

Subaru/CIAO/AOによる Sgr A* の近赤外線観測

西山 正彦 (京都大学 宇宙物理学教室, E-mail : shogo@kusastro.kyoto-u.ac.jp),

田村元寿 (国立天文台), 羽田野裕史 (名古屋大), 長田哲也 (京都大)

Rainer Schödel (Instituto de Astrofísica de Andalucía), Andreas Eckart (University of Cologne)

ABSTRACT

銀河系の中心にある巨大ブラックホール(SMBH) Sgr A* の近赤外線観測は、ブラックホール近傍の現象を探るために、また重要な物理量であるスピナパラメータを測定するために近年行われるようになった。本研究ではすばる望遠鏡と近赤外線カメラCIAOおよび補償光学システムAO36を用いてSgr A* のモニタリング観測を行った。3夜(2008/5/26-28)の観測すべてにおいて明確なフレアを検出することができた。非常に短時間(約6分)で上昇/下降するフレアは、ブラックホールの近傍(10×シュバルツシルト半径)で生じた現象を見ていることを意味している。また継続時間や変動幅において様々に異なるフレアが見られた。さらに、5/28のライトカーブを用いて周期解析を行った。その結果、従来主張されていた~20分の準周期的変動は見られなかった。

1. Introduction

◆ Sgr A*

銀河系の中心には、超巨大ブラックホール(SMBH) Sgr A* が存在する。その質量は約 $4 \times 10^6 M_{\odot}$ (Ghez et al. 2008, Gillessen et al. 2008)。距離は約8kpc、我々に最も近いSMBHである。またSgr A* はエディントン光度より 10^9 暗いという特徴をもつ。

2000年にX線で(Baganoff et al. 2001)、2003年に近赤外線(Genzel et al. 2003)フレア現象が検出されて以降、これらの波長での観測が盛んに行われるようになった。このふたつの波長域のフレアの特徴は、短時間(数分)の変動である。 $4 \times 10^6 M_{\odot}$ のBHのシュバルツシルト半径は $r_s = 1.2 \times 10^{10} \text{m} (0.08 \text{AU})$ 、光速で割ると40秒となる。つまり、X線や近赤外線のフレアはBH近傍($<10 r_s$)の領域を研究する手段となり得る。

◆ Quasi-periodic Variation of Sgr A*

BHには二つの物理量が存在する。質量と回転である(電荷は考えない)。質量は、Sgr A* を周回する星の軌道から精度良く決まっている。残る物理量であるBHのスピンを決めるために、X線や近赤外線の時間変動のデータが用いられている。

VLTによる近赤外線観測では、約20分周期の準周期的変動の存在が示唆されている(図1)。2003年から2008年にわたるほぼすべての観測において、同程度の周期の変動が存在すると主張している。 $4 \times 10^6 M_{\odot}$ のシュバルツシルトBHの最終安定円軌道($r=3r_s$)の周回周期は約30分である。もしこの準周期的変動を、BHを周回する物質からの放射と考えるならば、スピナパラメータ >0.6 のカーBHでなければならない。

一方、そのような変動は存在せず、ペリオドグラムのピーク(図1右)はred noiseのばらつきである、とKeckのグループが主張している(Meyer et al. 2008, Do et al. 2008)。

本観測では、すばる望遠鏡と近赤外線カメラCIAOを用い、Sgr A* のモニタリング観測を行った。VLT、Keckとは異なる望遠鏡、装置を用いることで装置起源のノイズが異なる観測データを取得し、準周期的変動の有無を調べた。

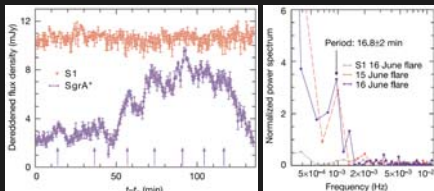


Fig. 1. 左: Sgr A* (●) と参照星 (●) のライトカーブ(2003/6/16, Kバンド)。右: Sgr A* のライトカーブから求めたペリオドグラム。6/16 (●) と6/17 (●) は約17分の準周期的な変動を示している。参照星(黒)には明確なピークが見られない。左図下の矢印は、準周期的変動に対応すると考えられている(ミニ)フレア的位置を示している。(どちらの図もGenzel et al. 2003)

2. Observation and Analysis

◆ Observation

- ◆ 観測日時: 2008年5月26-28日
- ◆ 観測装置: Subaru/CIAO/AO36
- ◆ 観測モード: Ksバンド polarimetry [20秒積分×波長板4角度]の繰り返し → 約3.3分に1回の測光/偏光観測

◆ Data reduction and Analysis

- ◆ 1次処理(dark, flat, sky, bad pixel, CR)
- ◆ Lucy-Richardson deconvolution (Lucy 1974, Richardson 1972)
- ◆ 波長板4角度の画像を重ね合わせて aperture 測光
- ◆ 視野内の星10個(10-15等)で相対測光

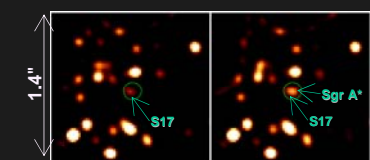


Fig. 3. Deconvolution後の中心1.4''の領域の拡大図。左が観測時、右がフレア時の様子。観測時にはSgr A* 近傍の星S17が見えている。

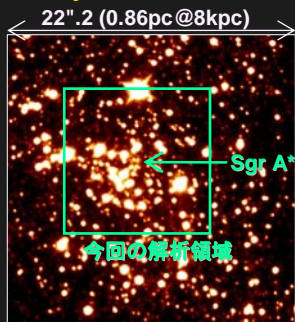


Fig. 2. 銀河系の中心約22''.2のKsバンド画像。中心の矢印の先にSgr A* がある。以後の解析ではSgr A* を中心とした約10''の領域を用いる。

