

激変星AE Aqrの電波強度変動観測

1. 山口干渉計の紹介
2. AE Aqrの紹介と今回の観測
3. 今後の研究計画



激変星研究会@京都大学

2022/7/28

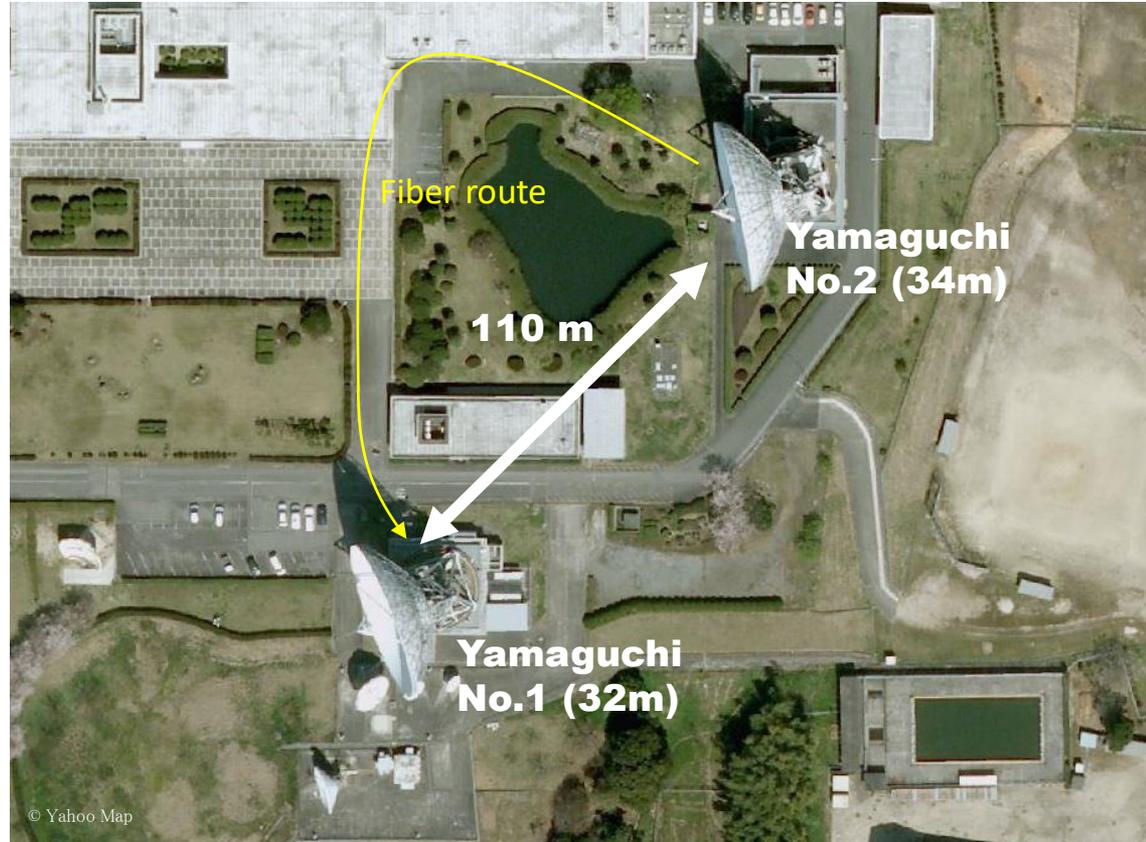
藤沢健太（山口大学）

AGN、メタノールレーザー、銀河中心領域の研究を行ってきた。星の研究は初心者。

山口干渉計YI

YI性能一覧

項目	
周波数	6856 (BW 512) MHz 8448 (BW 512) MHz Simultaneous
基線長	108 m
偏波	Left / Right simultaneous
角度分解能	6 GHz : 1.4' 8 GHz : 1.1'
データ取得	6 GHz : 1 Gbps, 2bit, 2pol 8 GHz : 1 Gbps, 2bit, 2pol
Tsys	45 K
積分時間	1000 sec
検出感度	1.8 mJy (5σ)



- 口径32m-34mの大型電波望遠鏡の干渉計
- 短基線長→角度分解能の面では利点なし
- 連続波天体に対する感度が特長、2-3 mJyを 5σ で検出可能
- 大学の研究室が自由に利用可能な電波望遠鏡として世界トップクラスの感度

YIによる研究目標

- **YI**の特長

- 高感度, 長時間観測 → 連続波、短時間変動天体のフラックスモニター

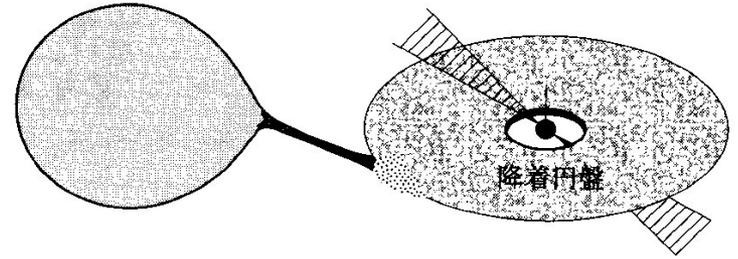
- 研究課題

- X-ray binary ... GRS 1915+105, Cyg X-3, LS 5039, LS I +61 303, Cyg X-1, Sco X-1
- Active binary ... RS CVn, Algol, **AE Aqr**
- Flare star ... EV Lac
- Giant ... Betelgeuse, P Cyg
- Gravitational Wave Source
- GRB, Transients, and Pulsars
- Active Galactic Nuclei
- Young Stellar Objects

