

論文内容の要旨

活動銀河核の狭輝線領域はこれまで多くの観測と理論的アプローチがなされてきたが、その一般的な性質については、いまだ明らかではない。そこで Sloan Digital Sky Survey Data Release 4 から得られた大量の分光データに基づいて 2 型 Seyfert と LINER の狭輝線領域の一般的な物理的描像についての研究を行った。この論文では様々な狭輝線領域の理論モデルを計算し、観測されたスペクトルとの詳細な比較を行った。その結果 Seyfert、LINER の一般的な物理的描像と、これらとの関係についての新しい視点を提案した。

論文題目 Spectroscopic Analysis of Narrow Line Regions in Active Galactic Nuclei
(分光データに基づいた活動銀河核の狭輝線領域の研究)

氏名 橋本 哲也

(1) 導入

活動銀河核とは銀河中心のごく狭い領域から、エネルギーの源として恒星では説明のつかないような、非常に莫大な光が放射されている天体のことである。一般に活動銀河核の中心には超巨大なブラックホールが存在しており、そこにまわりからのガスが落ち込むことによって莫大なエネルギーが開放されていると考えられている。また活動銀河核は観測的に大きく分けて 2 種類のタイプが存在していることがわかっている。ひとつは 1 型活動銀河核と呼ばれ、非常に広い線幅の許容線を放射する領域 (広輝線領域) を見込んでいる天体、もうひとつは広輝線領域が遮蔽物質によって見えない 2 型活動銀河核である。さらに 2 型活動銀河核は、Seyfert 2 と LINER に分けられる。LINER は低電離輝線が強く一般的には他の活動銀河核よりも暗いという特徴をもっているもののそのすべてが活動銀河核の仲間かどうかは明らかではない。

(2) 狭輝線領域の観測的特徴

活動銀河核の狭輝線領域は基本的に遮蔽物質の外側 100pc 程度、場合によって数 kpc にまで及び、可視光で空間分解して観測できる唯一の構造であるため、これまで非常に多くの観測がなされてきた。狭輝線領域の光電離の描像はハッブル宇宙望遠鏡によるコーン型の狭輝線領域の確認によって強く支持されてきた。コーン型の輝線領域は、遮蔽物質によって非等方な電離光子が放射され、それによってガスが光電離されていることを示している。一方 VLA による電波観測からは、中心領域からの荷電粒子ジェットによって放射されるシンクロトロン放射が狭輝線領域の形と良く一致している例や、[OIII]5007 輝線の線幅と電波強度との相関関係などが報告されてきた。このような観測事実は、狭輝線領域が荷電粒子ジェットによって擾乱されたり、何らかの形でエネルギーを受け取っていることが予想される。

(3)標準的光電離モデルの問題点

狭輝線領域の標準的な理論モデルとして、光学的に厚い一定密度の光電離モデルが度々用いられてきたが、このモデルには以下にまとめるような問題点を含んでいることが指摘されてきた。このモデルで再現されるスペクトルは、狭輝線領域の観測結果と比べて、

(a)高階電離輝線が弱すぎる、(b)電子温度が低すぎる([OIII]比問題)、(c)HeII4686/H β の分散が小さ過ぎる、(d)見積もられる電離パラメータ(ガス表面でのガス密度と入射してくる電離光子数の比)が、どの天体もほぼ同じ、あるいは高い電離パラメータに対応する天体が全くいないように見える(U問題)。このような問題点を解決するために、これまでに新たな狭輝線領域のモデルが提案されてきた。

(4-1)光学的に厚い雲と薄い雲の組み合わせ(A_{W1})

このモデルでは光学的に薄い雲を一度通過した電離スペクトルが後方の光学的に厚いガスに入射する、という描像である。観測される狭輝線領域のスペクトルは高電離輝線と低電離輝線を同時に持っているため、このような二分したガスがそれぞれ高電離輝線と低電離輝線を担うという描像である。また光学的に薄い雲を通過することで電離光子のスペクトルの形が変わり、観測されるHeII4686/H β のばらつきを再現しやすくなるという利点も持っている。さらに光学的に薄い雲からの寄与を大きくしてやることで、観測される高い電子温度を再現しやすくなる。

