

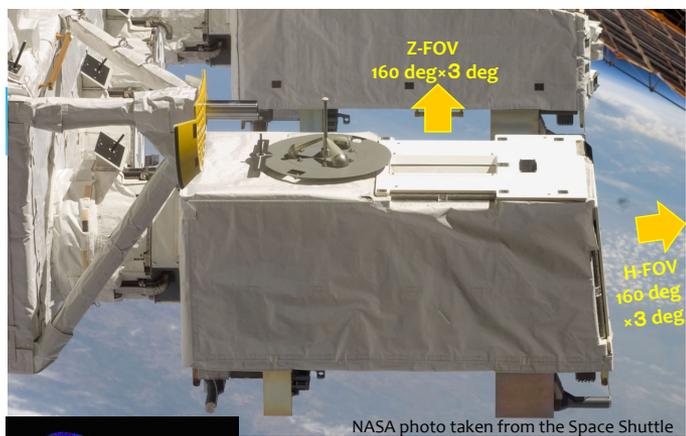
1. イントロダクション
2. MAXI-NICERによる恒星フレアの軟X線観測
3. ひさき-NICERによる恒星フレアの紫外、軟X線同時観測
4. 可視光観測への期待

宇宙X線観測による恒星

恒星コロナ・・・1974年にカペラから恒星コロナの発見。その後、Einstein衛星、ROSAT衛星によって活発なコロナを持つ恒星がカタログ化。

恒星フレア・・・1975年にUV Cetから恒星フレアを検出。その後、Ariel-Vが～5年間で17天体から20個のフレア。

現在

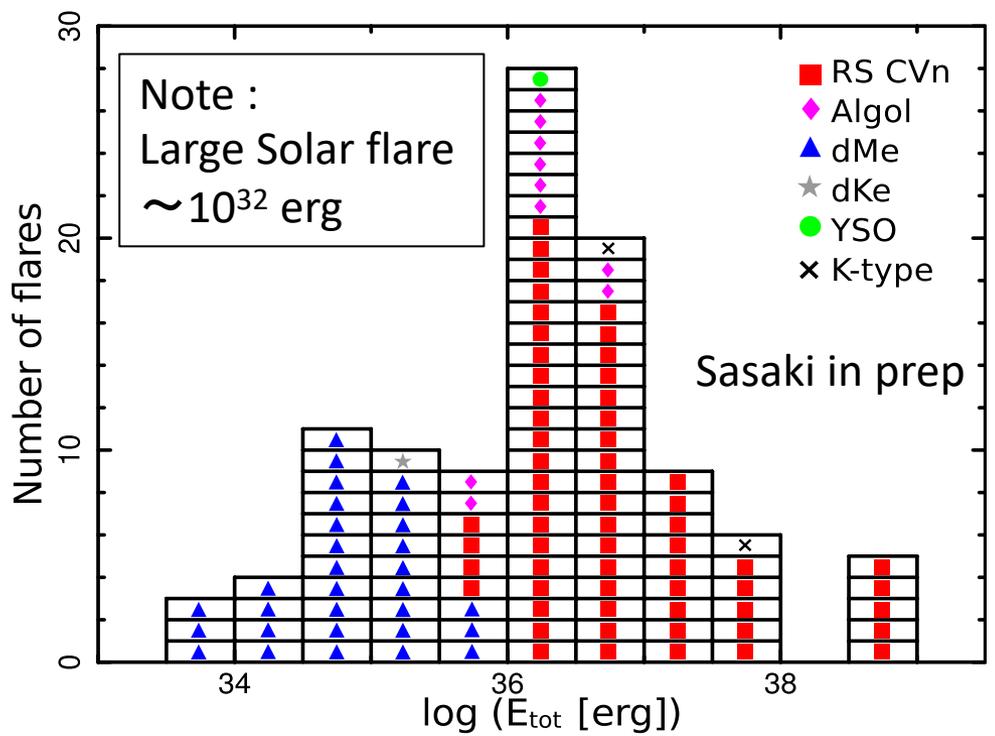


MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image)

- Proportional Counter
- Energy band : 2 – 20 keV
- Obtains 40 s bin lightcurve / 92 min
- 1 scan limit : 80 mCrab

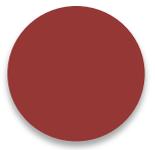
MAXI detected ~130 stellar flares from ~30 sources in 9 years!!

