

論文審査の結果の要旨

氏名 菅原 悠馬

本論文は8章と一つのAppendixからなる。第1章では銀河形成におけるバリオン物質サイクルの重要性が述べられた後、本論文の主題である銀河からのアウトフロー(質量放出)と星形成の先行研究による理解がまとめられ、本研究の目的が述べられている。第2章では銀河からのアウトフローについて主に理論的な観点からレビューされている。第3章で本研究に用いる観測装置と使用するデータの詳細がまとめられている。第4章では、そのデータセットからどのように銀河を選択し、またグループ分けをしたが述べられる。第5章では解析の手法が述べられ、第6章ではスペクトル解析の結果がまとめられている。第7章では、結果の解釈、特にアウトフロー速度とmass loading factor の二つのアウトフローに関するパラメータの、赤方偏移および銀河の性質との関係が議論されている。第8章では本論文全体の結論をまとめ、今後の展望を示した。Appendixには、第6章のスペクトル解析におけるモデルフィットの詳細結果が提示されている。

銀河からのアウトフローによるバリオン物質のフィードバックは、銀河の星形成率に強い影響を与えると同時に、銀河間空間を重元素で汚染してきた。その結果、宇宙初期の銀河形成から現在に至るまで宇宙史全体を通して、アウトフローは銀河形成を制御してきたと考えられる。これまでアウトフローによるフィードバックを、広い赤方偏移 z の銀河について調べる試みが行われてきた。アウトフローを記述する重要パラメータとして、アウトフロー速度とmass loading factorが認識されている。mass loading factorは質量放出率(単位時間あたりにアウトフローで流れ出る質量)を星形成率(単位時間あたりに銀河で作られる星の質量)で割り算した無次元量である。宇宙の構造形成の数値シミュレーションによる理論的研究からは、これらのパラメータが z に依存することが示唆されている。しかし、広い z に渡って一貫した観測データの解析が行われていないため、観測的には系統誤差が大きく、 z 依存性を議論することは難しい状況である。

論文提出者は $z = 0$ から6の広い z の範囲にある多数の銀河のoutflowを、吸収線を用いた一貫した解析手法で解析し調査した。しかし吸収線の波長は z により変化するため、個々の銀河で観測可能な吸収線の種類は z により異なる。異なる吸収線は必ずしもアウトフローの同じ物理状態を範囲しない可能性がある。論文提出者は、この問題を電離エネルギーと吸収の深さが近い吸収線同士を比較することで解決した。観測データとしては、Sloan Digital Sky SurveyのSpectrograph, Keck天文台のDEIMOSおよびLRISの観測を用いた。銀河の質量、星形成率などで銀河を選別し、銀河質量が比較的揃っ

た約2200個の銀河サンプルを選び出した。これらを z によりサブグループ化し、サブグループ毎に z の違いを修正した上で足し合わせたスペクトルを作成した。そのスペクトルを銀河の星の重ね合わせモデルでフィットした上で、星の重ね合わせでは表現できない吸収スペクトルを、銀河の z に対応する波長の吸収と、それからずれた波長の吸収によりモデル化した。その結果、銀河の z よりも波長の短い側に波長のずれた吸収を全ての重ね合わせスペクトルが必要とすることがわかった。以上のスペクトル解析の結果から、最大アウトフロー速度とmass loading factorの二つのパラメータを導出した。

最大アウトフロー速度は、銀河の星形成率と銀河の赤方偏移 z に一見して依存しているようにみえた。しかし様々なパラメータの相関を調べた結果、論文提出者は、最大アウトフロー速度は星形成率と銀河の回転速度により制御されていることを見出した。星形成率は入力エネルギーであり、銀河の回転速度は重力ポテンシャルの大きさを表している。一方、mass loading factorは z に依存することがわかった。論文提出者は、この依存性はアウトフローの材料となる銀河内の冷たいガスの量が z に強く依存すると考えたと説明可能であることを見出した。

以上、論文提出者はバリオン物質フィードバックの重要な素過程の一つである銀河のアウトフローの背景にあるパラメータについて、新しく、かつ重要な知見を得た。これは博士論文にふさわしい結果である。本研究は指導教官を含む研究者との共同研究であるが、解析方法の構築から実際の解析と解釈に至るまでは論文提出者が主体となっていたものである。このため論文提出者の主体性と寄与は博士論文として認めるのに十分であると判断する。

したがって、本論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。