

# ミリ波におけるSagittarius A\*のフレア

宮崎 敦史 (国立天文台野辺山)、堤 貴弘 (国立天文台三鷹)、坪井 昌人 (茨城大理)

我々は、野辺山ミリ波干渉計を用い1996-1998・2000-2003年の7シーズンにわたって、我々の銀河系中心核であると考えられているコンパクト非熱的電波源Sagittarius A\*の100・140GHz帯におけるフラックス密度のモニター観測を行ってきた。これまでのモニター観測の結果、1998年3月・2000年3月・2002年4月の3回にわたってSgr A\*がフレアした事を確認した。特に、2000年3月のフレアは、そのピーク (~4 Jy @146GHz, 3/8) を詳細に見ると30分程度の間約30%の増光をしている事が分かった。翌日には半分近くで減光している事からも、非常に早い変動であると言える。このフレアが一定の増光をするかと仮定すると、100%のフラックス増光の時間スケールは約1.5時間になり、この時間スケールのlight crossing sizeは~10 AU (~200 Rs : Schwarzschild半径)に相当し、ブラックホールの降着円盤程度の構造を見ていると考えられる。

## 1. Introduction

### Sagittarius A\* (SgrA\*) :

SgrA\*は我々の銀河系の中心核であると考えられているコンパクト非熱的電波源であり、大量ブラックホールである事が明らかになっている。また、我々から最も近い銀河中心核であり、銀河中心核を理解する上で重要な天体と言える。

### センチ波でのフラックス密度の変動

Zhao et al. 2000 : VLAによる約20年にわたるセンチ波帯のモニター観測

"106日周期"のセンチ波におけるフラックス変動

しかし、10GHz以下では星間シンチレーションの影響も大きい (Zhao et al. 1992)

### ミリ波でのフラックス密度の変動

SgrA\* 固有の活動性によるもの

ミリ波帯では、星間シンチレーションの影響がなくなりSgrA\*固有の成分が見えてくると考えられる。SgrA\*自身の変動のより正確な性質を知るには、**ミリ波での観測が大変重要である。**

また、

● 比較的弱いコンパクト電波源であるSgrA\*

● 広がった強力なHII regionであるSgr A West

ミリ波帯ではこの広がった成分の影響が非常に大きい。

この広がった成分からSgrA\*のコンパクト成分を分離するには、**ミリ波干渉計等によるより高分解能の観測が必要である。**

Wright & Backer 1993 : 1990年、3mm (87GHz) でフラックス変動

しかしその後、ミリ波でのフラックス密度の変動は、系統的なモニター観測がなされてこなかった。

そこで我々は、野辺山ミリ波干渉計(NMA)を用い1996-1998, 2000・2003年の7シーズンにわたり、ミリ波でのSgr A\*のフラックス密度のモニター観測を行ってきた (Miyazaki et al. 1998; Tsuboi et al. 1998)。

また最近になって、SMAにより波長1.3mmにおいて2001年にフレアが観測 (Zhao et al. 2003) されている他、X線でもChandra・XMM-Newtonにより短時間での激しいフレアが観測されている (Baganoff et al. 2001; Porquet et al. 2003)。

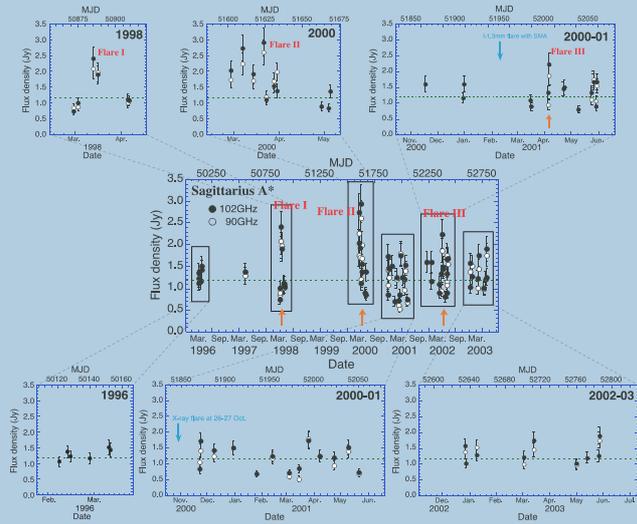


Fig. 1. NMAによるSgrA\*の100GHz帯におけるフラックス密度の変動  
1998年3月 (Flare I)・2000年3月 (Flare II)・2002年4月 (Flare III) にフレアが観測されている。

## 2. Observations and Calibration

野辺山ミリ波干渉計(NMA)を用いて100GHz帯, 140GHz帯で観測  
**アンテナ配列**

1997-98, 2000年 : 全ての観測はC-配列で行っている。

ビームの違いにより異なる構造をサンプリングするため、  
天候の影響を比較的に受けにくい中程度のベースラインを持つ配列

2001-03年 : 長周期変動も知るためC-配列にAB, D-配列を含む

### 相関器

1996年 : FX correlator (バンド幅320MHz)

1997-98, 2000-03年 : Ultra Wide Band Correlator (バンド幅1GHz)

⇒ 観測周波数

90 & 102 GHz, 134 & 146 GHz (1996 : 102 GHz, 146 GHzのみ)

### Calibrator

phase calibrator : NRAO530 (1996-2003), 1830-2100 (2000-03)

flux calibrator : Uranus ( Neptune)

フラックスの決定精度 100 GHz : ~15%, 140 GHz : ~20%

### SgrA\*のフラックス密度の決定

観測結果、Amplitude vs.  $u-v$  distance関係からSgrA\*本体の成分は  $u-v$  distanceが約20~25kλ以上であると考えられる。そこで、25kλ以上のデータのみからspatial filtered mapsを作成し、マップのピークフラックス密度を求めた (Fig 2)。ただし、D-配列については長い  $u-v$  成分が少ないため17kλ以上としている。