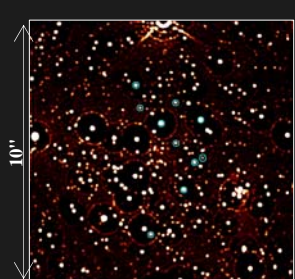


Fig. 4. Deconvolution後の中心10''の領域。青丸で示した星が相対測光に用いた標準星。

3. Results and Discussion

◆ Light Curves of Sgr A* and Reference Stars

5/26-28の3夜にわたって得られたSgr A* (+S17)のライトカーブを図5に示す(黒)。その他の色は、中心10''の視野にある、変光していないと考えられている参照星のライトカーブである。27日は空の状態が安定せず、1-2mJyの変動が常時みられるが、28日は非常に安定している。26日に1回、27日に1回、28日に3回のフレアを観測することができた。26日はフレアの最後の部分を、27日はフレアの初期を、それぞれ検出している。28日には弱く長い(0-90分)、強いダブルピーク(150-180分)、非常に短時間(195-210分)と多彩なフレアがみられた。これらのピークは画像上でもはっきり認識することができる(図6)。

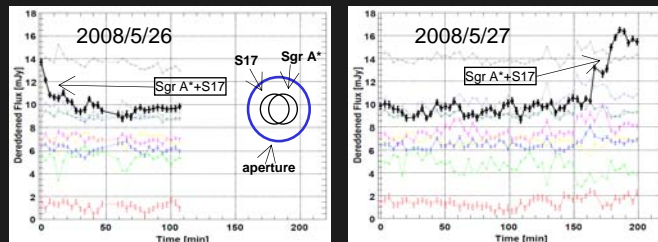


Fig. 5. 2008年5月26日(左上)、27日(右上)、28日(右下)のSgr A* と近傍参照星のライトカーブ。Sgr A* のフラックスには、近傍の星S17のフラックス(45-6.7mJy)も含まれている。

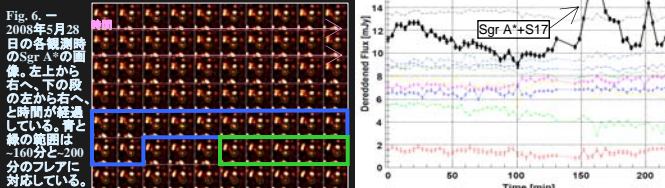


Fig. 6. 2008年5月28日の各観測時のSgr A* の画像。左上から右下へ、下の段の左から右へ、と時間が経過している。青と黒の領域は-160分と-200分のフレアに対応している。

◆ A Search for Quasi-periodic Variation in the Sgr A* Light Curves

最も観測時間が長く、観測条件が安定していた5/28のデータを用いて周期解析を行った。図7の赤線がSgr A* のライトカーブに対応するペリオドグラムである。その他の薄い色で示されている線は、視野内の他の星のライトカーブから作成した。

Sgr A* と参照星のペリオドグラムを比較すると、これまで主張されていた~20分の準周期的変動は明確には存在しないことが分かる。18分にピークがあるが、参照星にも同様に見られ、その差も有意ではない。40分と50分のピークは大きなフレアの間隔に対応するものと考えられる。他の2夜のデータでも、明らかなピークは見つからなかった。理由としては過去の検出が有意ではなかった、装置起源のノイズであった、同じフレアでも起源となる物理現象が異なる、などが考えられる。

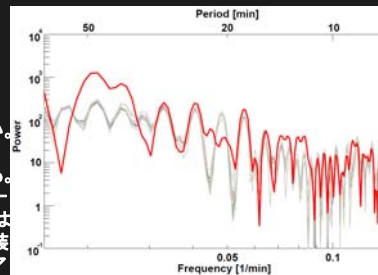


Fig. 7. 2008年5月28日のライトカーブを用いたペリオドグラム。赤がSgr A*、その他の薄い色が視野内の変光していない星のものである。

4. Future Works

今回のモニタリングは、フラックスの変動と同時に偏光の変化を測定するため、偏光モードでおこなった。近赤外線のフレアはシンクロトロン起源と考えられており、フレア前後の偏光角の変化がこれまで観測されている(e.g., Eckart et al. 2008)。この変化は放射領域の磁場の変動を見ていると解釈されている。CIAOはシングルビームの観測であるため、残念ながら今回の観測による偏光の決定精度はあまりよくなかった。Wallaston prismによるデュアルビームでより高精度の偏光測定が可能ならHiCIAOを用いれば、偏光の時間変化を測定でき、フレアの起源にせまる観測が可能となるであろう。

- References
Baganoff, F. K. et al. 2001 *Nature*, 413, 45
Do et al. 2008 (ArXiv:0810.0446)
Eckart et al. 2008 *A&A*, 479, 625
Genzel, R. et al. 2003 *Nature*, 425, 934
Ghez, A. M. et al. 2008 *ApJ*, 689, 2008
Gillessen, S. et al. 2008 (ArXiv:0810.4674)
Meyer, L. et al. 2008 *ApJ*, 688, L17
Lucy, L. B. 1974 *ApJ*, 79, 745
Richardson, W. H. 1972, *J. Opt. Soc. Am.*, 62, 55