

山口干渉計によるコンパクト 天体の短時間強度変動観測

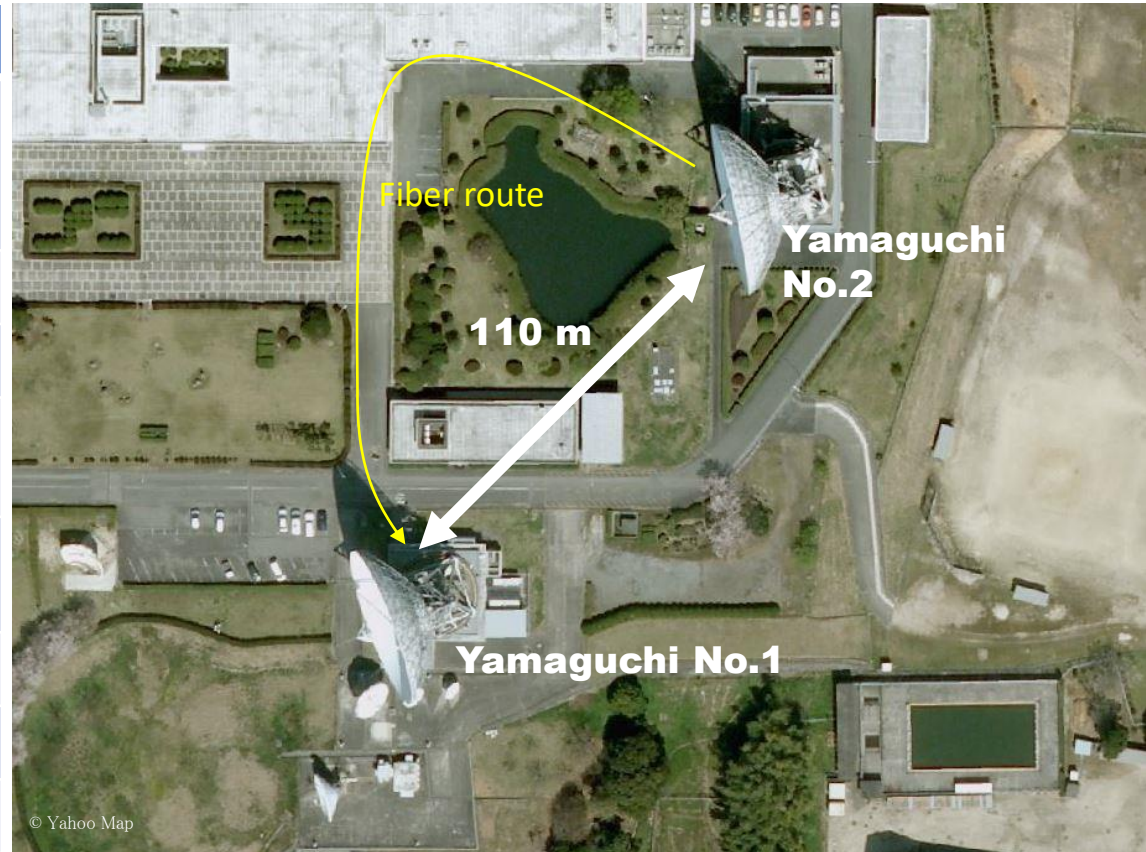
藤沢健太（山口大学）

1. 山口干渉計について
2. X線トランジェント天体の観測
3. マイクロクエーサーGRS1915+105
4. 激変星AE Aqr
5. 超新星・重力波源天体のフォローアップ



山口干渉計YI

Item	
Frequency	6856 (BW 512) MHz 8448 (BW 512) MHz simultaneous
Baseline	110 m
Polarization	Left / Right simultaneous
Resolution	6 GHz : 1.4' 8 GHz : 1.1'
Sampling	6 GHz : 1 Gbps, 2bit, 2pol 8 GHz : 1 Gbps, 2bit, 2pol
Tsys	50 K
Integ Time	1000 sec
Detection	1.8 mJy (5 σ)



口径32m-34mの電波望遠鏡からなる1基線干渉計。基線長が短いので角度分解能では有利さはない。連続波天体の高感度観測に強みがある。6/8 GHzで3mJyの天体を観測できる。長時間利用可能なことと機動力も強み。

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測定、モニター

- **研究課題**

- X-ray Transients
- X-ray binary ... GRS 1915+105, Cyg X-3, Cyg X-1, Sco X-1
- Active binary ... AE Aqr
- Supernova
- Radio observation for Gravitational Wave Source
- ...

