

TeV ガンマ線連星 HESS J0632+057 における Be 星とコンパクト天体の相互作用

河野貴文 (広大理)

森谷友由希 (Kavli IPMU), 高橋弘充 (広島大), 岡崎敦男 (北海学園大),
Dmitry Khangulyan(立教大), 深澤泰司 (広島大)

Contents

- Introduction
- Previous analysis & Motivation
- Swift/XRT analysis ~ deriving the orbital period~
- Comparison between X-ray and H α
- Summary & future work

Introduction ~gamma-ray binaries~

- 1 MeV以上の高エネルギー放射が卓越
- コンパクト天体 + 大質量星 ($>10 M_{\text{solar}}$)
- 5 systems

- 1 system: pulsar

Be star: PSR B1259-63

高エネルギー放射機構と
粒子加速の起源は未解明！

- 4 systems: nature of compact object unknown

O(f) stars: LS 5039, 1FGL J1018.6-5856

Be stars: **HESS J0632+057**, LSI +61 303

Introduction ~gamma-ray binaries~

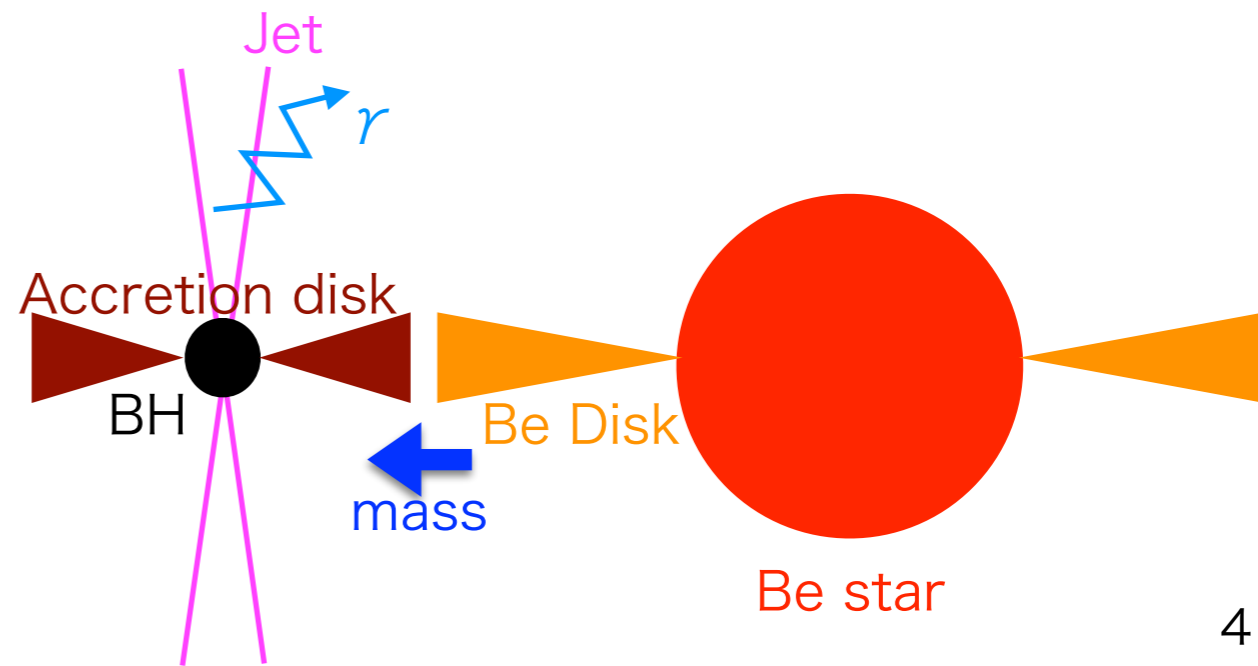
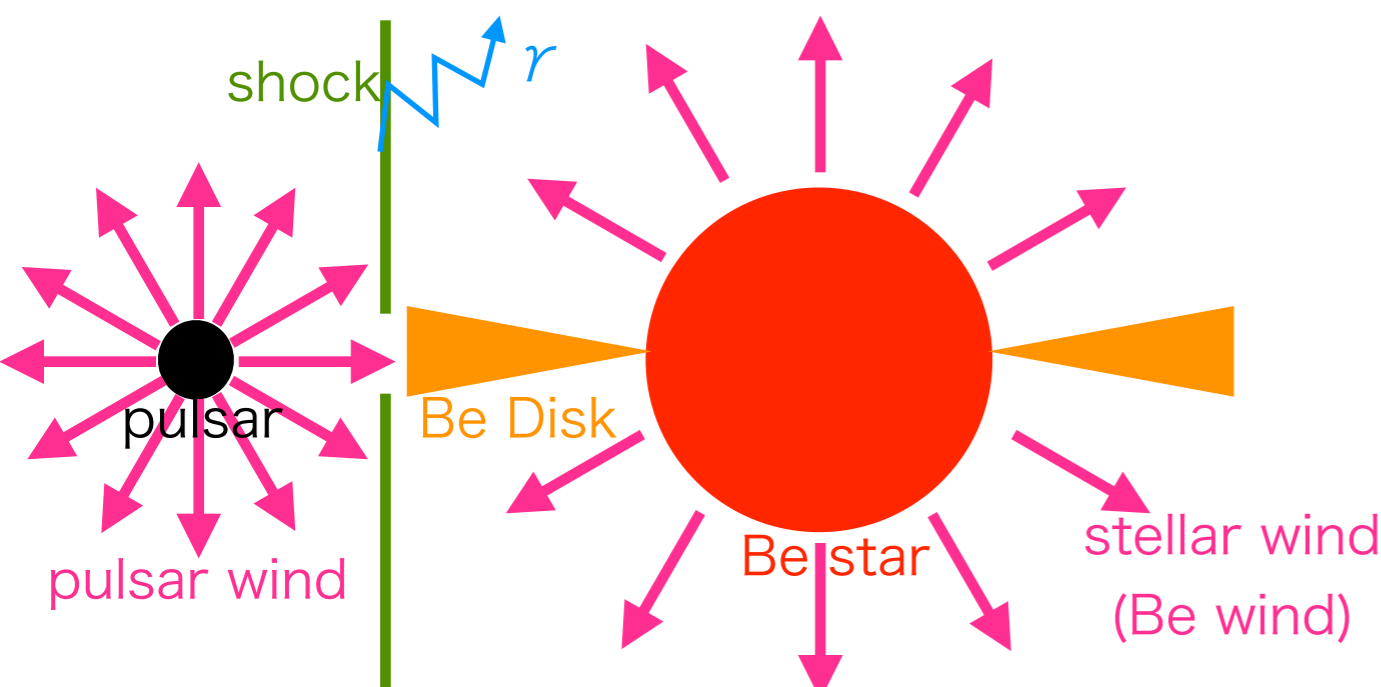
ガンマ線連星の放射メカニズムの2つの競合モデル

Pulsar Wind model

- Compact object: pulsar
- 恒星風(or Be disk)とパルサー風の衝突→shock
- shockでの粒子加速
→ICによるガンマ線放射

Accretion (Microquasar) model

- Compact object: BH (or パルサー風のないNS)
- 恒星(or Be disk)からのガス輸送→jet
- jet内部のshockでの粒子加速
→ICによるガンマ線放射



