

# 多波長で探る 高密度天体の高エネルギー現象

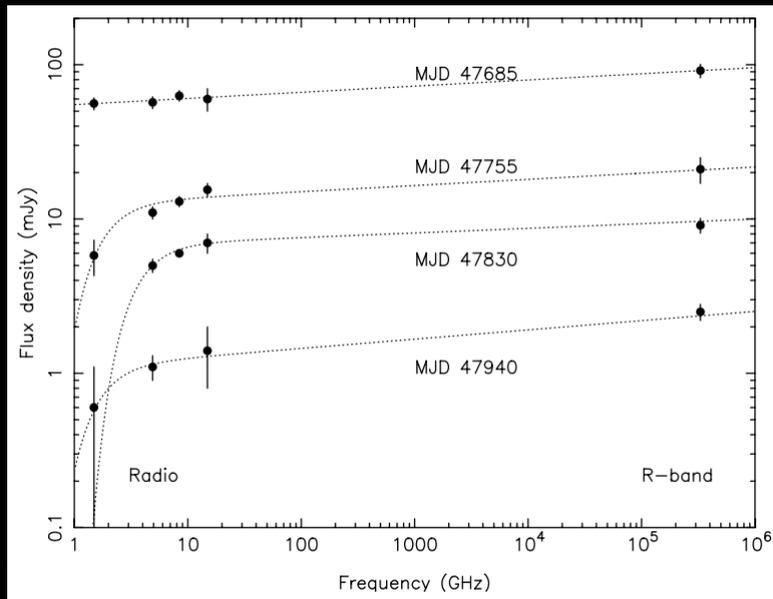
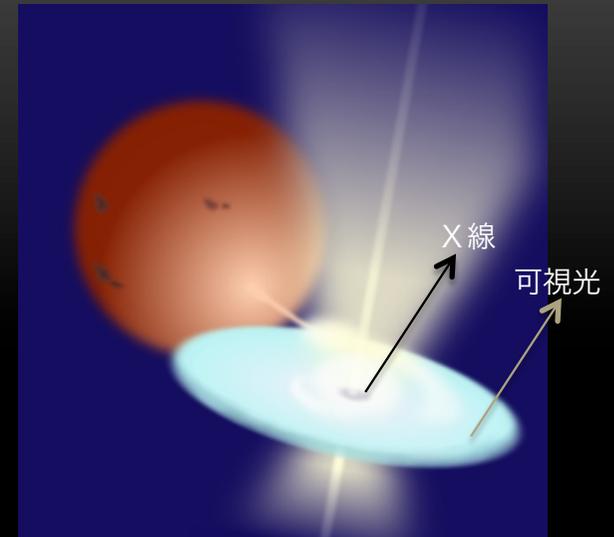
植村誠 (広島大学 宇宙科学センター)

第11回高宇連研究会@早稲田大学

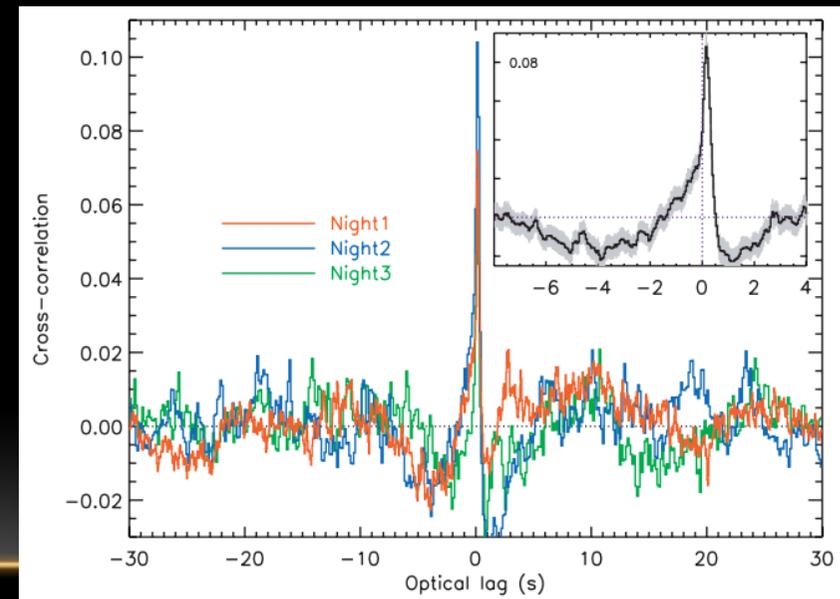
2011. 08. 10

# RECENT TOPICS: JET & RAPID OPTICAL VARIATION

- ジェットからのシンクロトロン放射が可視－近赤外域でも卓越？
  - 有効な観測→
    - 可視－近赤外域のスペクトルインデックスの変化
    - 偏光観測
- 可視光でも数秒以下の変動？ X線変動とも相関？
  - 有効な観測→ 可視域での高速測光 + X線同時観測



V404 Cygの電波－可視光の相関(Fender 2001)



GX 339-4の可視光－X線相互相関(Gandhi, et al. 2008)

# かなた望遠鏡 (2006～)

- 口径 1.5 m
- ユニークな観測装置
  - 可視～近赤外同時観測装置「TRISPEC」
  - 1露出型偏光撮像装置「HOWPOI」
  - 高速撮像分光装置
- 突発天体现象に特化した研究
  - X線連星
  - ガンマ線バースト
  - 激変星
  - ブレーザー



# 今日の話の内容

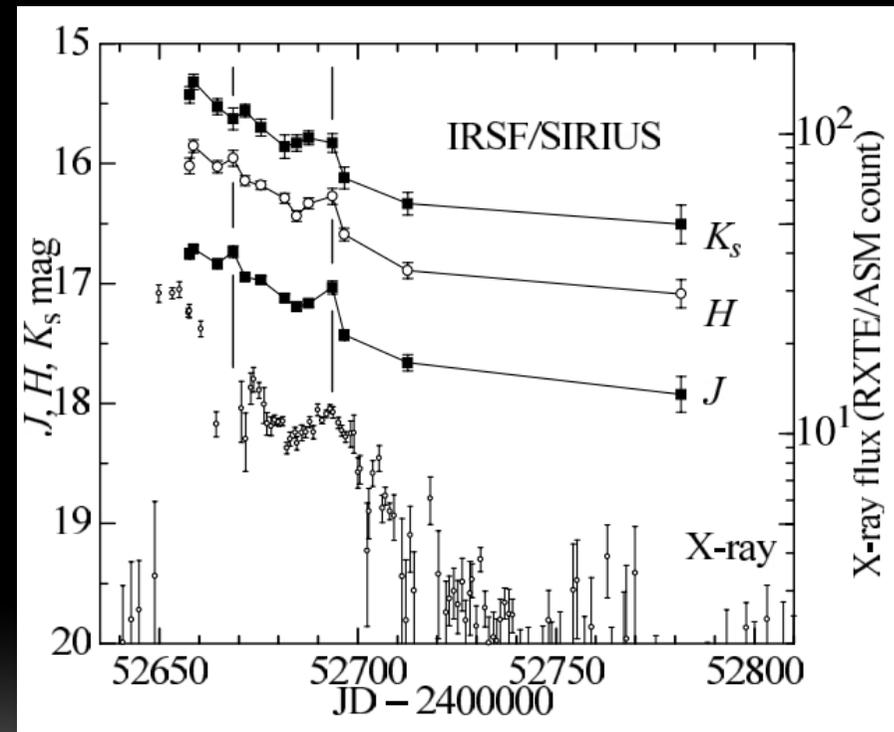
- 近赤外線観測の有用性
- 偏光観測への期待と現実
- 可視域での高速観測
- 位置天文の話
- 矮新星