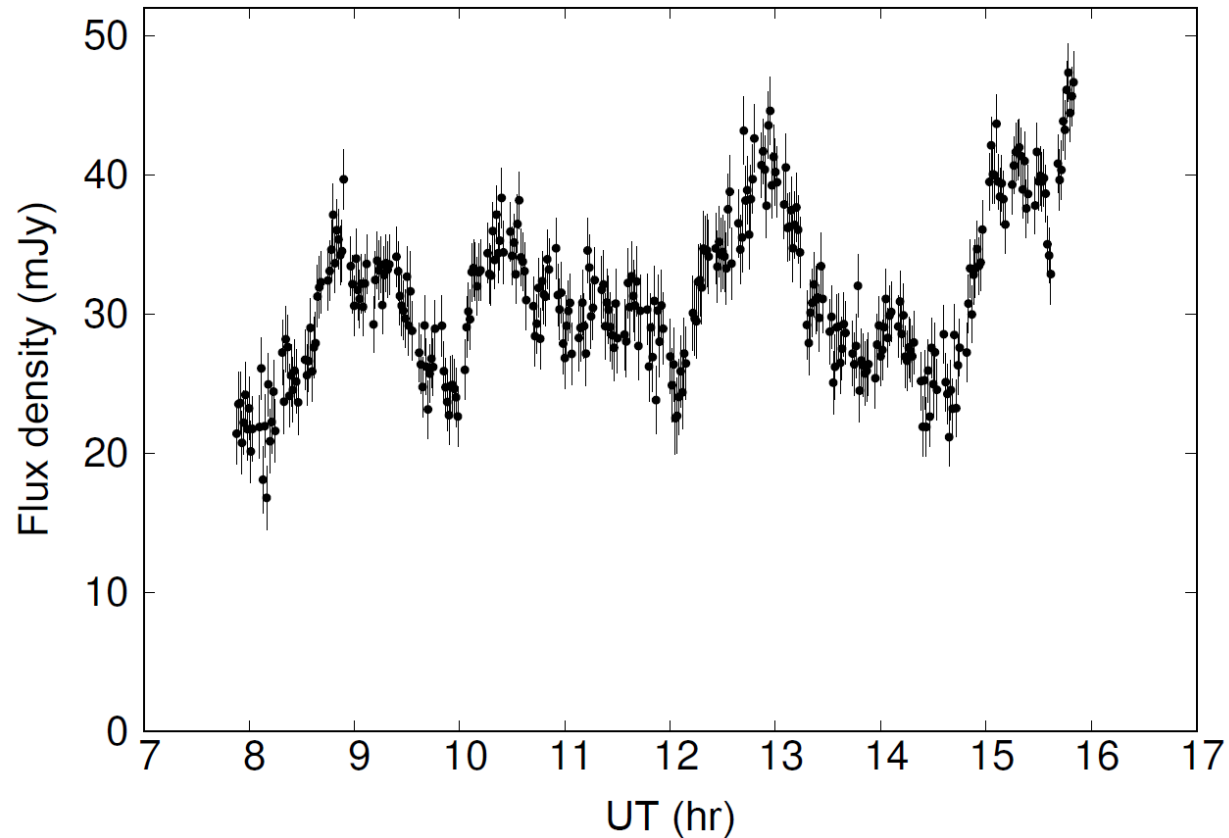
X線新星MAXI J1816-195

- 2022/6/8
 - MAXIグループから「X線新星MAXI J1816-195の増光を発見(ATel #15421)。電波でフォローアップできるか？」との問い合わせ
- 2022/6/10
 - YIによる観測実施。
- 2022/6/14
 - 結果報告 = 非検出。「MAXI J1816-195は 5σ の検出限界以下であり、検出されなかった。 5σ の上限値は、Cバンドにおいて1.5 mJy、Xバンドにおいて1.9 mJyであった。」
- 2022/6/15
 - ATelに報告を出した。(ATel #15437, 現在まで4回引用)
 - 2022/6/29 VLAが検出したとの報告。0.457 mJy @ 6 GHz (ATel #15481)

マイクロクエーサーGRS1915+105

(大学院生・穂本君の研究テーマ)

- マイクロクエーサー
 - X線連星がクエーサーのように高速ジェットを噴出
 - 噴出メカニズムは未だ謎
- 研究手法
 - 短時間の強度変動を手掛かりにジェットの性質を調べる
 - ジェット内の粒子加速・エネルギー散逸、高エネルギー粒子の空間分布など
- 観測
 - 1日8時間の連続観測
 - これまで30回を超える観測を実施



観測日時=2020/8/24 07:53:00 to 15:53:00 UT

中心周波数=8448 MHz, バンド幅=512 MHz, 偏波=LCP

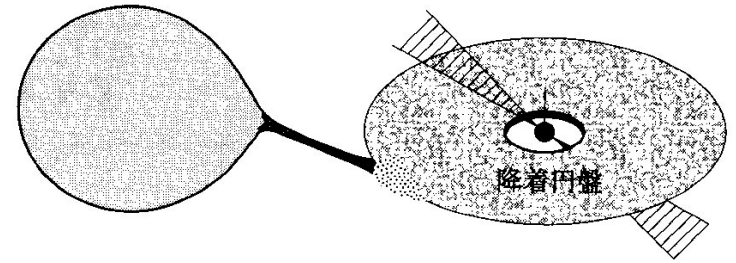
1点の積分時間=60秒、ノイズ $1\sigma=2.1$ mJy

1時間以下の時間スケールで激しい強度変動をする様子が観測された。

白色矮星連星 AE Aquarii (AE Aqr)

- AE Aqr (みずがめ座AE星)