Previous analysis & Motivation — HESS J0632+057

- 遠星点前後に鋭いピークを持つ
- 大きな離心率: 0.83(7)
- 長い軌道周期: ~320-day

離心率の非常に大きな系

- コンパクト星：近星点付近で大きな速度を持つ
- 近星点の時刻を予測する事は非常に重要
- ⇒軌道周期に数日の不定性

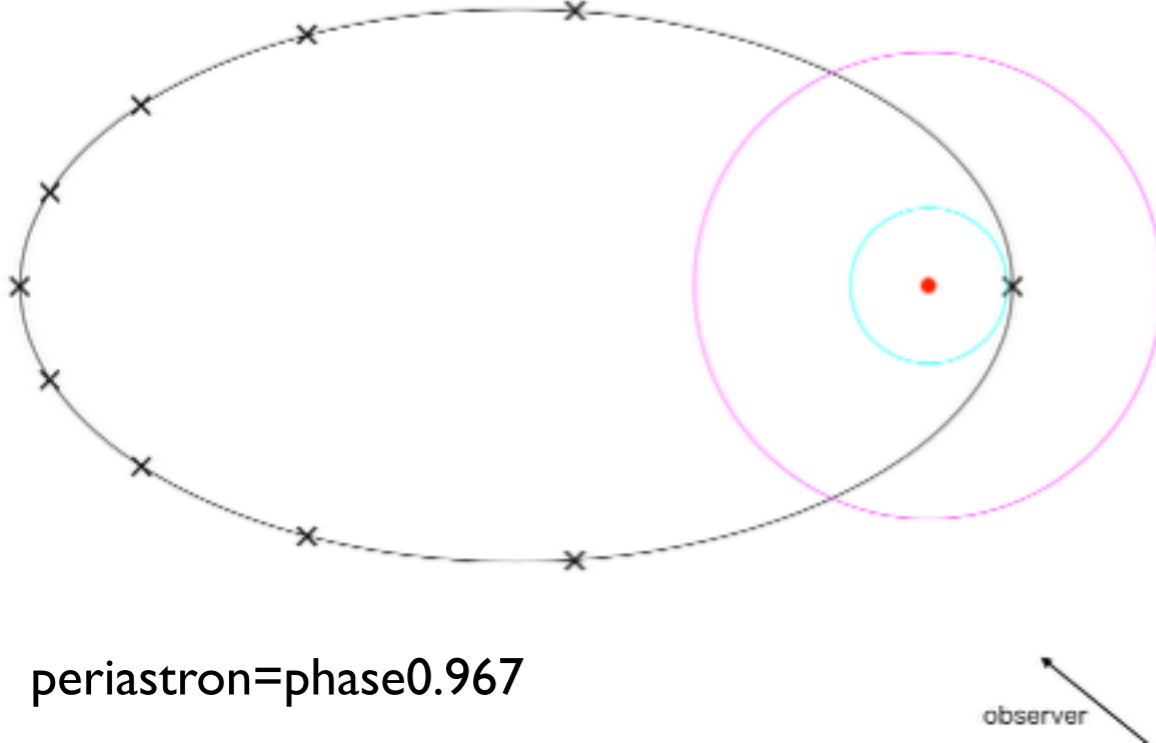
Bongiorno+ : 321±5 days

Aliu+ : 315 (-4, +6) days

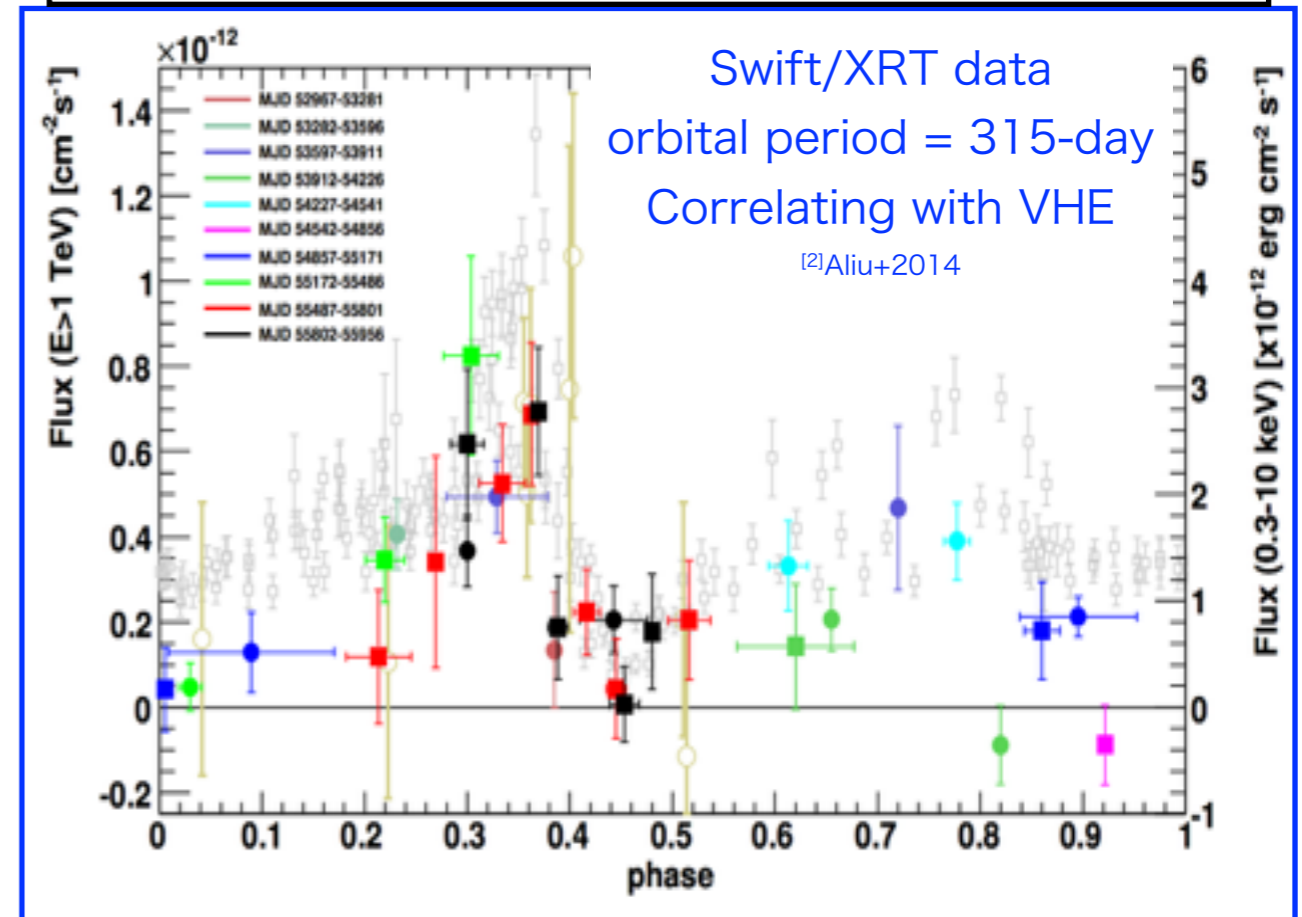
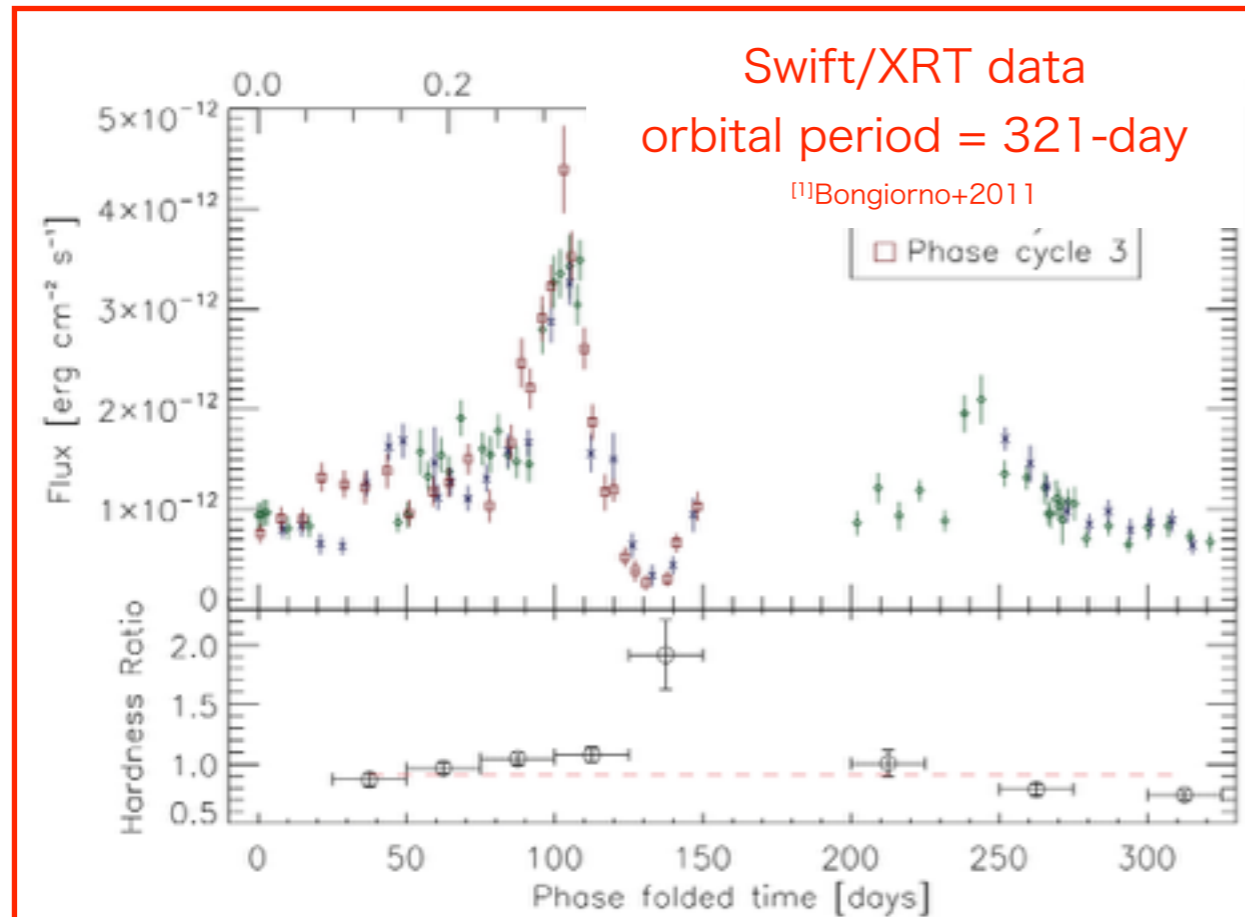
現在では、特定の軌道位相に