2. AE Aqrの紹介と今回の観測

白色矮星連星 AE Aquarii (AE Aqr)

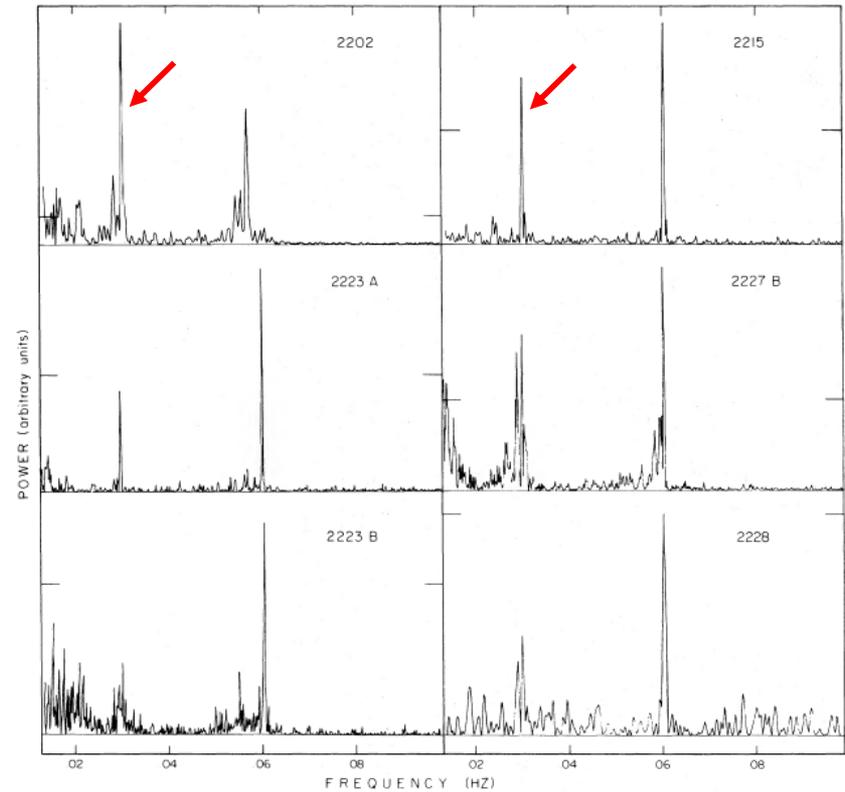
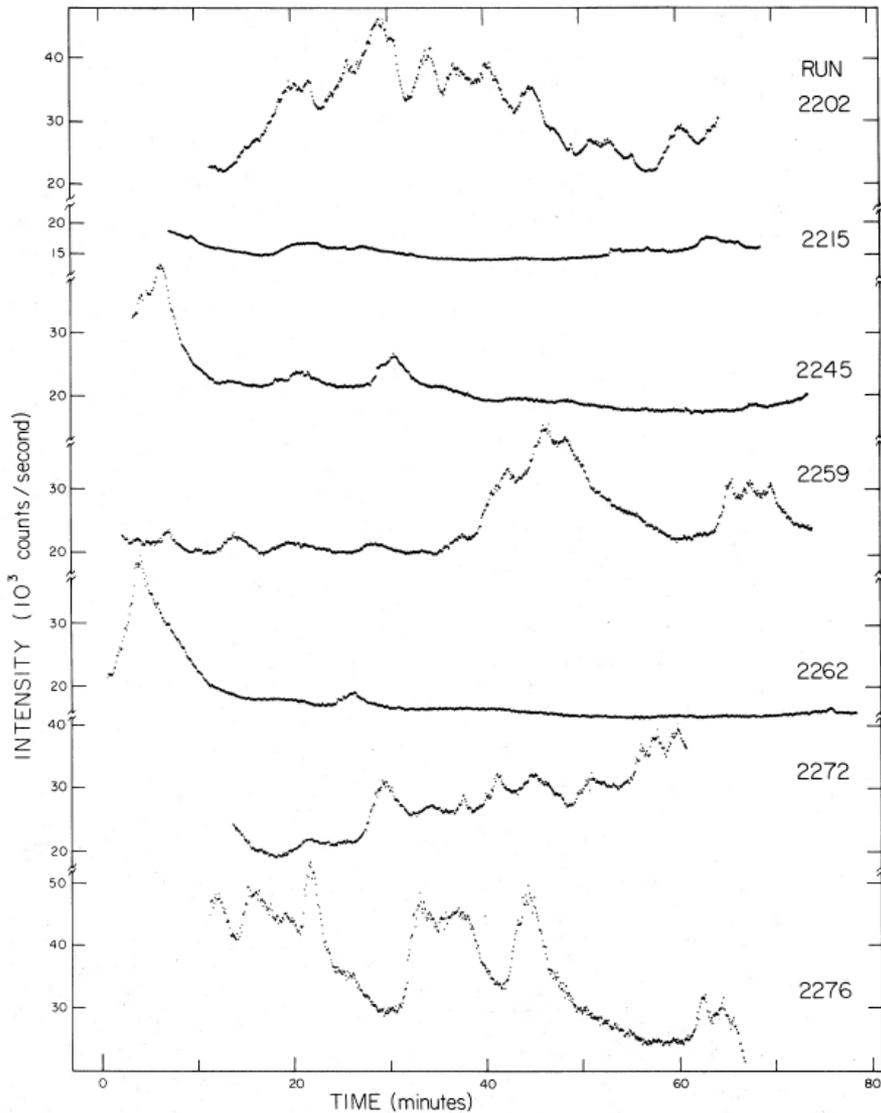
- AE Aqr (みずがめ座AE星)
 - DQ Her型 (10-10³ Tの強い磁場)
 - 降着円盤・流入するガスと磁場の相互作用
 - **33秒の自転周期**
 - **強い電波放射**



