

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：62616

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740127

研究課題名(和文) 大局的3次元輻射磁気流体計算によるブラックホール・アウトフローの構造と進化の研究

研究課題名(英文) Global Radiation-magnetohydrodynamics Simulations of Black-hole Outflows

研究代表者

大須賀 健(Ohsuga, Ken)

国立天文台・理論研究部・助教

研究者番号：90386508

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：ブラックホールを取り巻く降着円盤から噴出するアウトフローの大局的輻射磁気流体シミュレーションを実施した。レイリーテイラー不安定により、アウトフローは多数のガス雲に分裂することがわかった。また、相対論効果を考慮した新たな輻射磁気流体計算法の開発に成功した。この数値コードを用いてブラックホール近傍のシミュレーションを再実行し、輻射抵抗でジェットの色速度が抑えられることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We performed radiation-magnetohydrodynamics simulations of outflows launching from the black-hole accretion disks. It is found that the outflow fragments into many gas clouds due to the Rayleigh-Taylor instability. Also, we were successful in developing a novel numerical method for relativistic radiation-magnetohydrodynamics. By performing the simulations in the vicinity of the black hole with using the new code, we revealed that the jet velocity is reduced by the radiation drag.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：ブラックホール 降着円盤 ジェット 数値計算

1. 研究開始当初の背景

ブラックホール周囲のガス円盤からは、大量のガスが高速で噴出していることがわかってきた。これはブラックホール天体が示す光度変動やスペクトル変化の原因である可能性が高い。また、アウトフローは星間ガスと相互作用するので、母銀河の進化にも大きな影響が出ると考えられる。よって、アウトフローの形状とダイナミクスを解明することはきわめて重要な研究課題である。

2. 研究の目的

ブラックホール降着円盤からガスが吹き出すメカニズムはよくわかっていないが、輻射や磁場による力である可能性が高い。したがって、輻射流体力学計算が必須である。また、流れが高速でしかも流体不安定が起こると予想される。したがって、相対論効果を組み込み、高分解能な輻射磁気流体力学計算を行って、ブラックホール周囲のガス噴出現象を解明するのが目的である。

3. 研究の方法

円盤風は輻射流体力学的不安定により分裂する可能性がある。典型的なスケールは光学的厚みで決まるため、高密度円盤風の分裂を調べるためには非常に高い分解能が必要である。よって、高分解2次元輻射磁気流体シミュレーションを行う。一方、ブラックホール近傍のジェットでは相対論効果が重要となる。そこで相対論を組み込んだ輻射磁気流体力学シミュレーションを行う。

4. 研究成果

高分解能の輻射磁気流体シミュレーションにより、輻射圧で加速された円盤風が無数のガス雲に分裂することを解明した(図1)。線形解析による推測と、検証のための局所的なシミュレーションにより、輻射圧優勢状態でのレイリーテイラー不安定がその原因であることを突き止めた。

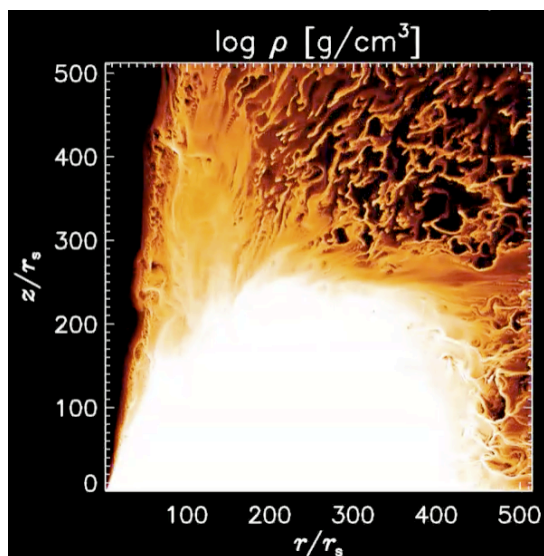


図1：クランピーアウトフロー

近年、超光度 X 線源の激しい光度変動や、活動銀河核の青方偏移した鉄の吸収線が発見されたが、原因はよくわかっていない。本研究で示したクランピーな円盤風は、まさにこれらの観測を解明する理論モデルである可能性がある。