対応する時刻に~6週間の不定性

- Be star
- 10 R_{*}
- 30 R_{*}
- orbital of unknown compact object
- x intervals of 0.1 in orbital phase, starting from periastron



periastron=phase0.967



Previous analysis & Motivation — HESS J0632+057

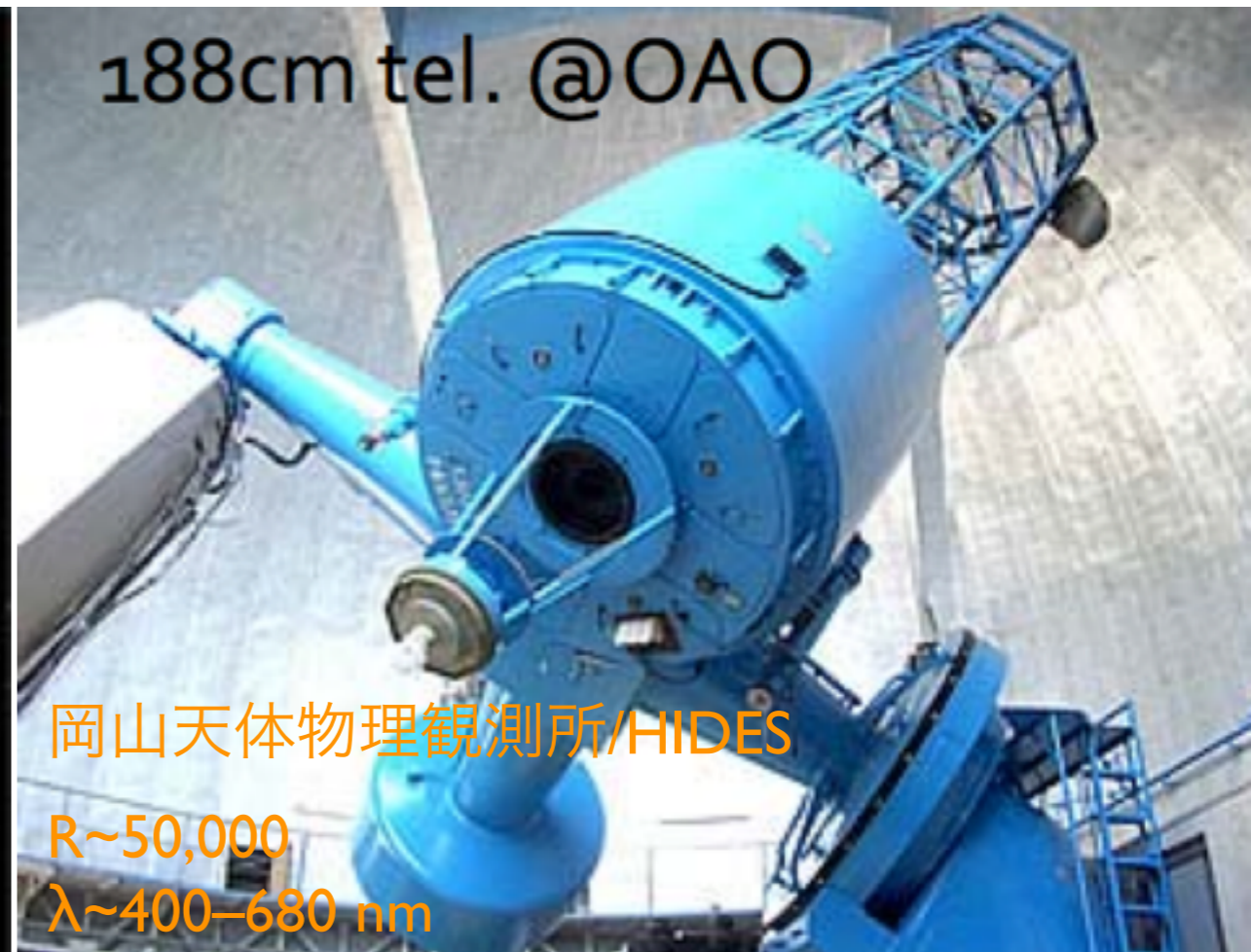
✓ コンパクト天体の正体を明らかにする

- 高エネルギー放射の起源の解明
- 長期間のX線のデータ解析
 - 精度良い軌道周期の決定
- 多波長観測と動的モデルの組み合わせ
 - 相互作用の性質を解明
 - コンパクト天体の正体と高エネルギー放射の起源の解明

X線と可視光からのアプローチ

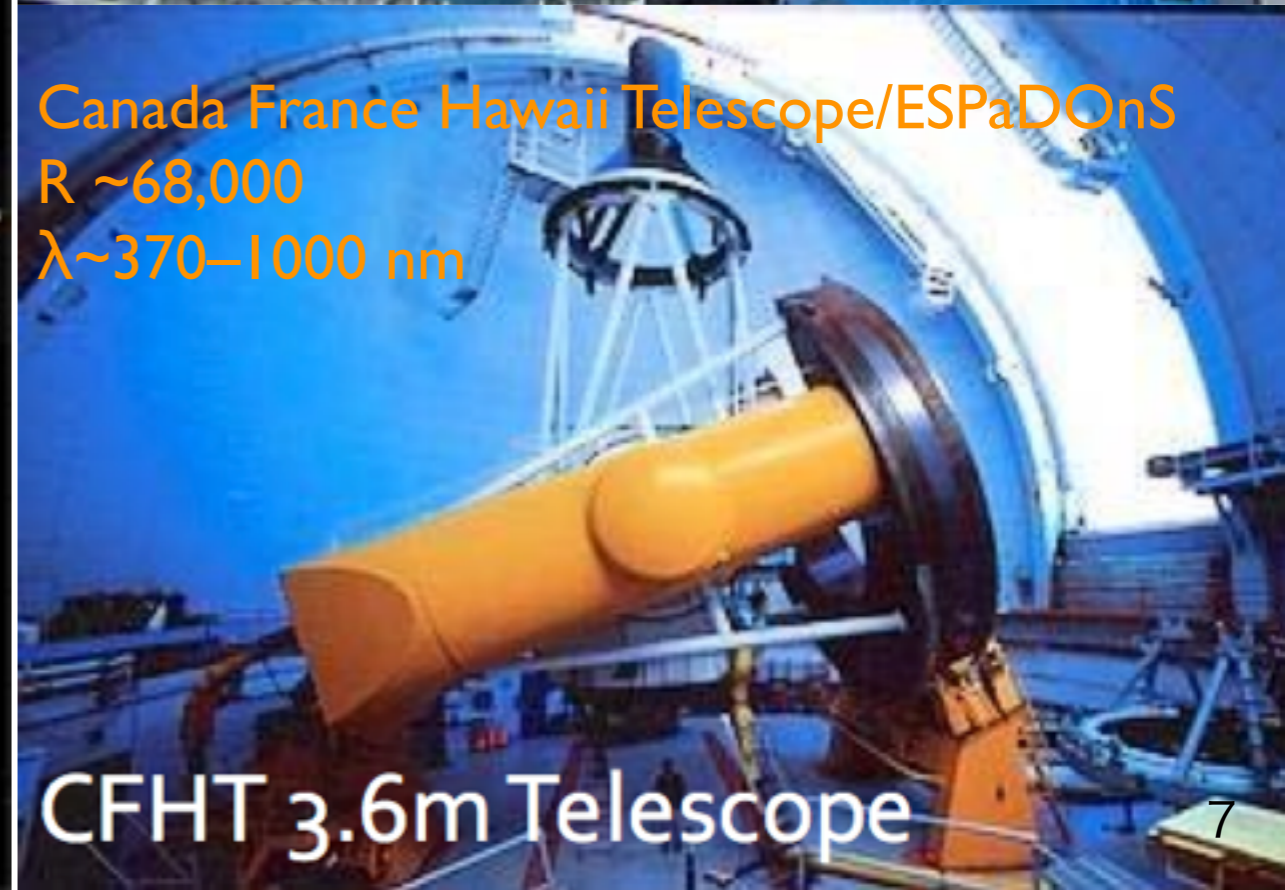


Swift/XRT (0.3–12 keV)



