

「普通」の銀河の中心核：ライナーの正体

寺島 雄一

〈宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 〒229-8510 神奈川県相模原市由野台 3-1-1〉

e-mail: terasima@astro.isas.jaxa.jp

近傍銀河の約 1/3 はライナーと呼ばれる中心核をもちます。このライナーの正体については長年議論が続いていましたが、近年の観測から、ライナーの多くが巨大質量ブラックホールであり、質量供給が小さく放射効率が悪いために暗くしか輝くことができない活動的銀河核であることがわかってきました。これらは遠方に多数存在していた明るい活動的銀河核の進化の果ての残骸と考えることができます。ここでは、ライナーの理解に至る道程を最新の観測成果を交え紹介します。

1. はじめに

宇宙に数多く存在する銀河の数%程度は、活動的銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) として知られる非常に明るい中心核をもちます。クエーサーやセイファート銀河などが AGN の代表的なものです¹⁾。AGN は、中心にある巨大質量ブラックホールに物質が落ち込むときに解放する重力エネルギーで光っていると考えられています。では、このような非常に明るい中心核をもたない「普通」の銀河の中心は AGN と何が違うのでしょうか。明るい AGN は遠方 (赤方偏移 0.7-2) には多数存在していましたが²⁾、近傍にはほとんど存在していません。明るかった AGN はどこへ行ってしまったのでしょうか。

近傍の明るい銀河の中心核を調べてみると、約 1/3 という高い割合で「ライナー」と呼ばれる種類の活動性を示しています。この割合を見ると、ライナーは銀河の多くでごく普通に見られる現象で、その正体の解明は銀河中心核を理解する上で欠かせないことがわかります。それに、もしライナーが巨大質量ブラックホールならば、遠方の AGN の進化の終着点の候補になりますし、多くの銀河中心核に巨大ブラックホールが存在を示す

ことごとにもなります。いずれにしても AGN や中心核ブラックホールの形成や進化とも密接に関わった存在だと言えるでしょう。

ライナーの名前の由来は、英語の Low Ionization Nuclear Emission-line Region (低電離中心核輝線領域) の頭文字をとったもの (LINER) ですが、この名前だけからはその正体はよくわかりませんし、教科書などにもまだ十分な記述がありません^{3), 4)}。実際、ライナーの多くが光度の小さい AGN (巨大質量ブラックホール) であって、遠方で明るかった AGN の進化の成れの果ての姿であろうということが理解されたのは、つい最近のことです。そこでこの記事では、ライナーの発見以来、理解されるに至るまでの道筋を、私たちの研究成果を交えて紹介したいと思います。

2. ライナーとは

可視光の分光は天体の性質を理解する基本的な道具で、活動銀河の分類に使われます。銀河中心核の活動性は、複数の可視光の輝線の強度比を使って、主にライナー、セイファート、HII 中心核 (HII 領域と同じようなスペクトルを示す銀河中心核) の三つに分けられます。Sylvain Veilleux と Donald Osterbrock によって考え出され

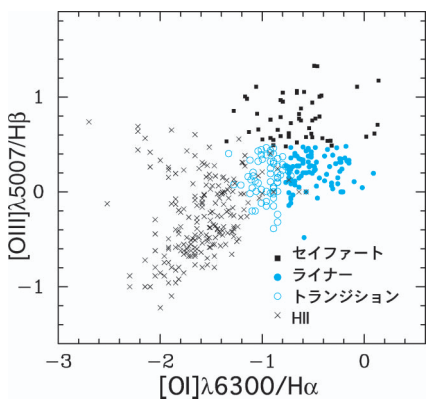


図1 可視輝線強度比を使った銀河中心核活動性の分類

た、窒素 $[NII]\lambda 6583$, 硫黄 $[SII]\lambda\lambda 6717, 6731$, 酸素 $[OI]\lambda 6300, [OIII]\lambda 5007$ などの輝線強度比をプロットしたダイアグラムによる分類が広く使われています⁵⁾。図1はその一例です。HII 中心核では電離度の低いガスからの輝線 ($[OI]$, $[NII]$, $[SII]$) は弱く、セイファートでは電離の進んだ輝線 ($[OIII]$ など) も低電離ガスからの輝線も強く見られます。