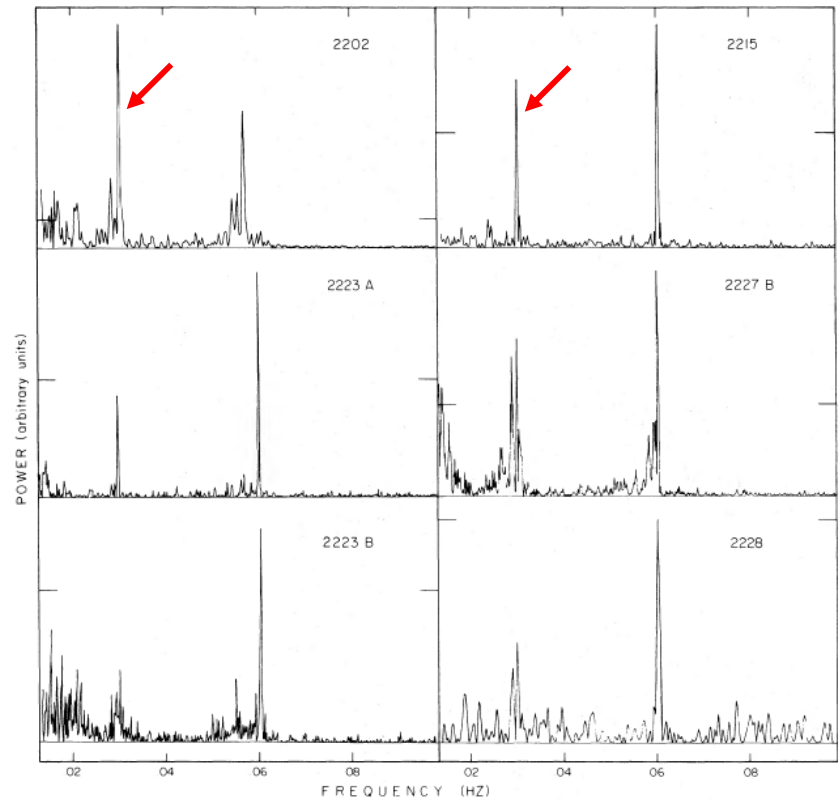
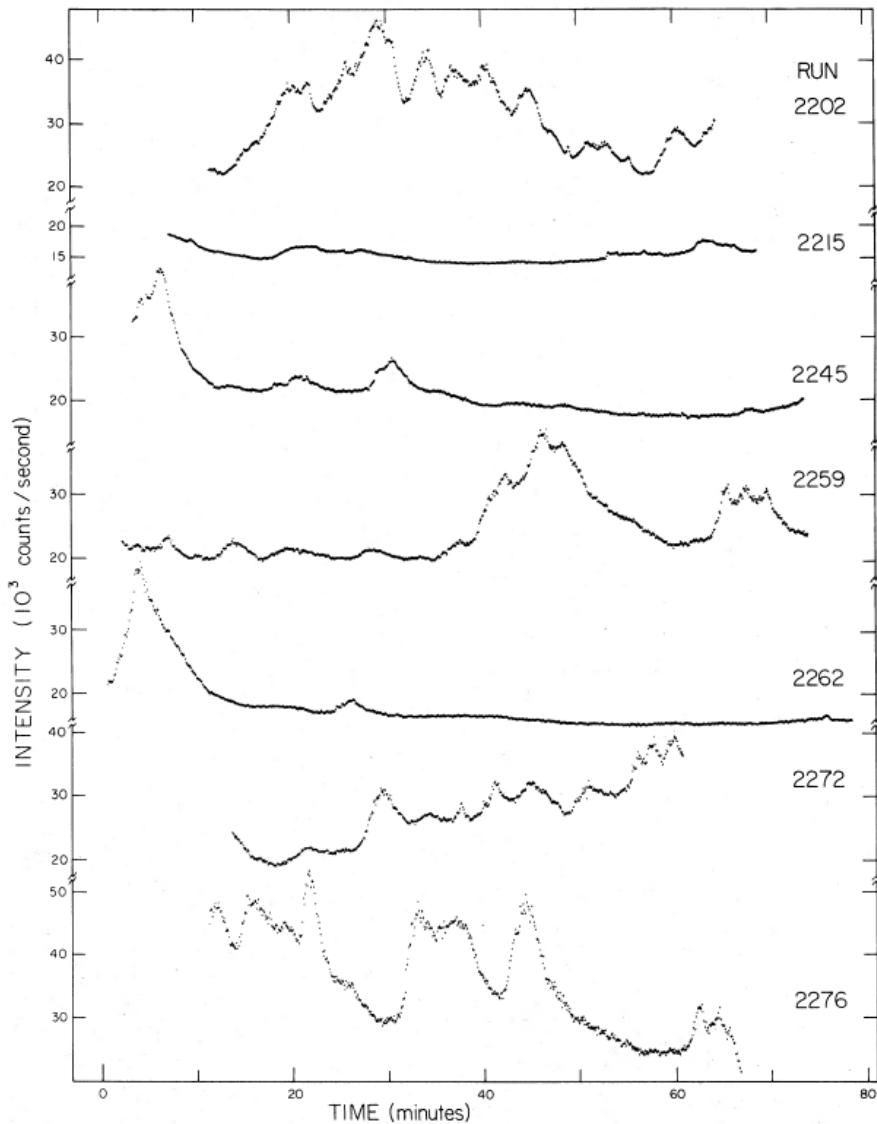
- 激変星の1つで、DQ Her型に分類される。このタイプは白色矮星が $10\text{-}10^3\text{T}$ という強力な磁場を持ち、降着円盤・流入するガスと相互作用していると考えられる。