岡山天体物理観測所/HIDES

R~50,000
 λ ~400–680 nm

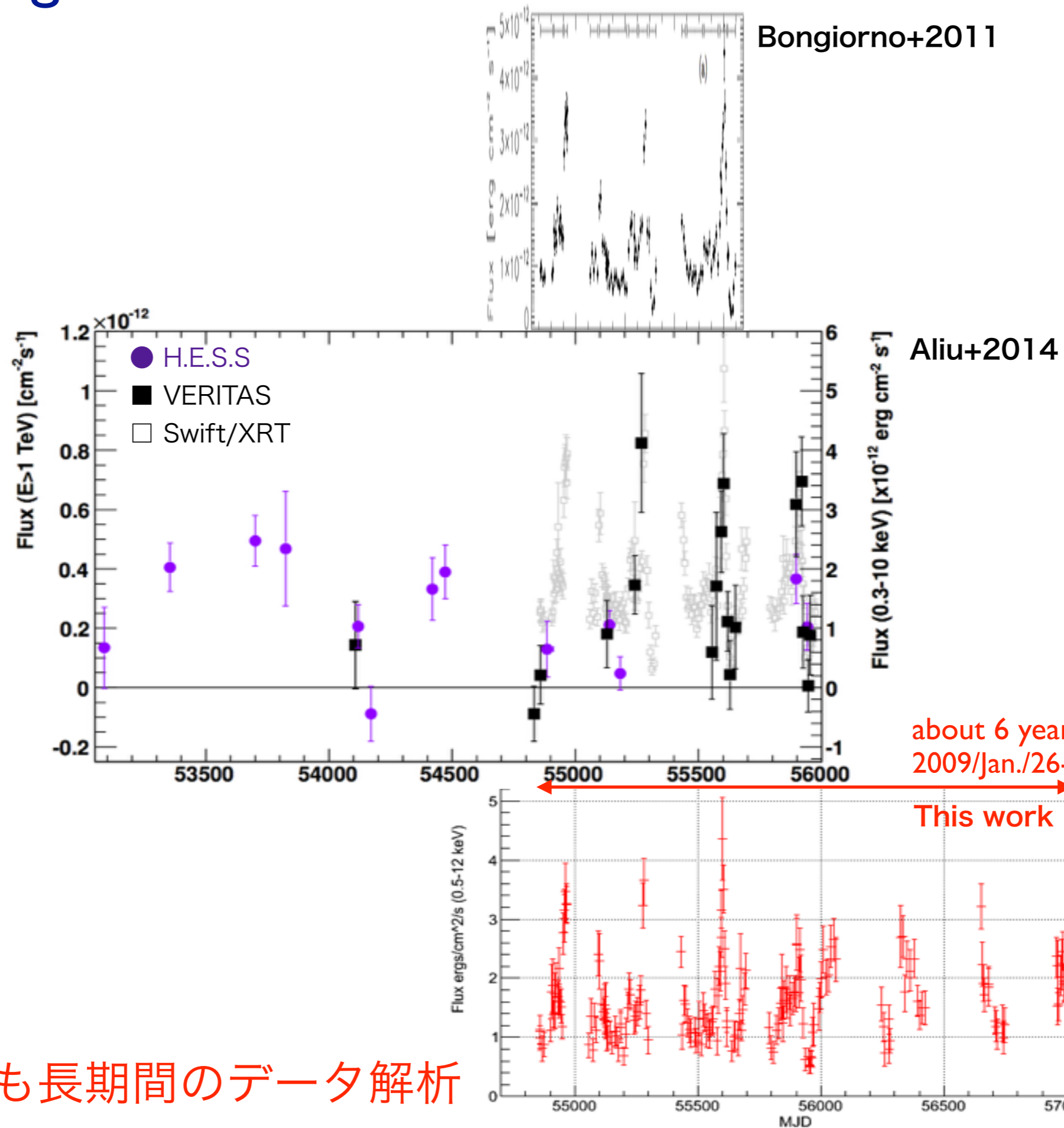


Canada France Hawaii Telescope/ESPaDOnS

R ~68,000
 λ ~370–1000 nm

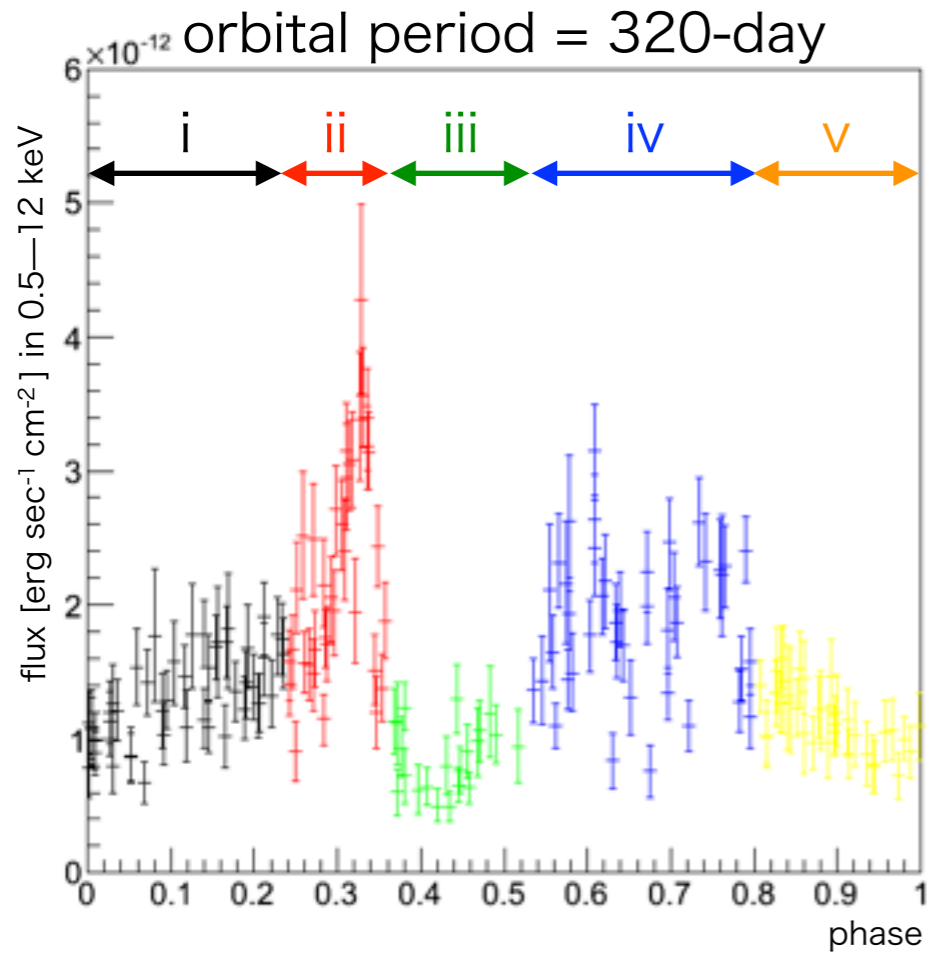
CFHT 3.6m Telescope

Long term light curve ~Swift/XRT~

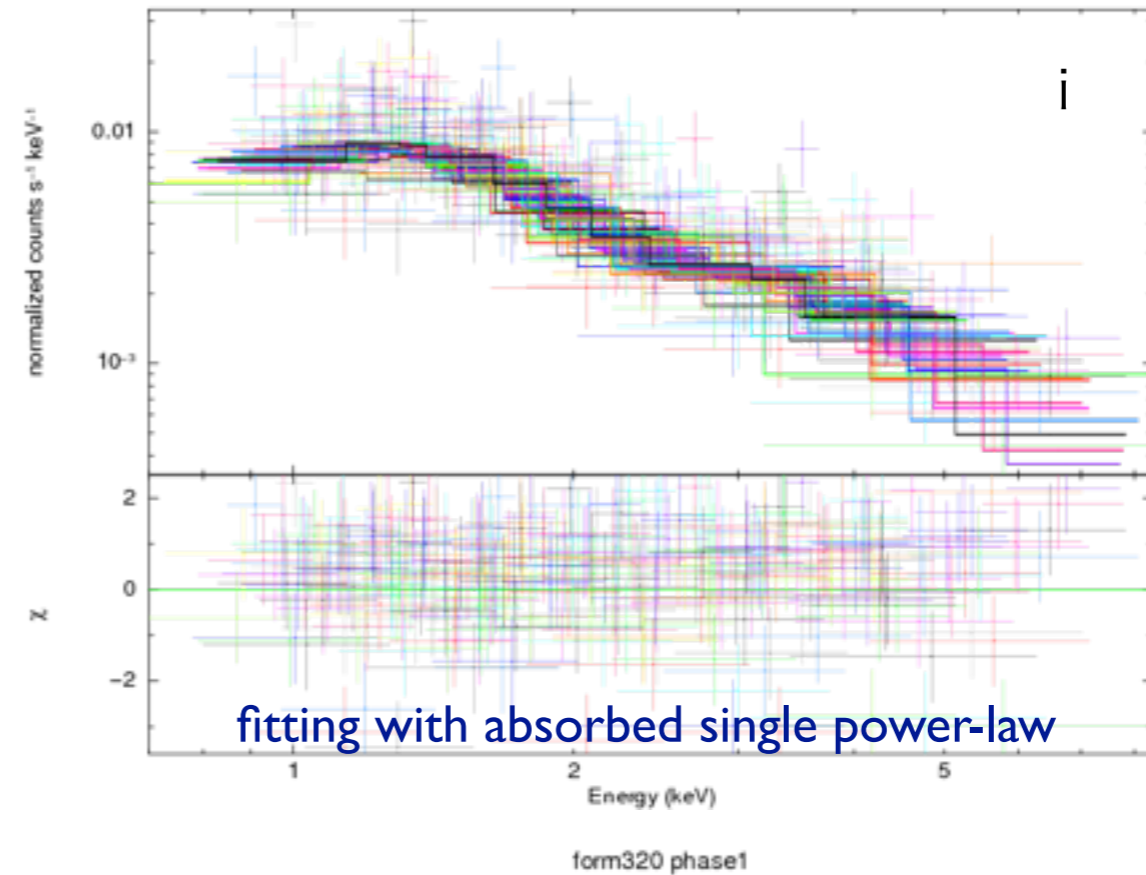


先行研究よりも長期間のデータ解析

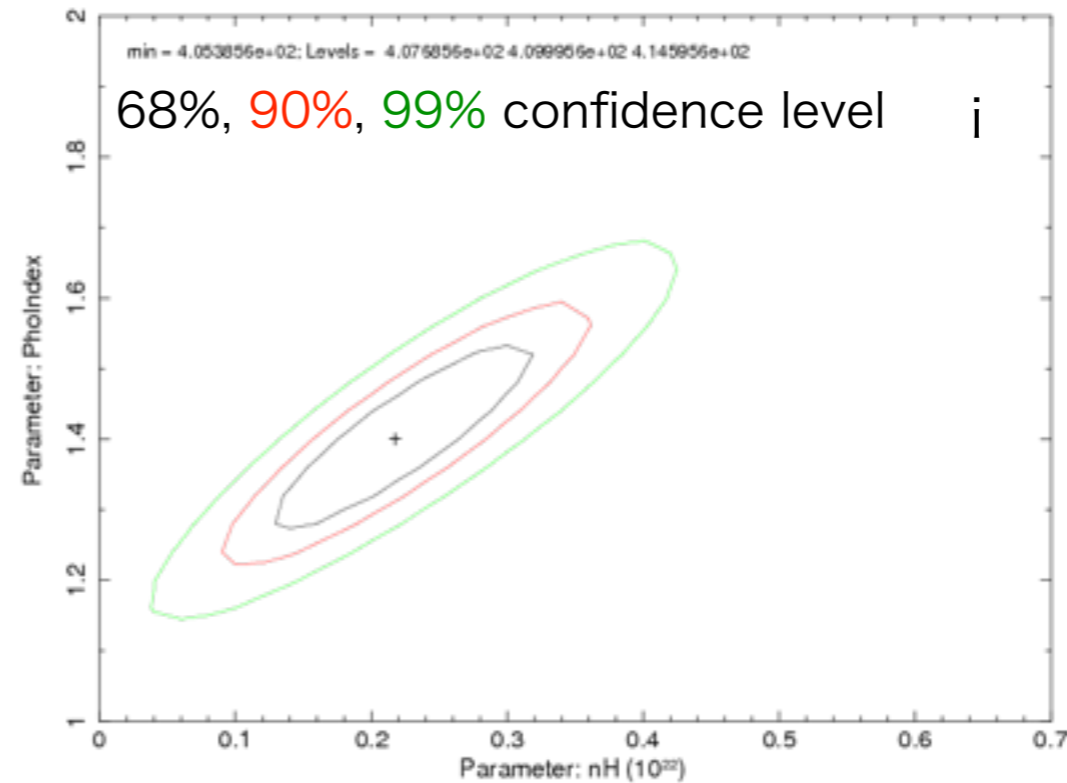
First step: Analyzing the X-ray spectra