これらに加えて近傍銀河中心核の観測から、低電離ガスからの輝線 ($[OI]$, $[OIII]\lambda 3727$ など) を強く示し、もう少し電離の進んだ輝線 ($[OIII]$) が弱いという特徴をもつ中心核が存在することがわかりました。この特徴は、セイファートとも、星によって電離されている HII 領域とも異なる新しいものです。Timothy Heckman らは、90 個の近傍銀河の中心核の可視光スペクトルを取得し、1/3 という高い割合の銀河にこのような正体不明の電離ガスが存在することを見つけ「低電離中心核輝線領域」(ライナー) と名づけました⁶⁾。明るい AGN をもたない「普通」の銀河の中心核を系統的に観測することで、新しい種類の活動性が広く存在していることが発見されたのです。

それではこの新しい活動性の正体は何なのでしょう。いろいろと調べてみると、ほぼ間違いなく、セイファートに分類されるものは AGN

で、HII 中心核は若い星の集団です。ところが、ライナーに特徴的な輝線スペクトルはさまざまなモデルで再現できてしまうため、ライナーの正体についてはいろいろなアイデアが出され論争が続いていました。主なアイデアには、高温の星による電離、低光度の AGN による電離、衝撃波による加熱などがありました⁷⁾。星または AGN による電離でも電離パラメーターが小さい場合にはライナーのスペクトルを説明することができます。ここで電離パラメーターはガスの量 (原子の数) に対して電離光子がどれほどたくさんあるかを示す指標です。また、超新星爆発などによって衝撃波が起こっても、ライナースペクトルが観測されます。例えば、爆発的な星生成を行っている銀河 (スターバースト銀河) で次々に超新星爆発を起こし、高温のガスが銀河の短軸方向に吹き出す超銀河風という現象がありますが、スペクトルだけをとって見るとライナーのように見えます。

このように可視光スペクトルだけからはライナーの正体には決着がつかず、議論が続いていました。1990 年代中頃にパロマーサーベイという大規模なサーベイの結果が発表され、ハッブル宇宙望遠鏡や日本の「あすか衛星」など新世代の装置による観測が行われることで、ライナーの理解が一気に進みます。

3. パロマーサーベイ

1980 年代に入ると Heckman たちよりも大きな規模の銀河中心核可視分光サーベイ「パロマーサーベイ」が行われました。このサーベイは質・量ともに優れたもので、近傍銀河中心核を語る上で誰もが参照するスタンダードになっています。Alexei Filippenko と Wallace Sargent はパロマー 5 m 望遠鏡を使って、12.5 等級 (B バンド) より明るい北天の銀河 480 個すべての中心核のスペクトルを観測するという、1980 年代初頭としてはかなり大規模な観測を行いました⁸⁾。なかには明るいセイファート銀河やスターバースト銀河も含ま

れていますが、ほとんどは激しい活動性を示さない普通の銀河でした。そのため、輝線スペクトルが存在してもかなり弱く、定量的な測定には銀河の星成分差し引きなど非常に注意深い解析が必要とされました。この結果が Filippenko のグループにいた Luis Ho の博士論文としてまとめたのは 1995 年⁹⁾、シリーズの論文として出版されたのは 1997 年のことでした¹⁰⁾。この結果がパロマーサーベイとして広く知られているものです。