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 $0.63 M_{\odot}$ 、伴星 $0.37 M_{\odot}$
軌道長半径	$1.62 \pm 0.01 \times 10^9\text{ m}$
軌道周期	9.88 hr ($3.56 \times 10^4\text{ sec}$)
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



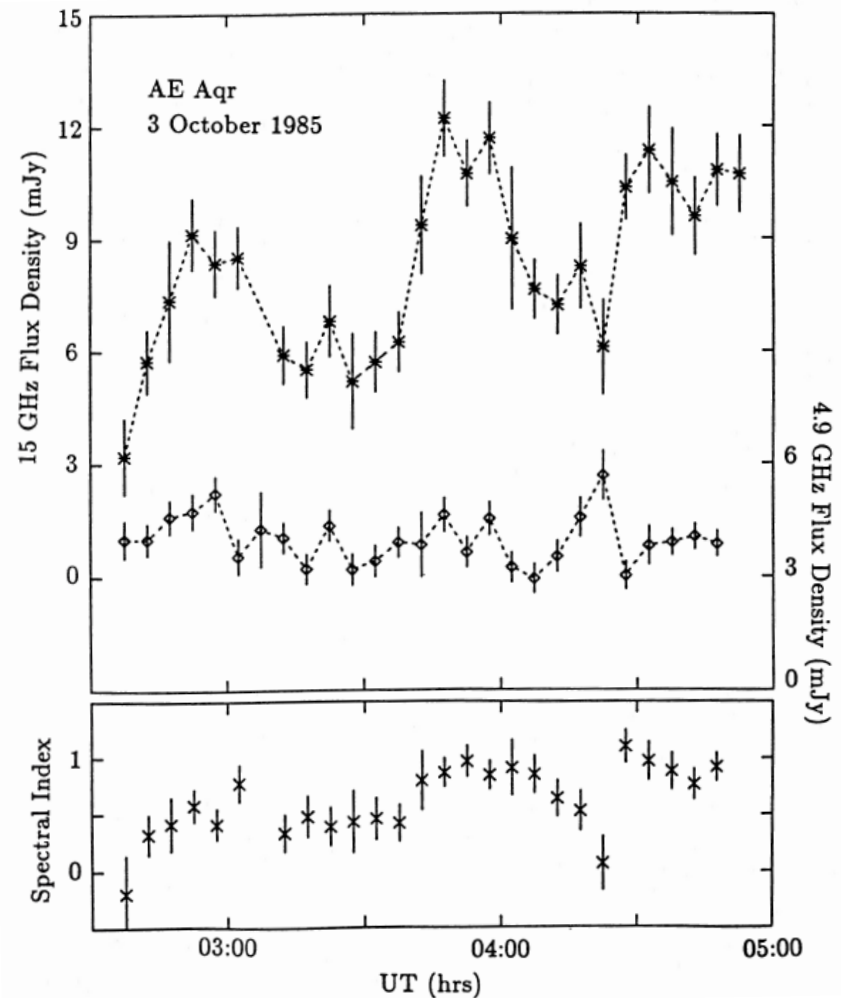
Patterson (1979)

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.

電波強度変動の先行研究

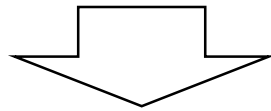
- Bookbinder & Lamb (1987)
 - 3-5 mJy @ 1.4GHz,
 - 8-16 mJy @ 4.9 GHz
 - Pavelin et al. (1994)
 - 2-15 mJy @ 5 GHz
 - Barrett et al. (2017)
 - 5 mJy @ 5 GHz,
 - 5 mJy @ 8 GHz,
 - 5-8 mJy @ 22 GHz
 - Bastian et al. (1988)
 - 1.5, 4.9, 15, 22.2 GHz
 - 1 時間以下の時間スケールの激しい強度変動
- ⇩
- 山口干渉計で観測・研究が可能
 - 世界的にも研究例がごくわずか