313-day, 317-dayの軌道周期も同様の解析/結果



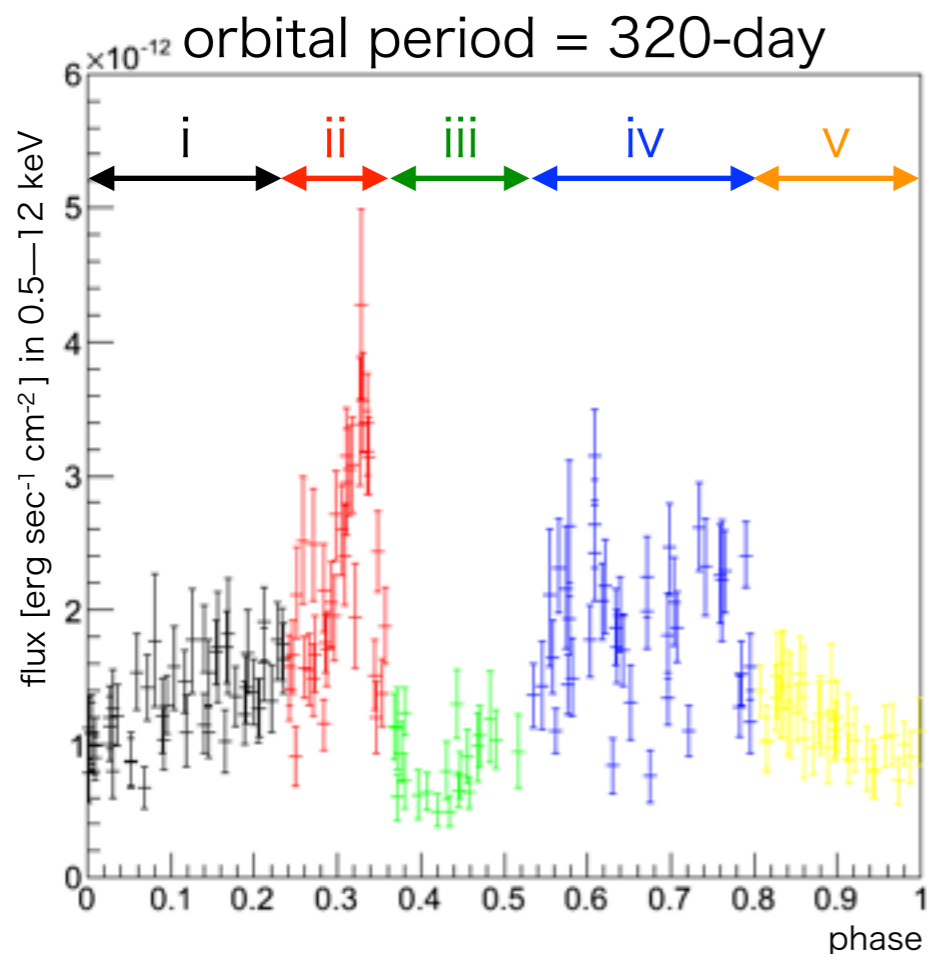
• • •



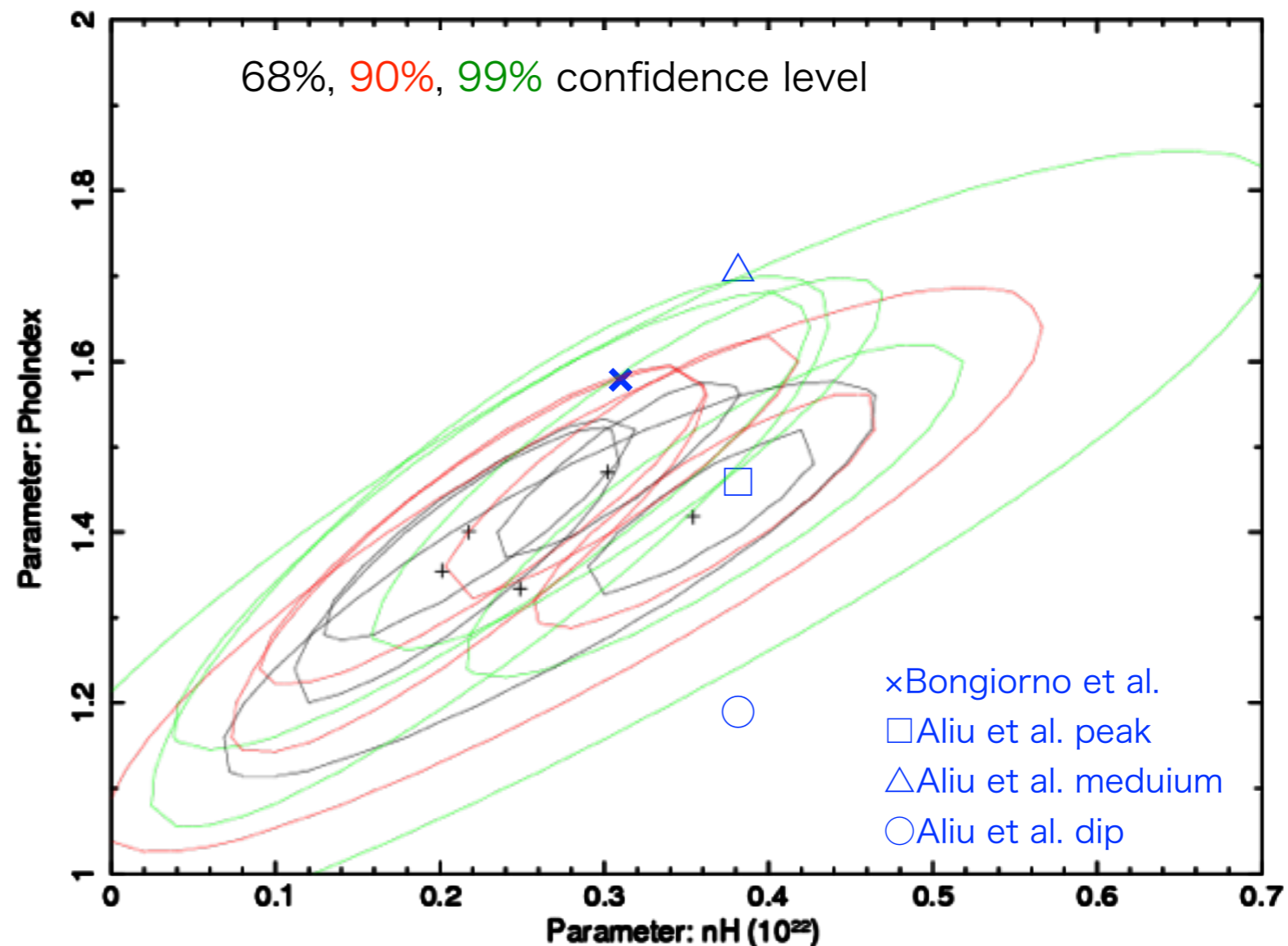
• • •

吸収を受けたベキ関数でfitし、 $n\text{H}$ vs. Photon Indexのコントアを作成 9

First step: Analyzing the X-ray spectra



313-day, 317-dayの軌道周期も同様の解析/結果

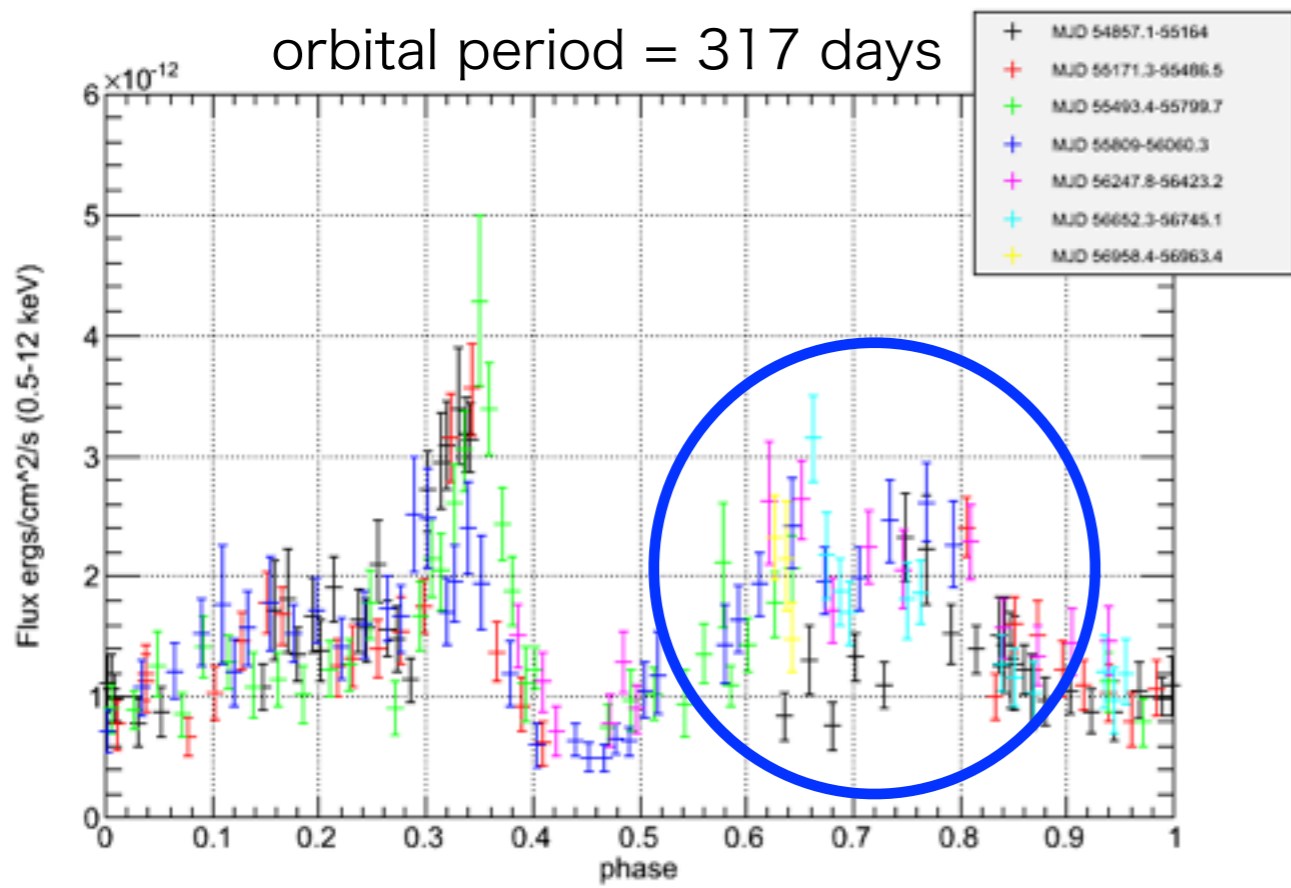


nH & index のphaseに依存した変化は見えていない

→全データを使用してnH & indexを求める

nH: $1.84 (-0.4, +0.5) \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$
photon index: $1.31 (-0.06, +0.07)$
→このnH & indexで固定して解析

Second step: deriving the orbital period



Secondary peak に 2 山構造?

- 軌道周期を求める為にZ-DCFを使用
 - Z-DCF (Z-transformed discrete correlation functions, Alexander 1997, Edelson & Krolik 1997).
 - モンテカルロ手法に基づいており、シミュレーションしたlight curveを使用し、それらが一様分布していると仮定
 - エラーは1 σ のsampling error