(4-2)等圧ガスモデル

光学的に厚い雲と薄い雲の組み合わせのようなモデルでは、そもそもなぜ性質の二分したガスが生じるのかという疑問に答えることが難しい。一方で等圧なガスモデルはその温度構造によって密度勾配が決まるため、物理的な根拠に基づいて、光学的に薄い雲と厚い雲をある程度再現することができる。さらにこのモデルでは、非常に電離パラメータを高くしてもあまり輝線比の大きさが変わらない"stagnation point"が輝線比診断図上にあらわれることが特徴的である。もしstagnation point近くに天体が分布していればそれらは非常に電離パラメータの大きい天体ということができる。このモデルによって上記のU問題が解決されるかもしれない。

(4-3)衝撃波モデル

電波ジェットと電離ガスの相互作用は降着円盤周辺からの電離光子以外に、衝撃波のような付加的な加熱が狭輝線領域に働いている可能性を示している。現在提案されている衝撃波によるガスの電離モデルでは、衝撃波の後背面でガスが非常に高い温度まで加熱され($T \sim 10^6$ K)そこから強力な電離光子が発生することを考慮している。このような電離光子は衝撃波の上流と下流両者のガスを光電離することになる。このモデルは降着円盤のような電離光子源なしに、狭輝線領域のスペクトルを再現できるという点で非常にユニークである。

このように狭輝線領域の物理的描像は複雑で、その詳細は明らかではない。そこで我々は狭輝線領域の一般的な描像を明らかにするために、Sloan Digital Sky Survey (SDSS) Data Release 4 (DR4) から得られた大量の分光データと光電離モデルの計算との比較を行った。抽出したサンプルはSeyfert 2型天体が21110個、LINERが42800個である(Figure 1, 2)。比較のために用いたモデルは(1)光学的に厚いガス雲(ダストなし)、(2)光学的に厚いガス雲(ダストあり)、(3)等圧モデル、(4) A_{W1} モデル、

(5)衝撃波モデル

で、(1-4)についてはモデル計算を行い、(5)についてはAllen et al. 2004での計算結果を用いた。金属量に敏感な輝線比診断図 $[OII]3727/[NII]6584 - [OII]3727/[OIII]5007$ を使って各光電離モデルのグリッドと観測された天体の位置を比べることによって、我々は、各モデルごとに各天体の金属量を見積もった。その結果、見積もった金属量の分布はどのモデルを用いてもほぼ同じ結果となった

(Figure 3).

我々のこのような結果は $[OIII]3727/[NII]6584 - [OIII]3727/[OIII]5007$ 輝線比診断図が狭輝線領域のモデルに依存せず金属量を見積もることのできる強力なツールであることを示しており、金属量導出についての基礎を固める結果となった。一方、金属量のヒストグラムは低金属量の活動銀河核が非常に少ないことも明らかにした。我々のSDSS データサンプルは非常に大質量な母銀河を持つ天体に偏っており、このことは、低金属量でかつ大質量な母銀河は近傍宇宙ではほとんど存在していないことを示している。他の研究から、大質量な星形成銀河ほど高いガス金属量を持っていることが知られている。我々の結果は星形成銀河におけるこのような相関関係が活動銀河核においても成り立っていることを示唆している。

さらに我々は $HeI5876/H\beta$ 比に注目し、観測される $HeI5876/H\beta$ 比のばらつきを説明するには、 A_{W1} モデル以外のモデルでは、 $HeI5876/H\beta$ 比に従って著しい金属量勾配が必要であることを示した(Figure 4)。実際に金属量診断図から求めた各天体の金属量を基にこの勾配を測定したところ、モデルが要求する勾配がほとんど存在しないことがわかった。このことは A_{W1} モデルの描像が Seyfert 2s において重要な役割を果たしていることを示している。また一方で、これまでの全てのモデルでは多くの Seyfert 2型天体の高い $[OIII]4363/[OIII]5007$ 比を説明することができないことがわかった。非常に高い $[OIII]$ 比は、高密度ガスによる $[OIII]5007$ 輝線の衝突逆励起の結果だと考えられる。