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

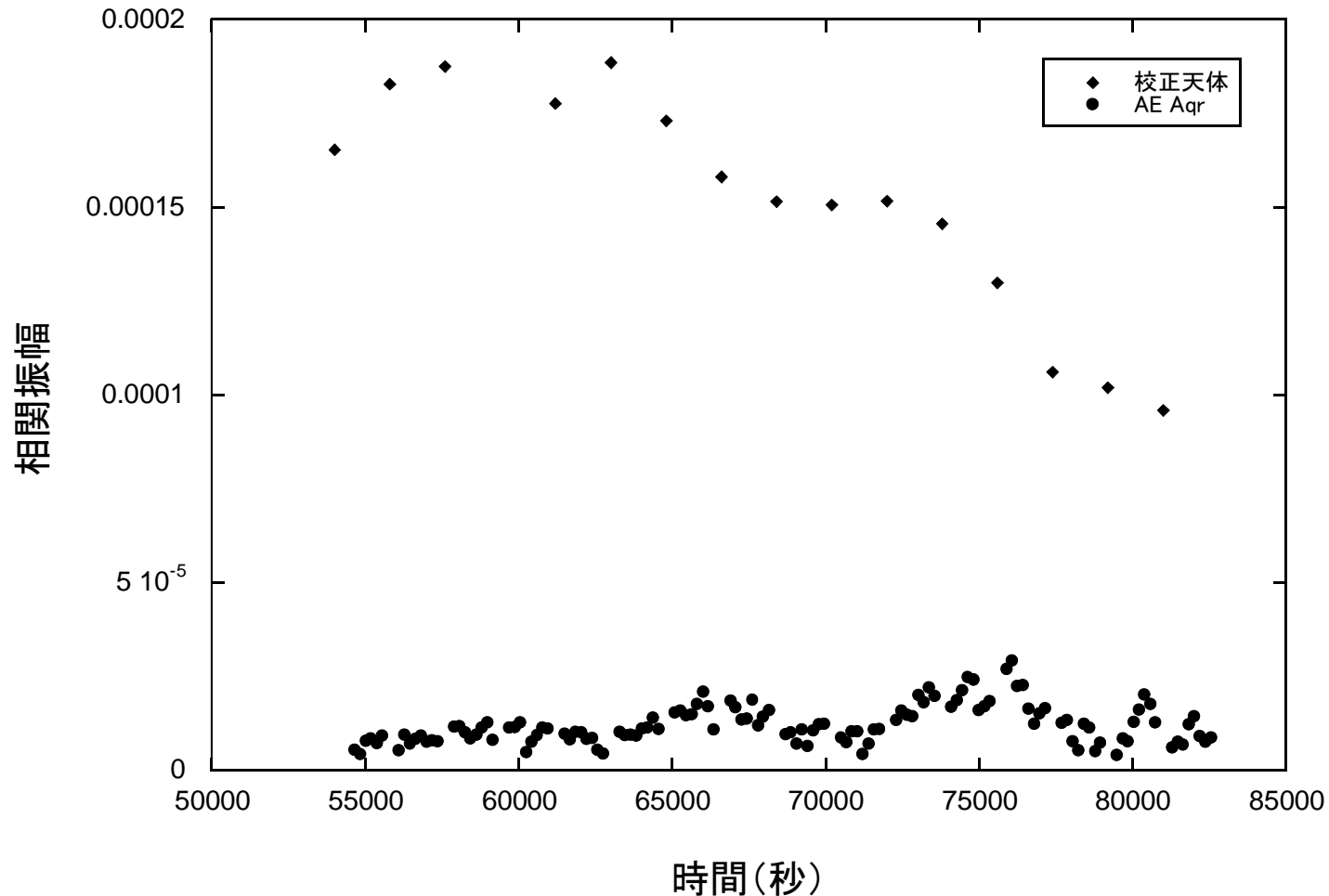
研究目的・目標

- **AE Aqrの電波放射機構解明**
 - 連星のどこで電波放射が生じるか
 - 高速な自転との関係に注目する
- **今回の目標**
 - 先行研究の再現・短期強度変動の検出（観測可能性の実証）
 - 周期性の検出を試みる
- **電波変光曲線に自転に同期した周期性はあるか？**
 - 電波放射領域が白色矮星のごく近傍なら、自転に伴って電波放射領域の見え方が変化する（見え隠れする可能性もある）。自転に同期した電波強度変動が観測されると予想される
 - 周期的変動がみられないなら、電波放射領域は白色矮星から離れた位置と推測される