# 近赤外線観測の有用性

# 近赤外線の強み

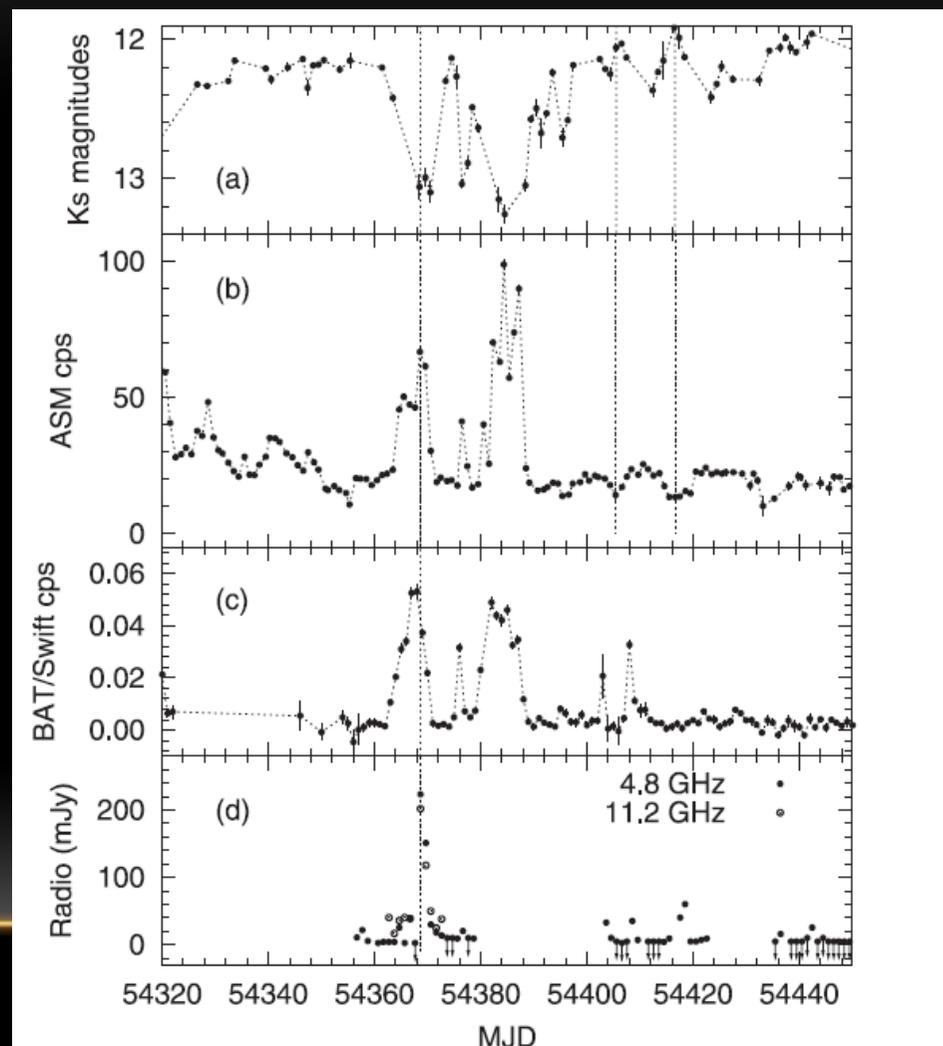
- 星間吸収を受けにくい→銀河中心方向のX線トランジェントも観測可能
  - 例：XTE J1720-318（右図）の場合、 $A_v \sim 7.0 \text{ mag}$ 。
- ジェットからの寄与
  - 可視光—近赤外線同時データがあると成分分離に有用。
- 数日以下の変動について、近赤外モニターはポテンシャルが大きい。
  - 次の例。

XTE J1720-318の近赤外線とX線光度曲線。  
2回の再増光が同期。(Nagata+03)



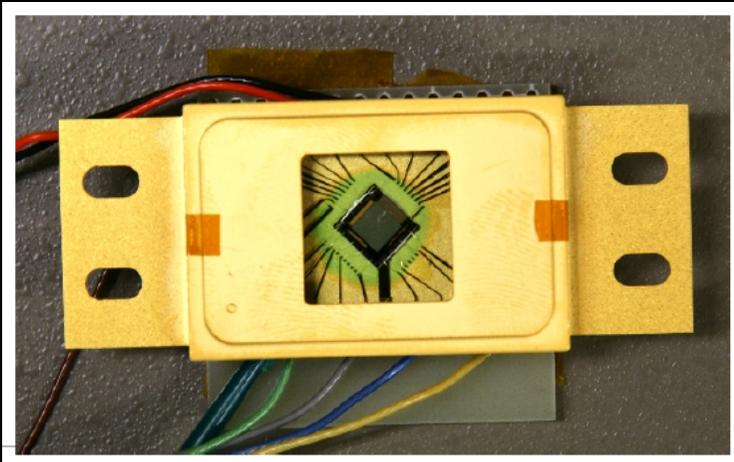
# GRS 1915+105 : SOFT STATEにおける近赤外線－X線の反相関

- $A_v \sim 20$  mag = 可視光では見えない。
- 近赤外線 (Kバンド) では12－13等。1m級でもモニター可能。
- 「かなた」でモニター。
  - X線スペクトルで soft stateの時。
  - 近赤外線では明るいが、間欠的に10日程度の減光期間。
  - それに同期してX線と電波では増光 → 近赤外線と反相関。
  - 電波の増光 = ジェットの放出、だとすると、降着率の変化 → ジェット放出 → 近赤外線だけ暗くなる？
  - 近赤外分光が必要。(より大きな望遠鏡で)
- こんなにクリアな観測事実が未知だったこともむしろ驚き。



# 国産近赤外線検出器

- 銀河中心方向に集中するX線連星の多波長観測に、近赤外線観測は可視光観測よりも有利 →もっとすれば良いのに。
- 問題点：近赤外線検出器が高い。アメリカからの輸入（軍需品）も大変。
- 解決方法（？） 自前で作ろう。
  - 浜ホト製 InGaAs赤外線検出器（64X64 pixels）の真空・冷却下での性能評価 by 伊藤（広大D1）