また、ブラックホール近傍での高速な流れをより詳しく調べるため、特殊相対論効果をフルに取り入れた新たな数値計算法を開発した。大型並列計算機で性能を発揮できるような工夫も施した。一般相対論版も開発に成功し、近日、最初の成果が発表できる見通しである。

開発したコードでブラックホール周囲のガスの流れを調べた結果、輻射抵抗と呼ばれる相対論的な輻射流体力学効果により、ジェットの速度が従来の予測より抑えられることがわかった(図2)。

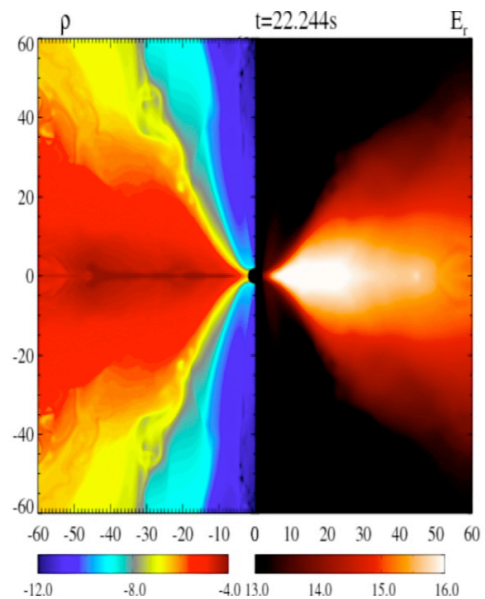


図2：輻射抵抗で減速されたジェット

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① Takahashi, Hiroyuki R.; Ohsuga, Ken, Radiation drag effects in black hole outflows from super-critical accretion disks via special relativistic radiation magnetohydrodynamics simulations, PASJ, in press, 査読あり, DOI:10.1093/pasj/psu145
- ② Hashizume, Katsuya; Ohsuga, Ken; Kawashima, Tomohisa; Tanaka, Masaomi, Radiation hydrodynamics simulations of wide-angle outflows from super-critical accretion disks around black holes, PASJ, in press, 査読あり,

- DOI:10.1093/pasj/psu132
- ③ Takeuchi, Shun; Ohsuga, Ken; Mineshige, Shin, Radiation hydrodynamic instability in a plane-parallel, super-Eddington atmosphere: A mechanism for clump formation, PASJ, 66, 48 (2014), 査読あり, DOI:10.1093/pasj/psu011
  - ④ Yang, Xiao-Hong; Yuan, Feng; Ohsuga, Ken; Bu, De-Fu, Two-dimensional Numerical Simulations of Supercritical Accretion Flows Revisited, ApJ, 780, 79 (2014), 査読あり, DOI:10.1088/0004-637X/780/1/79
  - ⑤ Kawashima, Tomohisa; Ohsuga, Ken; Usui, Ryuichi; Kawai, Nobuyuki; Negoro, Hitoshi; Matsumoto, Ryoji, Recurrent Outbursts and Jet Ejections Expected in Swift J1644+57: Limit-Cycle Activities in a Supermassive Black Hole, PASJ, 65, L8 (2013), 査読あり, DOI:10.1093/pasj/65.4.L8
  - ⑥ Takeuchi, Shun; Ohsuga, Ken; Mineshige, Shin, Clumpy Outflows from Supercritical Accretion Flow, PASJ, 65, 88 (2013), 査読あり, DOI:10.1093/pasj/65.4.88
  - ⑦ Takahashi, Hiroyuki R.; Ohsuga, Ken, A Numerical Treatment of Anisotropic Radiation Fields Coupled with Relativistic Resistive Magnetofluids, ApJ, 772, 127 (2013), 査読あり, DOI:10.1088/0004-637X/772/2/127
  - ⑧ Nomura, Mariko; Ohsuga, Ken; Wada, Keiichi; Susa, Hajime; Misawa, Toru, Modeling Line-Driven Disk Wind for Broad Absorption Lines of Quasars, PASJ, 65, 40 (2013), 査読あり, DOI:10.1093/pasj/65.2.40
  - ⑨ Takahashi, Hiroyuki R.; Ohsuga, Ken; Sekiguchi, Yuichiro; Inoue, Tsuyoshi; Tomida, Kengo, Explicit-Implicit Scheme for Relativistic Radiation Hydrodynamics, ApJ, 764, 122 (2013), 査読あり, DOI:10.1088/0004-637X/764/2/122

