

氏名・(本籍)	やまざき なおひろ 山 崎 尚 宏
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	理博第1931号
学位授与年月日	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院理学研究科(博士課程)天文学専攻
学位論文題目	Investigation of Low-Luminosity AGNs by Advection-Dominated Accretion Flow Model in Global Magnetic Field (移流優勢型大局磁場中降着流モデルによる低光度活動銀河核の研究)
論文審査委員	(主査) 教授 土佐 誠 教授 二間瀬 敏 史 助教授 鍋木 修

論 文 目 次

Abstract	.....i
Acknowledgments	.....ii
1 Introduction	1
1.1 Motivation	.....1
1.2 History of Accretion Models	.....2
1.2.1 Standard Disk Model	.....2
1.2.2 SLE Disk Model	.....3
1.2.3 Slim Disk Model	.....3
1.2.4 ADAF Models	.....3
1.3 Accretion Model Sequence on the $M-\Sigma$ Plane	.....5
2 Resistive-ADAF Model	8
2.1 Assumptions	.....8
2.2 Basic Equations of the resistive ADAF Model	.....10
2.3 Ordering by Δ and R_m	.....11
2.4 Self-Consistent Solution in The Resistive ADAF Model	.....12
2.5 Physical Quantities of The Resistive ADAF Model	.....14
2.6 Energy budget	.....15
2.7 Viscosity and Instabilities	.....16
3 Data	18
3.1 Mass of BH in AGNs	.....19

3.2	Flux Data	20
4	Spectral Fitting	34
4.1	Previous Works	34
4.1.1	Viscous ADAF Fitting	34
4.1.2	Resistive ADAF Fitting	39
4.2	Radiative Processes	41
4.2.1	Basic Assumptions	41
4.2.2	Synchrotron	42
4.2.3	Bremsstrahlung I	42
4.2.4	Bremsstrahlung II	44
4.2.5	Inverse-Compton Scattering	47
4.3	Scaling for AGNs	49
5	Results	50
5.1	Spectral Fitting by Resistive ADAF without Wind	50
5.1.1	NGC 3031 (M81)	51
5.1.2	NGC 4579 (M58)	52
5.1.3	NGC 4594 (M104)	55
5.1.4	NGC 4261	57
5.1.5	NGC 6251	59
5.1.6	NGC 1399	61
5.1.7	NGC 4472 (M49)	63
5.1.8	NGC 4486 (M87)	65
5.1.9	NGC 4636	67
5.1.10	NGC 4649 (M60)	69
5.1.11	NGC 4696	71
5.1.12	Mass-Accretion Rate Relationship	73
5.1.13	Mass-Magnetic Flux Density Relationship	73
5.1.14	Summery of Fitting by Resistive ADAF without Wind	76
5.2	Spectral Fitting by Resistive ADAF with Wind	78
5.2.1	Sgr A*	78
5.2.2	NGC 224 (M31)	83
5.2.3	NGC 4374 (M84)	87
5.2.4	NGC 4258	90
6	Discussion	93
6.1	Radial Dependence of Radiations	93
6.2	The Effects of Varying Parameters	95
6.2.1	Wind Parameter	95

6.2.2	Other Parameters	98
6.3	Uncertainty in Observed Data	103
6.3.1	Spatial Resolution	103
6.3.2	Time Variability	103
6.3.3	Other Uncertainty	104
6.4	Jet Component of Spectra	105
7	Conclusion	107
A	Gaunt Factor	109
B	Program for Spectra Calculation	115
C	References	125

論 文 內 容 要 旨

Many authors found black hole candidates at the center of galaxies which play an important role in radiation, not only in AGNs but also in nuclei of normal galaxies and low luminosity AGNs (hereafter LLAGNs). To understand the central engine of these objects, we compare the theoretically calculated spectra from the resistive ADAF model with the observational spectra of nearby LLAGNs and normal galactic nuclei in wide spectral range.

The resistive-ADAF model (RADAF) was produced by Kaburaki, and constructed as the self-consistent analytic solutions of non-ideal MHD equations in the case where an ordered global magnetic field existed. We deal with two versions of the RADAF; the RADAF without wind (no-wind-RADAF), and the RADAF with wind (wind-RADAF). These solutions are described mathematically, and fully advective accretion flow (the case of no-wind-RADAF). Therefore, RADAF is one type of advection dominated accretion flow (ADAF).