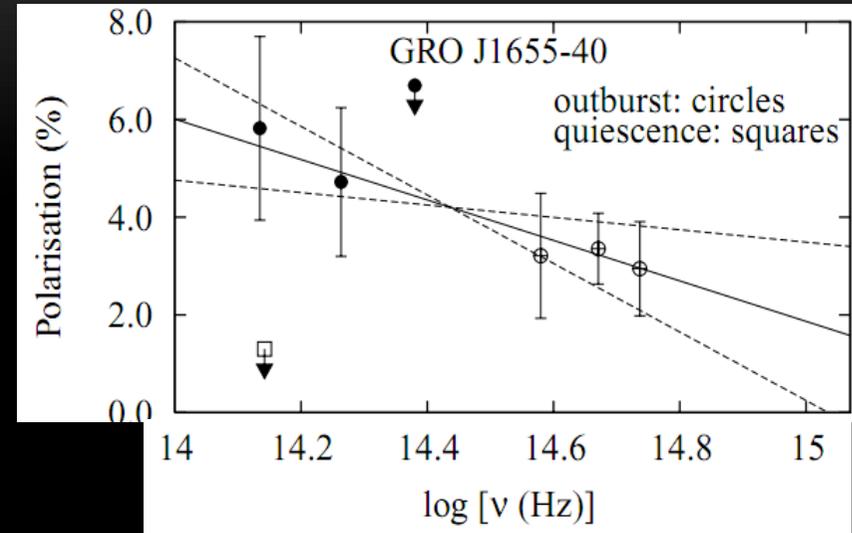


# 偏光観測への期待と現実

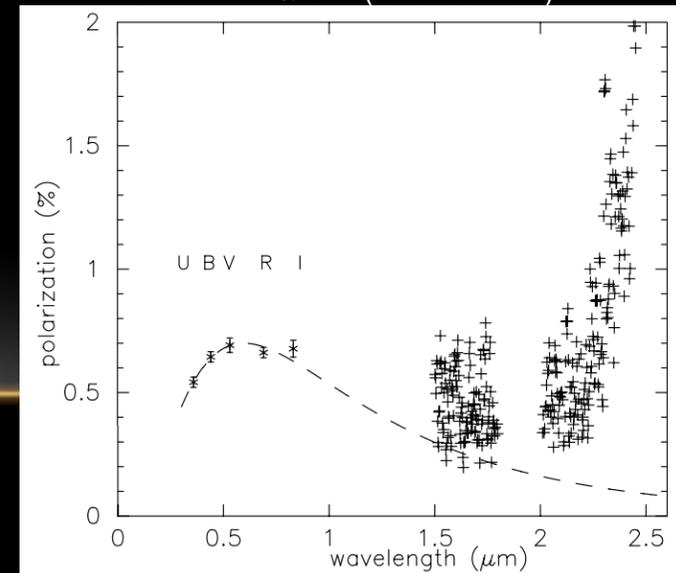
# 可視光—近赤外線でジェットが見えてる なら偏光が受かるはず

- GRO J1655-40, Sco X-1で synchrotron from jet的な偏光が受かる。
  - 暗い時期 (=low/hard state ; 定常ジェット状態?)
  - 偏光度は数%。長波長ほど偏光度が高い (短波長側は円盤からの無偏光放射が強い)
- 可視光—近赤外線域でジェットの寄与が確定できれば、電波からつないでtotalのジェット光度(power)を推定
  - 降着エネルギーから何割くらいがジェットに回っているのか?
  - State transition間の偏光の変化は?

GRO 1655-40の偏光 (Russell+08)



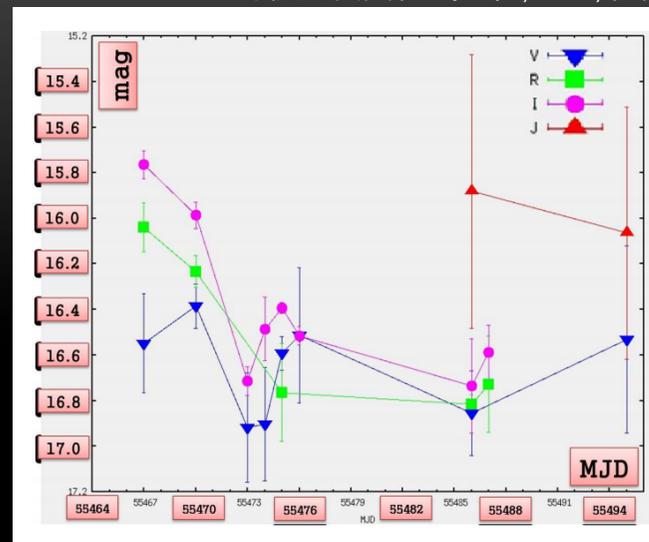
Sco X-1の偏光 (Shahbaz+08)



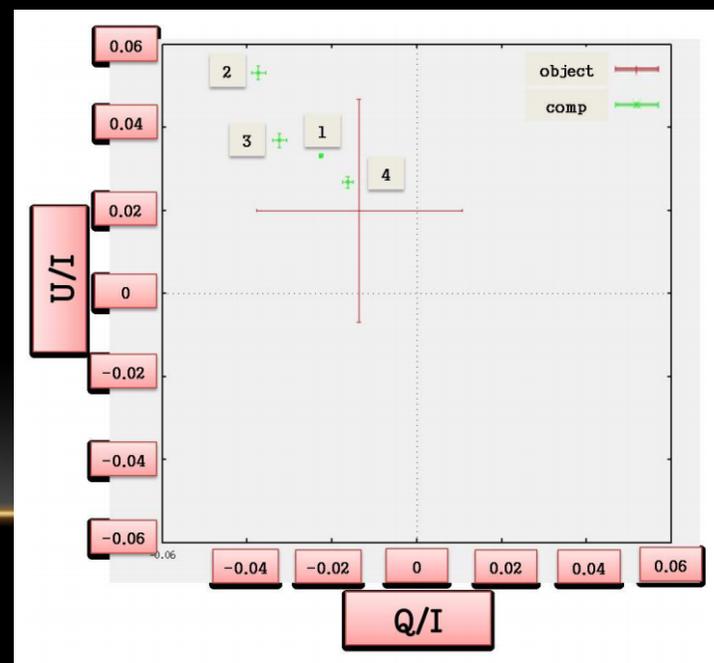
# かなたの偏光観測 MAXI J1659-152

- MAXI J1659-152
  - 2010.09.25にMAXIが検出したX線トランジェント。
  - 可視域で比較的明るい対応天体 (V 16等台)。
- かなた望遠鏡+HOWP o Iによる偏光観測
  - 有意な検出はなし。
  - もっとphotonが欲しい。

MAXI J1659-152の可視光度曲線 (小松, 2010, 修論)



MAXI J1659-152の Stokes QU (小松, 2010, 修論)