▶ 軌道周期=317(-4, +6) daysと求まった

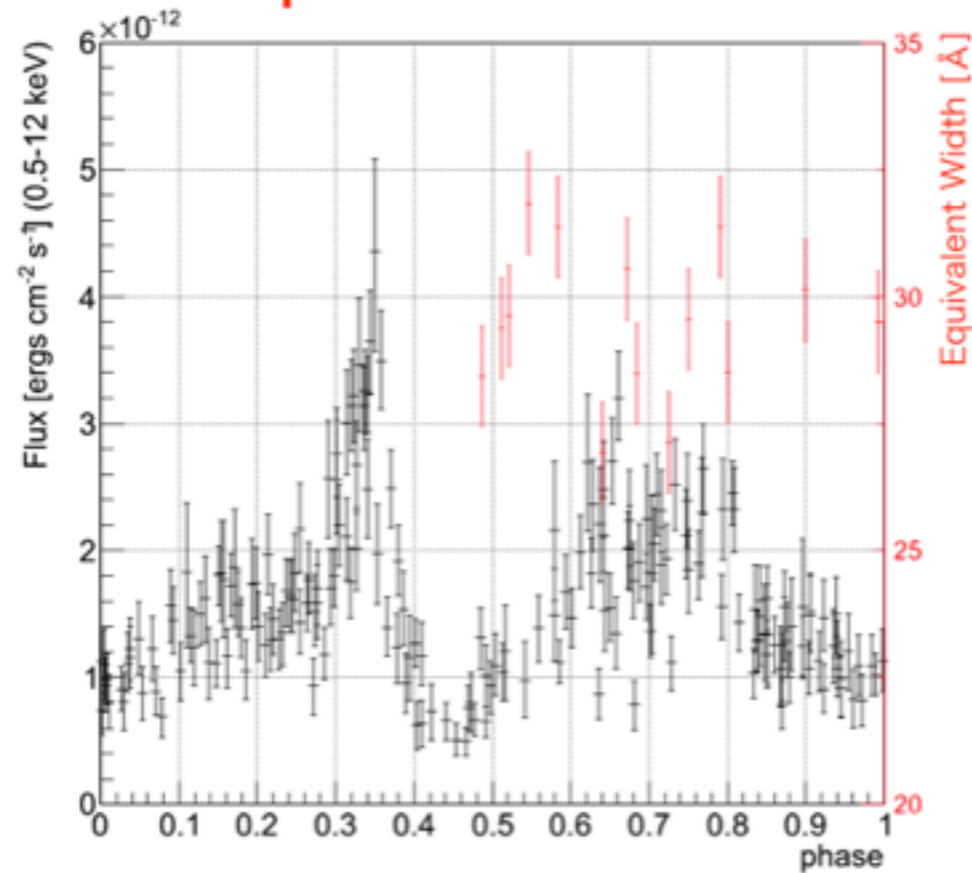
Bongiorno et al. : 321 \pm 5 days

Aliu et al. : 315 (-4, +6) days

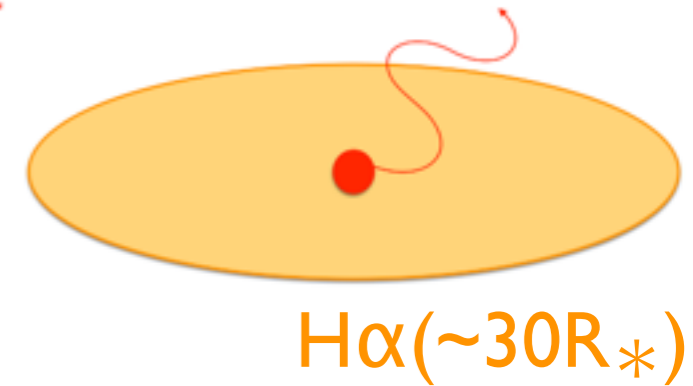
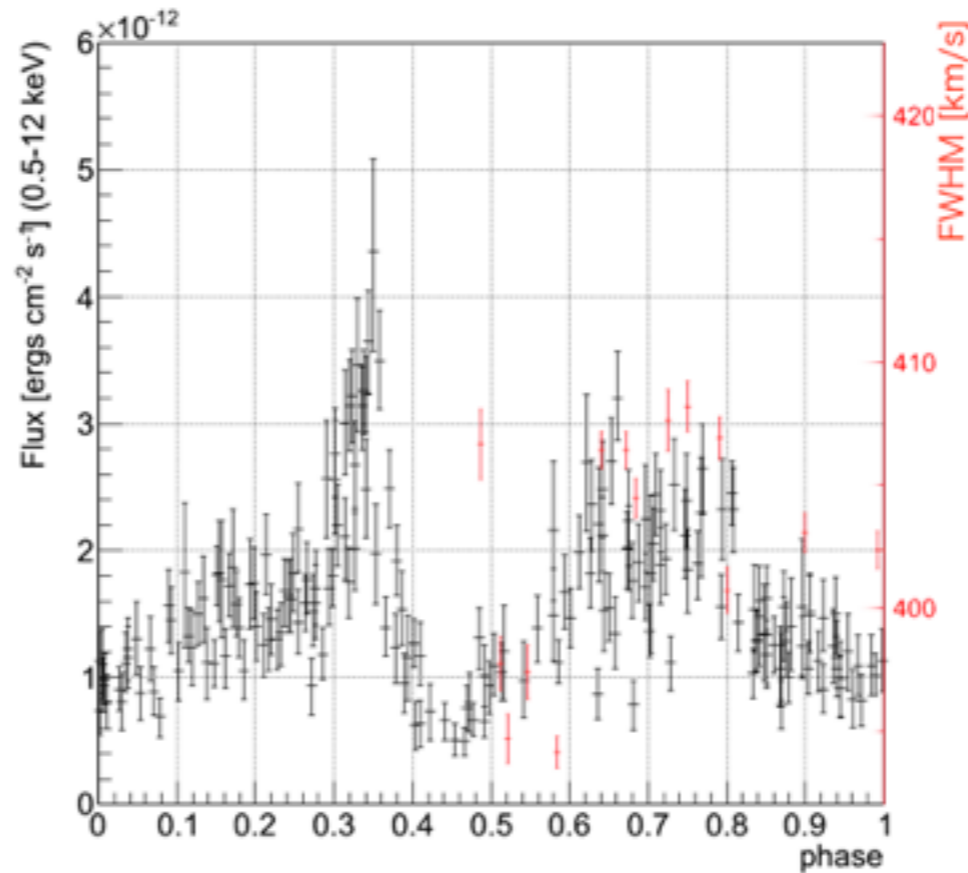
軌道周期の精度は、Z-DCFを用いた方法では、
Swift/XRTの統計を増やしても大きな変化はなかった

X-ray (0.5–12 keV) vs. $H\alpha$

Equivalent Width



FWHM



- ✓ EW (strength of Be disk emission)
 - X線光度変動とは相関していない

Correlation	
EW	×
FWHM	○

- ✓ FWHM (dependent on Be disk structure)
 - X線光度変動と相関していそう

→ Be diskの構造変化とX線光度変動の関係を示唆

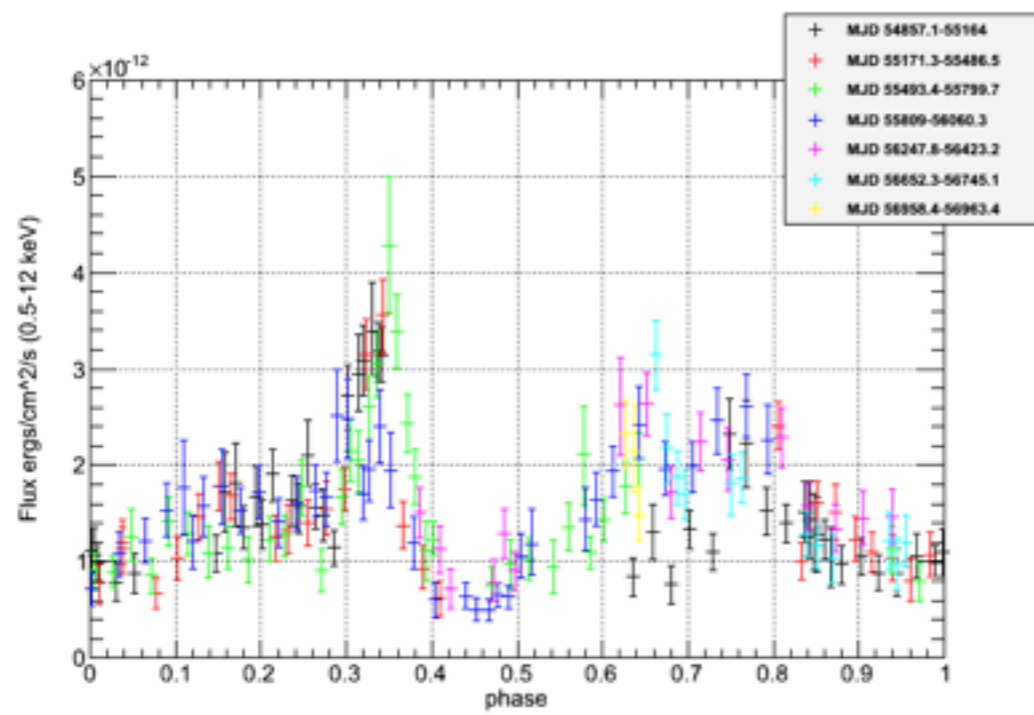
Summary

- X-ray
 - HESS J0632+057のSwift/XRTの約6年分のlight curveを解析し、軌道周期を317(-4, +6)daysと見積もった
 - 2つ(3つ?)のpeakが遠星点前後で起こっている
- Comparison between X-ray & H α
 - X線の光度変動とH α のFWHMとは相関していそう
 - Be diskの構造変化とX線光度変動の関係を示唆

Future work

- X-ray
 - より精度が高い方法を採用し、軌道周期を求める
- GeV gamma-ray
 - Fermi/LAT の6年分のデータを解析する
 - X線, Optical/near-infraredにGeV gamma-rayを加えて、多波長の相関を調べる

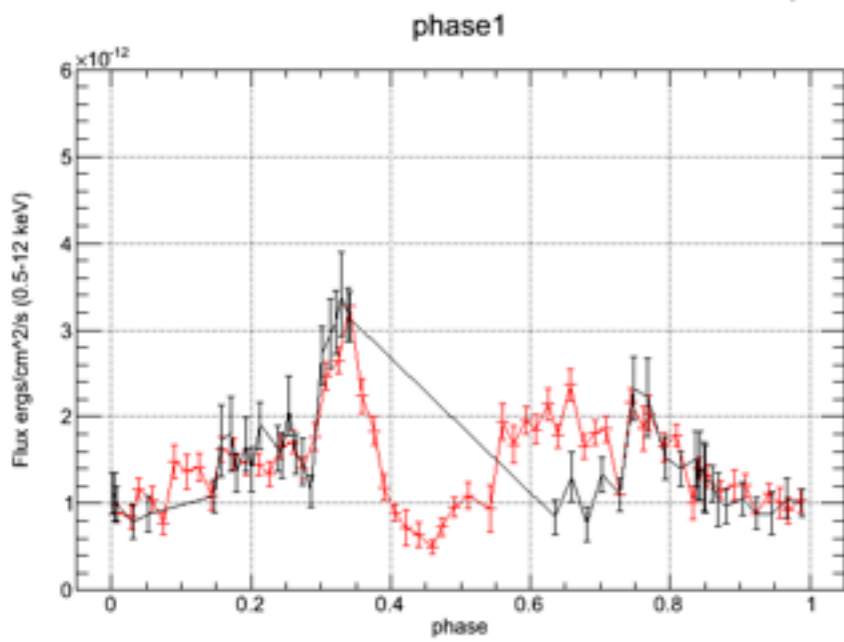
★ broad band spectrumにより厳しい制限を与え、放射機構に迫る