白色矮星と主系列星・赤色巨星の連星系。強力な磁場のため、降着円盤の中心に穴が開いている。(シリーズ現代の天文学第8巻「ブラックホールと高エネルギー現象」より)

項目	値
位置	ICRS coord. (ep=J2000) : 20 40 09.1598509019, -00 52 15.057042857 (GAIA DR3) Proper motions mas/yr : 70.564, 13.123 (GAIA DR3)
距離	91.6 pc (GAIA DR3)
等級	B 12.64等、V 10.40等
質量	白色矮星 0.63 M _☉ 、伴星 0.37 M _☉
軌道長半径	1.62 ± 0.01 x 10 ⁹ m
軌道周期	9.88 hr (3.56 x 10 ⁴ sec)
白色矮星自転周期	33.08 sec (0.0302 Hz) (Patterson 1979)

可視光で観測された短時間変動と周期性



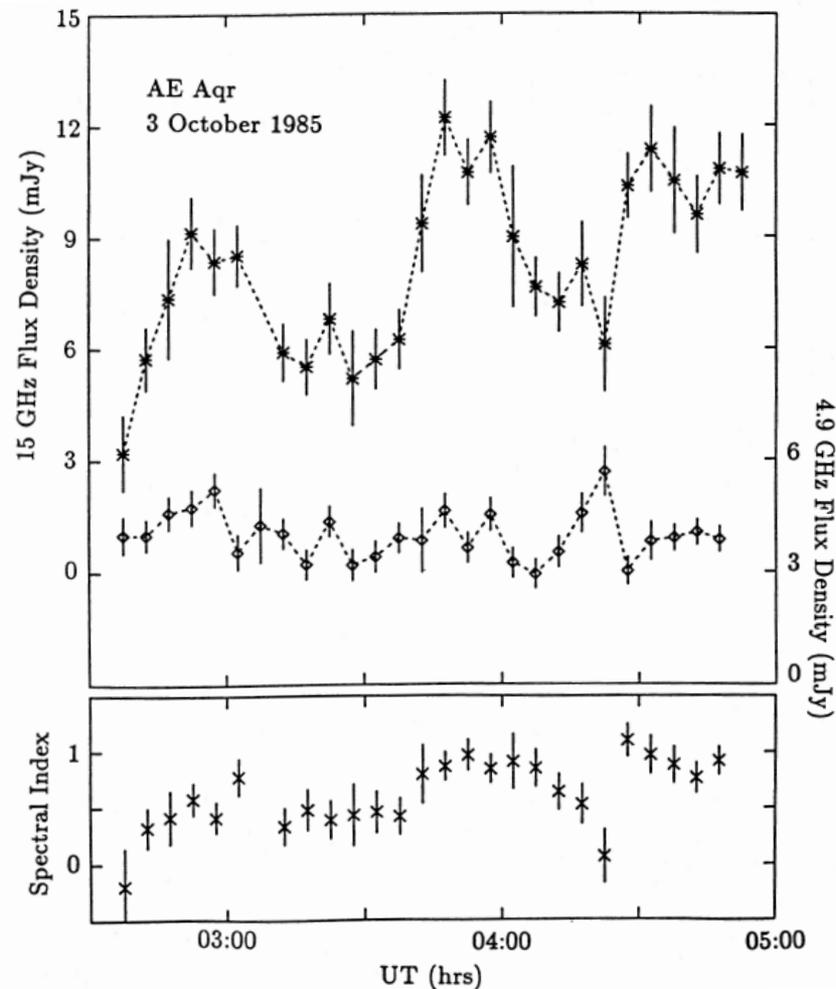
Patterson (1979)

左：可視光で観測した変更曲線。数分～数十分の時間スケールで変動がある。
上：変動のスペクトル。0.03 Hzにピークがある。周期 $P = 33 \text{ sec}$ 。

FIG. 1.—Light curves for AE Aqr, at 6 s point^{-1} . Run numbers are shown at the right.

電波放射と短時間強度変動

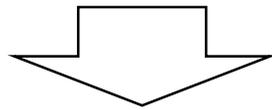
- 電波放射
 - 白色矮星連星で最もフラックス密度が大きい
 - 短時間で強度変動する
- Bookbinder & Lamb (1987)
 - 3-5 mJy @ 1.4GHz,
8-16 mJy @ 4.9 GHz
- Pavelin et al. (1994)
 - 2-15 mJy @ 5 GHz
- Barrett et al. (2017)
 - 5 mJy @ 5 GHz,
5 mJy @ 8 GHz,
5-8 mJy @ 22 GHz
- Bastian et al. (1988)
 - 1.5, 4.9, 15, 22.2 GHz
 - 1時間以下の時間スケールの激しい強度変動



Bastian et al. (1988)によるAE Aqrの電波変光曲線の例。上図の上側の曲線は15 GHz、下側は4.9 GHz。およそ2時間の観測中に3倍近い強度変動があり、また変動時間スケールは1時間以下である。