Histogram of stellar flares detected by MAXI

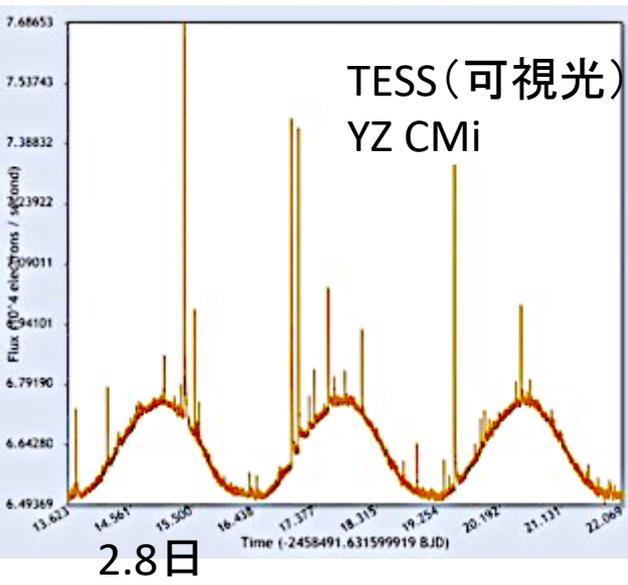


Flare star 速い自転と強い磁気活動

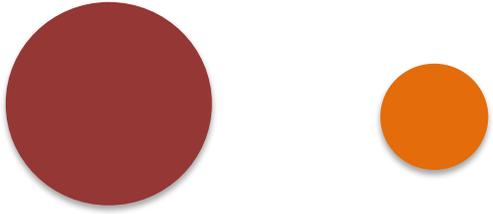
dMe型星 (近傍のものは~10等)



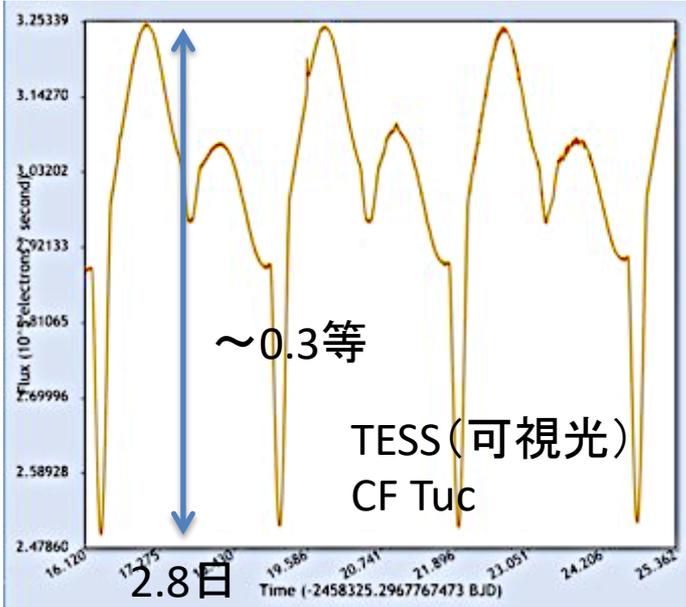
速い自転と深い対流層



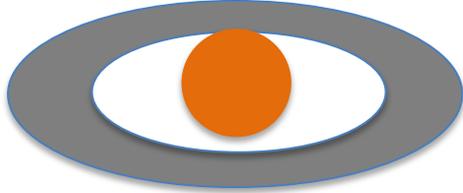
Close binary
近接連星系 (~6等)



自転と公転が同期している
(e.g, RS CVn type star, Algol)
MAXIで受かっているのは~10天体

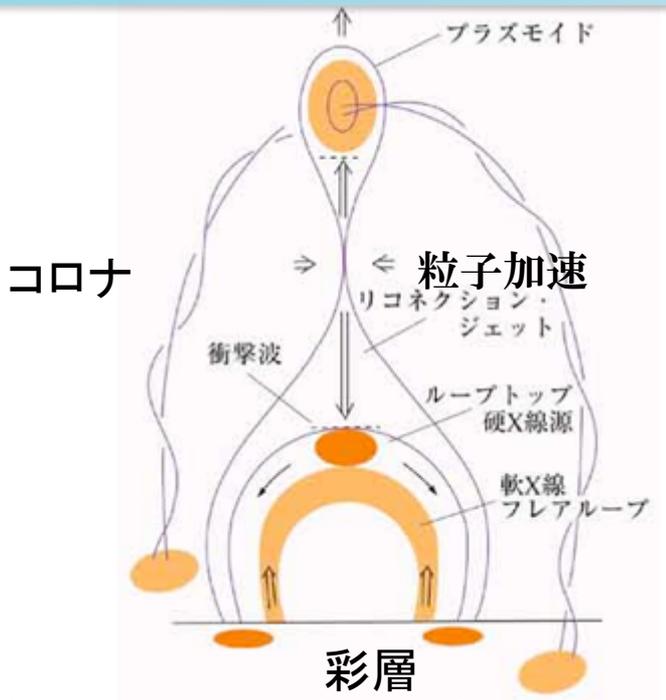


YSO (Young Stellar Object)