合成ビームサイズ:

~3" × 6" (100 GHz帯), ~2" × 4" (140 GHz帯) (C-配列)

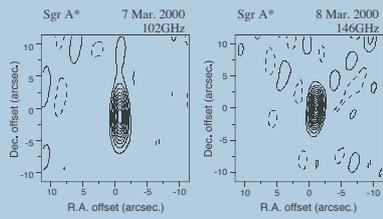


Fig. 2. SgrA\*のspatial filtered maps (>25kλ)

左は102GHz、右は146GHz。

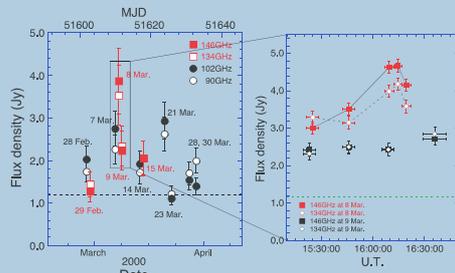


Fig. 3. (左) 2000年3月 (Flare II) におけるフラックス密度の変動  
(赤: 90, 102GHz, 黒: 134, 146GHz)  
(右) 2000年3月8-9日における140GHz帯のフラックス密度の変動  
(赤: 3月8日, 黒: 3月9日)

## 3. Results and Discussion

これまで3回のフレアを検出 (Fig.1)

Flare I (1998年3月)・Flare II (2000年3月)・Flare III (2002年4月)

### 100GHz帯でのSgrA\*のフラックス密度

・平時時における平均フラックス密度:

1.0 ± 0.2 Jy at 90 GHz, 1.2 ± 0.2 Jy at 102 GHz

・フレア時におけるピークフラックス密度:

Flare I : 1998年3月13日 : 2.1 ± 0.4 Jy at 90 GHz, 2.4 ± 0.4 Jy at 102 GHz

Flare II : 2000年3月21日 : 2.6 ± 0.4 Jy at 90 GHz, 2.9 ± 0.4 Jy at 102 GHz

Flare III : 2002年4月6日 : 1.9 ± 0.4 Jy at 90 GHz, 2.2 ± 0.4 Jy at 102 GHz

特に2000年3月のフレア (Flare II) では、最大でΔS/S~200%の増光になり、約1ヶ月におよぶ継続期間の間に複雑な激しい変動をしている (Fig. 3)。また、このフレアの時期は、センチ波の長周期変動のピーク (3月初旬) と一致している。

### 140GHz帯でのSgrA\*のフラックス密度

・平時時におけるフラックス密度:

1.2 ± 0.4 Jy at 146 GHz

・フレア時におけるフラックス密度:

Flare I : 1998年3月14日 : 2.7 ± 0.5 Jy at 134 GHz, 2.6 ± 0.5 Jy at 146 GHz

Flare II : 2000年3月8日 : 3.5 ± 0.7 Jy at 134 GHz, 3.9 ± 0.8 Jy at 146 GHz

Flare III : 2002年4月6日 : 2.1 ± 0.4 Jy at 134 GHz, 2.3 ± 0.5 Jy at 146 GHz

140GHz帯では、フレアにより100GHz帯より大きく増光している (ΔS/S~300%)。

高周波ほど大きく増光し、フレア時のスペクトル指数はより大きくなる傾向がある。平時時のスペクトル指数はセンチ波で得られている値と一致 (Fig. 4: 直線はGreen Bank干渉計の2.25, 8.3 GHzとあわせたフィットを示す)。

### Intra-day Variability

2000年3月のフレア (Flare II: Fig. 3)

146 GHzにおいて3月8日から9日の1日の間に約半分減光

3月8日 : 3.9 ± 0.8 Jy

3月9日 : 2.2 ± 0.4 Jy

3月8日について時間方向に詳細に (5~15分間隔・146 GHz)

3.5 Jy at 15h45m UT

4.7 Jy at 16h15m UT

30分程度の間約30%の増光 => **非常に早い変動!!!**

100%のフラックス増光の時間スケールは**約1.5時間**

(一定の増光を仮定)

light crossing sizeは~**10 AU (~200 Rs)** : Schwarzschild半径)

=> Sgr A\*の降着円盤に相当するスケール

2002年4月のフレア (Flare III) でも激変が観測

4月5日 : 1.4 ± 0.2 Jy => 4月6日 : 2.2 ± 0.3 Jy @102GHz

変動のプロファイルより

(短時間の急速な増光・翌日で半分までなる緩やかな減光)

Cyg X-3のoutburst (Martí et al. 1992) 等の様な、

ejectionにともなう爆発的現象 (ジェット?) による

フレアである事が推測される。

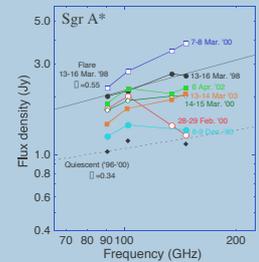


Fig. 4. SgrA\*のスペクトル (90, 102, 134, 146GHz)  
直線はフレア時 (Flare I) と平時時における2.25, 8.3GHz (NRAO GBIデータアーカイブ)を含めたフィッティング

同時多周波観測によりスペクトルとその変動

=> モデルへの制約。重要な情報!!!!

また、フレア時のVLBIによる高分解能観測

=> フレアがジェットかどうか?

今期もNMAでのモニター観測を計画中

**VERAでのSgrA\*の (出来ればNMAと連動した) モニター観測がされることを期待する。**