

銀河中心領域のブラックホール 候補天体の強度変動

助廣沙知（山口大学 M1）

共同研究者 藤沢健太、新沼浩太郎（山口大学）、米倉覚則（茨城大学）

発表の流れ



01

背景



02

観測概要



03

結果



04

今後の観測



05

まとめ



1. 背景

銀河系内ブラックホール、
超大質量ブラックホールの形成過程、研究目的



銀河系内ブラックホール

- 銀河系内の星の割合と銀河の年齢より、銀河系内には $\sim 4 \times 10^8$ 個のブラックホールが存在すると予想（現代の天文学16巻より）
- チャンドラX線観測衛星を使用した研究(Charles J. H., Kaya M., et al. 2018)
 - Sgr A* から 1 pc 以内に低質量X線連星系が発見
 - 数百個のブラックホールの存在が示唆

それでもまだ理論的な予想よりも少ない

新たなブラックホールを同定して統計的な議論をしたい

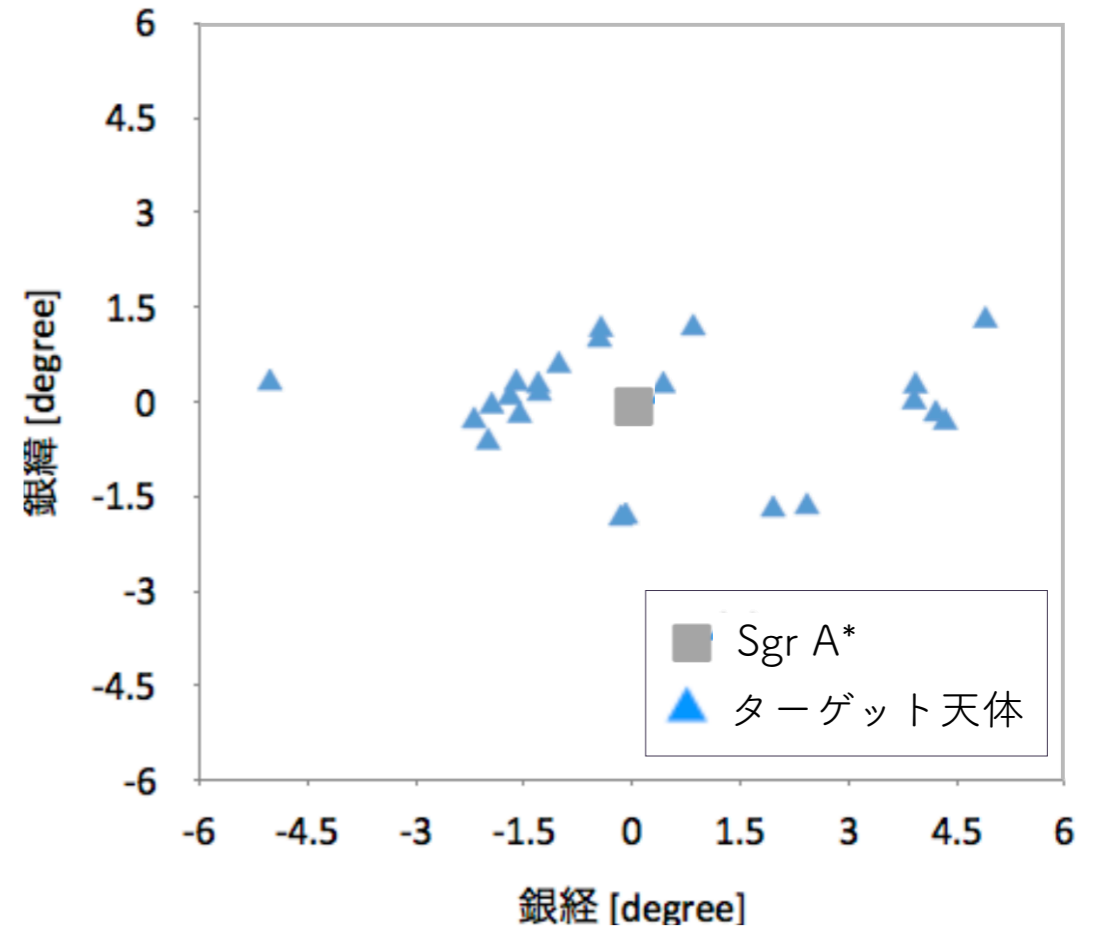


探査範囲

探査範囲は銀河系中心領域



Sgr A*が過去に**銀河合体により形成**されたならばブラックホールが多数存在している可能性が高いから



ターゲット天体空間分布図



超大質量ブラックホール形成の謎

■ 超大質量ブラックホールの形成過程は未解明

→ 連星系のブラックホールの場合、伴星からのガスの降着により質量が増加

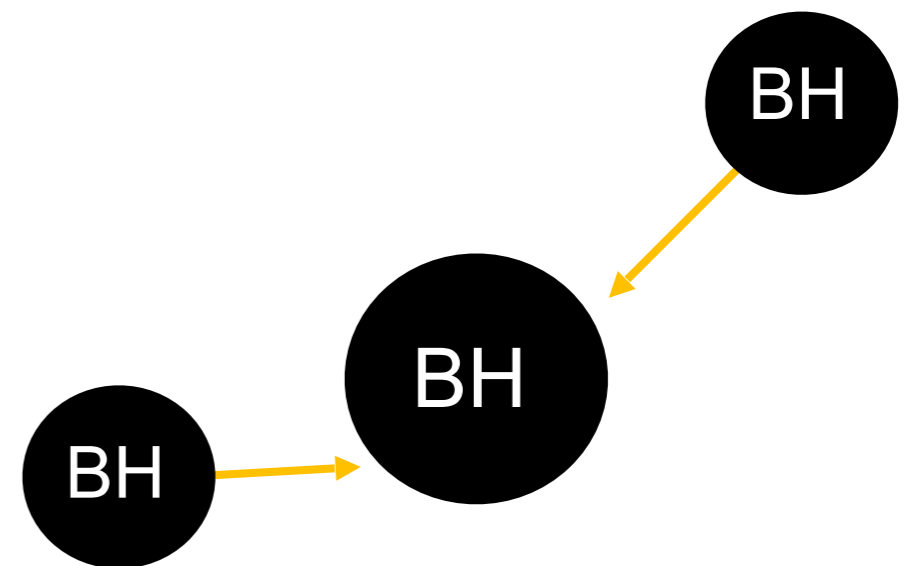
■ 宇宙誕生から6.9億年の時に

$8 \times 10^8 M_{\text{sun}}$ の超大質量ブラックホールが存在することが発見(Bram P. V., Fabian W., et al. 2017)

→ 特殊なメカニズムの存在を示唆

■ 超大質量ブラックホールの形成過程としていくつかの仮説が存在

→ その中の1つが「ブラックホール同士の合体成長」





ブラックホール同士の合体成長

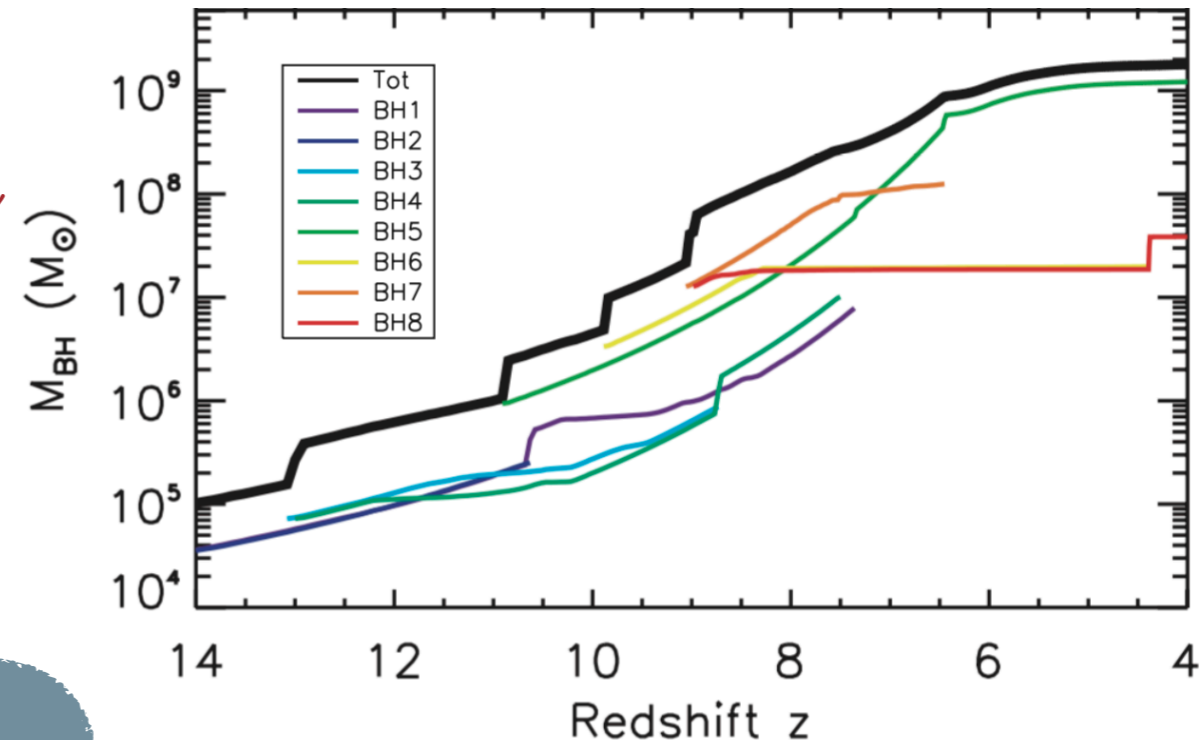
銀河全体とバルジの質量には相関あり（マゴリアン関係）（Marconi & Hunt, 2003）

→ 複数の小さな銀河の合体で、大質量銀河が形成した可能性

8個の銀河の成長のシミュレーション

→ 銀河の合体に伴い、中心ブラックホールが母銀河に吸収され合体していく

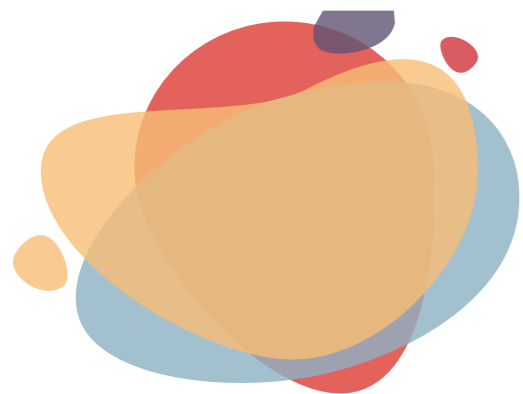
中心ブラックホールと銀河は合体衝突に伴い共進化する



銀河合体によるブラックホールの成長のシミュレーション(Li et al., 2007; 改変)

ブラックホール同士が合体することで約10億年のタイムスケールで $10^9 M_{\text{sun}}$ まで超大質量ブラックホールが成長できる

この形成過程によって形成されたなら残されたブラックホールが浮遊しているはず！！



最終目標

- 銀河系内の星の割合と銀河の年齢から推測すると、銀河系内には $\sim 4 \times 10^8$ 個のブラックホールが存在するとされている
- 現在、銀河系内にはブラックホール候補天体が数十天体しか見つかっていない

新たな銀河系内のブラックホールを同定して統計的な議論をする

- ここで、超大質量ブラックホールの形成過程の「ブラックホール同士の合体成長」に着目
- Sgr A*が合体成長によって形成されたなら
 - Sgr A*の近傍にブラックホールが存在する可能性