[学会発表] (計 13 件)

- ① 高橋博之, 大須賀健, 関口雄一郎, 川島朋尚, 一般相対論的輻射磁気流体計算で探る高降着円盤構造, 日本天文学会, 大阪大学 (大阪府豊中市), 2015 年 3 月 18-21 日
- ② 野村真理子, 大須賀健, 高橋博之, ラインフォース駆動型円盤風の示す時間変動, 日本天文学会, 大阪大学 (大阪府豊中市), 2015 年 3 月 18-21 日
- ③ 大須賀健, 高橋博之, 時間依存型輻射輸送方程式を解く特殊相対論的流体力学計算の新解法, 日本天文学会, 山形大学 (山

- 形県山形市), 2014 年 9 月 10-13 日
- ④ 野村真理子, 大須賀健, 高橋博之, 和田桂一, Ultra Fast Outflow のラインフォース駆動型円盤風モデル I: 流体シミュレーション, 日本天文学会, 山形大学 (山形県山形市), 2014 年 9 月 10-13 日
- ⑤ 高橋博之, 大須賀健, 超臨界降着円盤の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション, 日本天文学会, 山形大学 (山形県山形市), 2014 年 9 月 10-13 日
- ⑥ 野村真理子, 大須賀健, 和田桂一, 高橋博之, ラインフォース駆動型円盤風の輻射流体シミュレーションによる Ultra-fast outflow の起源の解明, 日本天文学会, 国際基督教大学 (東京都三鷹市), 2014 年 3 月 19-22 日
- ⑦ 高橋博之, 大須賀健, 超臨界降着流からのジェット/アウトフローの形成, 日本天文学会, 東北大学 (宮城県仙台市), 2013 年 9 月 10-12 日
- ⑧ 野村真理子, 大須賀健, 和田桂一, 高橋博之, 活動銀河核におけるラインフォース駆動型円盤風の輻射流体シミュレーション, 日本天文学会, 東北大学 (宮城県仙台市), 2013 年 9 月 10-12 日
- ⑨ 橋詰克也, 川島朋尚, 大須賀健, 輻射流体計算による超臨界降着流及び噴出流の大域的構造の研究, 日本天文学会, 東北大学 (宮城県仙台市), 2013 年 9 月 10-12 日
- ⑩ 竹内駿, 大須賀健, 嶺重慎, 超巨大ブラックホールからのクランピーアウトフロー: BLR クラウドの起源?, 日本天文学会, 埼玉大学 (埼玉県さいたま市), 2013 年 3 月 20-23 日
- ⑪ 野村真理子, 大須賀健, 和田桂一, 高橋博之, ラインフォース駆動型円盤風モデルによる活動銀河核吸収線の起源の解明, 日本天文学会, 埼玉大学 (埼玉県さいたま市), 2013 年 3 月 20-23 日
- ⑫ 大須賀健, 高橋博之, 相対論的輻射流体力学計算の新展開, 日本天文学会, 埼玉大学 (埼玉県さいたま市), 2013 年 3 月 20-23 日
- ⑬ 野村真理子, 大須賀健, 和田桂一, 須佐元, 三澤透, ラインフォース駆動型円盤風モデルによる BAL クェーサーの起源の解明; 星風理論の適用, 日本天文学会, 大分大学 (大分県大分市), 2012 年 9 月 19-21 日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:

番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大須賀 健 (OHSUGA KEN)  
国立天文台・理論研究部・助教  
研究者番号：90386508

### (2) 研究分担者

該当無し

### (3) 連携研究者

該当無し