまり、クェーサー中の輝線強度比を宇宙時計として用いるためには、その前提として BLR に於ける輝線放射メカニズムをより良く理解しておく必要があり、それが本論文の動機である。

第二章では、研究の手法が示されている。本論文では、元素組成を仮定せずに求められる BLR の重要な物理量として、鉄柱密度に注目した。特に、一階電離した鉄の可視光と紫外線における輝線強度比、 $\text{Fe II(opt)}/\text{Fe II(UV)}$ が鉄柱密度の指標となることを指摘した。また、光電離モデルと衝突電離モデルによる計算結果から、それらのモデルは同じ柱密度に対して異なった輝線比を与えるため、 $\text{Fe II(opt)}/\text{Fe II(UV)}$ の観測と電離モデルとの比較が可能であることが示された。

第三章では観測とデータ整約について述べられている。観測は Sloan Digital Sky Survey (SDSS) および Gemini South を用いて行われた。SDSS が観測した赤方偏移が 0.727 から 0.804 の 1452 個のクェーサーについて、 $\text{Fe II(opt)}/\text{Fe II(UV)}$ および $\text{FeII(UV)}/\text{MgII}$ を測定した。また、Gemini South では、

赤方偏移が 2 付近の 6 個のクェーサーについて、 $\text{FeII(UV)}/\text{MgII}$ を測定した。

第四章は解析結果である。ここでは、SDSS クェーサーおよび Gemini South クェーサーそれぞれについて、同じ赤方偏移でも $\text{FeII(UV)}/\text{MgII}$ の輝線比が大きな分散を示し、すでに指摘されていたように、輝線強度比が単純に組成比を表しているのではないことが確認された。また、SDSS、Gemini 両方のサンプルについて、 $\text{Fe II(opt)}/\text{Fe II(UV)}$ および $\text{Fe II(UV)}/\text{Mg II}$ の値とクェーサーの光度のエディントン比との間に正相関があることが見つかった。

第五章は議論である。ここでは、まずほぼすべての SDSS クェーサーについて、 $\text{Fe II(opt)}/\text{Fe II(UV)}$ の値が、光電離モデルが予言するものよりも約 10 倍も大きいことが指摘された。これは、古典的な光電離モデルに見直しを迫るものであり、その原因となる可能性がいくつか示された。また、今回見つかった $\text{Fe II(opt)}/\text{Fe II(UV)}$ の比とエディントン比との正相関について、エディントン比と共に水素柱密度が増加する可能性と、水素に対する鉄の組成が増加する可能性が検討された。その結果、組成を良く表す指標と考えられている窒素と炭素の輝線比がエディントン比に依存しないこと、および、BLR にかかる光圧を考慮した、より物理的な仮定の下ではエディントン光度が水素柱密度に依存することから、前者の可能性が高いと結論された。これによって、エディントン比が BLR の様々な物理状態を決定するのに重要な役割を果たしているという描像が示された。また、 $\text{Fe II(UV)}/\text{Mg II}$ とエディントン比との間の正相関を補正することで、元素比の赤方偏移依存性がより明確になり、宇宙初期における第一世代の星形成時期に制限が与えられる可能性が示された。第六章には、これらの結果がまとめられている。

以上に述べたように、本論文はクェーサーの BLR の性質を詳細に調べ、それによって BLR からの輝線比がエディントン比に正相関することを発見し、その補正を実施することでクェーサーの輝線比を用いた宇宙時計の精度を向上させる可能性を示したものとして、高く評価できる。なお、本論文は大藪進喜氏、浅見奈緒子氏、松岡良樹氏、家中信幸氏、吉井讓氏、続唯美彦氏、Jose Maza 氏、川良公明氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって観測・解析・結果のまとめを行ったもので、論文提出者の寄与は十分である。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。

以上