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

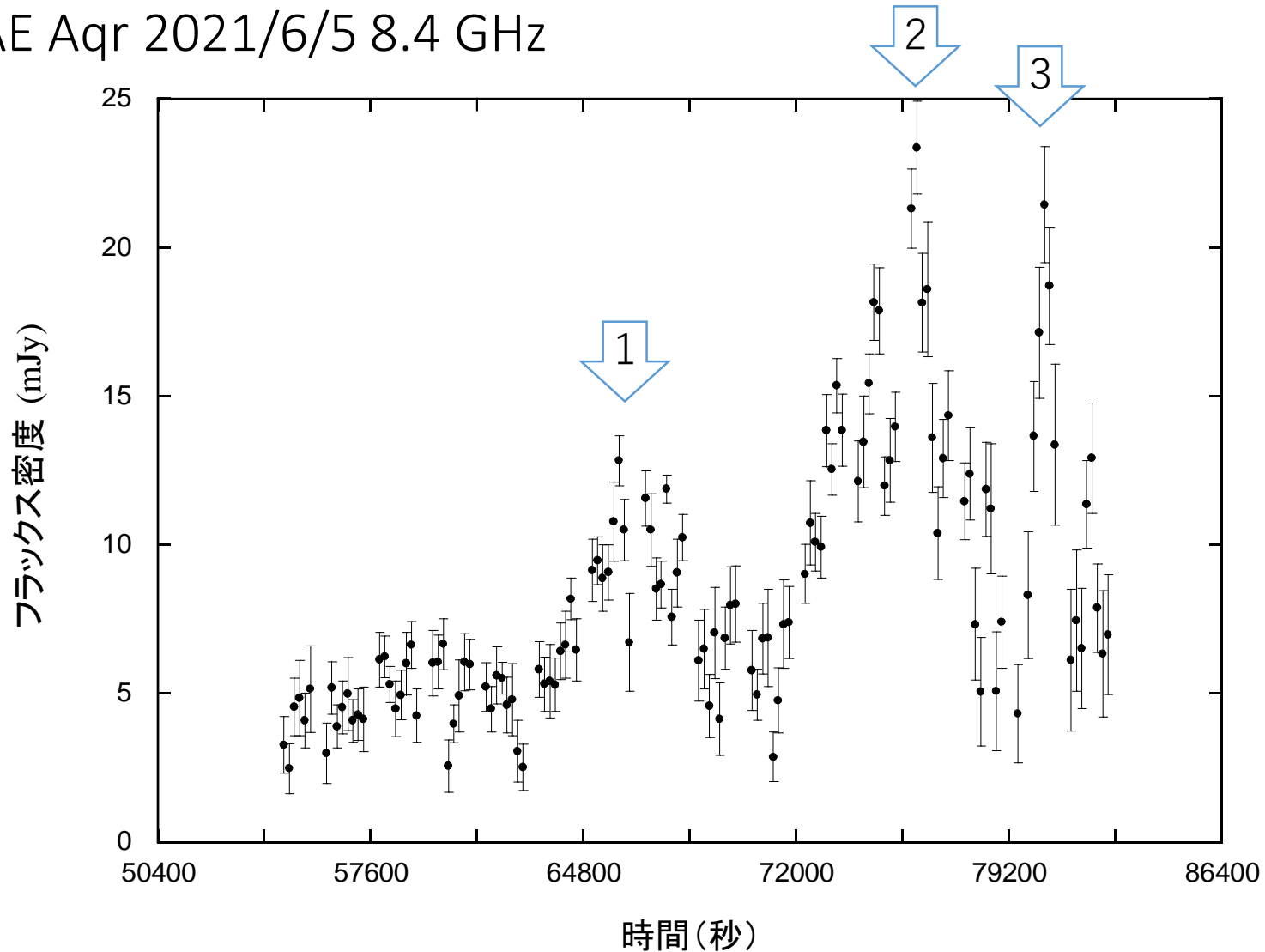
解析：相関処理の結果



- 校正天体・対象天体共にFRINGE（天体の信号）の検出に成功
- 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