We fit the calculated spectra of the no-wind-RADAF model to the observed spectra of fourteen nearby LLAGNs and nuclei of normal galaxies. We can obtain the unique best fit parameter set for each object, if there are enough data points. The almost every set of best fit parameters and the resulting physical quantities are reasonable to the physical requirements of these LLAGNs and nuclei of normal galaxies. Moreover, there may be a negative correlation between the normalized black hole mass $m \equiv (M_{\text{BH}}/10^8 M_{\odot})$ and the normalized accretion rate $\dot{m} \equiv M(0.1c^2/L_{\text{Edd}})$, where L_{Edd} is the Eddington luminosity $L_{\text{Edd}} = 1.25 \times 10^{38} (M_{\text{BH}}/M_{\odot}) \text{ erg s}^{-1}$. There may be also negative correlation between m and the resulting magnetic flux density at the inner edge of the disk $|B_{\rho}(r_{\text{in}})|$.

Nevertheless, recent Chandra observations find that X-ray fluxes observed by ASCA and ROSAT are resolved to the sum of point sources. It means that, real central flux was contaminated by other radiative sources (Sgr A*, NGC 1399, 4258, 4374, and 4636). We should fit over again. In the case of Sgr A*, Chandra flux is lower than ROSAT flux about one order of magnitude, and gradient of the flux is softer than that of ROSAT. To fit the soft Chandra

data (gradient ~ -0.6 on the $\nu - \nu L \nu$ plane), we consider the very extended disk ($r_{\text{out}} \sim 10^5 r_{\text{BH}}$), and the effect of wind (wind-RADAF model). In this case, the wind is likely to be weak ($0 \leq n \leq 0.1$). Nevertheless, in the case of NGC 224, strong wind ($n \sim 0.5$) is needed to fit the very soft gradient of Chandra flux. We also fit the calculated spectra of the wind-RADAF model to the observed spectra of NGC 4258 and NGC 4374. The best fit parameters and the resulting physical quantities obtained by above four fittings are also reasonable to the physical requirements well as the case of no-wind-RADAF model except NGC 4374. In this case, resulting disk size exceeds 10 pc, hence this fitting is not good.

It follows from these results of spectral fittings that resistive-ADAF model is favorable to the various types of LLAGNs and nuclei of normal galaxies.

論文審査の結果の要旨

山崎尚宏提出の博士論文は、低光度活動銀河中心核から放射される電磁波スペクトルを移流優勢型大局磁場中降着流モデルによって解析したものである。著者は、電波からX線にわたるスペクトルが観測から得られている15個の低光度活動銀河核および通常銀河核に対して、観測されたスペクトルが移流優勢型大局磁場中降着流モデルによって再現できることを示し、モデルのパラメータを決定した。その結果、降着流がブラックホール半径の数千倍まで広がっていると考えて得られた中心ブラックホールの質量と降着流の内縁における磁束密度との間に負の相関がある事を見出した。

さらに、ごく最近になってX線衛星Chandraによって得られた、よりソフトなエネルギー領域の高空間分解能のX線観測 (SgrA*, M31, M84, NGC4258) に対して、ウインドを考慮した大局磁場中降着流モデルによる電磁波スペクトルの解析を行った。その結果、ソフトなX線スペクトルを制動放射で説明するためには降着流がブラックホール半径の10万から100万倍にまで広がっている必要があることが明らかになった (SgrA*, M31, M84)。特にスペクトルの傾きがソフトなM31については、強いウインドが吹いていて、中心へ行くほど降着率が減少している必要もあることも示された。さらに、もう一つの可能性として、観測されるX線スペクトルをシンクロトロン放射の逆コンプトン散乱として説明することも可能であることを示した (SgrA*, M31)。この場合、降着流はブラックホール半径の100から1000倍という狭い領域に収まるという結果が得られた。

これらの研究により、様々な種類の低光度活動銀河核および通常銀河核の活動とそのエネルギー源が移流優勢型大局磁場中降着流モデルによってよく理解できることが明らかにされた。また、この解析によって得られたモデルのパラメータと物理量は、これら銀河核の構造や物理過程を解明する上で極めて重要な情報となるものである。

以上のように、本論文は博士論文として適当であり、著者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、山崎尚宏提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。