# 器械偏光、星間変光

器械偏光：装置内で変光が発生（消失）。偏光標準星の観測で補正。

星間偏光：星間磁場で偏光。周囲の星の偏光を測るなどして推定。

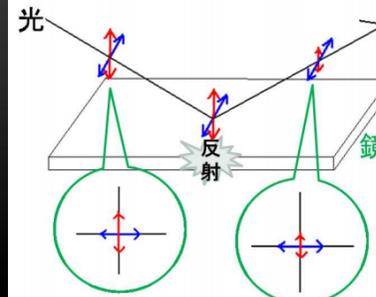


図 3.6: 反射による偏光

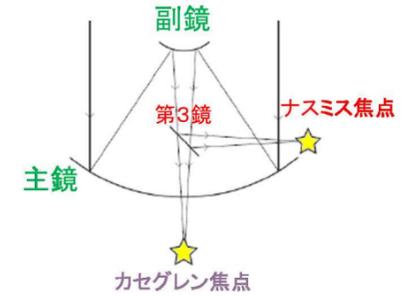


図 3.7: ナスミス焦点

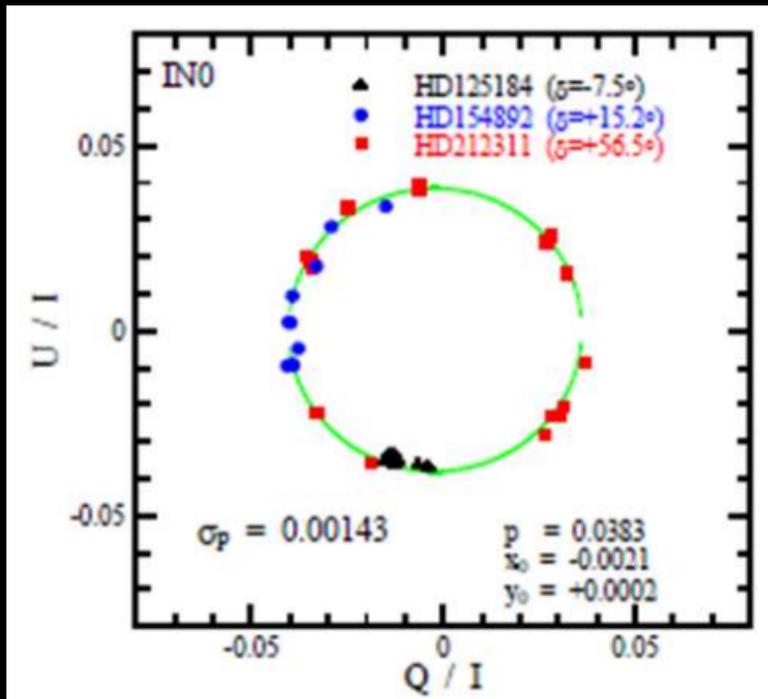


図 3.14: 高度軸方向

図 3.15: 高度軸方向の動き (a)

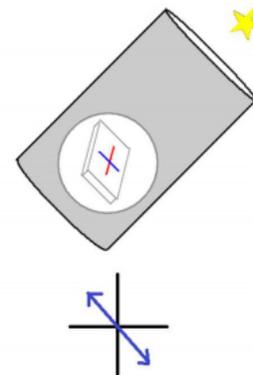


図 3.16: 高度軸方向の動き (b)

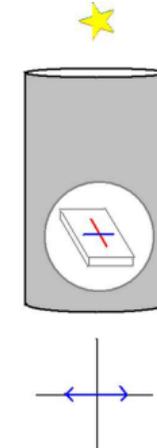


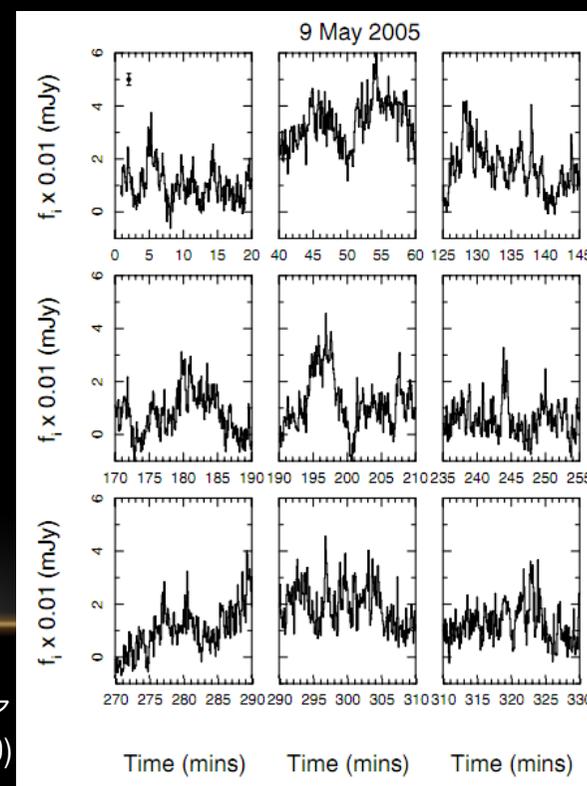
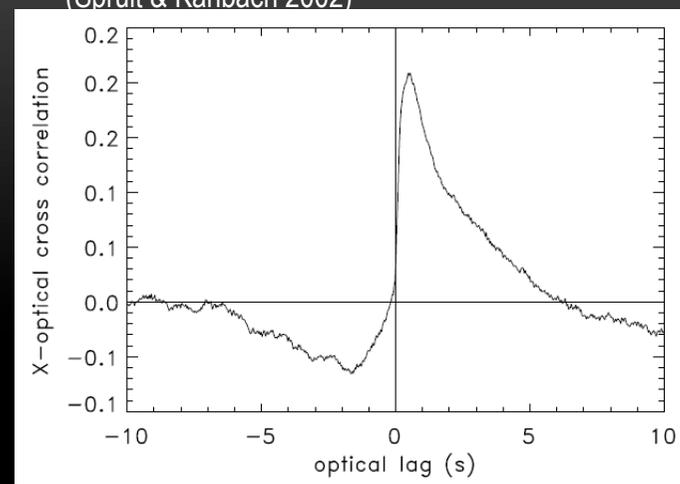
図 3.17: 高度軸方向の動き (c)

# 可視域での高速観測

# 可視光短時間変動： メカニズムは？

- 数秒程度の変動でX線と同期 (low/hard state)
  - XTE J1118+480, GX 339-4
- 数分より長く、より大きな変動 (quiescence)
  - V404 Cyg, A0620-00, GRS 1124-684、等
- メカニズムは？
  - 円盤外縁からの熱放射だとタイムスケールは連星軌道周期並みになるはず。(=数時間~数十日)
    - X線の reprocessなら？
  - 比較的内側からの非熱的な放射？
    - ジェット？ リコネクション？
- どのようなアプローチ？
  - 可視光とX線で同時観測 (←前例あり)
  - 可視光の高速分光？ 高速偏光？  
(より多くのphotonが必要)