AE Aqrの2つの特徴と研究課題

1. 白色矮星で最も高速な自転。P = 33 sec
2. 白色矮星連星で最も強い電波放射。8 GHzで10 mJy程度のフラックス密度、強度変動する



• AE Aqr電波放射の研究

- 電波放射機構：例外的に強い電波の放射機構の解明
- 注目点：電波放射領域（連星のどの位置で電波放射が生じるのか）、高速な自転と電波放射の関係の有無
- 研究方法：電波強度変動の観測、VLBI・多周波数・偏波観測

研究目的・目標

- **AE Aqrの電波放射機構解明**

- 電波放射が生じる領域・高速な自転との関係に注目する
- 強度変動→電波放射領域のサイズ、自転との同期
- VLBI観測→電波放射領域の空間分布

- **今回の発表内容**

- 1周波数で検出・強度変動の観測を行う
 - 先行研究の再現・短期強度変動の検出（観測可能性の実証）
 - 自転に同期した電波強度の周期性の検出の試み

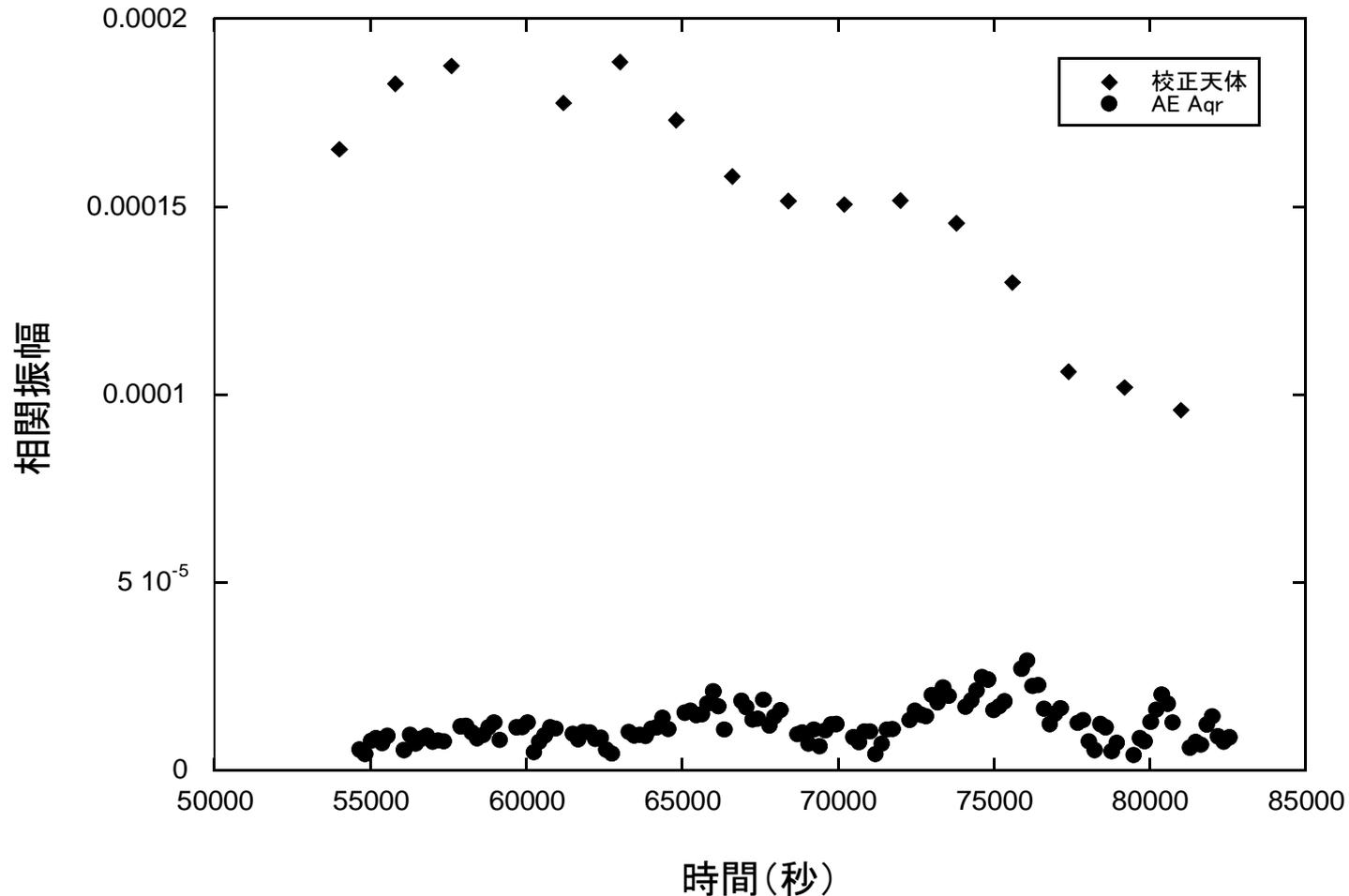
- **将来計画**

- VLBI：電波放射領域のサイズとその時間変化を調べる
- 2周波数同時観測：スペクトルとその時間変化を調べる
- 偏波観測：円偏波／直線偏波の偏波率と時間変動を調べる

観測

- 観測日時：2021年6月5日（DOY 156, MJD 59735） 15:00-23:00 UT
- 望遠鏡：山口干涉計
- 観測周波数：8192-8704 MHz
- サンプリング：1024 Msample/sec、2 bit/sample
- 偏波：LCP
- T_{sys} ：32m 48 K、34m 40K
- 観測者：穂本、藤沢
- 観測と校正：
 - フラックス密度の校正天体と対象天体(AE Aqr)を交互に観測する
 - 校正天体 J2042-0149=240秒（4分）（100 mJy @ 7.6 GHz）
 - 対象天体 AE Aqr=1440秒（24分）→180秒毎に分割して解析
- 相関処理 FFT点数 = 1024点、対象天体は180秒積分