ブラックホール候補天体の特徴

1. コンパクトな電波構造である
2. スペクトルがフラットである
3. 短期の強度変動を示す（数日程度）
4. 背景AGNとは異なる固有運動を示す



ブラックホール候補天体の特徴

1. コンパクトな電波構造である

■ ブラックホールの質量が $10^9 M_{\text{sun}}$ の時、シュバルツシルト半径は

$$R_S = \frac{2GM}{c^2} = 2.9 \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right) = 2.9 \times 10^9 \text{ [km]} = 4.1 \times 10^3 R_{\odot}$$

非常にコンパクト

2. スペクトルがフラットである

■ ブラックホールは高エネルギー粒子が多いので、スペクトルはフラットになる



ブラックホール候補天体の特徴

3. 短期の強度変動を示す

■ ブラックホールの質量が $10^6 M_{\text{sun}}$ の時、シュバルツシルト半径は $3 \times 10^6 \text{ km}$

その時の強度変動のタイムスケールは

$$\tau = \frac{R_S}{c} = \frac{3 \times 10^9}{3 \times 10^8} = 10 \text{ [sec]}$$

4. 背景AGNと異なる固有運動を示す

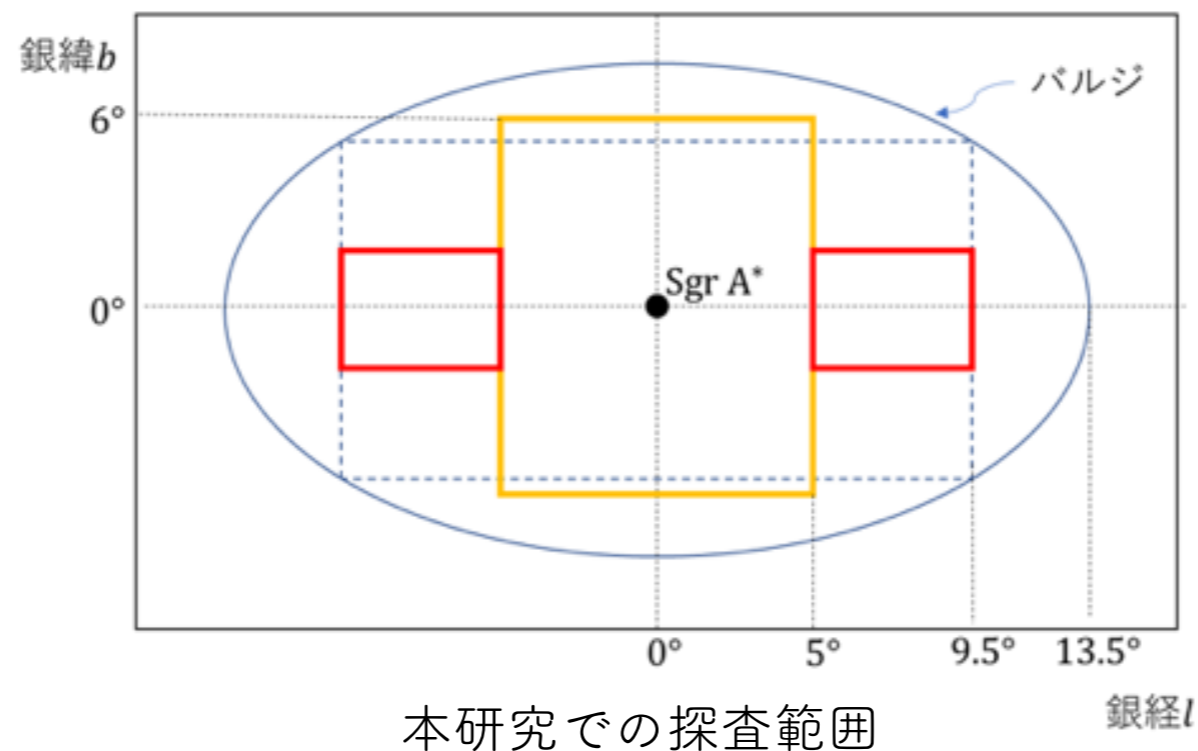
■ 銀河系の中心に存在していたら銀河の回転に沿って運動する

■ ほとんど動かない背景AGNとは異なる固有運動を示す



先行研究

1. $-5^\circ < l < 5^\circ, -6^\circ < b < 6^\circ$ の範囲で、選出条件を満たす61天体について探査
(山口32m、日立32m、つくば32m)
→ 23天体検出 (3 σ 以上; AIPSで解析)
2. $350.5^\circ < l < 355.0^\circ, 5.0^\circ < l < 9.5^\circ, -0.4^\circ < b < 0.4^\circ$ の範囲で、選出条件を満たす
24天体について探査 (山口34m、日立32m)
→ 4天体検出 (7 σ 以上; GICO3で解析)

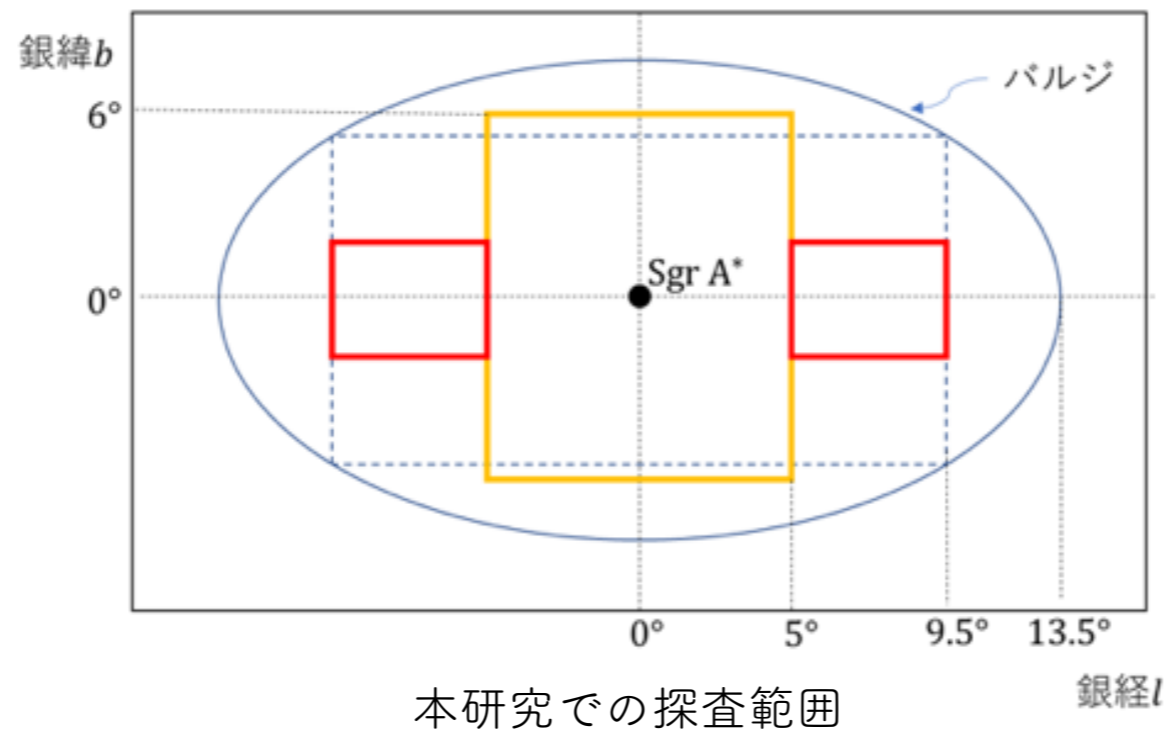




研究目的

1. ブラックホール候補天体の4つの特徴についてカタログから選出した85天体を観測条件を揃えて再観測

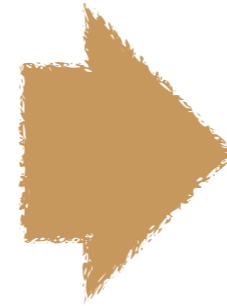
2. ブラックホール候補天体の特徴「3. 短期の強度変動を示す」について先行研究で検出された23天体について観測





研究目的

1. コンパクトな電波構造である
2. スペクトルがフラットである
3. 短期の強度変動を示す
4. 銀河系の中心に存在するので、背景AGNとは異なる固有運動を示す



23天体

23天体に対して「短期の強度変動を示す」かどうか調べる

→ ブラックホール候補天体をより絞る！！



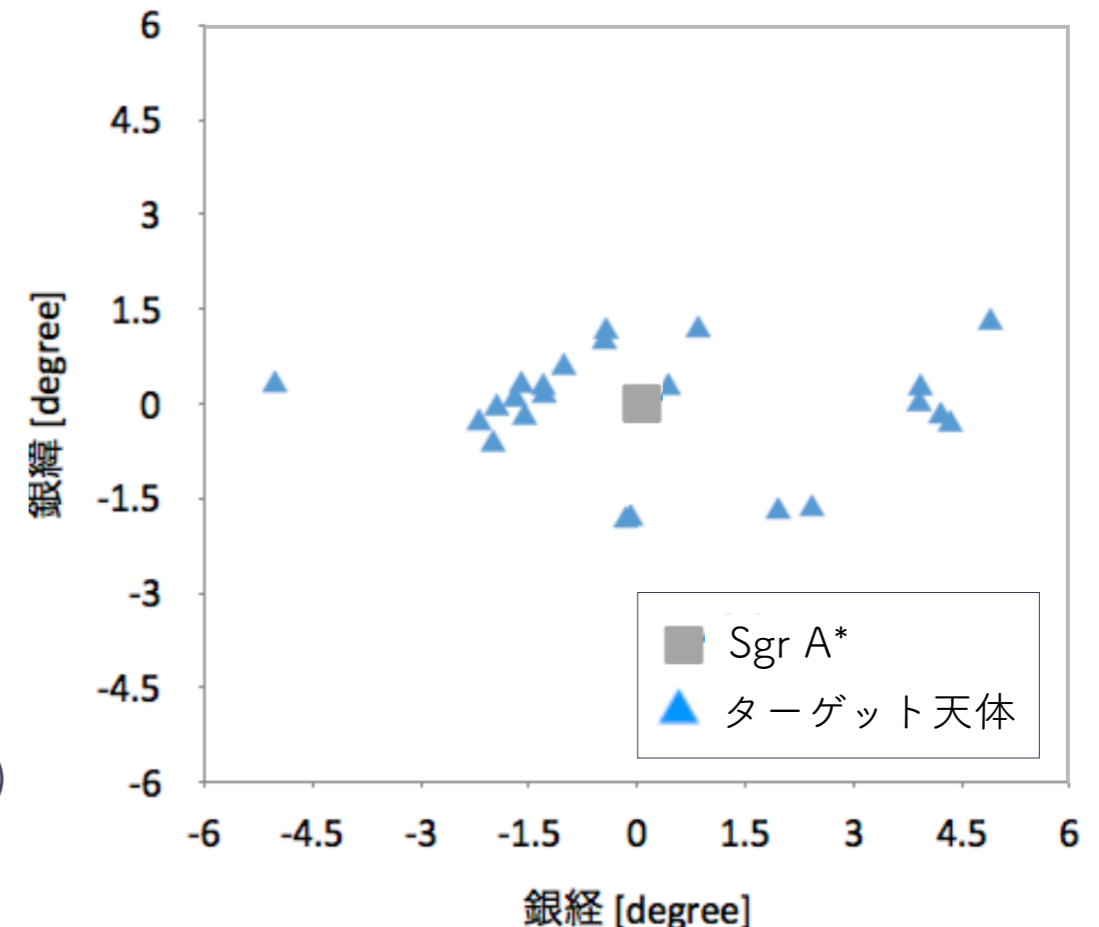
2. 観測概要



観測概要(1 Epoch, 2 Epoch)