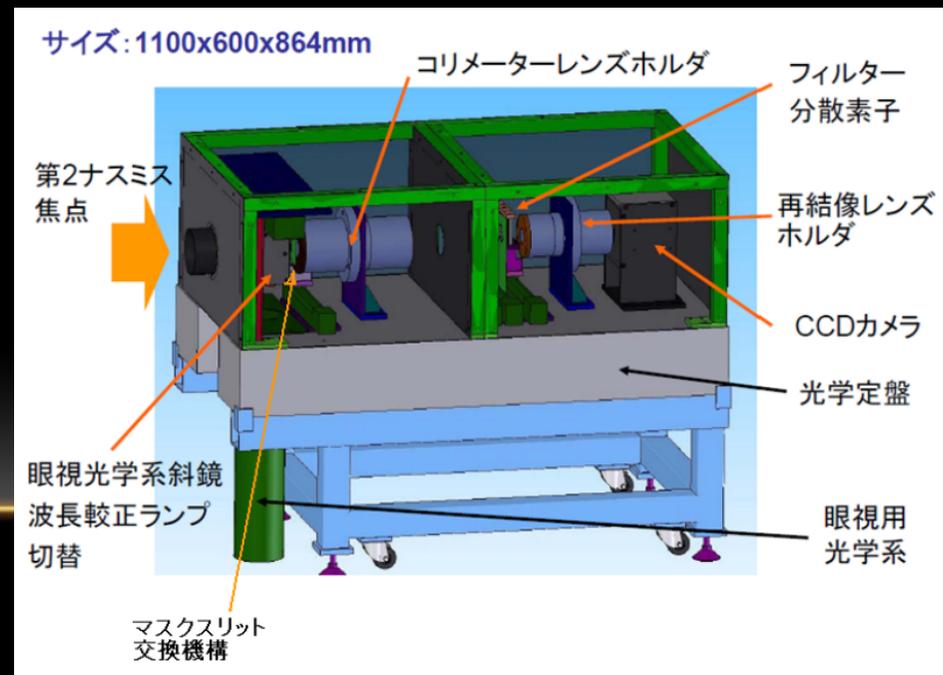
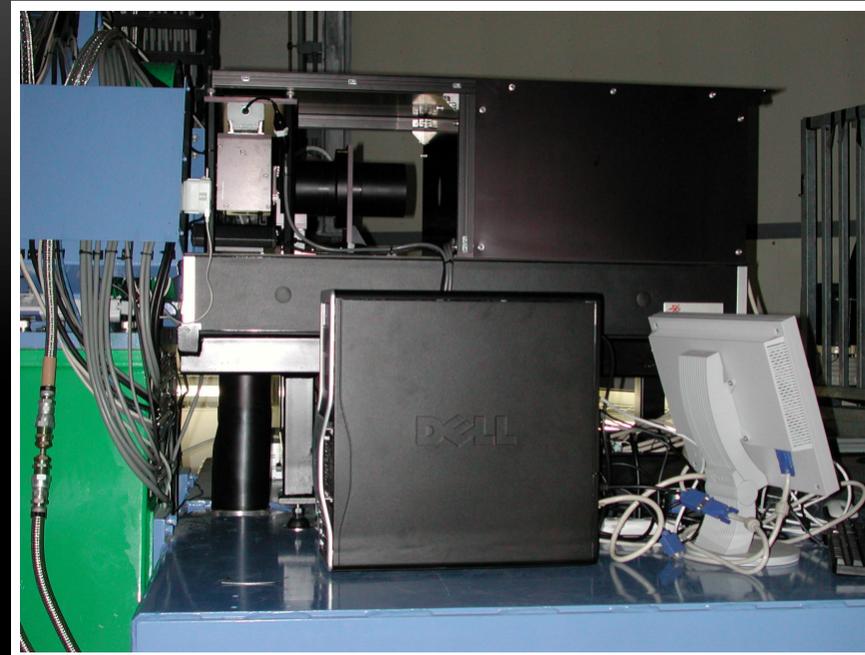
XTE J1118+480の可視光-X線相互相関関数  
(Spruit & Kanbach 2002)



GRS 1124-684の可視光短時間フレア  
(Shahbaz+10)

# 高速分光撮像装置

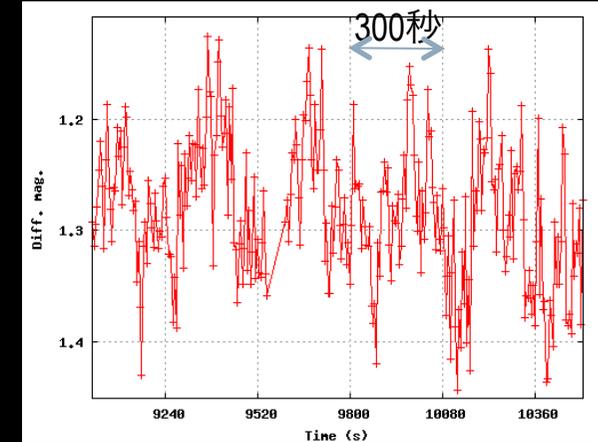
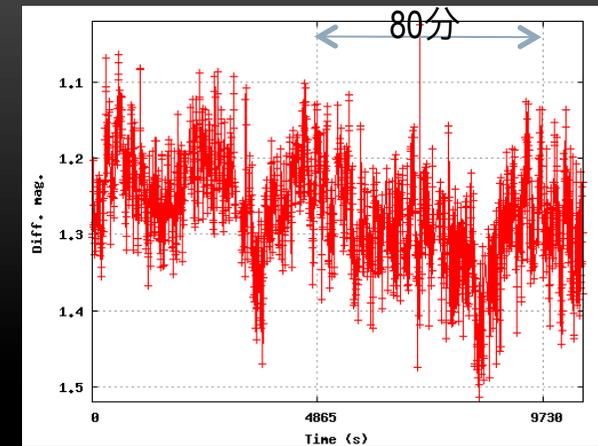
- 京都大学と広島大学との共同開発
  - 2006年～ 高速カメラ（浜ホト製）
  - 2008年～ 分光モード追加
- 最短で0.03秒の時間分解能
  - ただし、その分解能だと限界等級は9等程度。
    - X線連星では厳しい。
  - もっとphotonが欲しい。



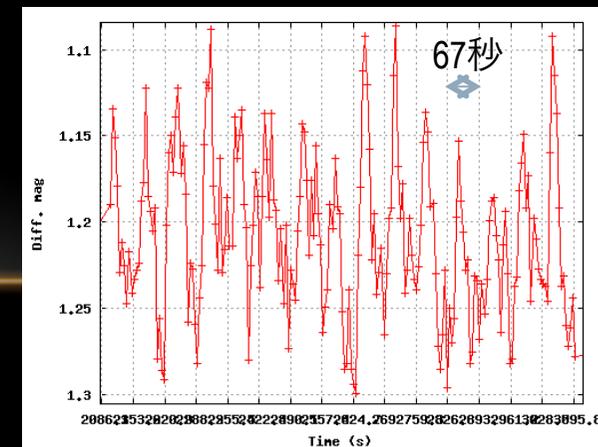
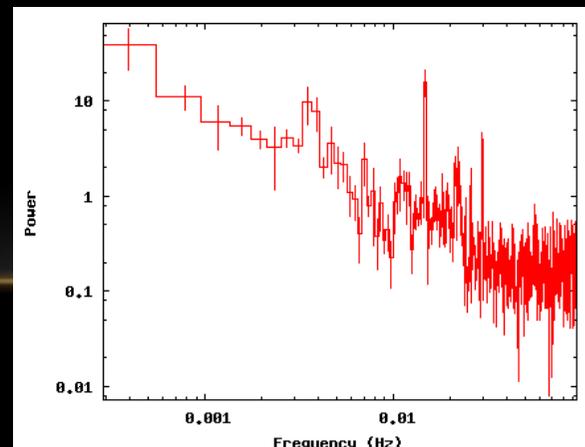
# 観測例：矮新星 V455 AND