このサーベイで重要な結果は、まず明るい銀河の 9 割が何らかの中心核活動性を示すとわかったことです。およそ 19% がライナー、11% がセイファート、42% が HII 中心核、13% がライナーと HII 中心核の中間（トランジション天体と呼ばれる）に分類されました¹¹⁾。もう一つの重要な発見はライナーの 23% から AGN で見られるような幅の広い（半値幅 $2,000 \text{ km s}^{-1}$ 以上）輝線成分が見つかったことです¹²⁾。この幅の広い輝線の存在は強い重力場の中をガスが高速で運動している状況を示唆するもので、AGN 説の有力なサポートになりました。なお、このような幅の広い輝線をもつものを 1 型、幅の狭い輝線（半値幅 500 km s^{-1} 程度）のみを示すものを 2 型と呼びます。

4. 「あすか」衛星の活躍：AGN 放射の発見

AGN 探索の強力な武器と言えば X 線です。ブラックホール近傍の重力ポテンシャルの深い領域から放射される、高エネルギー光子の検出は、AGN 存在の非常に強い証拠になります。「あすか」以前には「アイنشユタイン」衛星や「ローサット」衛星などで軟 X 線によるライナーの観測が行われており、一部については AGN 起源と思われる X 線放射が観測されていました。ところが、これら軟 X 線では AGN 以外にも銀河に付随する温度 1 keV (1 千万度) 程度の高エネルギーガスの寄

与があったり、AGN があっても吸収を受けていると軟 X 線では暗くなって検出が難しい、などの問題がありました。日本の「あすか」衛星は、 10 keV までの硬 X 線で初めて撮像観測ができること、それまでになかった高いエネルギー分解能（鉄輝線付近で $\Delta E/E \approx 2\%$ ）の分光ができることで、AGN 成分を信頼性高く分離し検出することができるようになりました。打ち上げ初期から、比較的有名なライナーの観測が行われ、AGN の存在を示す非常に強い証拠を次々に出すことができました。例えば、水メーザーを用いて精密にブラックホール質量が測定されたことで有名な NGC 4258¹³⁾ からは、強い吸収を受けた（水素柱密度 10^{23} cm^{-2} ）低光度 AGN ($2\text{--}10 \text{ keV}$ バンドで $4 \times 10^{40} \text{ erg s}^{-1}$) からの X 線放射が発見されました¹⁴⁾、*1。この吸収を受けた X 線スペクトルはセイファート 2 型銀河とそっくりなものでした。ほかにも、ライナーに AGN と考えられる X 線放射が次々に見つかってきました。これらの「あすか」による初期成果は、1995 年から 1996 年に行われた AGN 関連の国際研究集会で Peter J. Serlemitsos, 牧島一夫や筆者らによって発表され、これまで 10 年のライナーの観測の中で最も重要な結果であるとも評されました。

5. ライナーの正体

5.1 「パロマー」以降の観測

このころまでは、比較的有名な天体や過去の観測から X 線で明るいことがわかっているものなど、AGN が潜んでいそうなライナーの観測が多くなされていました。筆者はこのような観測だけが続けていてもライナーの全体像はわからず、AGN に偏らない方法でサンプルを構築し、観測することが絶対に必要だと考えていました。そのころはパロマーサーベイの結果が出そろったが、出版はまだ、という状況でした。そこで、その

*1 最近では NGC 4258 はセイファートに分類されています。ライナーとセイファートを定義する輝線強度比は連続的に分布しますので、セイファート/ライナーに意味のある厳密な境界があるわけではありません。

データをもっていた Luis Ho と組んで、出版前の可視光データを元にサンプルを作り、「あすか」による観測を進めていきました。基準は単純で、 $H\alpha$ で明るい（フラックスが大きい）ものを観測していくというものでした。選んだライナーの中には、過去に軟 X 線による観測があって、必ずしも明るくないものもありましたが、そういうものをあえて観測することで、AGN ではないライナーや、視線上の物質による吸収が大きいために軟 X 線では暗いが硬 X 線では明るく見える隠された AGN などが見つかってくるだろうと考えました。