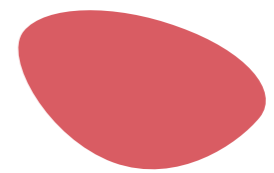
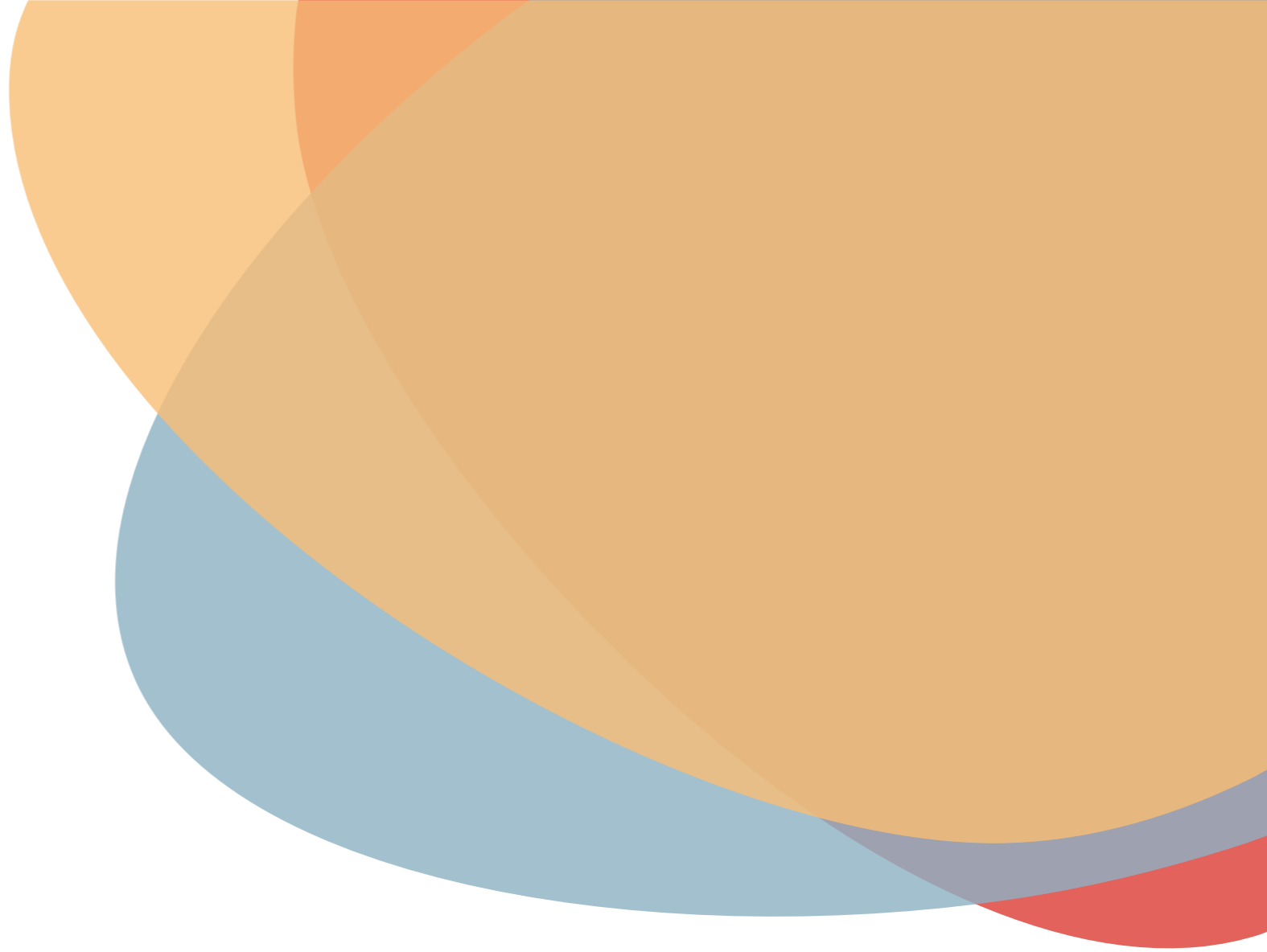
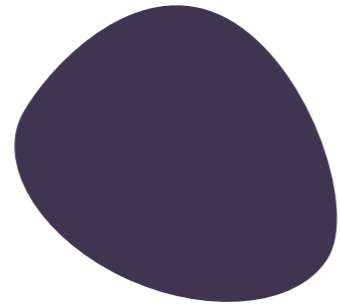
< 観測パラメータ >

- 使用局 山口第1、日立
- 観測日 2018/06/29, 2018/07/09
- 観測時間 6時間
- キャリブレーション NRAO530 (フラックス較正)
J1807-2506 (ゲイン較正)
- ターゲット天体 23天体
(2 scan/source, 360 sec/scan)
- 検出条件 SNR > 7
- 角度分解能 8.4 mas



ターゲット天体空間分布図

3. 結果



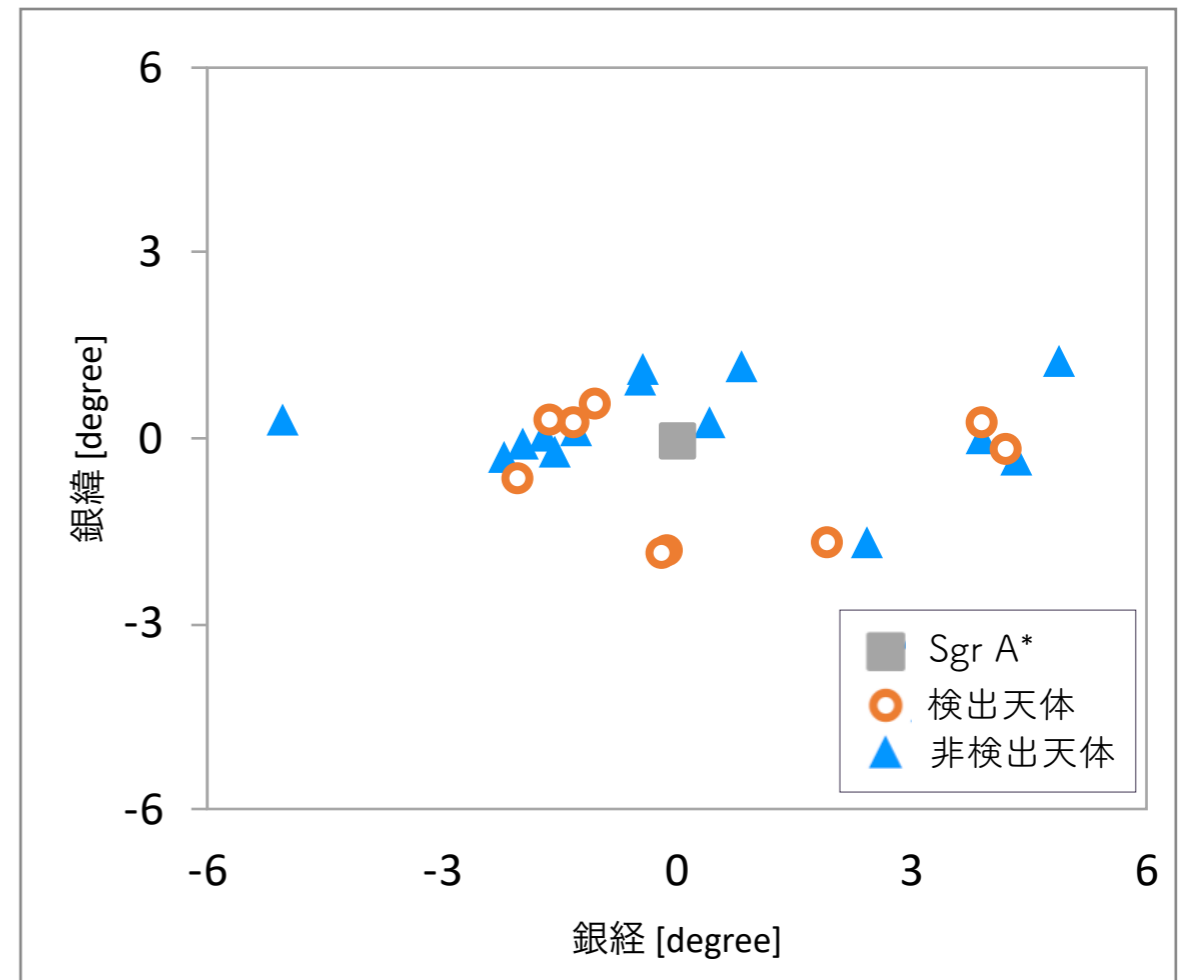


観測結果(1 Epoch, 2 Epoch)