- 積分時間10秒
  - 約80分の連星軌道周期
  - 約300秒の白色矮星の脈動
  - 約67秒の白色矮星の自転周期
- こういう変動がX線連星でも受けられ  
ばうれしい。

矮新星 V455 Andの光度曲線

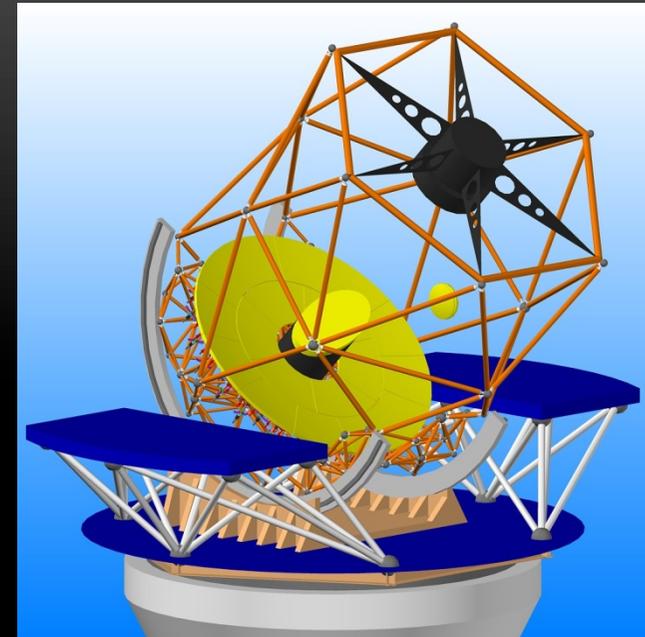


矮新星 V455 Andのパワースペクトル



# 京都3.8M望遠鏡計画

- 近赤外線、偏光、高速観測、全てで主要な問題点は「明るいトランジェント天体がでない」
- 逆に言えば「もっと大きい望遠鏡が欲しい」→京大3.8m計画、などに期待。



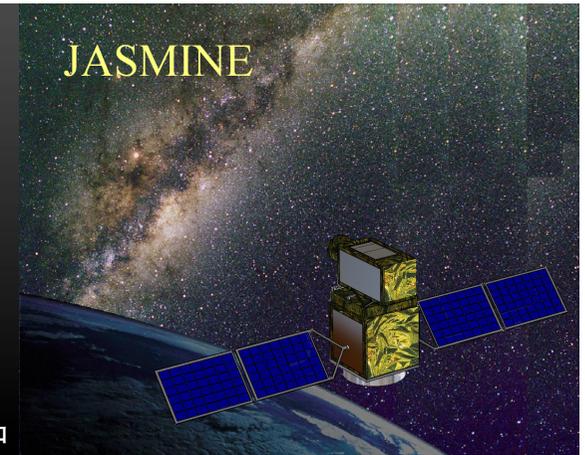
## 大学間連携

- 1機関 + 7大学（国立天文台、北大、東大、東工大、名大、京大、広大、鹿大）
- 事業名：大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点のネットワーク構築  
—最先端天文学課題の解決に向けた大学間連協共同研究—
  - 2011年度からスタート
  - 突発天体現象がメインテーマの1つ。
    - 多経度連携（日本—南アフリカーチリ）
    - 多モード連携（測光、分光、偏光、可視—近赤外）。

# 位置天文の話

# JASMINE

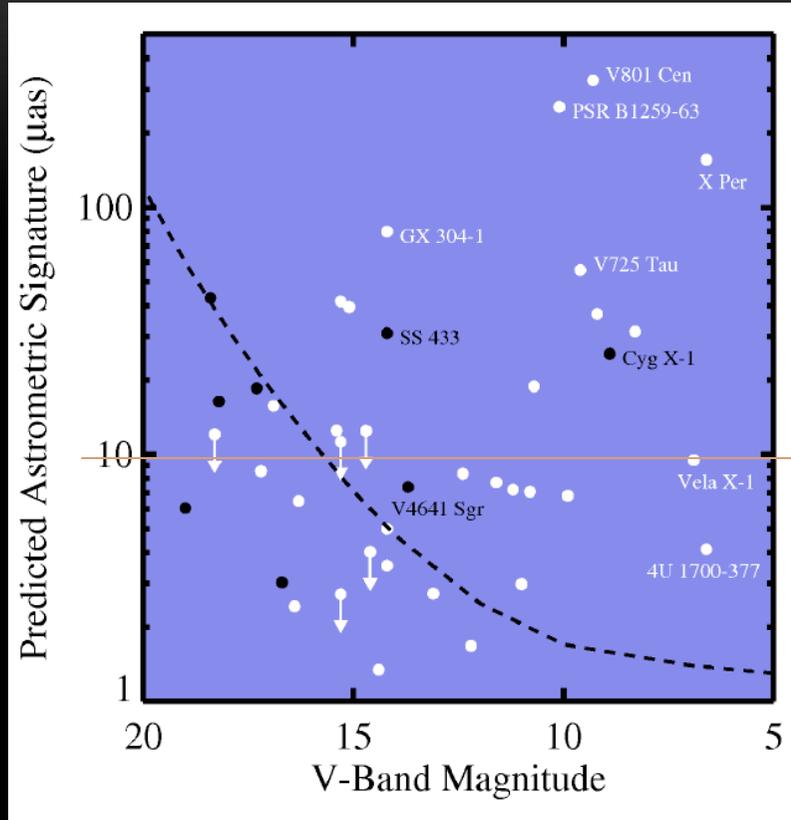
- 日本の位置天文衛星
  - Nano-JASMINEが今年打ち上げ、小型JASMINE計画は現在進行中
- 位置決定精度 = 10 $\mu$ as (Small以降)
- いくつかのX線連星や激変星の軌道運動が見える? →S/N的に、観測機会的に厳しそう



## 典型的なCV, XRBでの例

天体	距離	連星間距離 (cm)	質量比 (M1/M2)	軌道 傾斜角	連星周 期(日)	角度 ( $\mu$ as)	固有運動 (Hipparcos; mas/yr)	固有運動 ( $\mu$ as/周 期)
SS Cyg (CV)	170 pc	1.5e11	1.50	51	0.275	35	111	84
GK Per (CV)	470 pc	5.6e11	2.1	~75	2.0	54	25	137
Cyg X-1 (XRB)	2.5 kpc	2.9e12	0.36	48	5.6	20	5.6	86
GRS 1915+105 (XRB)	~10 kpc	7.1e12	17	66	31	45	?	?