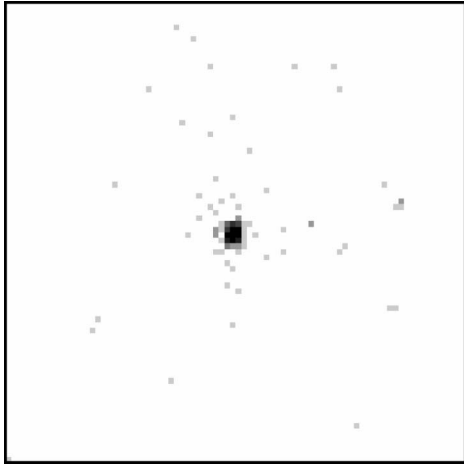
筆者たちはこのように選んだライナーと、ライナーと比較するための低光度のセイファートの「あすか」による観測を少しずつ進め、アーカイブデータも含め「あすか」で観測されたライナー 21 個と、比較のための低光度のセイファート（有名なセイファート NGC 4051 よりも低光度な $H\alpha$ 光度が $10^{40.5} \text{ erg s}^{-1}$ 以下のもの）17 個を系統的に解析しました^{15), 16)}。どれだけのライナーが AGN であるかを調べるうえで注意が必要なのは、硬 X 線放射が検出されたからといって必ずしも AGN ではないことです。例えば、銀河には X 線連星も多数存在しているのでそれらと AGN を区別しなければなりません。そのために、X 線スペクトルが AGN から期待されるべき関数型であること、X 線強度の時間変動が見られること、2 keV 以上での X 線像の広がりが点源と矛盾がないこと、可視光の明るさから予測されるその銀河全体からの X 線連星の光度よりも観測された光度が大きいこと、光度の大きい AGN で成り立つ X 線光度と $H\alpha$ 光度の相関が成り立つこと、などの観点で AGN を選び出していきました。必ずしもすべての条件を単純にあてはめたわけではなく、一つ一つデータを丁寧に眺めて判断していきました。光度の大きい AGN で成り立つ性質が低光度でも成り立つかどうかは自明ではないので、これらの選択基準が妥当かどうかを確かめながらの作業でし

た。その結果、(1) 1 型ライナーのほとんどが低光度 AGN と考えられること、(2) 2 型ライナーの一部は低光度 AGN であり、一部は星による電離が顕著であること、を突き止めました。以下では、チャンドラ衛星によるデータを使ってこの結果を見ていきます。

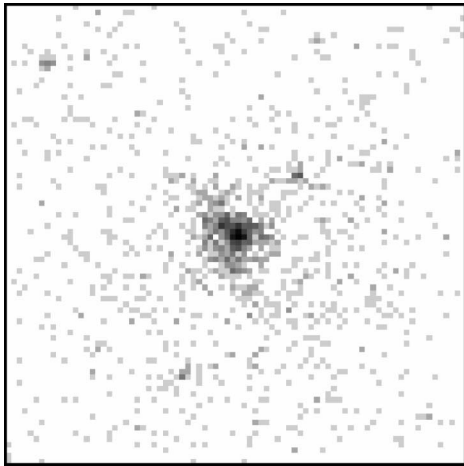
5.2 AGN と星と

図 2 は「あすか」で低光度 AGN であることがわかった 1 型ライナー NGC 4450 と、星が電離源であることがわかった 2 型ライナー NGC 4457 を、「あすか」よりもおよそ 2 桁空間分解能力が良い「チャンドラ」で撮影した X 線像です。NGC 4450 は X 線中心核があり、それ以外にははるかに暗い X 線源しかありません。一方、NGC 4457 は中心付近に広がった高温ガス（温度 0.7 keV）からの放射が支配的で、中心核は非常に暗く、可視光の明るい輝線を説明するのに十分な量の電離光子を供給できません¹⁷⁾。その他の多くの銀河についても、「チャンドラ」のデータによって「あすか」のデータに基づいた結論が確認されてきています¹⁸⁾⁻²⁰⁾。