23天体中9天体検出

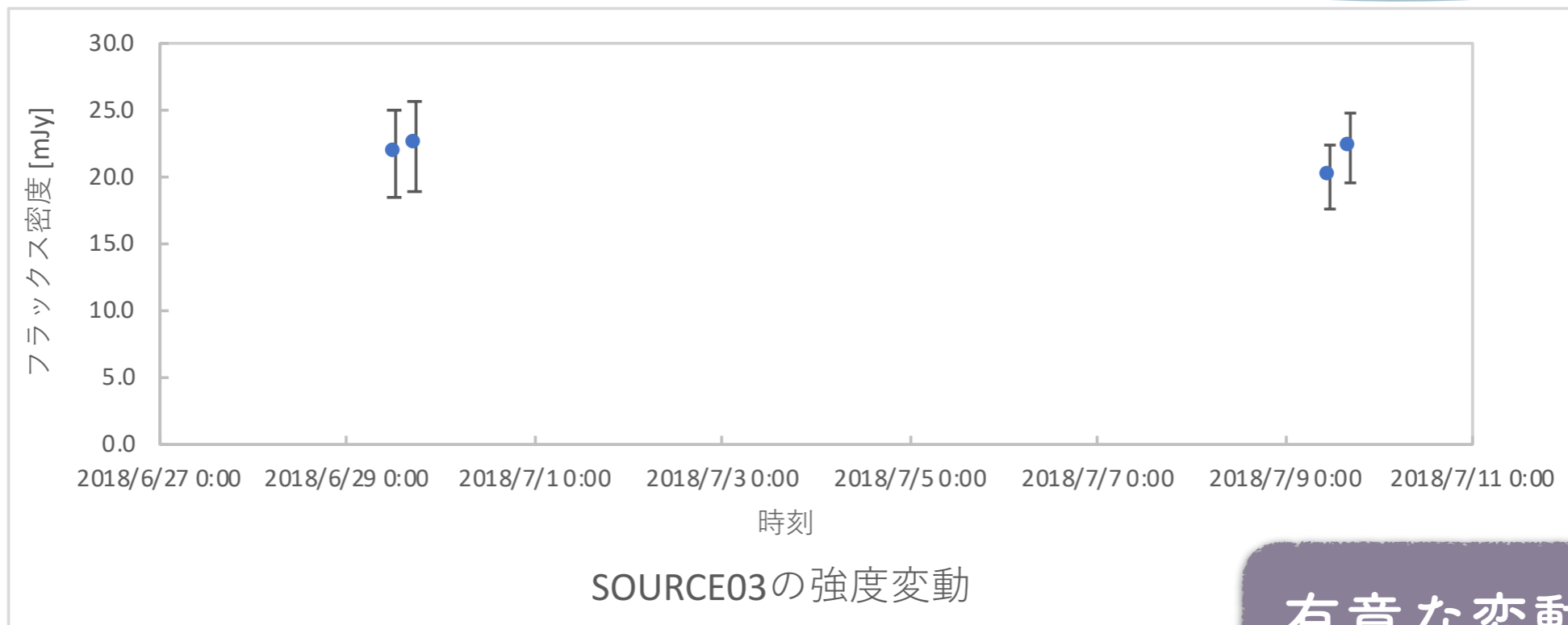
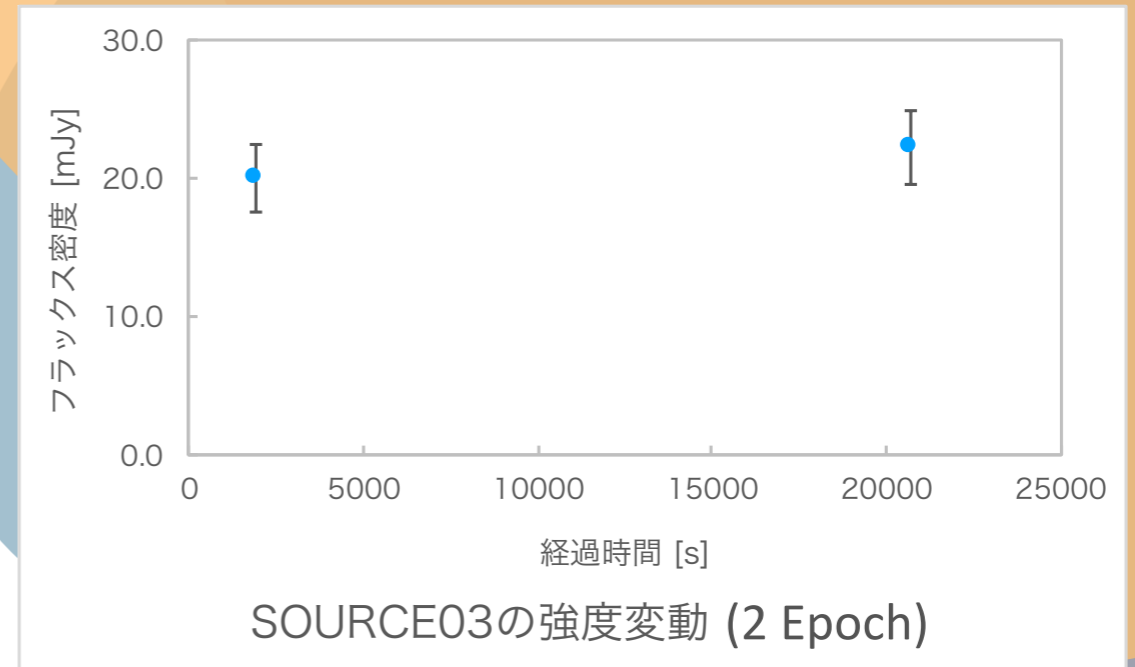
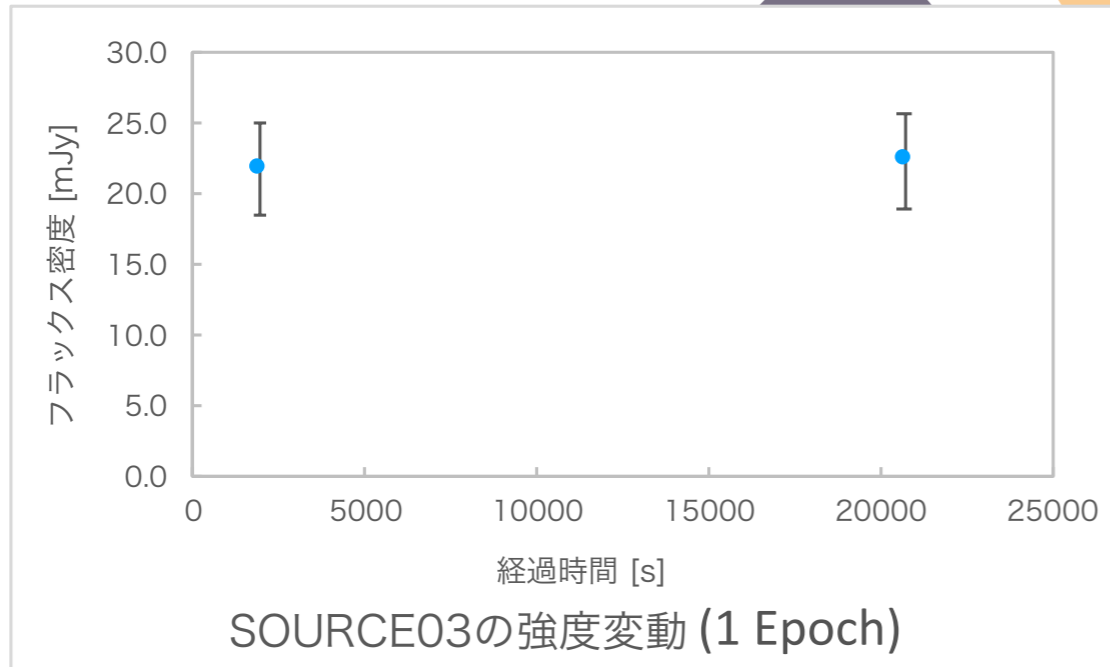
1日に2 scan + 10日間隔で2回観測

→ 「1日未満」 + 「数日間隔」の強度変動に着目



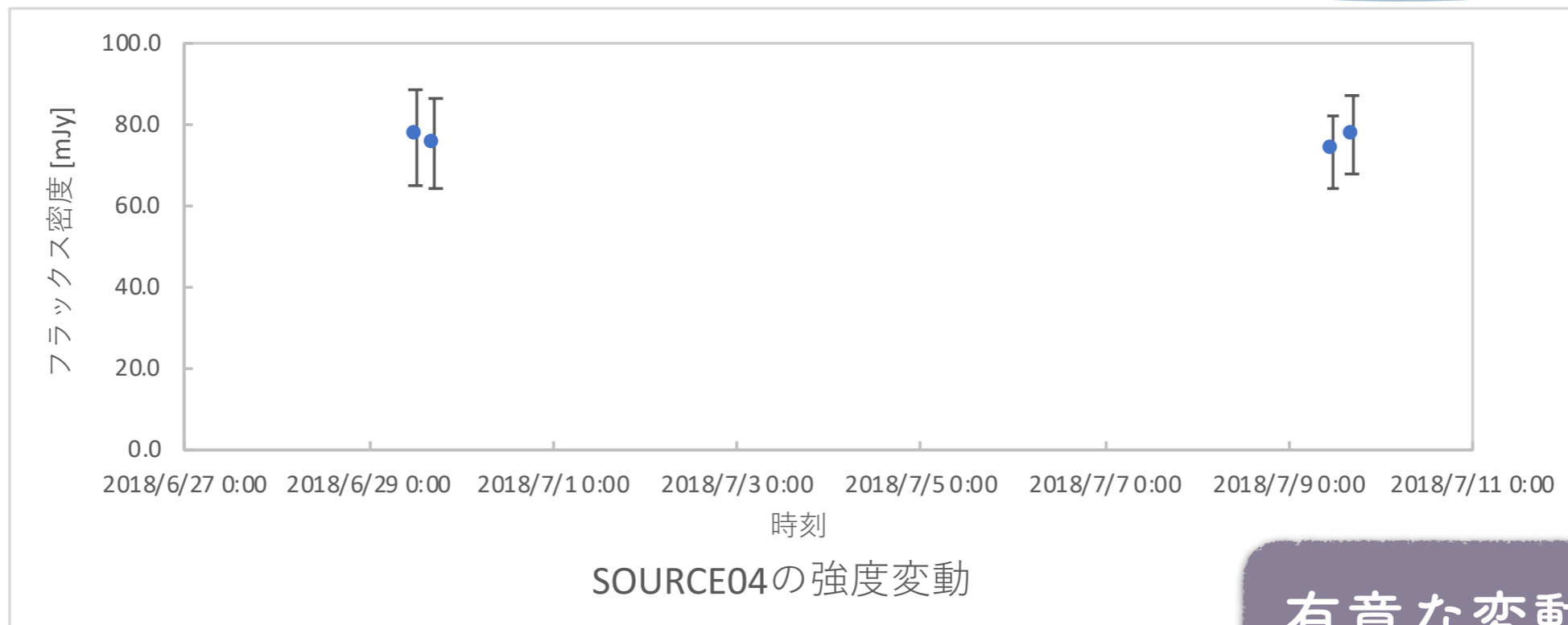
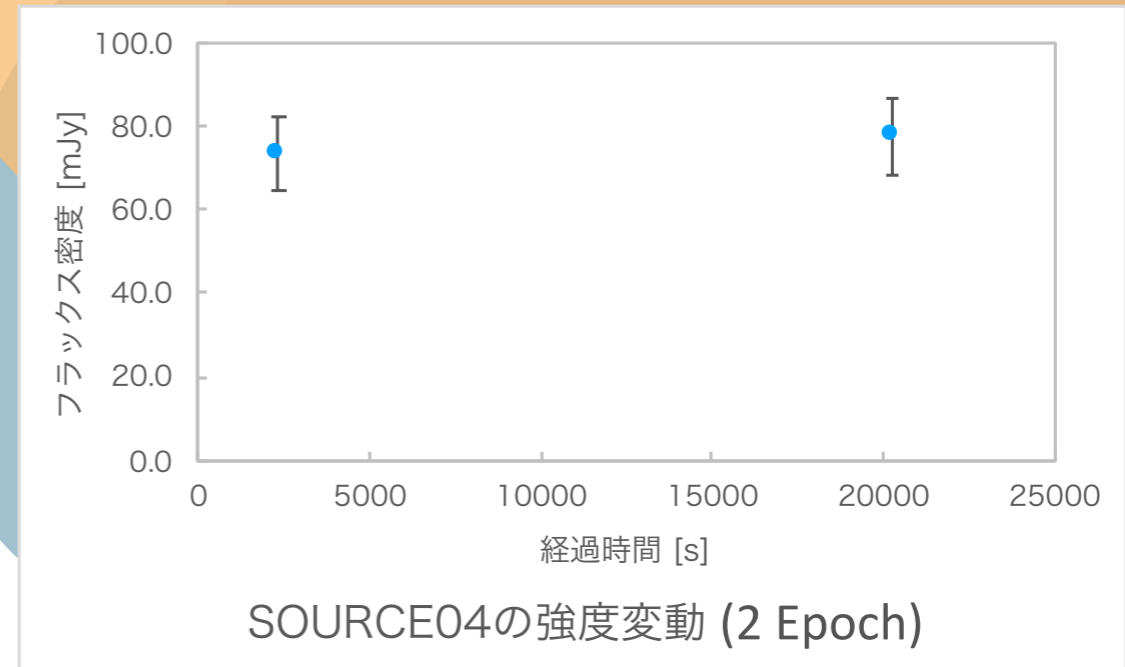
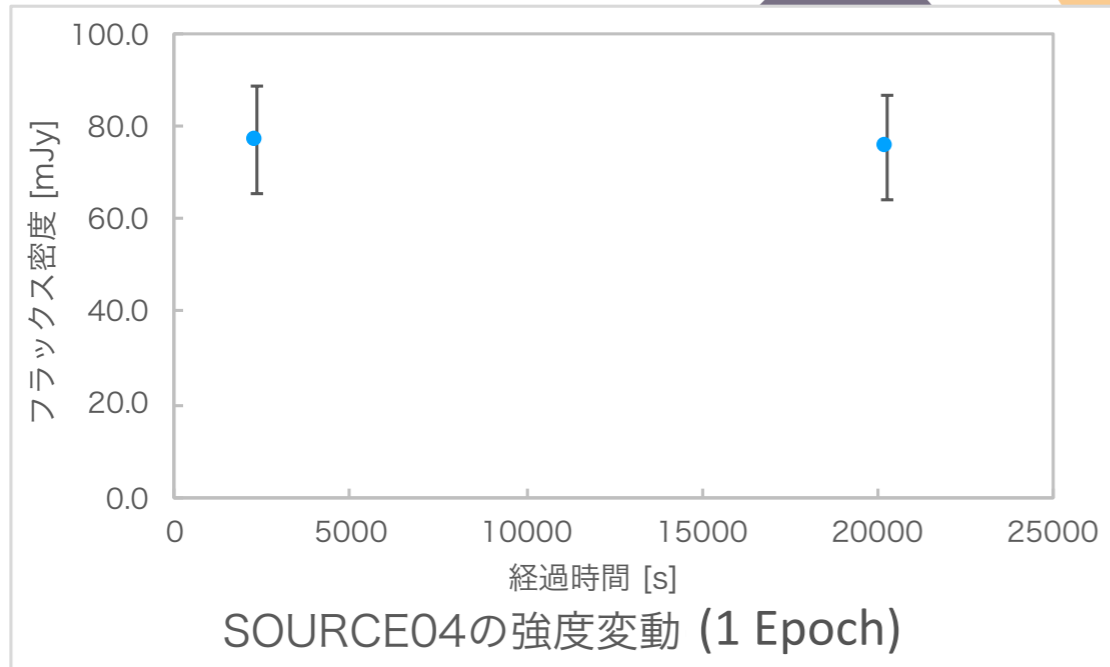
ターゲット天体空間分布図 (結果)