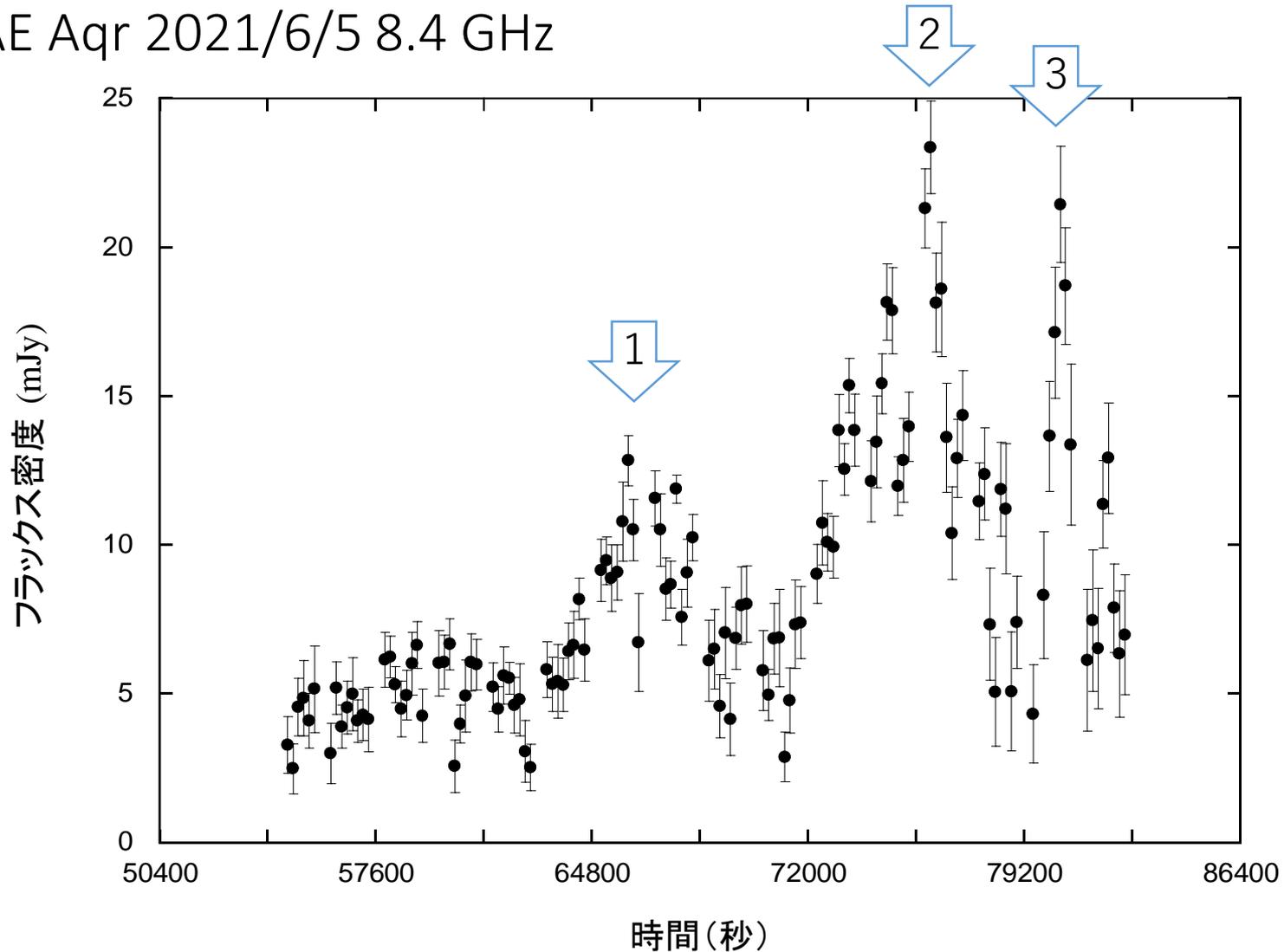
解析：相関処理の結果



- 校正天体 (◆)、対象天体 (●) 共に検出に成功
- 校正天体の相関振幅が変動しているのは望遠鏡の指向ずれ他による。校正天体のフラックス密度が一定 (100 mJy @ VLBI Calibrator Searchより) であるとして対象天体のフラックス密度を相対的に推定する。