そこで我々は新たに、非常に高密度なガス($\sim 10^7 \text{cm}^{-3}$)と通常の一定密度狭輝線モデルとの組み合わせのモデル(Murayama and Taniguchi 2000)を計算した。我々はこの高密度ガスからの寄与に敏感な輝線比診断図を新たに提案しモデルと観測点の比較を行った。その結果非常に大きな $[OIII]$ 比を持つ天体はこのモデルによってしか説明できないことを明らかにした。また、このような診断図上では Seyfert 2 と LINER がひとつの系列を作っており、Seyfert 2 と LINER の違いがひとつのパラメータ“高密度ガスからの寄与の違い”によって説明できることを示した(Figure 5)。また Nagao et al. 2001 は 1型 Seyfert と 2型 Seyfert の $[OIII]$ 比について、このモデルを用いて調査した結果、それぞれ高密度ガスからの寄与が $\sim 20\%$ と $\sim 2\%$ 程度であることを示し、このような高密度ガスが遮蔽物質の内側に隠れているという考えに一致することを示した。これらの寄与の値は、我々のサンプルの典型的な Seyfert 2 と LINER の分布に一致している。LINER はしばしば 2型活動銀河核として分類されるが、一方でLINERのような低光度活動銀河核のうち約20%のスペクトル中に弱い非常に広い輝線成分が存在していることが報告されている(Ho et al. 1997)。LINER の $[OIII]$ 比が Seyfert 2 よりも系統的に大きいという結果は、多くのLINERの中心核は遮蔽されておらず、高密度ガスからの寄与が、遮蔽されている Seyfert 2 よりも大きくなっていることを意味するのかもしれない。