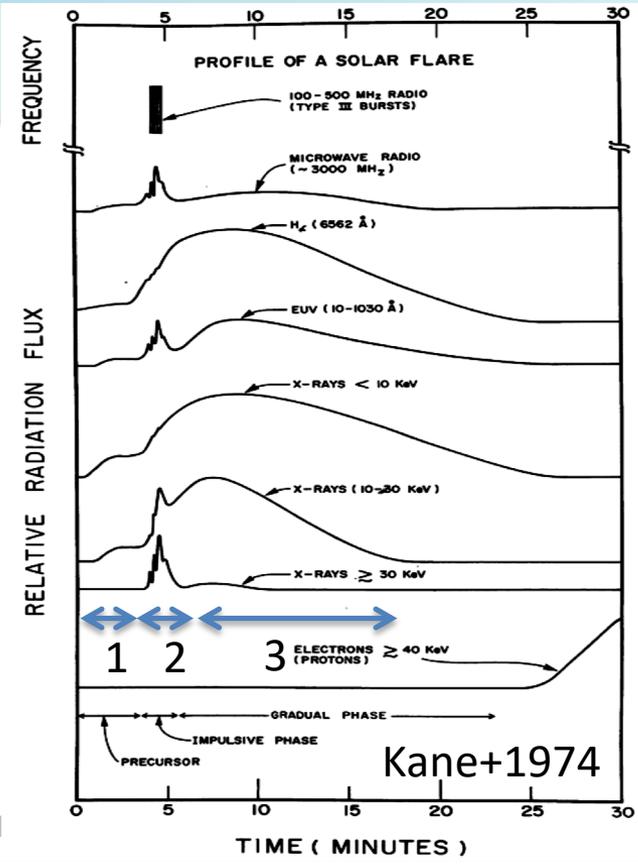


T Tauri型星：
周囲に降着円盤

太陽フレアの理解



<http://www.isas.jaxa.jp/ISASnews/No.262/chap4-03.html>



マイクロ波
H α 線
紫外線
軟X線
硬X線

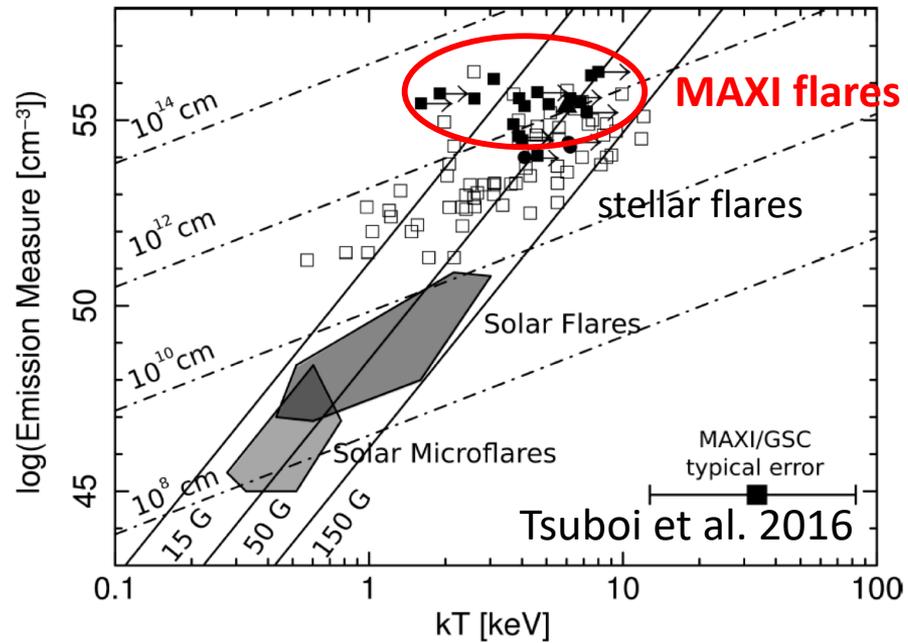
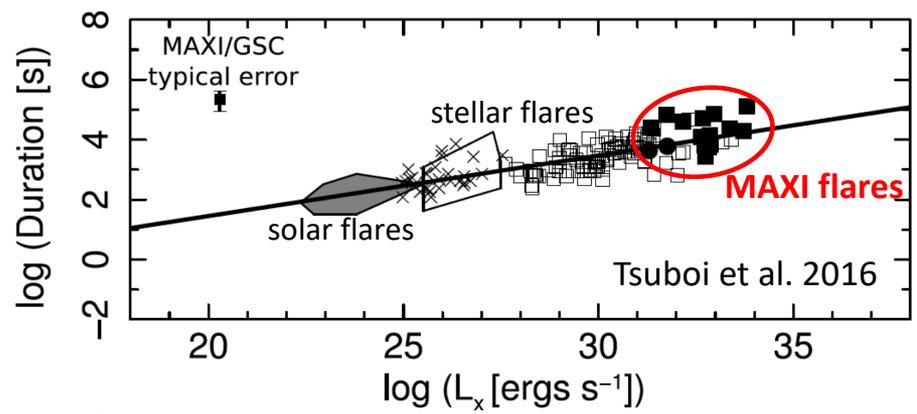
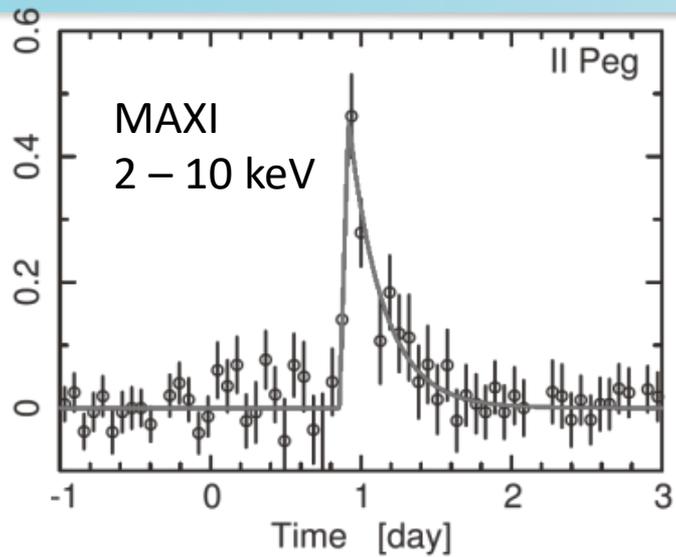
Neupert効果：
軟X線の微分が
硬X線のプロ
ファイル

1. 磁気リコネクションにより、解放された磁気エネルギーによって粒子が加速
2. 加速された粒子が磁気ループに沿って下降し、彩層に突っ込む過程で硬X線、マイクロ波、白色光で光る