図 3 は、2-10 keV の中心核 X 線光度と $H\alpha$ 光度の関係をセイファートとライナー、それぞれ 1 型と 2 型に分けて示したものです。過去に観測された光度の大きい AGN ($10^{42-46} \text{ erg s}^{-1}$)²¹⁾ とトランジション天体も示してあります。「あすか」と¹⁵⁾ その後の「チャンドラ」の観測で本質的に全く同じ結果が得られたので、ここでは最新の「チャンドラ」のデータ（87 個からなるサンプル）を示します。X 線光度は、X 線スペクトルなどから吸収量が決定できるものについてはそれを補正した値、そうでない場合は観測されたままの値を使っています。 $H\alpha$ 光度は幅の広い成分と狭い成分の和です。まず、ライナー中心核の X 線光度は $10^{37-42} \text{ erg s}^{-1}$ とこれまでに知られていた普通の AGN よりもはるかに暗いことがわかります。また、セイファート中心核もライナーと同じ程度に、暗いものが多数あります。このことは、ライ



(a)



(b)

図2 チャンドラによる、1型ライナー NGC 4450 (a) と2型ライナー NGC 4457 (b) の 0.5–8 keV での中心核周りの X 線像。一辺は 40 秒角 (約 3.3 kpc)。NGC 4450 では明るい中心核が卓越しているが、NGC 4457 は広がった高温ガスからの放射が支配的。

ナーとセイファートの違いは光度以外の条件（電離ガスの密度や電離源からの距離など）によって作られていることを示唆しています^{22), 23)}。

次に、光度の大きい AGN に対して成り立つ X 線光度と H α 光度の相関が多く、1 型ライナーと 1 型低光度セイファート、さらには一部の 2 型ライナーと 2 型セイファートに対して成り立っている

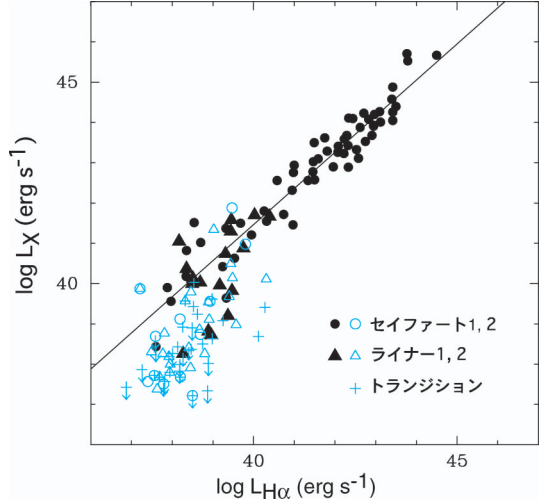


図3 2–10 keV X 線光度と H α 光度の関係。ハッブル定数を 75 km s⁻¹ Mpc⁻¹ としている。

ることがわかります。上に述べたような他の観測的特徴も加味すると、これら X 線光度と H α 光度の相関が成り立っているものは AGN といってよさそうなものばかりです。また、この相関よりも X 線で暗いライナーやセイファートが、特に 2 型に多くあります。これらの正体には 2 通りの可能性があります。一つは、これらのライナー/セイファートの電離源は AGN であるが、視線上の物質による吸収が非常に大きい（水素柱密度 10²⁴ cm⁻² 以上）ため、10 keV 以下の X 線では非常に暗く見えているというものです。もう一つは、AGN 以外の電離源が存在しているという考え方です。現在ある X 線データの質からはこれら二つの可能性はほとんど区別できません。

X 線で暗い 2 型ライナーのいくつかはハッブル宇宙望遠鏡 (HST) によって紫外線で観測されています。スペクトルが得られているいくつかは、AGN とは全く異なる温度の高い星の特徴を示し、AGN 以外の電離源が疑いなく存在しているようです²⁴⁾。ただ、残念ながらライナーの大部分 (3/4 程度) は紫外線で全く検出できておらず²⁵⁾、ライナーの正体の特定に強力な紫外線スペクトルは得られません。ただ、可視光のスペクトル