# 連星軌道要素が確定すれば中性子星質量が決まる



- 数 $\mu\text{as}$ の位置精度があれば、いくつかのNSXBでは数%の精度でNS質量が決定する。
- NS以外にも、Cyg X-1, SS 433, 4U 1700-377 (2.4 $M_{\odot}$ のNSという報告あり)、LS I+61 303, LS 5039はSIM Liteの精度ならコンパクト天体の質量が精度良く求まる可能性あり。
  - ただし、 $a \cdot \sin(i)$ は別途測っておく必要あり。

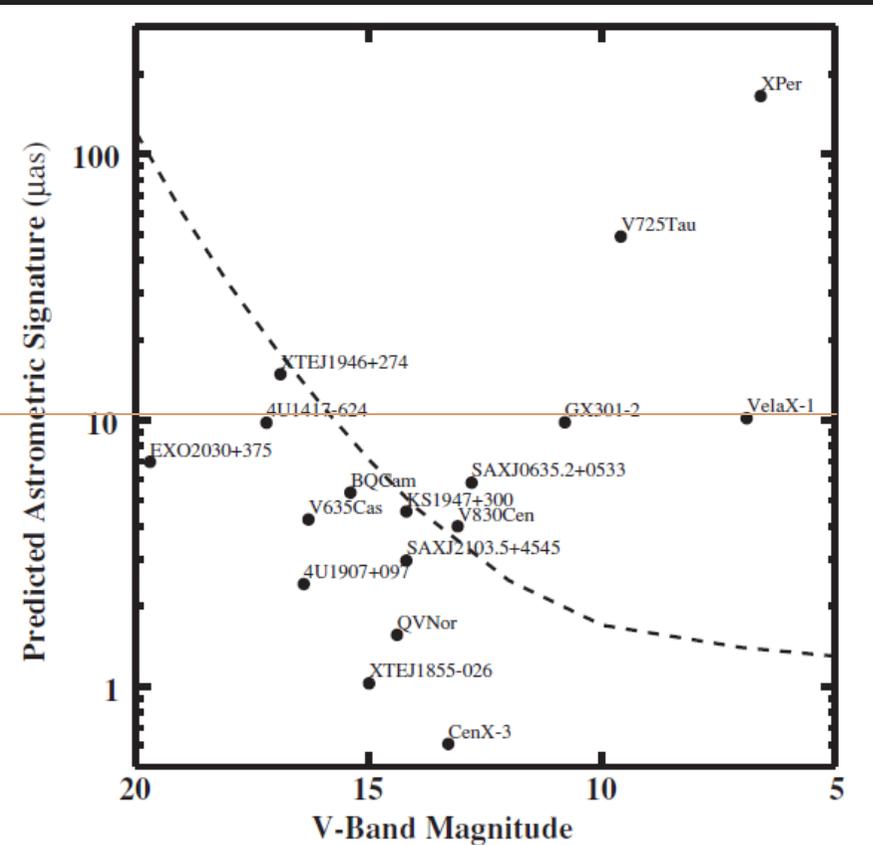


Figure 2. Predicted astrometric signatures from orbital motion vs. V-band magnitude for 17 NS HMXBs for which the projected size of the NS's orbit ( $a_x \sin i$ ) has been measured via X-ray pulsations. The dashed line shows the threshold for detection of orbital motion in 40 hr of *SIM Lite* mission time. As described in Tomsick et al. (2009), the threshold is defined as the level at which the system's semi-major axis is 10 times larger than the astrometry noise per observation (i.e., the SMA) divided by the square root of the number of observations.

# 他の次世代位置天文計画

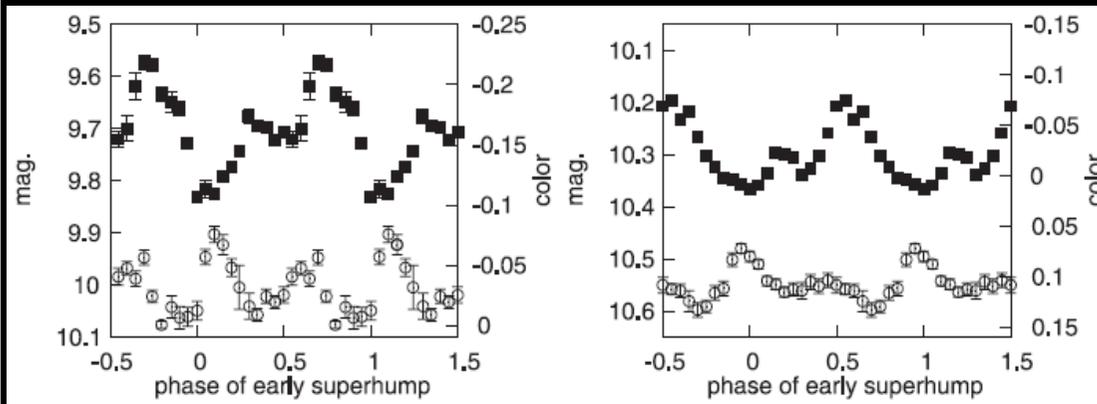
- SIM Lite
  - 可視のスペース干渉計で $\mu\text{arcsec}$ 精度を目指す。基線長6 m、望遠鏡1つの口径50cm。位置精度=数 $\mu\text{as}$ 、限界等級20等。15度角くらいの領域内を観測。全天サーベイはしない。
  - Astro2010 Decadal Survey で推薦されず。NASAは予算打ち切り。
- GAIA (2013~)
  - ESAのスペース位置天文計画
  - 可視光全天サーベイ
  - JASMINEと同等かそれ以上の位置決定精度
  - ただし同じ領域を多数回繰り返して観測はしない