3. 粒子の運動エネルギーが彩層に渡されて熱化し、上昇流が発生し(彩層蒸発)、磁気ループが高温プラズマで満たされ軟X線が放射される。

10³⁻⁶倍のエネルギーを放つ恒星フレアでも成り立つのか？

キーワード：彩層蒸発流、Neupert効果

MAXIによる恒星フレア観測(2009 - present)



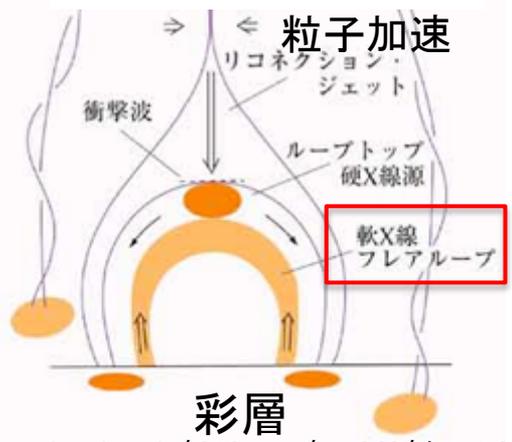
- $E = 10^{36-39}$ ergの巨大フレアでも、ピーク光度と継続時間の関係、温度とEmission measureの関係は、太陽フレアの延長上にあたる
-> 基本的には同じメカニズム
- 違いはフレアループのサイズのみ？ (Shibata & Yokoyama 1999)
- MAXIのデータのみでは、彩層蒸発流や、Neupert効果に言及するのが難しい。