ルを見ると若い高温度星の兆候が見られるものは少ないので、X線で暗い2型ライナーのすべてを星だけで説明することは難しいでしょう²³⁾。

6節で述べるように電波干渉計による観測が進み、AGNに特徴的な輝度温度が高い($T_B > 10^7$ K)電波コアがたくさんライナーから見つかっています。2型ライナーの38%がこのような電波コアをもち、多くにAGNが存在することがわかります。ただし、AGNが存在するとしてもX線で暗すぎて可視光の光度が説明できないという問題は残ります。そこでX線で暗いライナーの可視光のスペクトルを見直してみると、ライナーに特徴的な低電離輝線([O I] など)がライナーとしては弱めで、星による電離も重要な役割をしていることが示唆されます。これらを総合的に考えるとX線で暗い2型ライナーはAGNと同時にAGNそれ以外の電離源とを両方もつものが多く、一部はAGNがなく、星だけで電離していると考えられそうです。

5.3 近傍銀河中心に潜む巨大質量ブラックホールの起源

最近ではすべてのバルジをもつ銀河の中心には巨大質量ブラックホールが存在すると考えられるようになってきました。その強い根拠になっているのは、銀河の中心部でのガスや星の運動からブラックホール質量が測られている観測例が増えてきたこと、そうやって求めたブラックホール質量が母銀河の性質(バルジの光度や星の運動の速度分散など)とよく相関していることでしょう。ただ、HSTなどで中心核ブラックホール質量を直接測定することができる銀河の数はそれほど多くありません。近傍に多数存在するライナーの多くがAGNであることは、銀河中心核にブラックホールがかなり普遍的に存在することの傍証にもなっています。

さて、ライナーやセイファートがもつ低光度のAGNのブラックホール質量は、明るいAGNのそれと比べて小さいのでしょうか。栗木久光と筆

者らは、「あすか」のデータを用いていくつかの低光度AGNについて、林田 清らによって考案されたX線強度変動を用いたブラックホール質量の推定²⁶⁾を行いました。その結果得られたブラックホール質量の下限值 10^{6-8} 太陽質量は、光度の大きいAGNのブラックホール質量(10^{6-9} 太陽質量)と同じ程度で、決して質量が小さいわけではないことを示しました²⁷⁾。「ブラックホール質量-速度分散関係」²⁸⁾などの方法によってブラックホール質量を推定しても同様に小さくない質量が得られます²⁹⁾。AGNの光度は質量降着率(ブラックホールへの燃料供給)で決まるので、低光度AGNは巨大質量ブラックホールが存在しているにもかかわらず、質量降着率が小さいために明るく輝けない状況であると考えられます。遠方(=過去)には巨大質量ブラックホールを持ち明るく輝くAGNが多数存在していましたが、近傍(現在)には明るいAGNはほとんど見られません。すなわち、現在の宇宙には遠方の巨大質量ブラックホールの残骸が残っているはずですが、近傍に多数存在する低光度AGNが巨大質量ブラックホールを持つという結果は、遠方の明るいAGNが、近傍の低光度でしか輝かない巨大質量ブラックホールへ進化していったという描像を示唆するものです。伊予本直子らによるセイファート銀河M81のX線強度変動の解析からも、同様の結論が得られています³⁰⁾。今後、近傍でのAGN光度関数(ある光度範囲にあるAGNの数密度)などを低光度まで評価し、遠方のAGN光度関数と比較することで、この描像をより定量的に検証することができるでしょう²⁹⁾。

6. 最近の進展

パロマーサンプルについて、さまざまな多波長追観測が行われてきましたが、上で述べたHST、「あすか」や「チャンドラ」以外にも米国の電波干渉計VLAやVLBAを用いた追観測が行われてきています。例えば、Neil Nagarらは、波長2 cmで