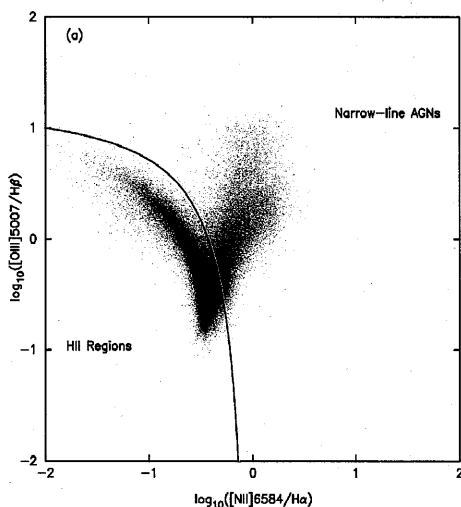


Figure 1

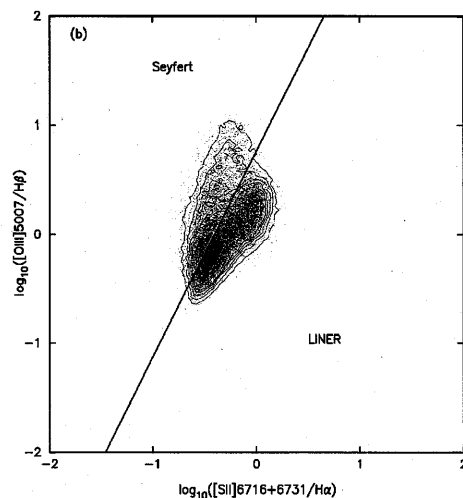


Figure 2

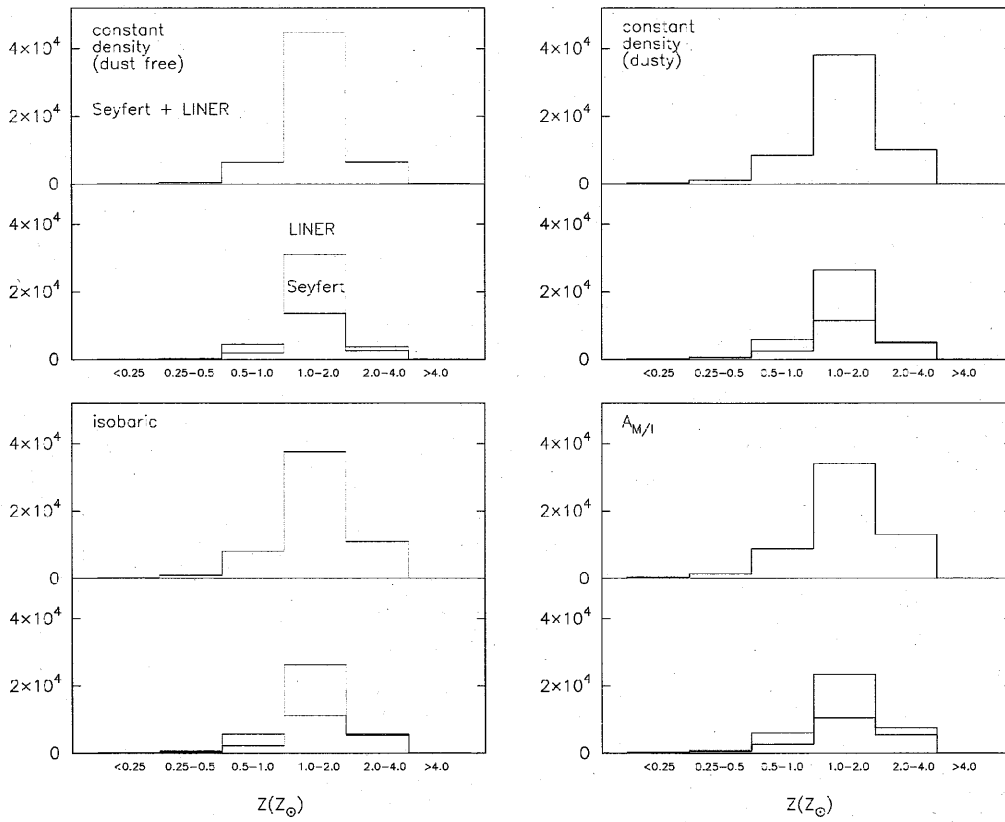


Figure 3

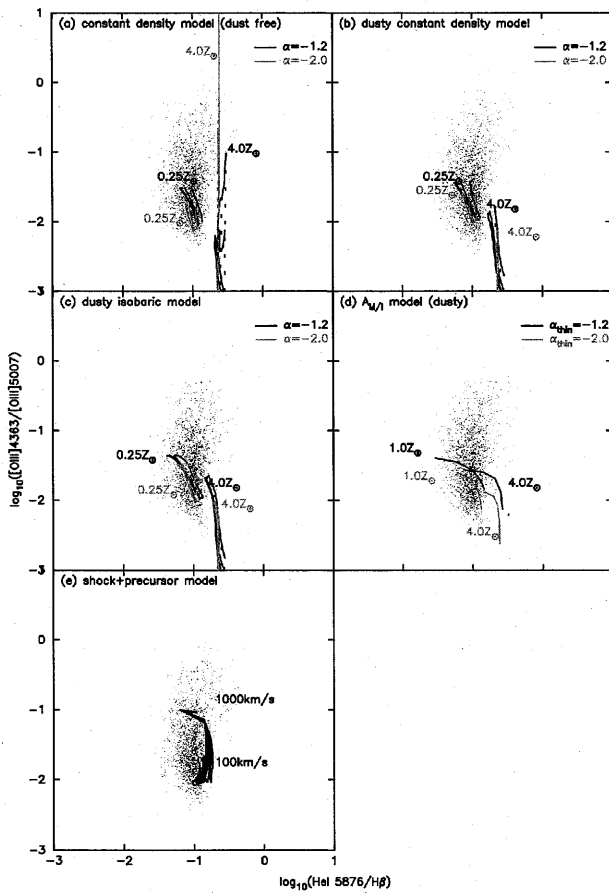


Figure 4

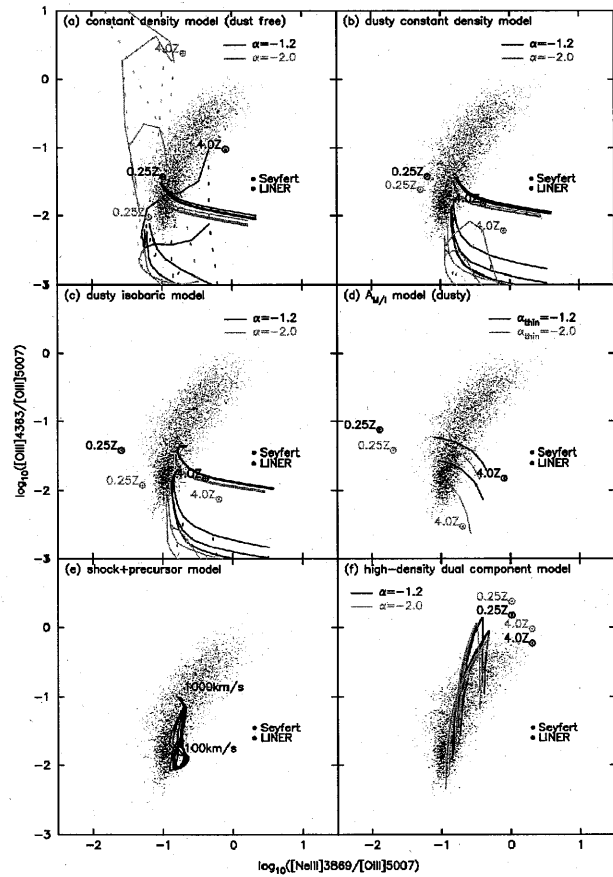


Figure 5