変光曲線

AE Aqr 2021/6/5 8.4 GHz

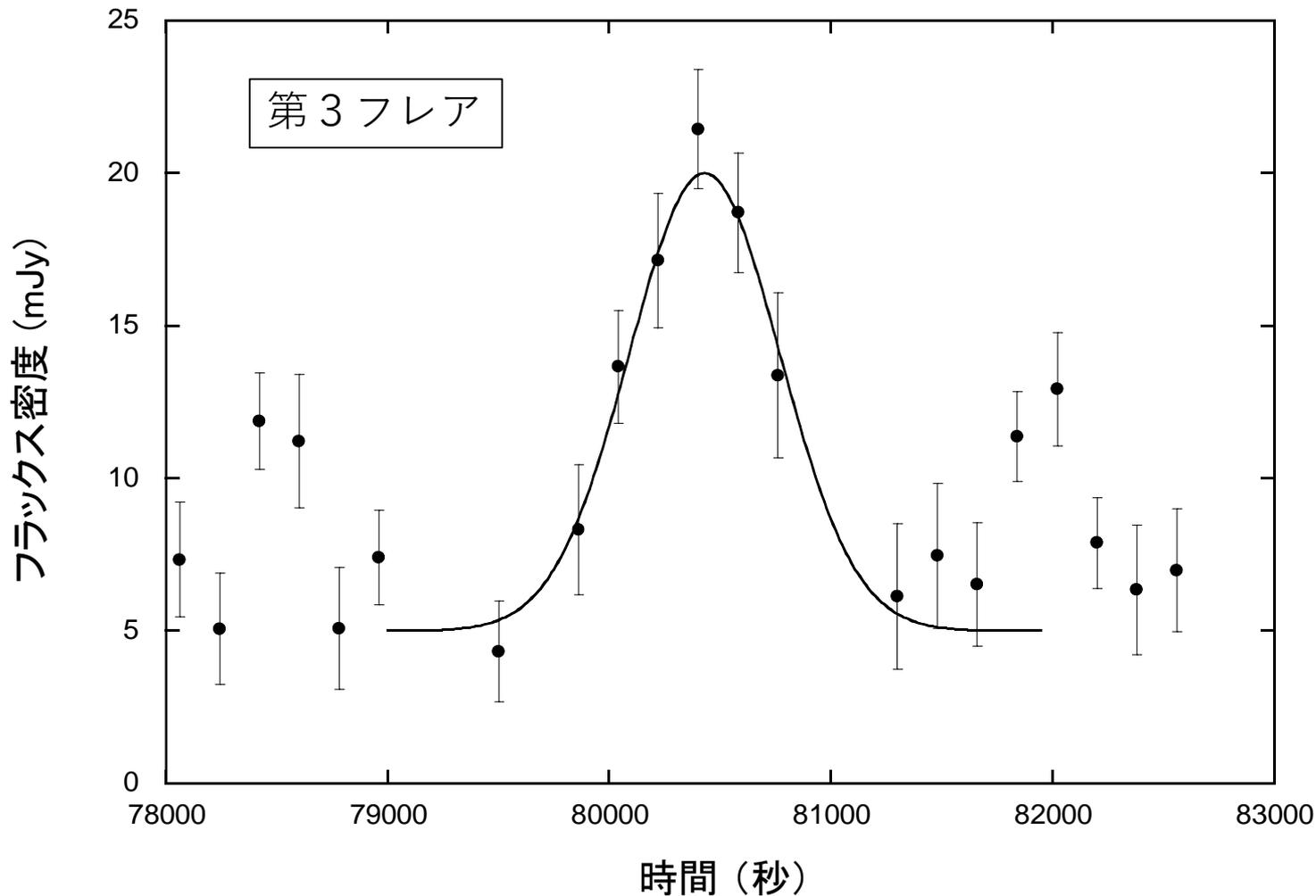


- 3 - 23 mJyに及ぶ変動がみられた。
- 明瞭な変動のピーク（フレア）が3回観測された。変動幅は5 - 15 mJyに達した。
- 第3フレアでは、30分間という短時間でフレアの上昇と下降が完了した。

