

## 活動銀河核の電波強度の違いを生み出す構造の観測的研究

中尾 光

はじめに

本講演は、北海道大学 1.6 m 光学赤外線望遠鏡に搭載するために、現在開発中の可視撮像分光装置 NaCS を用いた観測計画の紹介である。そのため、本講演には結果、議論、結論はありません。夏の学校では、観測計画を紹介することで参加者との議論を行うことができ、同じような研究を行っている学生と知り合うことができた。

### Introduction

#### 活動銀河核 (AGN)

銀河の中には中心のごく狭い領域からその銀河全体に匹敵する莫大なエネルギーを放射している天体があり、活動銀河核(active galactic nucleus; 以下 AGN)と呼ばれている。AGN の光度は  $10^9$ — $10^{15}$  太陽光度(= $10^{35}$ — $10^{41}$  W)であり、この莫大なエネルギーの供給源は中心核に存在する超大質量ブラックホールへの質量降着であると考えられている。

AGN には高い光度以外の共通の特徴として、電波から X 線までの広い波長域にわたる放射と、全ての波長域での激しい変光が観測されている。また、可視のスペクトル中に幅の広い輝線(速度幅~500—10000 km/s)と幅の狭い輝線(速度幅~200—900 km/s)の両方が観測されるものと幅の狭い輝線のみしか観測されないものがあり、前者は 1 型、後者は 2 型と分類される。その他にも可視光光度や電波強度の大きく異なる様々なものが発見されており、AGN には多くの種類が確認されている。

現在では、1 型と 2 型の違いは我々が銀河中心を見込む角度の違いによって幅の広い輝線を出す領域が我々から隠されていることによる見かけの違いと解釈されており、1 型と 2 型は本質的には同じものだと考えられている(Osterbrock 1978)。そして、AGN には電波強度と可視光光度の 2 つの本質的パラメータがあり、この 2 つのパラメータと見込み角によって AGN の多様な特徴を統一的に説明する AGN の統一モデルが提唱されている(Antonucci 1993)。

#### AGN の構造

図 1 に統一モデルによる AGN の中心構造の模式図を示す。AGN は中心に  $10^7$  太陽質量以上の超大質量ブラックホールがあり、その周囲に降着円盤が存在すると考えられている。降着円盤は中心からの距離に応じた温度分布をもち、内側の高温領域(半径

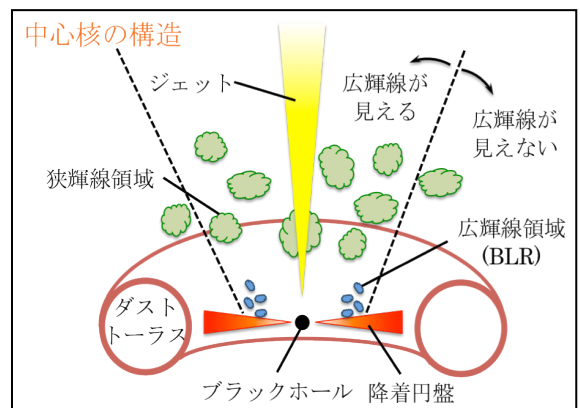


図 1: 中心核構造の模式図。観測される輝線の特徴は中心核を見込む角度により変化する。

≤0.01光年(1光年=9.5×10<sup>15</sup>m))から、可視からX線にわたる幅広いエネルギー範囲の連続光が放射されている。降着円盤の周囲のガスは、この連続光放射により電離、励起され、幅の広い輝線を放射する。この周囲のガスは様々な方向へ大きな速度を持って中心核周りを運動するガス雲からなっており、幅の広い輝線が観測される。そのためこのガスが広がる領域は広輝線領域(broad line region ; 以下BLR)と呼ばれる。BLRの半径は0.01—0.1 光年程度であり、このBLRが我々から直接見えるような方向から観測される天体が1型AGNと考えられる。線幅の狭い輝線しか観測されない2型AGNでは、BLRからの放射が周囲のダスト雲に隠されて直接観測できないものと解釈できる。線幅の狭い輝線を出すガスの領域である狭輝線領域(narrow line region ; 以下NLR)はこのダスト雲よりも外側にあると考えられている。NLRの広がりには100—1万光年程度である。ダスト雲は図1のようなトーラス状の構造をもっていると考えられているため、ダストトーラスと呼ばれ、サイズは内径が0.1—1 光年程度、外径が100 光年程度と考えられている。電波の強いAGNでは中心から電波ジェットが放射されている。

AGN の中心構造は現在の観測装置の最高分解能(1 ミリ秒角以下)でも空間分解して観測することができないため、その構造は完全には解明されていない。直接空間分解せずに構造を明らかにするための方法として AGN 光度の激しい時間変動を利用した方法が用いられている。

## 現状

AGNには電波強度の弱いものと電波強度の強いものの2つのグループが存在する。電波強度の弱いものと電波強度の強いものでは、電波強度が100倍以上異なり、全AGNのうち約1割が電波強度の強いAGNである。しかし、この電波強度の違いを生み出す要因はまだ分かっていない。その原因の1つはAGNの構造が分かっていないためである。

近年電波強度の強いAGNと電波強度の弱いAGNの構造の違いを中心のブラックホールへの質量降着率の違いにより説明するモデルが提唱された(Trump et al. 2011)。質量降着率が非常に低い場合、降着円盤の内側は幾何学的に厚くて光学的に薄い、放射不良降着円盤(radiatively inefficient accretion flow ; 以下RIAF)となる(Narayan & Yi 1994)。RIAFは放射による冷却が小さいため、円盤内のガス温度が10<sup>9</sup> Kから10<sup>12</sup> Kと、非常に高温になる。Trumpモデルでは電波の強いAGNの質量降着率は低く、降着円盤はRIAFをもつ。そしてRIAF内の高温ガスが電波ジェットの元になっていると考えられている。