SOURCE03



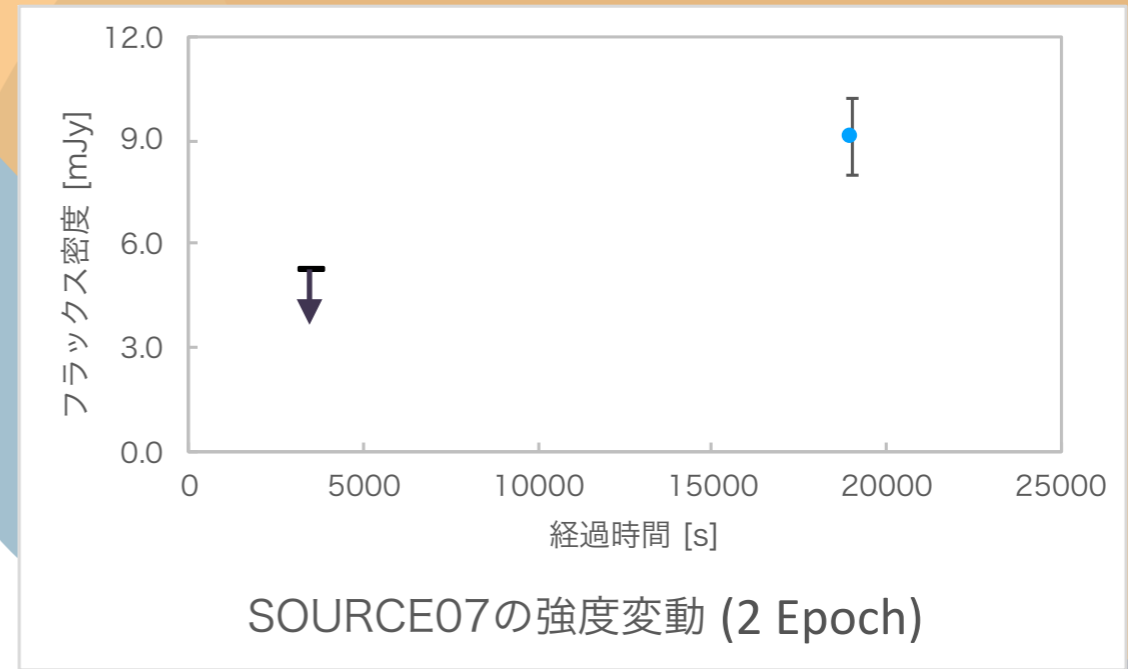
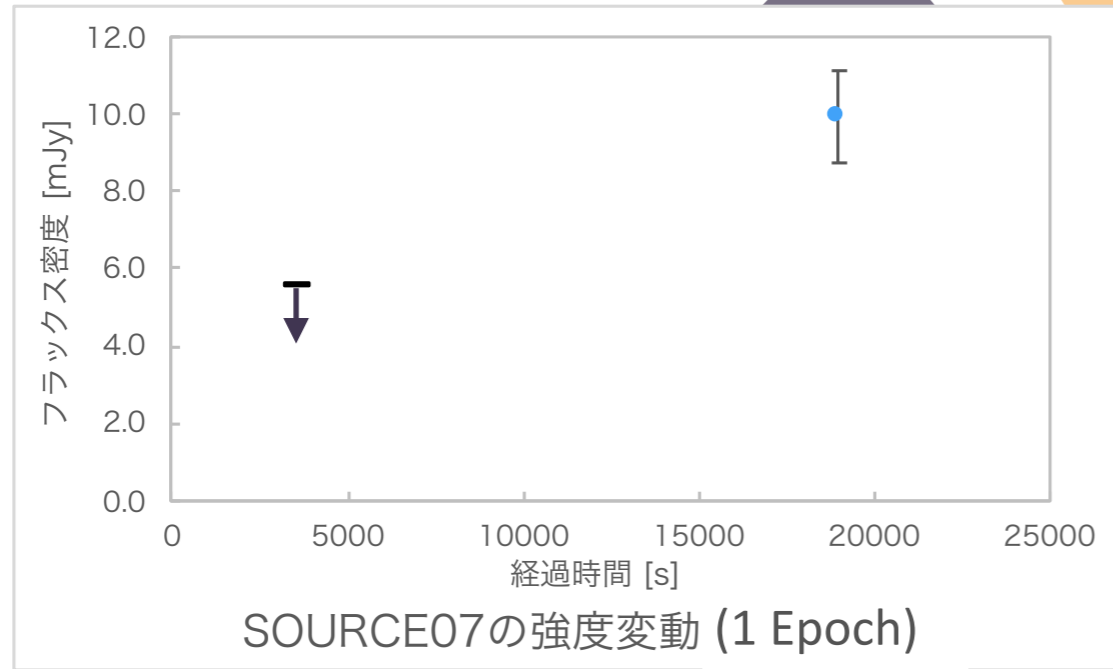
有意な変動はない

SOURCE04

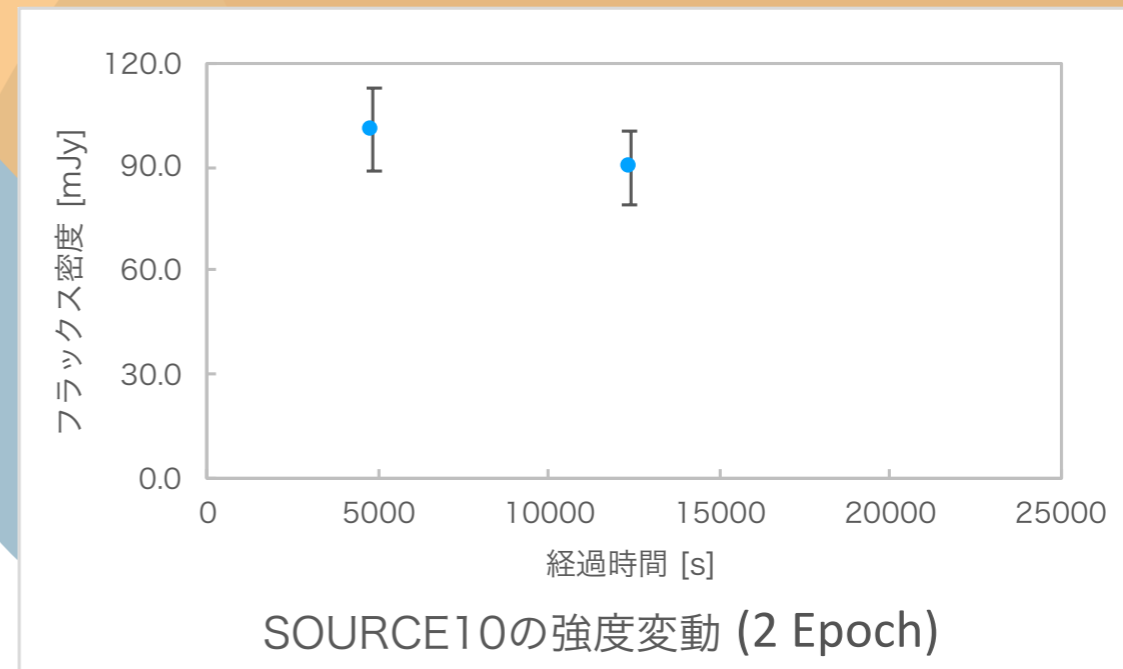
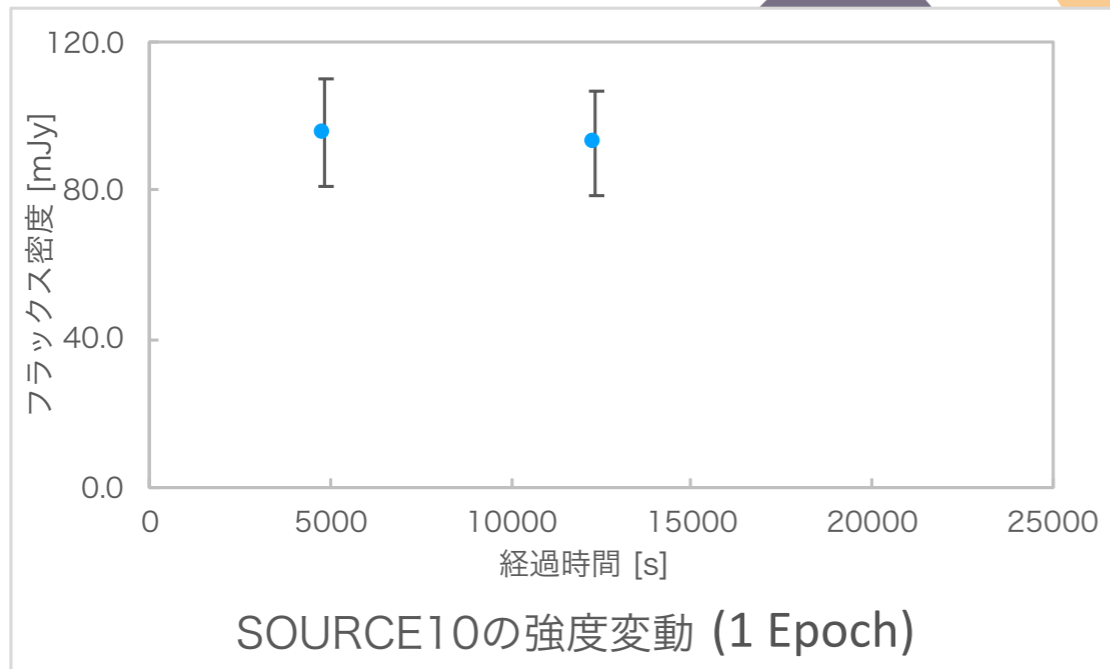