変光曲線

AE Aqr 2021/6/5 8.4 GHz

第3フレアをガウシアンであてはめ
最大強度 15 mJy、FWHM=13分

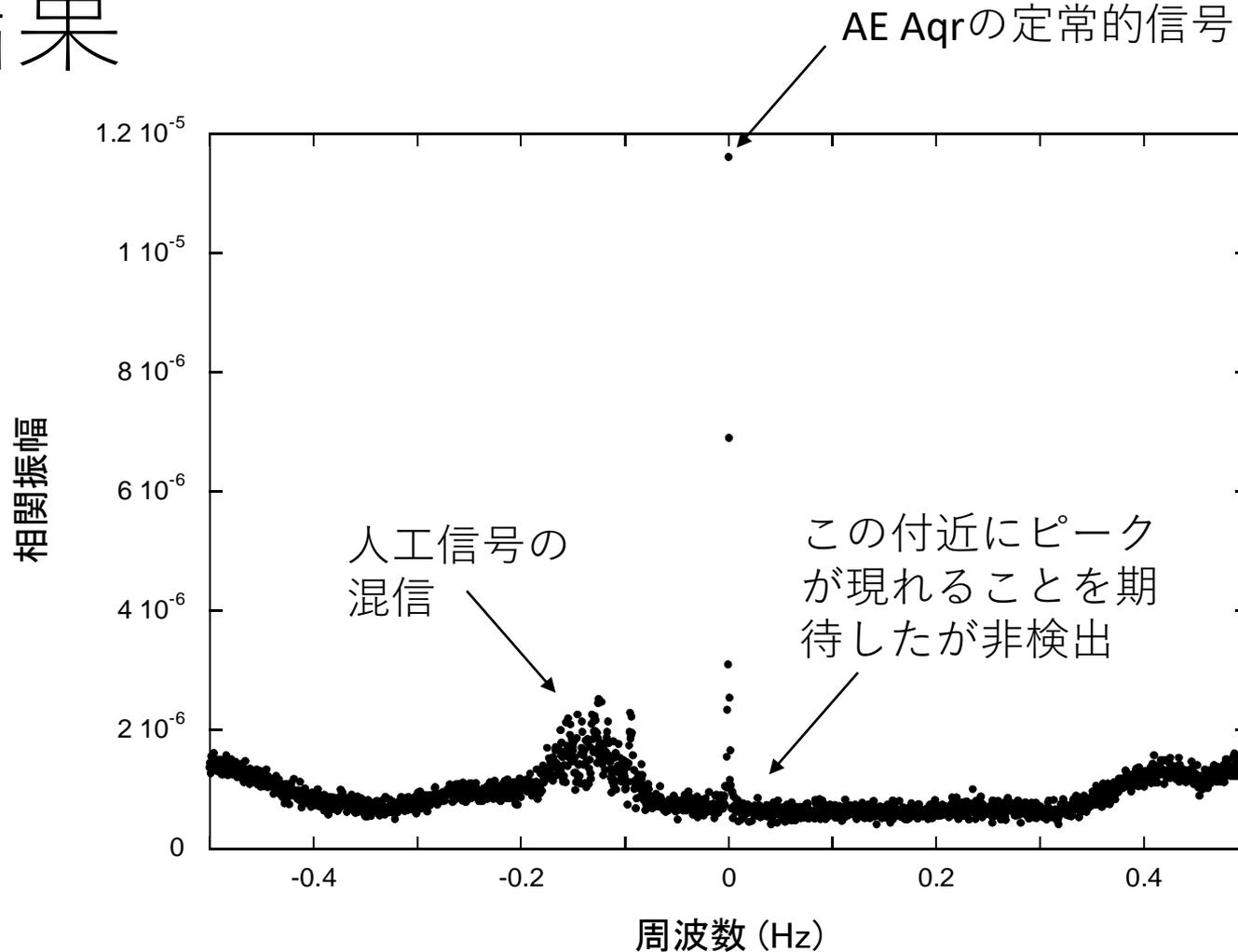


- 3 - 23 mJyに及ぶ変動がみられた。
- 明瞭な変動のピーク（フレア）が3回観測された。変動幅は5 - 15 mJyに達した。
- 第3フレアでは、30分間という短時間でフレアの上昇と下降が完了した。

周期解析

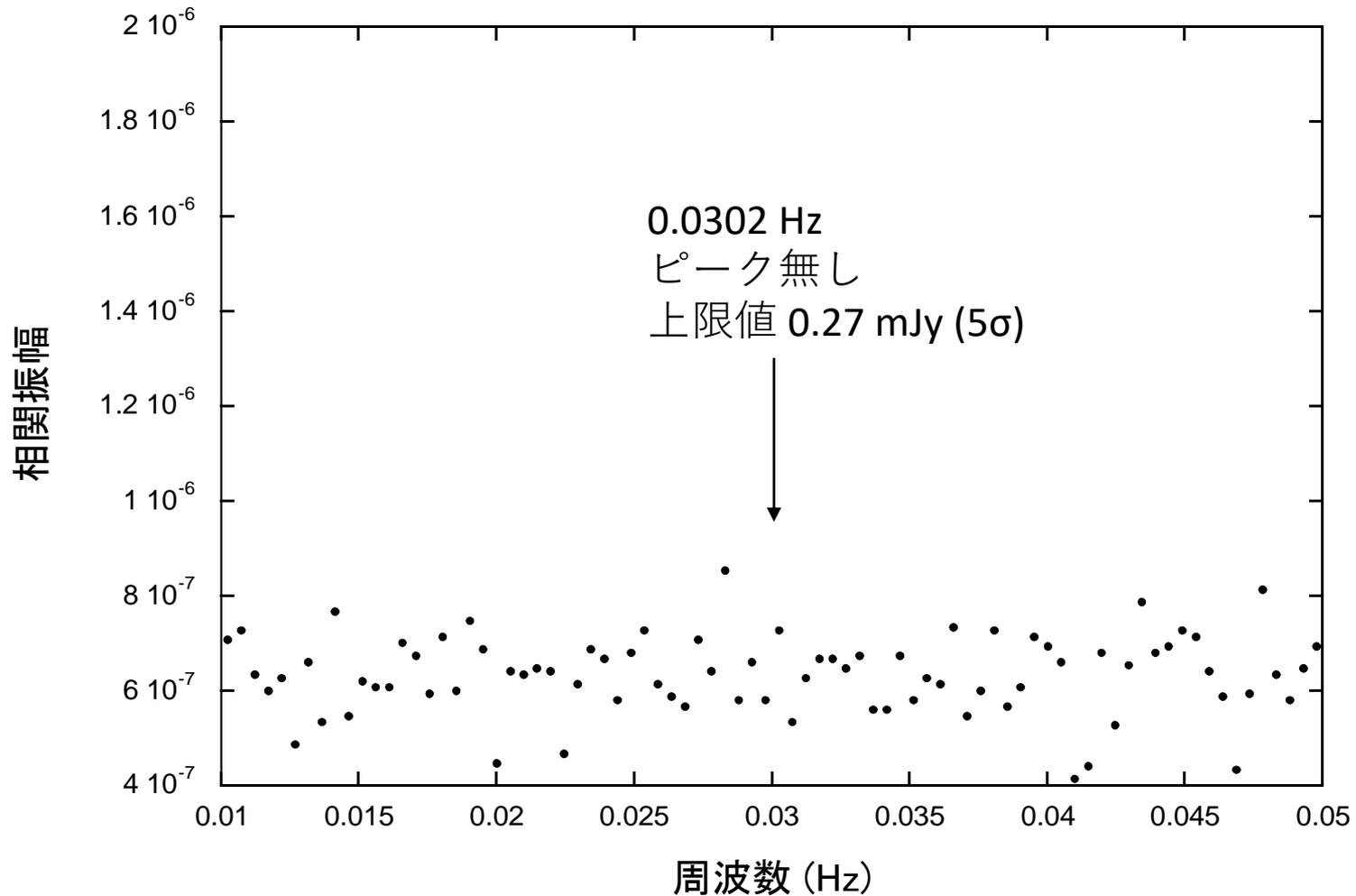
- 自転周期に同期した周期的強度変動の探査
 - 自転周期 $P=33.08 \text{ sec}$ ($f=0.0302 \text{ Hz}$)
- 解析方法
 - 積分時間1秒の相互相関振幅を、時間軸方向にフーリエ変換して振幅変動のスペクトルとする。積分時間が短いので1秒ごとのデータではフリッジはノイズより小さくて検出できないが、これを時間方向にフーリエ変換することで積分時間を延長してノイズを低減し、信号検出および周期性検出を試みる。