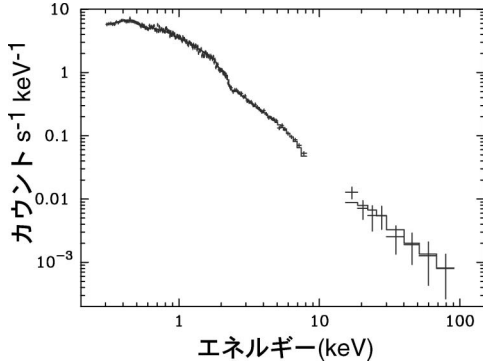


図4 XMM ニュートン衛星と BeppoSAX 衛星による1型ライナー NGC 3998 のX線スペクトル。簡単のため、ニュートンの CCD 検出器 (10 keV 以下) と BeppoSAX の硬 X 線検出器 (15 keV 以上) だけを示してある。スペクトルは光子指数 1.9 のべき関数 (実線) で表され、鉄輝線 (6.4 keV) は全く見られない。

ライナーの約半数から輝度温度の高い ($T_B > 10^7$ K) 電波コアを検出しており、ライナーの多くが AGN であることを示しています³¹⁾。もちろん、検出限界以下の明るさの AGN もあるでしょうから、この割合は AGN 存在の下限値と考えられます。Mercedes Filho らによるトランジション天体に着目した研究によると、電波コアの検出率は 25% 程度とライナーに比べると低く、AGN 以外の電離源をもつものが多いようです³²⁾。

多波長観測でライナーの正体を調べる観測と並行して、低光度 AGN の性質を調べる観測も行われてきています。このような低光度の AGN では非常に放射効率の悪い降着円盤³³⁾をもつと考えられています。そのような系の物理を探る試みも多数行われています。図4は Andrew Ptak と筆者らによる XMM ニュートン衛星と BeppoSAX 衛星で得られたライナー NGC 3998 の X 線スペクトルです。光度の大きい AGN では、べき関数型のスペクトルと、それが光学的に厚い降着円盤によるもので反射された成分 (30 keV 付近をピークとする連続 X 線と 6.4 keV の蛍光鉄輝線) とが重

なって見えますが、このライナーではそのような特徴は一切見られず 0.2–100 keV の広いエネルギー範囲で単純なべき関数をしています³⁴⁾。また、光度の大きい AGN は、紫外線を明るく放射していて、それは光学的に厚い降着円盤によるものと考えられています。低光度 AGN ではそのような成分は見られていません³⁵⁾。これらの結果は、光学的に厚い降着円盤が中心核の周りに存在していないことを示しており、ライナーの降着円盤が光学的に薄く放射効率が悪い降着円盤という描像と非常によく一致しています。また、X 線と電波の明るさを比較すると、低光度 AGN は X 線で暗いわりに電波ジェットが明るく、放射効率の悪い円盤が効率的なジェット形成に密接に関わっていることが示唆されています²¹⁾。

7. ま と め

パロマーサーベイの結果を元に多波長観測が精力的に進められた結果、ライナーの正体はほぼ明らかになったと言ってよいでしょう。ライナーの多く (半分かそれ以上) は低光度の AGN であり、2型ライナーには AGN 以外の電離源をもつものも多いということがわかってきました。X 線コアと電波コア両方の存在が AGN 存在の強い証拠になっています。セイファートにもライナーと同じ程度の光度をもつ低光度のものがたくさん存在し、ライナーと低光度セイファートの違いは AGN 光度というよりは、電離ガスの密度や分布などに起因しているようです。

ライナーをめぐるはまだいくつかの課題も残されています。今後は、低光度 AGN の降着円盤とジェットの物理の全貌を理解すること、なぜ AGN への燃料供給が少ないのかを理解すること、光度やブラックホール質量を統計的に調べ遠方の AGN との関係を定量的に理解することを通じ宇宙の中でのライナーの役割を明らかにすることが望まれます。

