

# NICT 鹿島－小金井基線 VLBI を用いた S/X 帯での Sgr A\* 強度モニター観測

竹川 俊也 (慶応義塾大学大学院 理工学研究科)

## Abstract

活動銀河核のエネルギー源は銀河中心の数百万から数十億太陽質量の超巨大ブラックホールが作り出す莫大な重力エネルギーであり、一般にその中心核光度は  $10^{42}$  erg/s 以上と非常に明るい。一方で、我々の住む銀河系も中心に 400 万太陽質量の超巨大ブラックホール Sgr A\* を有するが、その光度は  $10^{33}$  erg/s 程度と桁違いに低い。その原因として考えられるのが異常に小さい質量降着率と放射の非効率性である。近年そのブラックホールに落ちつつあるガス雲 G2 が発見され [1]、最新の予想では G2 cloud が Sgr A\* に最接近するのは来年の 3 月とされている。G2 cloud の落下は銀河系中心ブラックホールの周囲の環境に変化をもたらし、それに伴った激しい活動現象が期待されている。人類は未だブラックホールに物が落ちる様子の一部始終を観測したことがなく、これは極めて貴重な経験である。そこで私は、普段活動性を示さない電波での光度変動を捉えようと情報通信研究機構 (NICT) の鹿島－小金井基線 VLBI システムを用いて 8 GHz (X 帯) および 2 GHz (S 帯) での Sgr A\* の強度モニター観測を今年 2 月から実施している。Narayan らのモデルに従えば、S/X 帯では G2 cloud 落下に伴った大きな強度変動が期待され [2]、その変動の様子から銀河系中心ブラックホールの構造にある程度制限をつけることができる。DOY129 の時点では 8GHz での Sgr A\* の強度は  $0.49 \pm 0.05$  Jy で安定しており、際立った変化は確認されていない。なお 2 GHz ではフリンジが検出できていないが、G2 cloud の落下に伴い今後検出できることが期待される。今後もできる限り多くこのモニター観測を行い、少なくとも来年の 5 月まではこの観測を継続していく予定である。

## 1 Introduction

活動銀河核は、その中心に位置する数百万から数十億太陽質量の超巨大ブラックホールが作り出す莫大な重力エネルギーを、効率よく放射エネルギーに転換することにより非常に明るく輝いている。その光度は一般に  $10^{42}$  erg/s 以上である。一方で、超巨大ブラックホールを有するものの放射が効率的に行われない低光度な活動銀河核も存在し、その最も代表的なものが我々の住む銀河系である。銀河系中心天体 Sgr A\* は 400 万太陽質量の超巨大ブラックホールであると考えられているが、質量降着率が小さく放射が非効率であり、光度は  $10^{33}$  erg/s 程度と低い。さらに Sgr A\* は X 線や赤外線を確認されたフレアを除けば非常に穏やかである。しかし近い将来 Sgr A\* の状態は一変するかもしれない。近年、ドイツの研究グループによって Sgr A\* に向かって落下しつつある 3 地球質量のガス雲 G2 が発見され [1]、そのガ

ス雲は最新の予測によれば来年の 3 月に Sgr A\* に最接近すると言われている。G2 cloud の落下は Sgr A\* の活動現象を引き起こし、今後何年にもわたり明るく輝かせると考えられている。さらに G2 cloud が降着円盤の磁気圏に突入することで生じる bow shock の影響で、最接近前に電波域での増光が起こることが予測されている [2]。今までにブラックホールに物が落下する様子の一部始終を観測した例はなく、G2 cloud の落下は極めて貴重であり、ブラックホール周りの構造や環境について様々な情報をもたらしてくれることが期待される。

そこで私は G2 cloud 落下に伴った電波域での光度変動を捉えようと、情報通信研究機構 (NICT) の鹿島－小金井 VLBI システムを用いて、今年 2 月から Sgr A\* の 8 GHz (X 帯) および 2 GHz (S 帯) での強度モニター観測を行っている。

## 2 Observations

本 VLBI 観測で用いている望遠鏡は情報通信研究機構 (NICT) の鹿島 11m 鏡と小金井 11m 鏡である。観測周波数は 2.21-2.29 GHz(S 帯) および 8.2-8.5 GHz(X 帯) である。観測は今年の DOY 45 から始め、1 日の観測時間は DOY78 までは南中前後の 2.5 時間程度 (Sgr A\* は 1 日で計 22 回観測)、それ以降は SgrA\* が観測可能な高度 (望遠鏡の仰角が約 15 度) に達してから沈むまでの 5 時間程度 (Sgr A\* は 1 日で計 35 回観測) である。DOY78 までは強度較正天体に NRAO530 だけを用いていた。DOY 115 以降は強度較正天体としてさらに 1921-293、1622-253、1622-297 を加え、全部で 5 天体を観測している。一回の観測における各天体の積分時間は、Sgr A\* で 300 秒、1622-253、162-297 は 240 秒、NRAO530、1921-293 は 30 秒であり、各観測点の時間間隔は 1 分から 6 分である。