## 問題点

Trumpモデルは電波強度の違いを生み出す構造の違いを説明できるが、直接分解して観測ができないために、観測的な検証はなされていない。モデルの検証のためには電波の強

い AGN に対して観測的に RIAF の有無を確認し、そのサイズを求めることが必要である。

### 解決法

電波の弱い AGN の BLR に関して、中心核からの距離と輝線の輝線幅との依存関係が観測的に示されている(Xu & Cao 2006)。Trump モデルでは電波の強い AGN は質量降着率が小さいために BLR が形成されないと考えているが、電波の強い AGN でもいくつかには幅の広い輝線が観測されている。そこで、複数の電波の強い AGN に対して BLR の位置と輝線幅を観測し、BLR の位置 対 輝線幅の依存関係を求める。RIAF は通常の降着円盤とは温度勾配が異なるため BLR ガスの速度構造が異なる。そのため、この依存関係が変化する距離が RIAF のサイズを示し、この依存関係がブラックホールの安定軌道付近まで変化しない場合には RIAF は存在しないことになる。

### 研究内容

図 2 は Trump モデルによる AGN の構造の概略図である。電波の強い AGN には RIAF が形成される。BLR は質量降着率が小さいほど降着円盤の内側に形成されるため、質量降着率の低い AGN の BLR は RIAF の影響を受ける可能性がある。図 3 は本研究で得られると予想される関係のグラフである。電波の強い AGN は電波の弱い AGN よりも BLR が内側に形成されると考えら

れるが、RIAF 領域での関係は①、②、③のいずれかの傾向を得られる

と考えられる。

- ① RIAF 領域外と同様の関係となる。
- ② RIAF 領域外とは異なる関係となる。
- ③ RIAF 領域に BLR が形成される

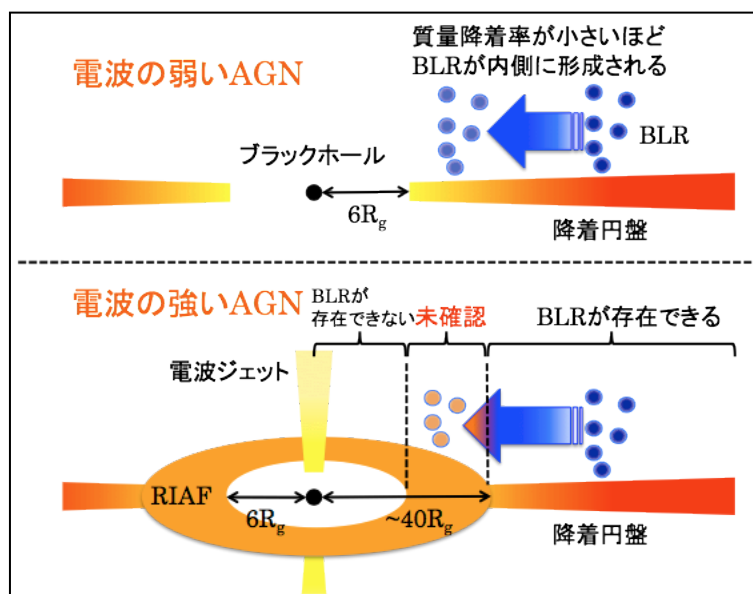
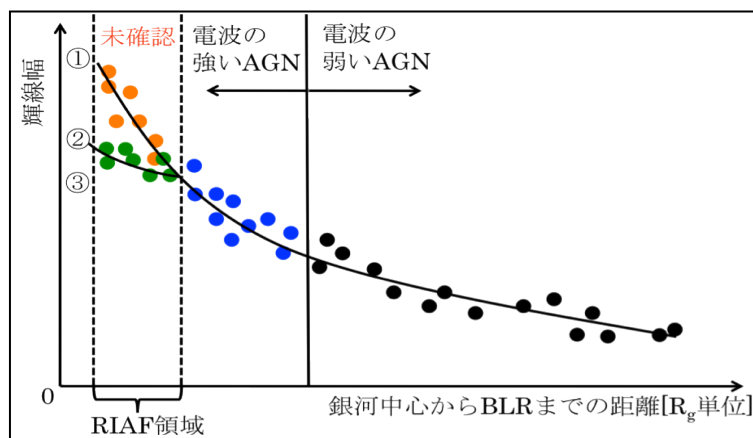


図 2: 予想される電波の弱い AGN と電波の強い AGN の構造。  $R_g$  はシュバルツシルド半径であり  $R_g = GM/c^2$  ( $G$ : 万有引力定数、 $M$ : ブラックホール質量、 $c$ : 光速)



天体が得られない。

この傾向は 10 天体程度の観測により判断ができる。①、②、③の場合について、それぞれ以下のことが示唆される。

① 電波の強い AGN にも RIAF は存在しない。

図 3: 電波の強い AGN で期待される結果のグラフ

② RIAF 領域の存在が質量降着率に影響している。

③ RIAF からは BLR が形成されない。

さらに②、③の場合はグラフの折れ曲がり起きる距離から、RIAF のサイズを求めることができる。また、①、②の場合は BLR までの距離の最小値から、降着円盤の内径の上限値を得ることができる。