謝 辞

本稿は多くの方との共同研究や議論に基づいています。Luis C. Ho, Richard F. Mushotzky, Andrew F. Ptak, Peter J. Serlemitsos, Andrew S. Wilson, Tahir Yaqoob, 栗木久光, 伊予本直子, 國枝秀世, 牧島一夫の各氏をはじめ共同研究者の方々と、本稿の執筆を助めていただいた今西昌俊氏に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 谷口義明, 2004, クェーサーの謎, ブルーバックス B-1458, 講談社
- 2) 上田佳宏, 2005, 天文月報 98, 99
- 3) Peterson B. M., 1997, An Introduction to Active Galactic Nuclei (Cambridge Univ. Press, Cambridge)
- 4) Krolik J. H., 1999, Active Galactic Nuclei—From the Central Black Hole to the Galactic Environment (Princeton Univ. Press, Princeton)
- 5) Veilleux S., Osterbrock D. E., 1987, ApJS 63, 295
- 6) Heckman T. M., 1980, A&A 87, 152
- 7) Filippenko A. V., 2003, Proc. of “Active Galactic Nuclei: From Central Engine to Host Galaxy,” eds. Collin S., Combes F., Shlosman I. (ASP, San Francisco), p. 369
- 8) Filippenko A. V., Sargent W. L. W., 1985, ApJS 57, 503
- 9) Ho L. C., 1996, PASP 108, 637
- 10) Ho L. C., Filippenko A. V., Sargent W. L. W., 1997, ApJS 112, 315
- 11) Ho L. C., Filippenko A. V., Sargent W. L. W., 1997, ApJ 487, 568
- 12) Ho L. C., et al., 1997, ApJS 112, 391
- 13) Miyoshi M., et al., 1995, Nature 373, 127
- 14) Makishima K., et al., 1994, PASJ 46, 77
- 15) Terashima Y., Ho L. C., Ptak A. F., 2000a, ApJ 539, 161
- 16) Terashima Y., et al., 2002, ApJS 139, 1
- 17) Terashima Y., et al., 2000b, ApJ 533, 729
- 18) Ho L. C., et al., 2001, ApJ 549, L51
- 19) Eracleous M., et al., 2002, ApJ 565, 108
- 20) Terashima Y., Wilson A. S., 2003, ApJ 583, 145

- 21) Ward M., et al., 1988, ApJ 324, 767
- 22) Pogge R. W., et al., 2000, ApJ 532, 323
- 23) Ho L. C., Filippenko A. V., Sargent W. L. W., 2003, ApJ 583, 159
- 24) Maoz D., et al., 1998, AJ 116, 55
- 25) Barth A., et al., 1998, ApJ 496, 133
- 26) Hayashida K., et al., 1998, ApJ 500, 642
- 27) Awaki H., et al., 2001, PASJ 53, 647
- 28) Tremaine S., et al., 2002, ApJ 574, 740
- 29) Ho L. C., 2004, Proc of “Coevolution of Black Holes and Galaxies,” ed. Ho L. C. (Cambridge Univ. Press, Cambridge)
- 30) Iyomoto N., Makishima K., 2001, MNRAS 321, 767
- 31) Nagar N. M., et al., 2005, A&A, in press
- 32) Filho M. E., et al., 2004, A&A 418, 429
- 33) 嶺重慎, 加藤正二, 1996, 天文月報 89, 388
- 34) Ptak A., et al., 2004, ApJ 606, 173
- 35) Ho L. C., 1999, ApJ 516, 672

Nuclei of “Normal” Galaxies: The Nature of LINERs

Yuichi TERASHIMA

Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara, Kanagawa 229-8510, Japan

Abstract: About a third of nearby galaxies host a nucleus known as a LINER. The nature of LINERs has been under debate since their discovery. Recent observations have shown that most LINERs are supermassive black holes shining at a very low luminosity due to a lack of fuel and low radiative efficiency. These are strong candidates for relics of luminous active galaxies shone in the past. In this article, I review our present understanding of LINERs in the light of current observations.