変光曲線

AE Aqr 2021/6/5 8.4 GHz

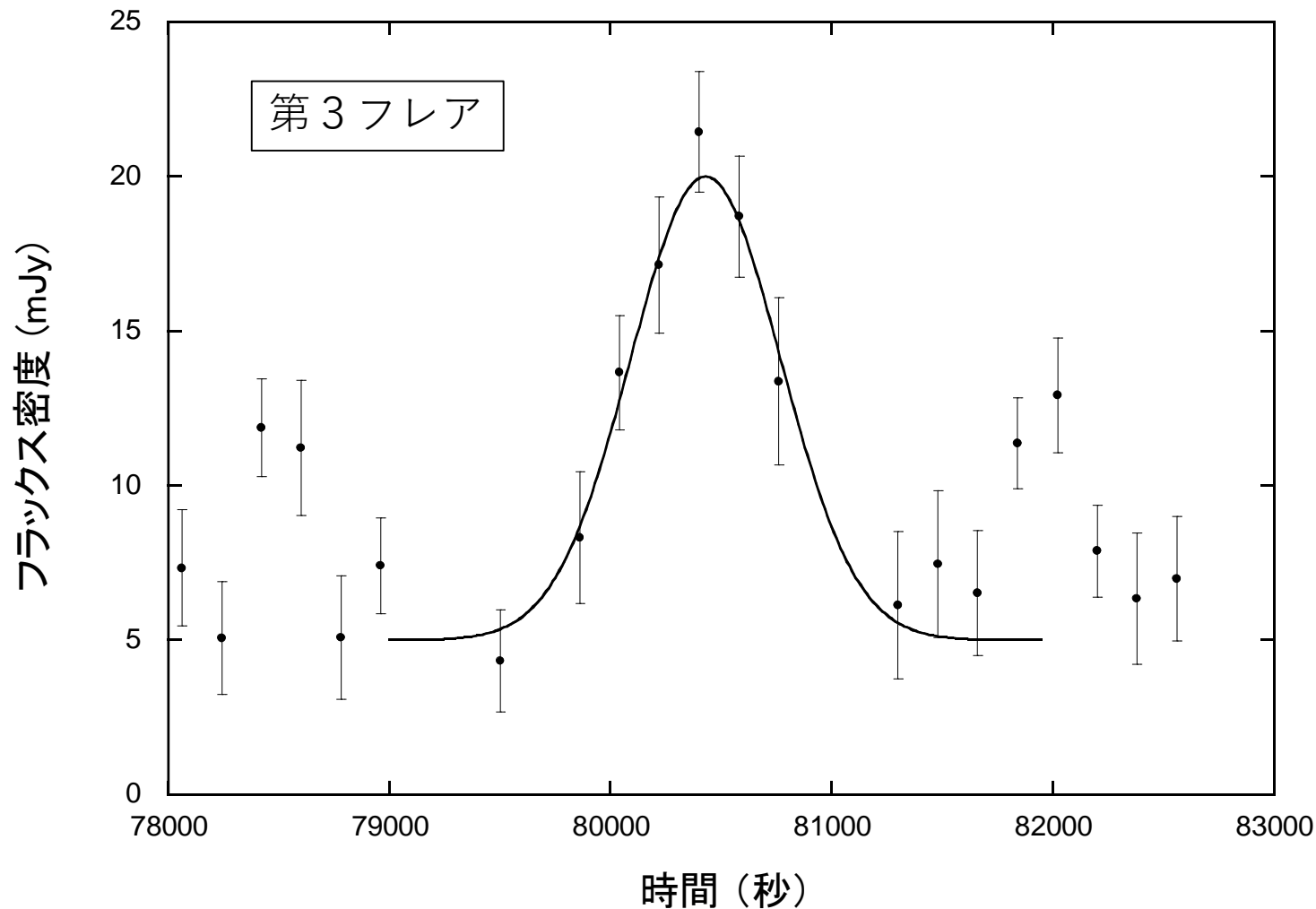


- 3 - 23 mJyに及ぶ変動がみられた。
- 明瞭な変動のピーク（フレア）が3回観測された。変動幅は5 - 15 mJyに達した。
- 第3フレアでは、30分間という短時間でフレアの上昇と下降が完了した。

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

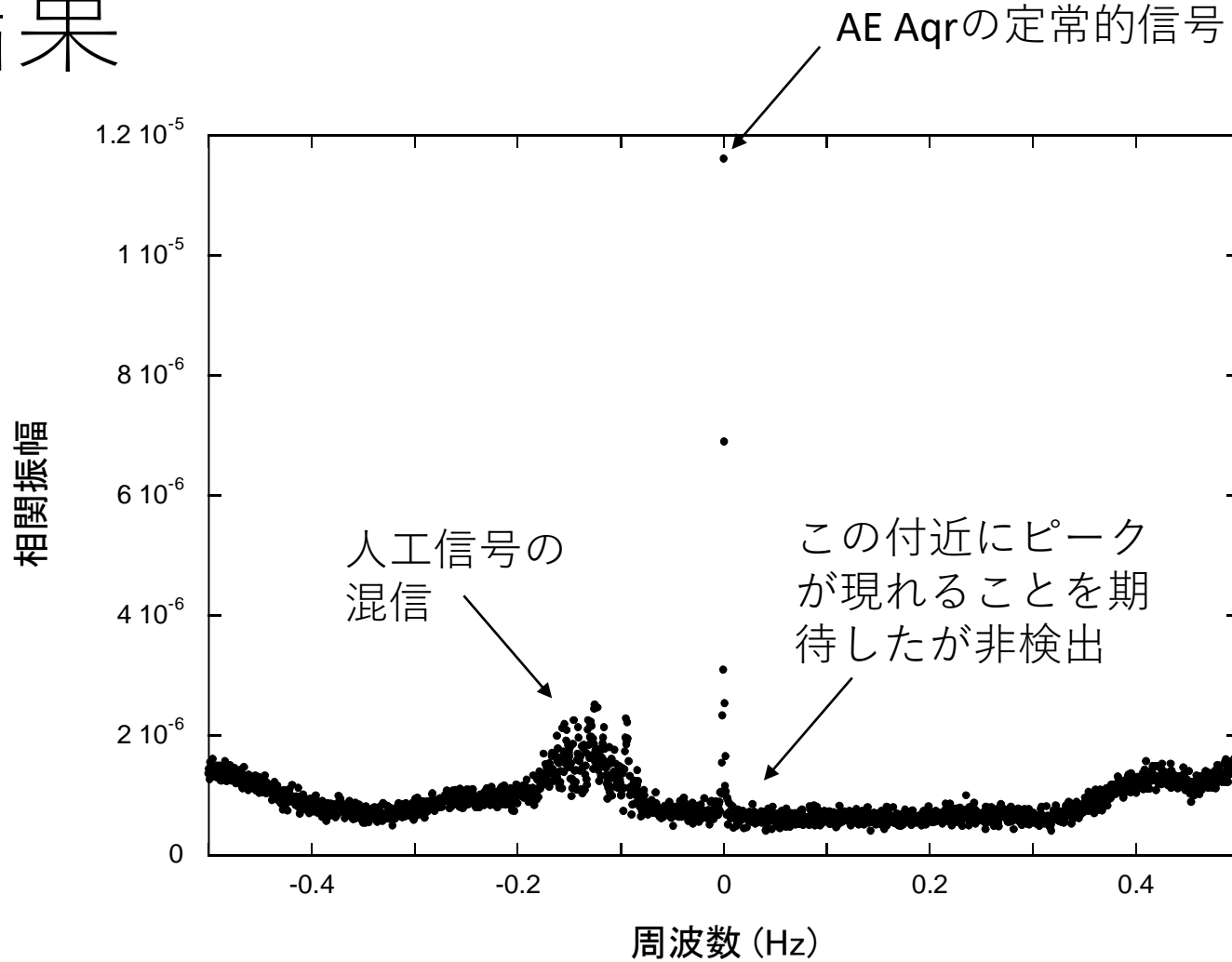


- 3 - 23 mJyに及ぶ変動がみられた。
- 明瞭な変動のピーク（フレア）が3回観測された。変動幅は5 - 15 mJyに達した。
- 第3フレアでは、30分間という短時間でフレアの上昇と下降が完了した。