有意な変動はない

SOURCE07

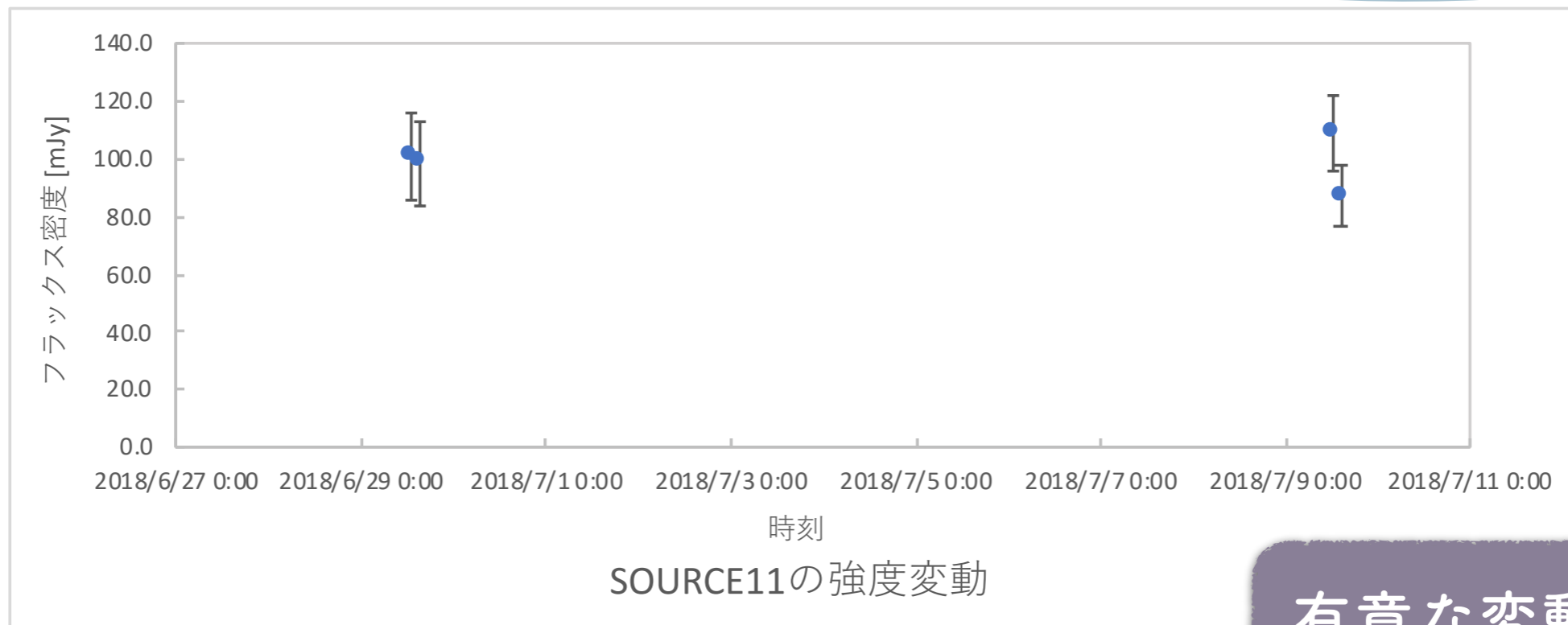
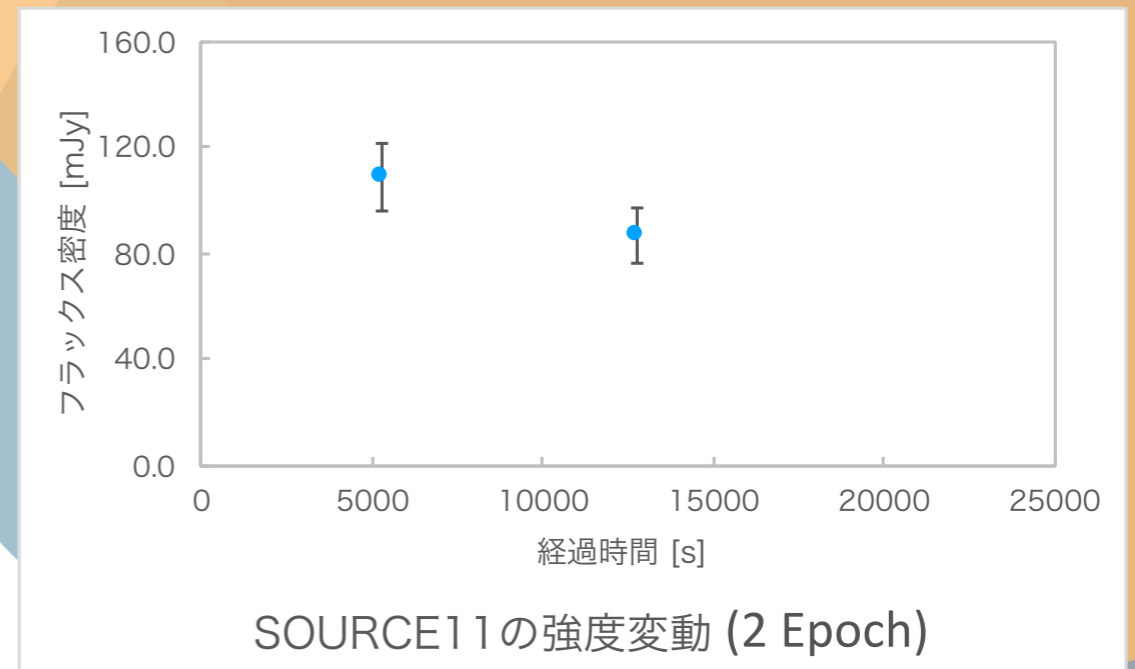
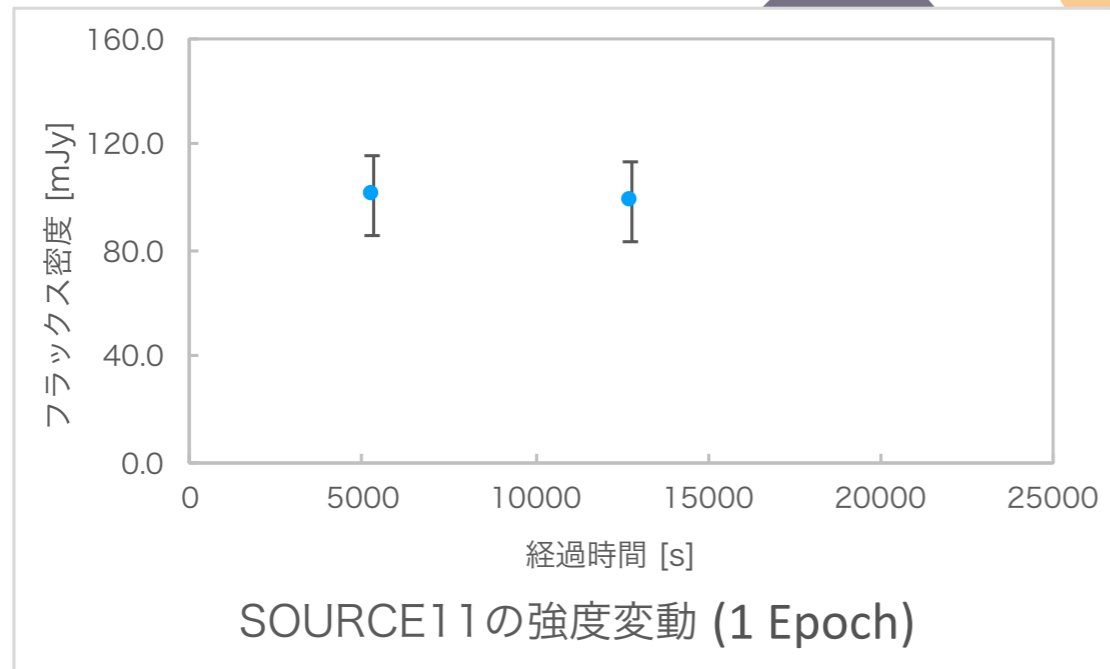


SOURCE10



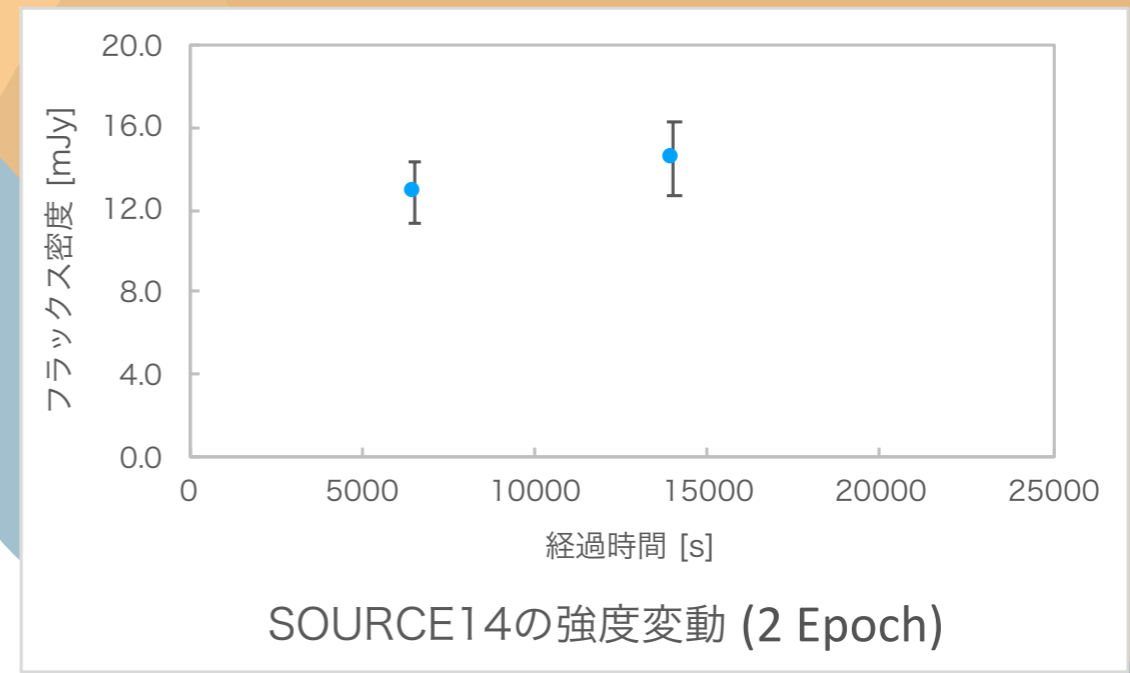
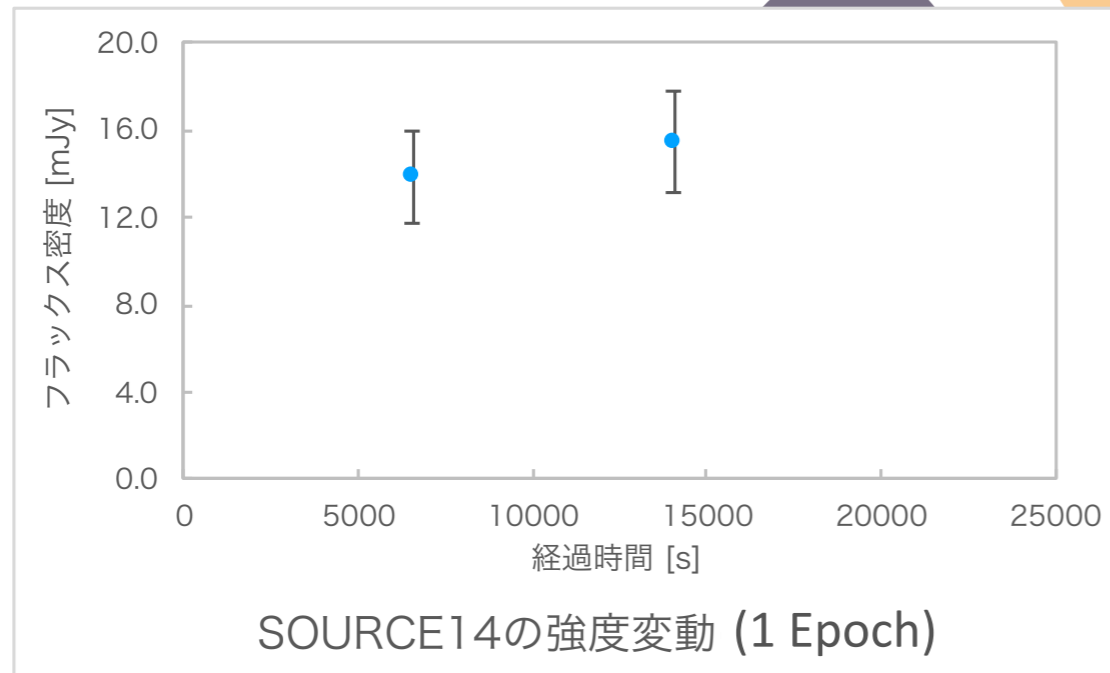
有意な変動はない