## 3 Results and Discussion

DOY 45 から DOY 129 までの Sgr A\*, 1622-253, 1622-297, 1921-293 および NRAO530 の 8 GHz におけるフラックス密度の日ごとの平均値を図 1 に示す。図 2 は DOY115 以降のみを表示したものである。なお、ここでは NRAO530 のフラックス密度を 3.3 Jy と仮定し、NRAO530 を基準に強度較正をしている。エラーバーは、1 日の内での相関振幅の観測値の分散から付けたものである。すなわち、天体 X について、1 回の観測ごとに得られる相関振幅のばらつきを全て測定誤差だとして求めた標準偏差を  $\sigma_X$ 、相関振幅の平均値を  $\rho_X$  として、フラックス密度  $S_X$  を強度較正天体 NRAO530 (3.3 Jy) として誤差伝搬を考えて

$$S_X = 3.3 \times (\rho_X / \rho_{\text{NRAO}}) \pm \sigma$$

ここで

$$\sigma^2 = (\sigma_X / \rho_{\text{NRAO}})^2 + (\rho_X \sigma_{\text{NRAO}} / (\rho_{\text{NRAO}})^2)^2$$

として求めている。Sgr A\* のフラックス密度は DOY129 時点では際立った変動は見られず、0.49 ±

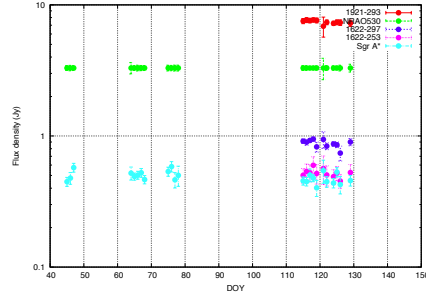


図 1: DOY129 までの観測天体のフラックス密度

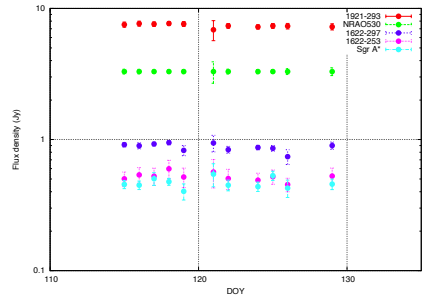


図 2: DOY115 から DOY129

0.05 Jy 程度である。

図 1、2 から確認できるように、比較的暗い 1622-297、1622-253、Sgr A\* は同期して変動している。この原因としては強度較正に用いている NRAO530 の強度が変動している可能性もあるが、1921-293 は NRAO530 に対して変動していないので、NRAO530 が変動しているとは考えにくい。この変動の原因は観測天体の仰角が低いことなどが考えられるが、今のところよくわからない。原因が解明できれば、それを補正することによりさらに精度よく Sgr A\* のフラックス密度を決定することができる。

また Sgr A\* は様々な波長域で日中内での光度変動 (Intra-day Variability ; IDV) が確認されている [3]。図 3 は DOY129 の相関強度を各観測回数に対してプロットしたものである。他の日でも図 3 と同様な結果が得られており、観測精度が非常に良く強度も安定していることがわかる。この安定度から、本観測で X 帯での hour scale もしくは minute scale での変

動を確認できる可能性もある。なお DOY129 時点では IDV は確認されていない。

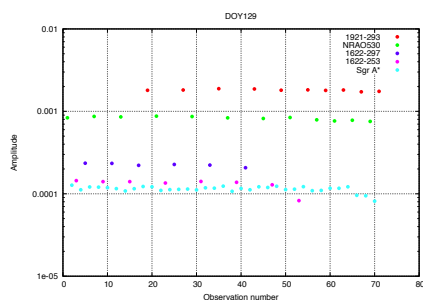


図 3: DOY115 から DOY129

## 4 Conclusion

私は G2 cloud の落下に伴う Sgr A\* の電波での増光を捉えようと、今年 2 月から NICT の鹿島-小金井基線 VLBI システムを用いて X/S 帯での強度モニター観測を行っている。X 帯での Sgr A\* のフラックス密度は観測開始日 DOY45 から DOY129 までに特に大きな変動はなく、0.5 Jy 程度で安定している。S 帯の強度は検出限界に達していないため測定できていない。フラックスキャリブレーションの方法は議論の余地があるが、観測精度は非常によいと言える。今後起こりうる事象に向けて、できる限りの頻度で少なくとも来年の 5 月までは継続してこのモニター観測を行っていく予定である。

## 5 References

1. Gillessen, S. et al. 2012, Nature, 481, 51
2. Sadowski, A. et al. 2013, arXiv/1301.3906
3. Shen, Z. Q. et al. 2012, Journal of Astrophysics & Astronomy, 32, 13