周期解析

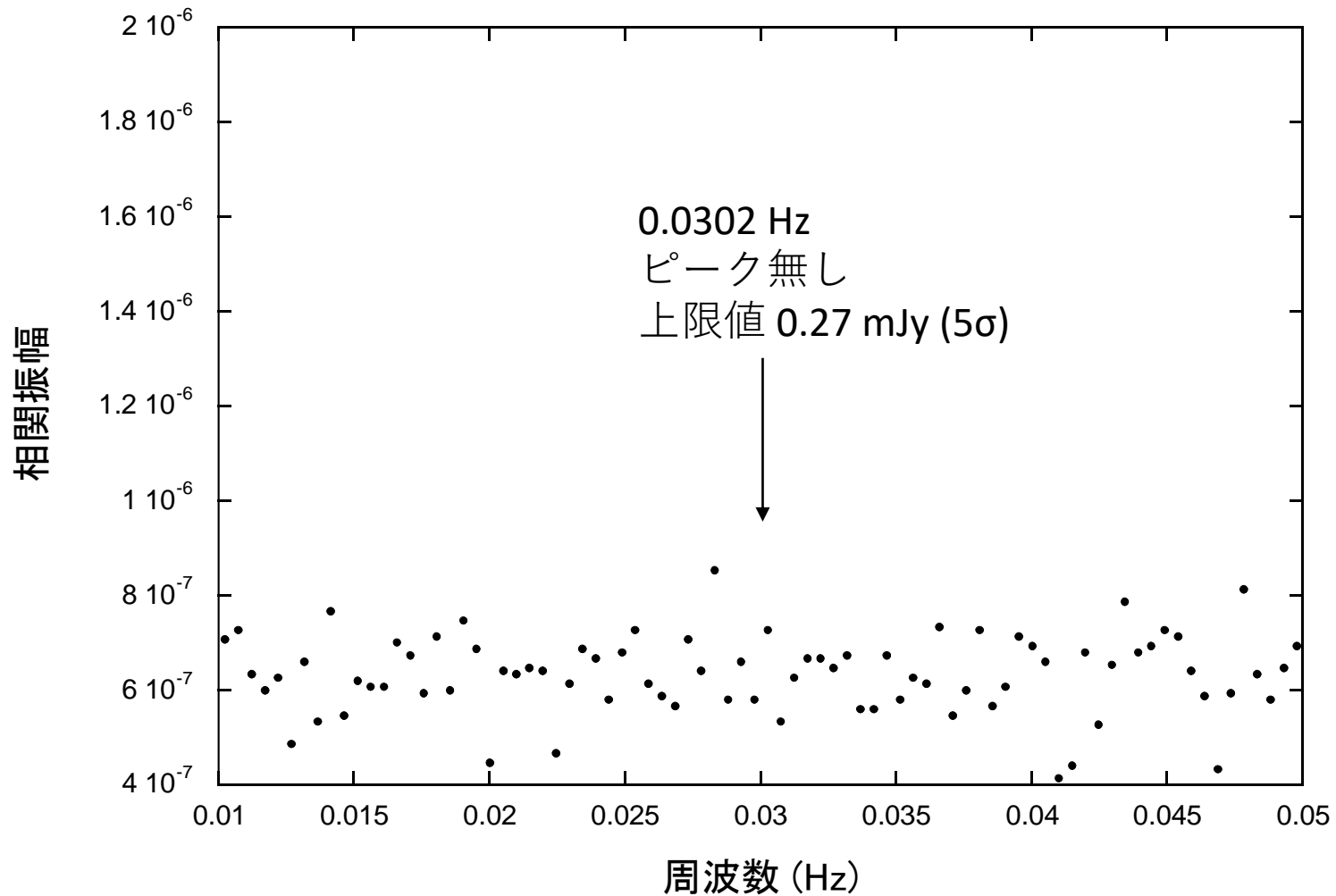
- 自転周期に同期した周期的強度変動の探査
 - 自転周期 $P=33.08$ sec ($f=0.0302$ Hz)
- 解析方法
 - 積分時間1秒の相互相関振幅を、時間軸方向にフーリエ変換して振幅変動のスペクトルとする。積分時間が短いので1秒ごとのデータではフリッジはノイズより小さくて検出できないが、これを時間方向にフーリエ変換することで積分時間を延長してノイズを低減し、信号検出および周期性検出を試みる。

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
- 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



- 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 試験観測のまとめ

- 研究目的
 - AE Aqrの電波放射機構解明
- 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の検出を試みたが、0.27 mJyの上限値で非検出

まとめ

1. 山口干渉計

- 山口32m-34mの1基線干渉計、検出特化
- 3 mJy程度の連続波天体を検出可能 (6/8 GHz)

2. X線トランジェント天体の観測

- MAXIグループの速報を受けてフォローアップ観測を実施した。今後も随時実施予定。

3. マイクロクエーサーGRS1915+105

- 短時間強度変動のモニター観測実施中。

4. 激変星AE Aqr

- 短時間変動と周期性の探査。今後はVLBIも行う予定。

5. 超新星・重力波源天体のフォローアップ

- 検討中。今年度中に試験観測実施予定。