矮新星

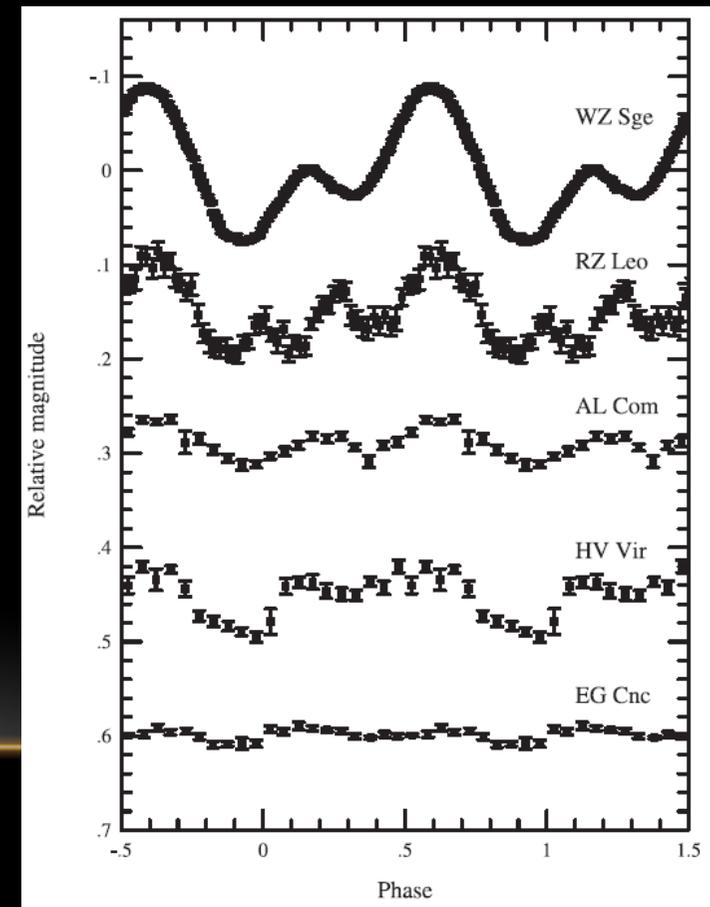
# WZ SGE-TYPE & EARLY SUPERHUMPS

- Early superhump
  - 連星軌道周期にほぼ等しい
  - ダブルピークの光度曲線
  - 非軸対称な円盤構造を見ている。

Early superhumps in V455 And (Matsui, et al. 2009)  
ハンプ成分が赤い → 円盤外縁が膨張？

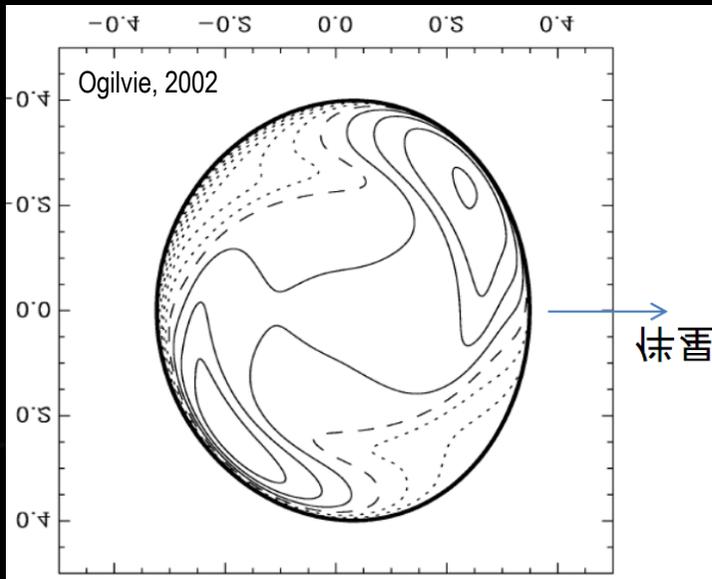


Zoo of early superhumps (Kato, et al. 2002)  
Edge-onの天体ほど振幅が大きい？

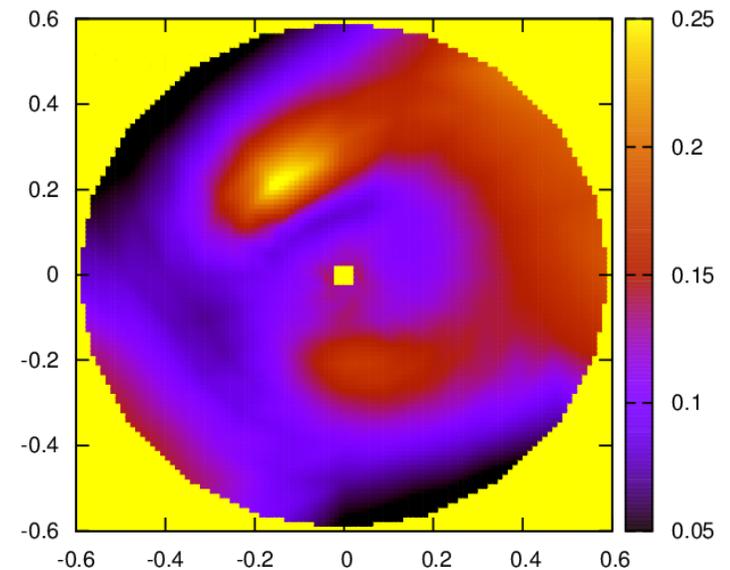
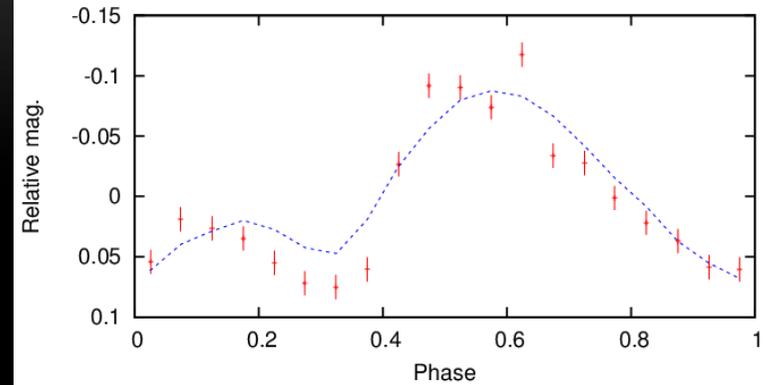


# EARLY SUPERHUMP MAPPING

- 光度曲線から円盤構造（高さ）を再構成する
  - 時系列情報＝方位角方向、温度（色）情報＝動径方向
- トモグラフィのためのベイズモデルを開発
  - 多バンドの光度曲線を再現するように（尤度関数）
  - 局所的には滑らかになるように（事前分布）
  - マルコフ連鎖モンテカルロ法で円盤各点の高さを推定する。
- 潮汐効果で歪んだ円盤構造を再現。
  - 潮汐だけでは説明できないfeatureも。今後の課題。



矮新星 V455 Andの光度曲線から再構成された円盤構造



# EARLY SUPERHUMPS IN XB?

- WZ Sge型矮新星の特徴
  - 軌道周期が短い＝連星質量比  $M_2/M_1$ が小さい ( $\sim 0.1$ )
- 低質量X線連星との類似性
  - 例えば XTE J1118+480の場合、K型星の伴星、軌道周期4時間、 $M_2/M_{BH}=0.04$
  - Early superhumpが見えてもいはず →しかし検出例は無し。
- なぜX線トランジェントに early superhumpが見えないのか？
  - 矮新星との相違点：円盤外縁部の irradiationが重要であると考えられている (←アウトバーストのタイムスケールの点から理論的に)
  - しかし、円盤外縁の温度が上がれば縦方向にさらに膨らむセンスでは？

# まとめ

- X線連星の可視光観測では「可視域でのジェット放射」「短時間変動」に注目して多波長観測を進めたい。
- ポテンシャルの大きなアプローチ
  - 近赤外線観測（星間吸収を受けにくい、ジェットからの寄与が大？）
  - 偏光観測（ジェットからの寄与を検証）
  - 高速観測（X線と同時、高速分光、偏光）
  - もっと大きな望遠鏡が必要。
- 位置天文、矮新星の話



# SWIFT J1357.2-0933: MOST RECENT WORK

- Swift J1357.2-0933
  - 2011.01.28にSwift/BATが検出。
  - 比較的明るい可視光対応天体（V16等台）
  - 静穏時対応天体が赤い→M4相当。非常に短い軌道周期？（2時間程度）
- かなた望遠鏡・TRISPECによる連続測光観測
  - 有意な周期性検出なし。

## これまでの(私の)X線連星の研究

- (BH) X線トランジェントの可視光モニター
  - X線光度曲線 (RXTE) と比較して変動の原因&円盤内の降着現象の研究

V4641 Sgrの可視光 (上) とX線 (下) の光度曲線。(Uemura+02)

- 可視変動が7分先行。→ outside-in型のoutburst
- タイムラグが短い(7分)のは thermal instability発生場所が内側？  
円盤内側がtruncated (Kim & Mineshige 04)？