SOURCE11



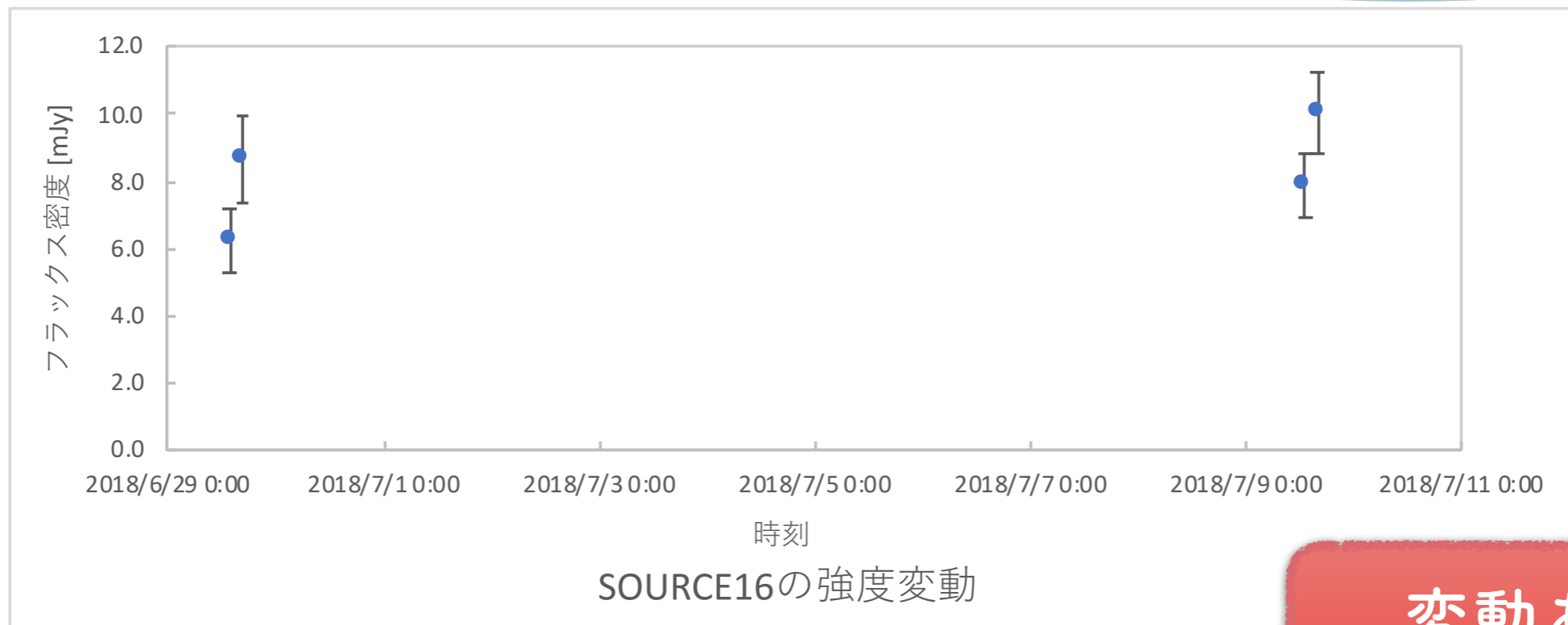
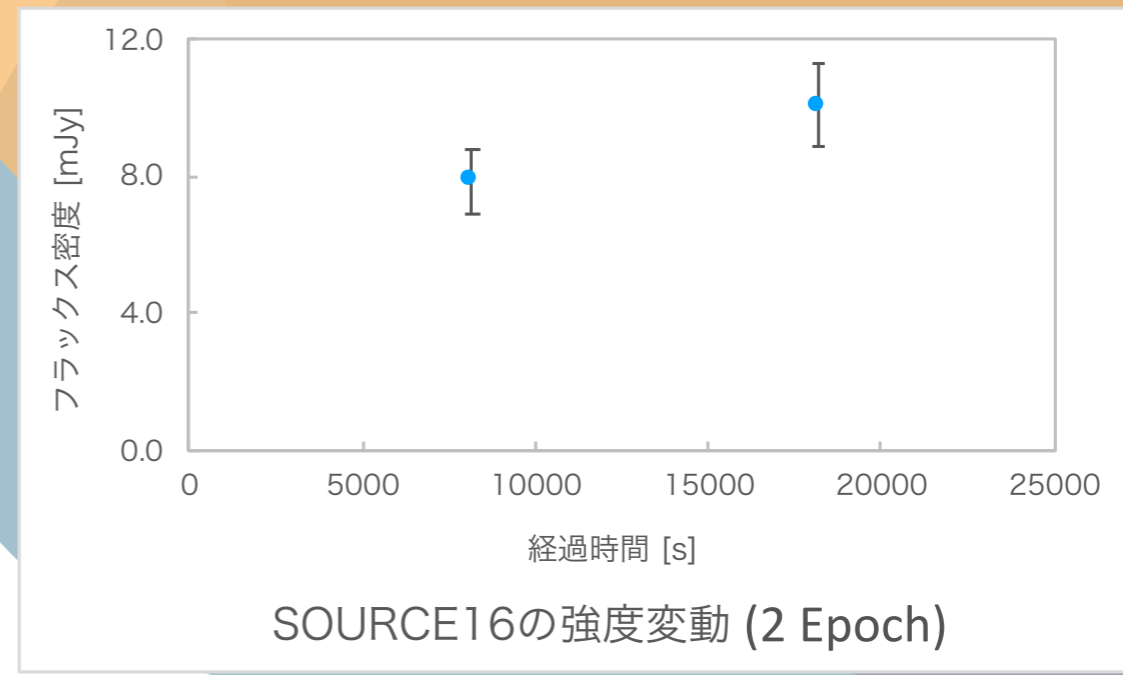
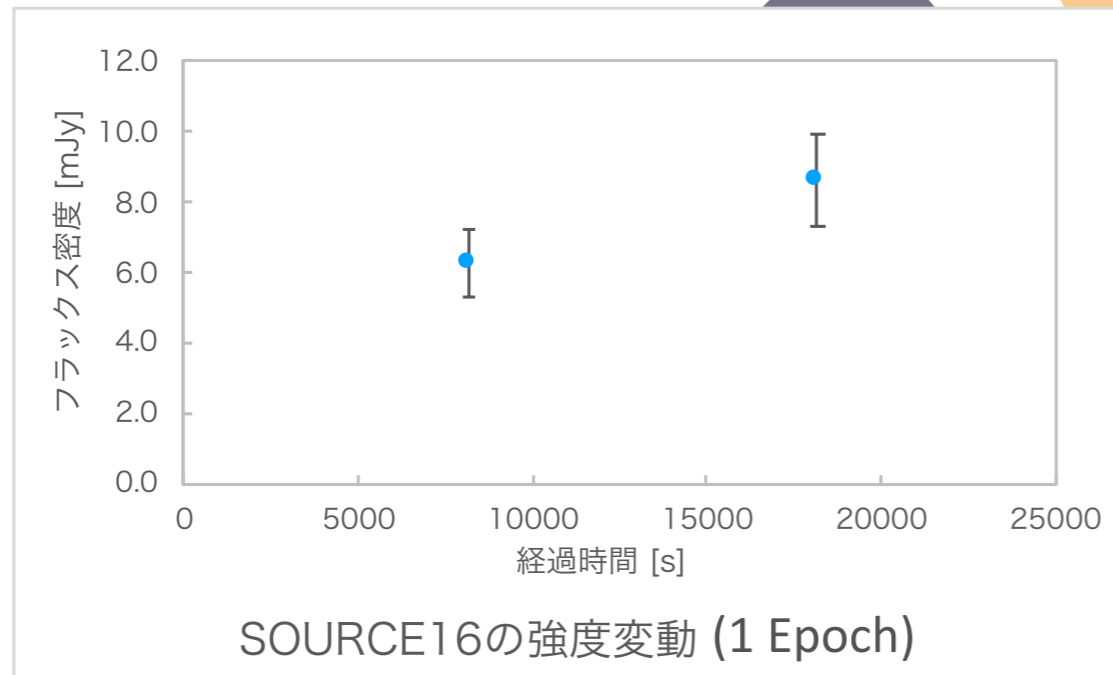
有意な変動はない

SOURCE14



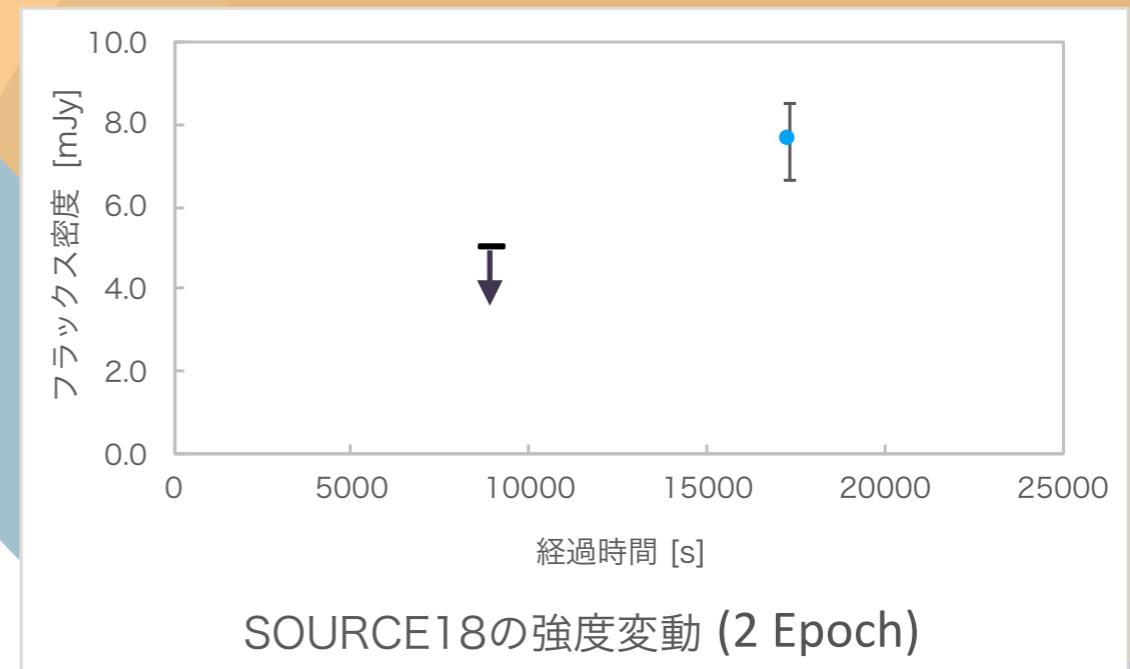
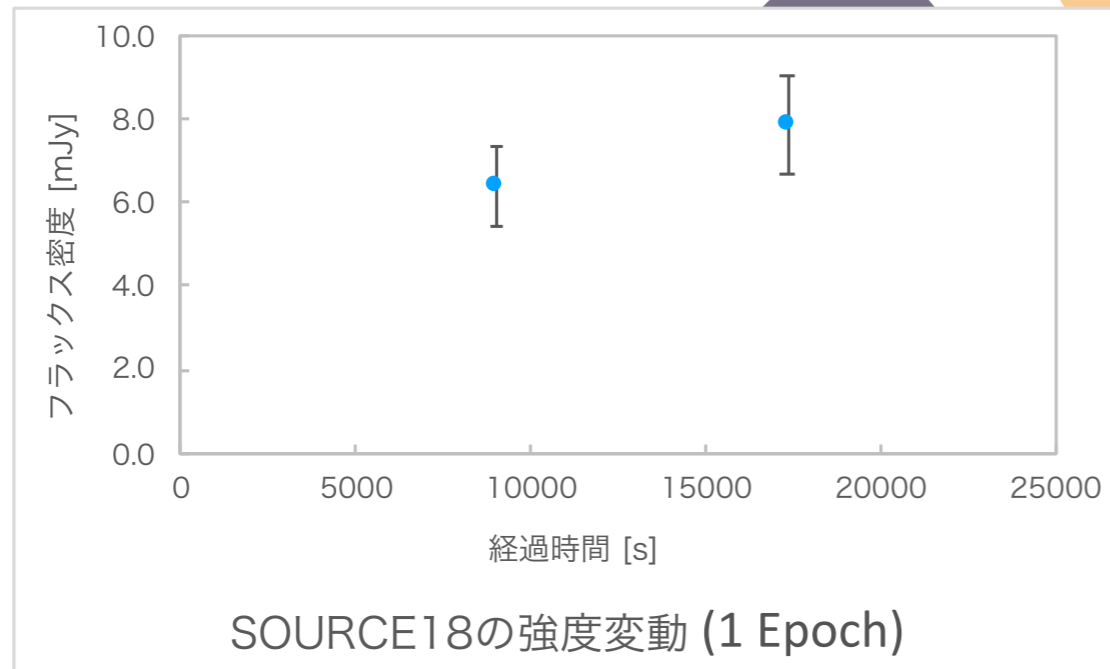
有意な変動はない