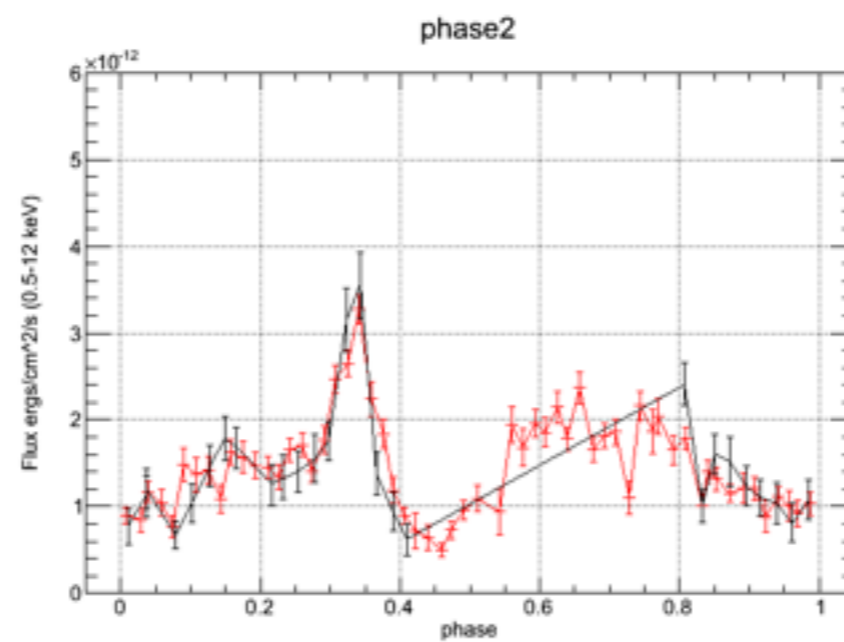
assuming orbital period = 317-day

- phase1: MJD 54857.1-55164
- phase2: MJD 55171.3-55486.5
- phase3: MJD 55493.4-55799.7
- phase4: MJD 55809-56060.3
- phase5: MJD 56247.8-56423.2
- phase6: MJD 56652.3-56745.1
- phase7: MJD 56958.4-56963.4

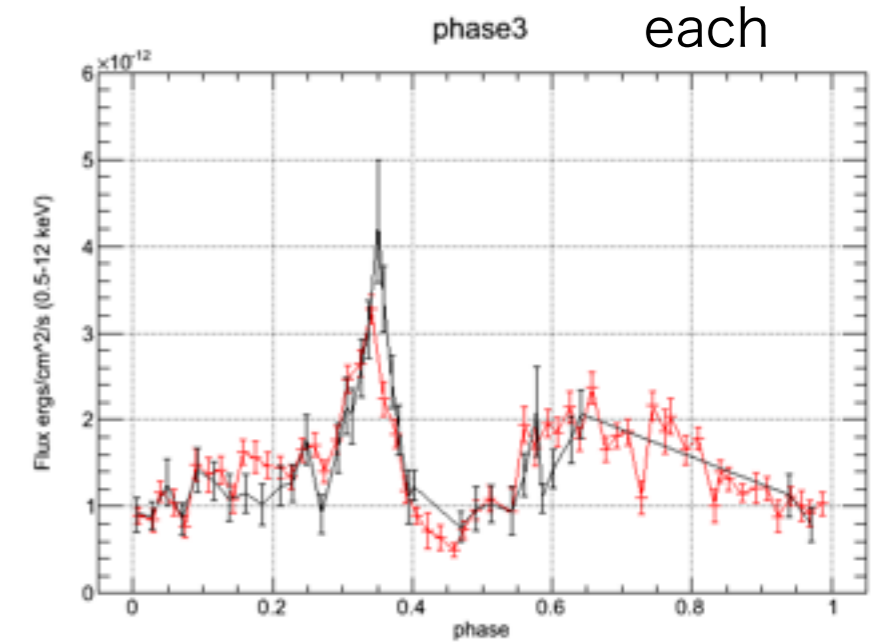
average
each



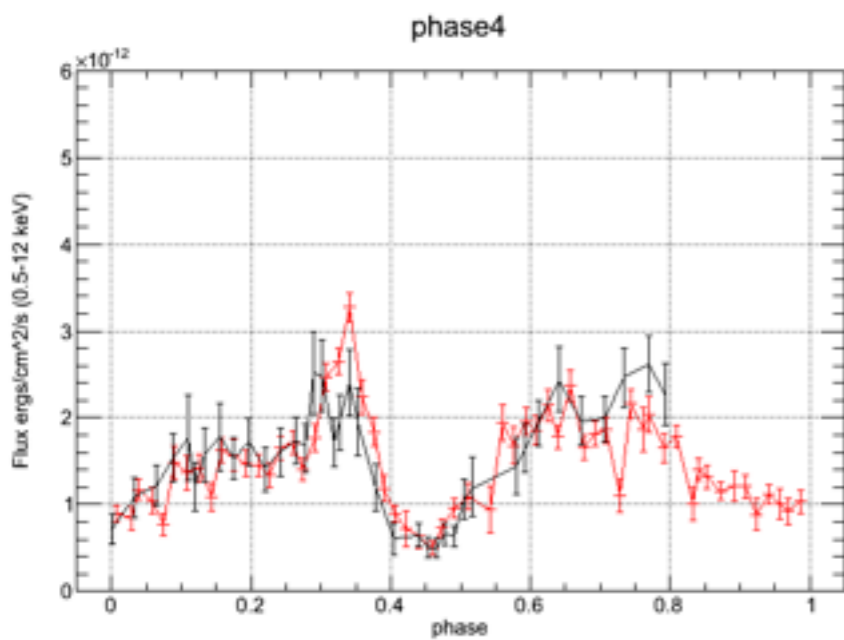
phase1



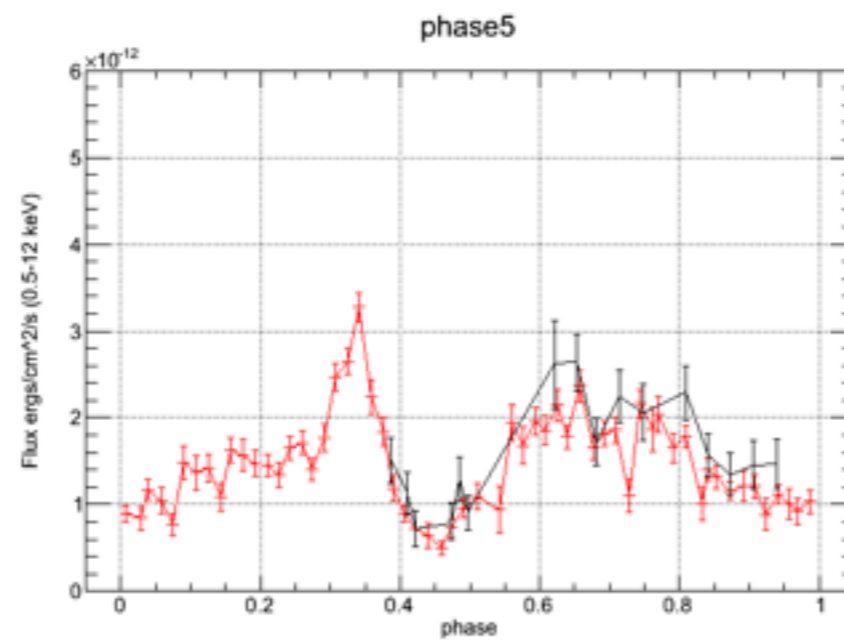
phase2



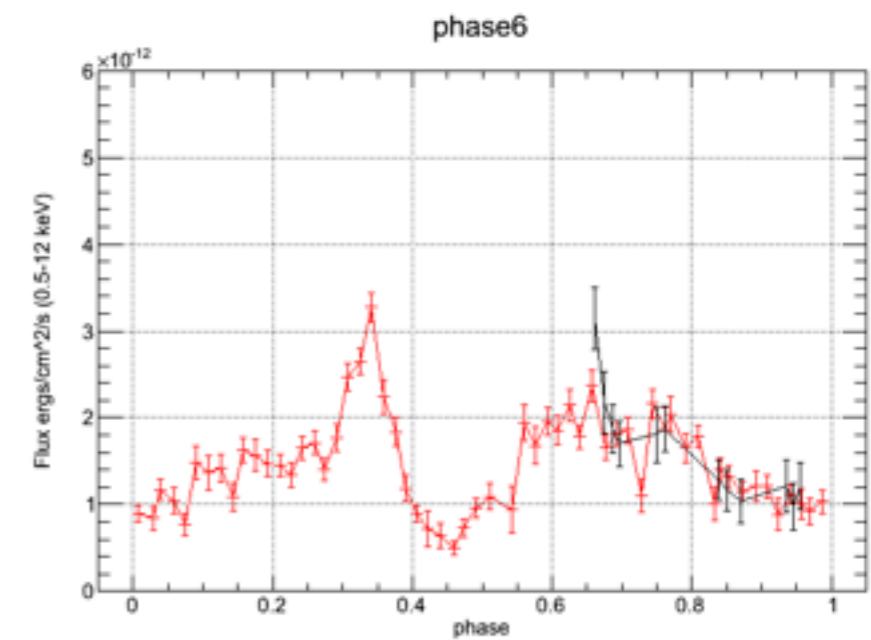
phase3



phase4



phase5



phase6