結果



- AE Aqrの信号（定常的信号）は検出できた。
- 人工信号の混信がみられたが、解析には影響しない。
- 自転周波数の0.0302 Hzにおいて信号（周期的変動）は検出限界以下だった。

0.0302 Hz付近の拡大図



- 自転周波数の0.0302 Hzにおいて信号（周期的変動）は検出限界（0.27 mJy）以下だった。

AE Aqr 観測のまとめ

- 研究目的
 - AE Aqrの電波放射機構の解明
- 今回の目標
 - 先行研究の再現・短期強度変動の検出、周期性の検出
- 観測と解析
 - 山口干渉計、2021年6月5日15:00-23:00、8.4 GHz
 - 180秒積分でAE Aqrの電波放射を検出
 - 3回のフレアを観測、最短の時間スケールは13分
 - 自転に同期した周期的変動（0.03 Hz）の検出を試みたが、0.27 mJyの上限値で非検出

3. 今後の研究計画

作業仮説「ジェットモデル」

- 電波放射領域

- 白色矮星または伴星に付随する？
- 磁場が強くて高速回転する白色矮星なら、シンクロトロン放射するジェットを出すのでは？

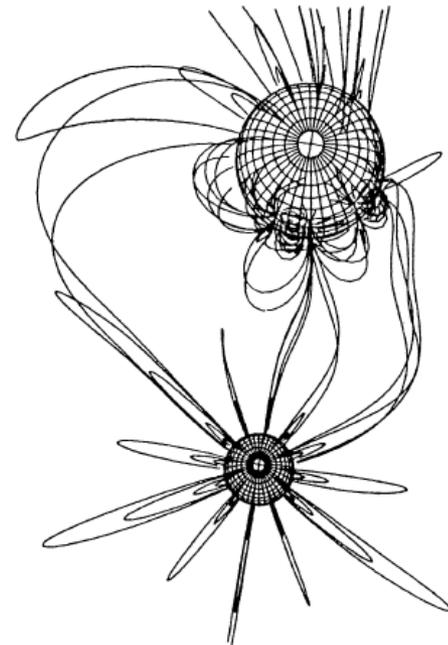
- ジェット

- 連星系よりはるかに広がった構造を持ちうる
 - 例：マイクロクエーサーGRS 1915+105, Cyg X-3

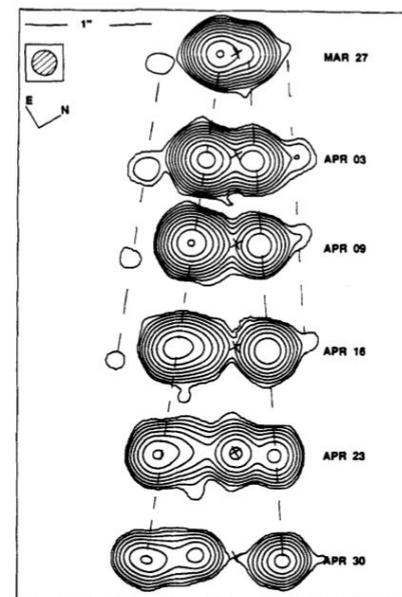
- 電波強度変動の時間スケール13分間

→空間サイズ ≤ 13 光分 = 1.5 au = 16 mas @ 91.6 pc

- VLBI観測でサイズを測定可能



Uchida & Sakurai (1983)



Mirabel & Rodriguez (1994)

VLBI観測計画

- 茨城－山口 1 基線のVLBI観測（日本VLBI観測網）
 - 画像観測は不可能（短時間変動も画像化に不利）
 - 電波放射領域のサイズは推定可能
 - フリンジ間隔 $\lambda/D = 8 \sim 10$ mas
- 天体サイズ θ とフリンジ間隔 λ/D
 - $\theta > \lambda/D$: 相関フラックス密度が低下
 - $\theta < \lambda/D$: 相関フラックス密度=全フラックス密度
 - 相関フラックス密度から天体サイズを推定可能
- 観測計画
 - 今年中に実施予定（まもなくプロポーザル提出）
 - 強度変動とサイズの変動を同時に観測する
 - 6/8 GHzの同時2周波数観測でスペクトルの変化も調べる
→ジェットモデルの検証を行う

まとめ

- 山口干渉計
 - 山口32m-34mの1基線干渉計
 - 6/8 GHzで3 mJyの天体を観測可能
- AE Aqrの短時間強度変動観測
 - 電波放射機構・ジェット形成機構の研究
 - 短時間強度変動のモニター
 - 強度変動の検出に成功、時間スケール**13分**
 - 自転に同期した変動は未検出
- 今後の研究計画
 - VLBI観測で空間サイズを測定
 - ジェットモデルの検証