SOURCE16



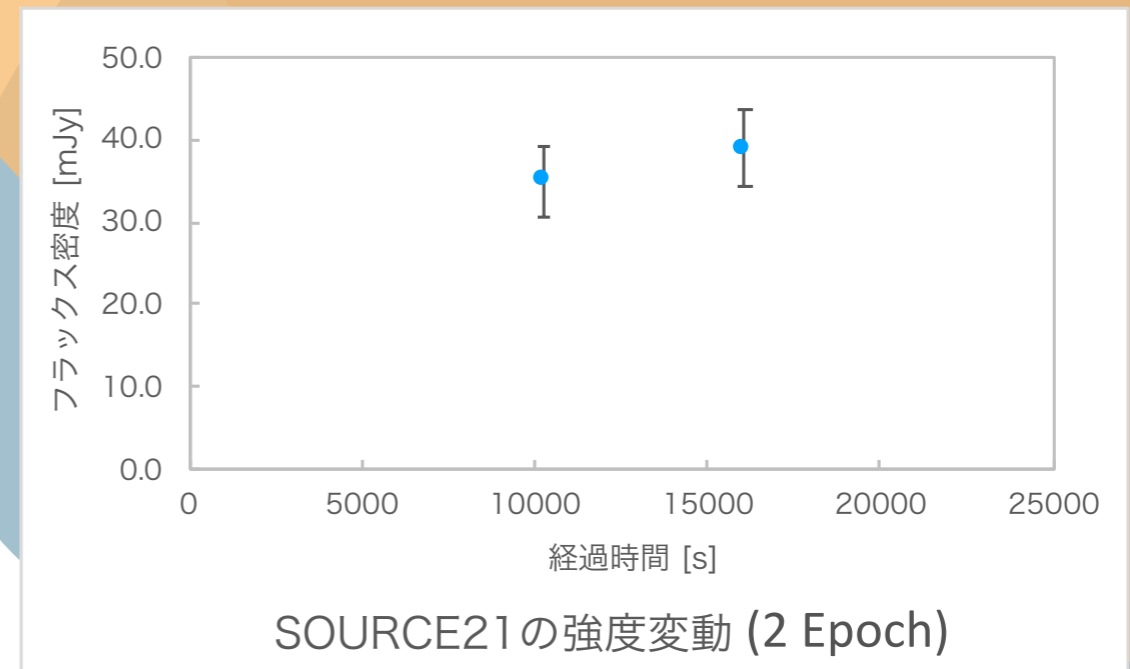
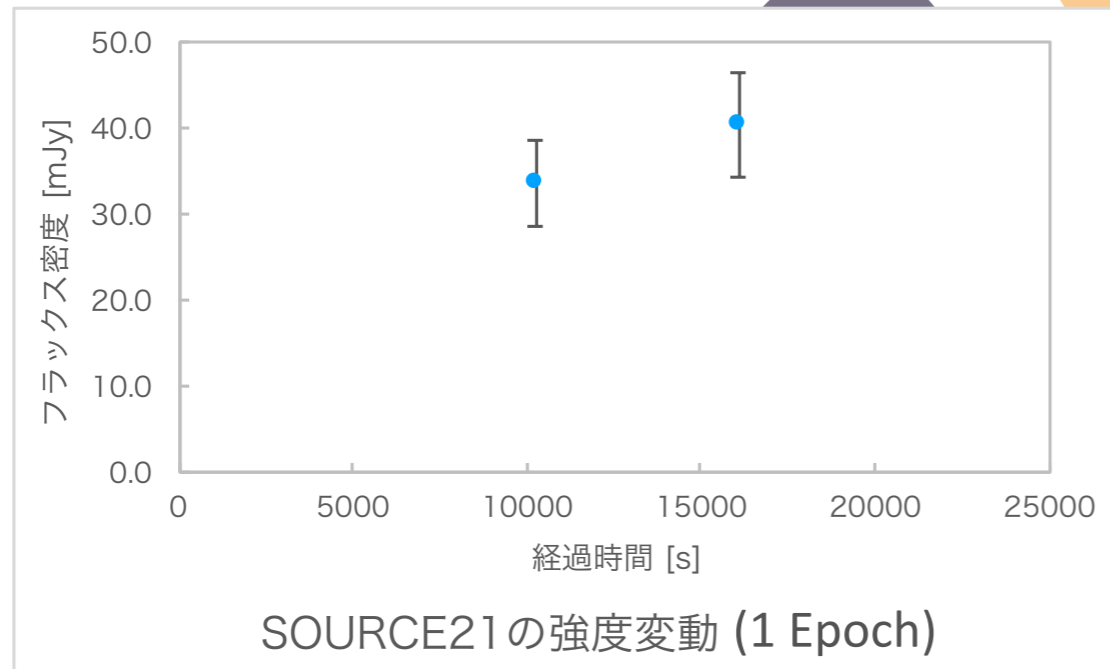
変動あり？

SOURCE18



変動あり？

SOURCE21



有意な変動はない



観測結果(1 Epoch, 2 Epoch)

- 23天体中9天体を 7σ 以上で検出
- SOURCE03, SOURCE04, SOURCE10, SOURCE11, SOURCE14, SOURCE21は有意な変動なし
- SOURCE07, SOURCE16, SOURCE18は強度変動をしている可能性が示唆
 - より短期間の観測を行いたい
 - 共通点：3天体ともフラックス密度が検出限界ギリギリの10 mJy以下である
- さらに同じ観測条件で観測を行っていくことで、短期の強度変動を調べる



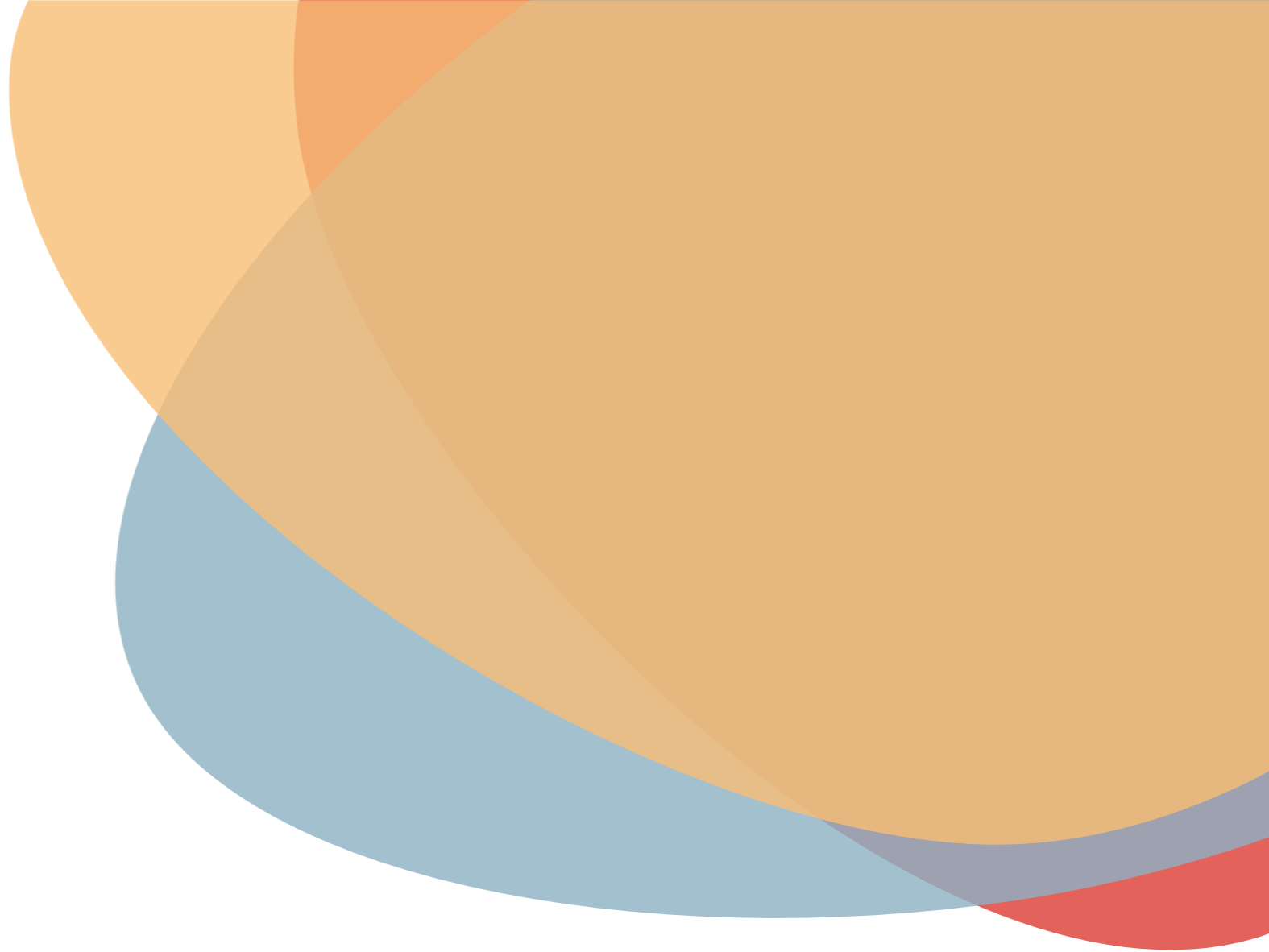
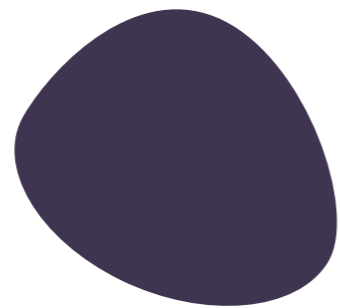
4. 今後の観測



今後の観測

- 今回2回の観測を行い、強度変動をしている可能性が示唆される3天体を見つけることができたので、これを確証するために今後数回の観測が必要
- 今後の観測としては、同じ23天体について同じ観測条件（山口第1-日立基線）での観測を、本年度中に4回行う
- 23天体中数天体について固有運動の測定を行う

5. まとめ





まとめ

- 銀河系内のブラックホールを同定し、統計的性質を調べるのが目的
- Sgr A*近傍のコンパクトな天体を探査
- 先行研究で検出されたブラックホール候補天体23天体の短期の強度変動を調査するために再観測し、23天体中9天体を検出
- 強度変動している可能性のある3天体を見つけたので、より観測を密に行いたい
- 今後は同様の観測を複数回行うことで、短期の強度変動をより詳しく調べていく