Shibata & Yokoyama 1999 , Feldman et al. 1995 , Shimizu 1995

彩層蒸発モデルで予想されるX線スペクトル時間発展は？

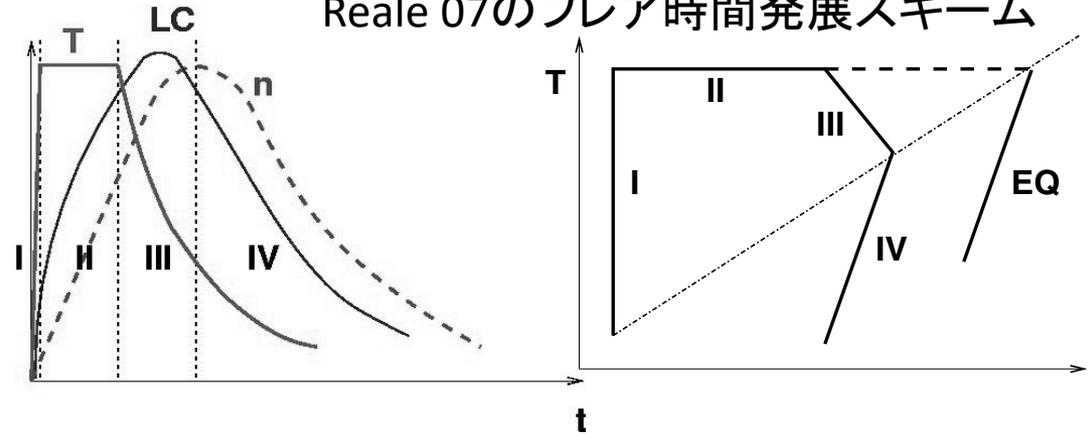
彩層蒸発モデルで予想される軟X線スペクトルの時間発展

コロナ



彩層

Reale 07のフレア時間発展スキーム

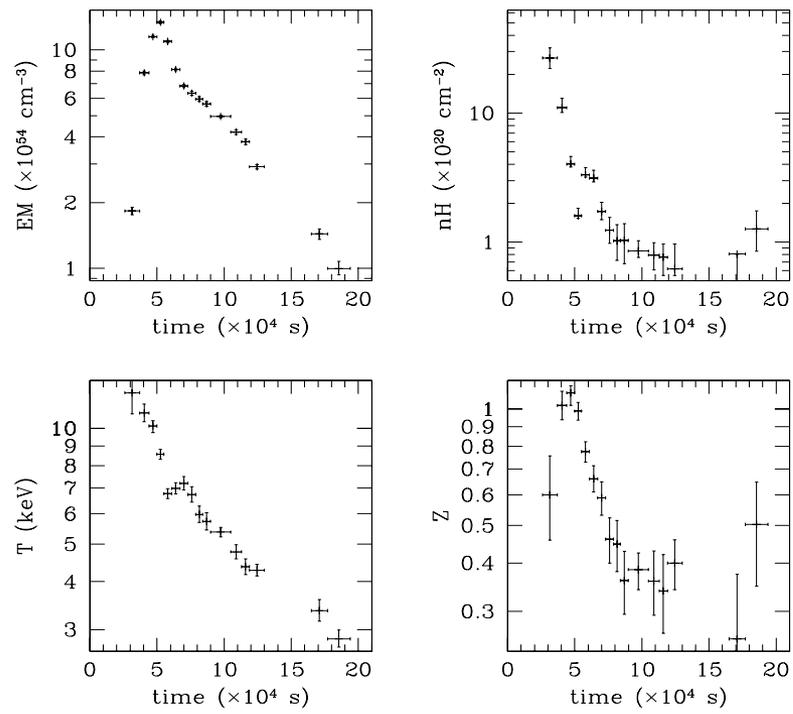


<http://www.isas.jaxa.jp/ISASnews/No.262/chap4-03.html>

- I : 彩層蒸発によるheat pulse
- II : 温度最大から、heat pulseの終わりまで
- III : 密度最大まで(conductive cooling)
- IV : 減衰(radiative coolingが効いてくる)

フレアの過渡期においては、ループ中のプラズマの温度、密度が変化していくのに加え、彩層蒸発によって光球の元素組成を反映したプラズマが登ってくるため、元素組成も時々刻々と変化する

半導体検出器の性能で、巨大恒星フレアの過渡期を観測できた例はこれまでほとんど無かった。

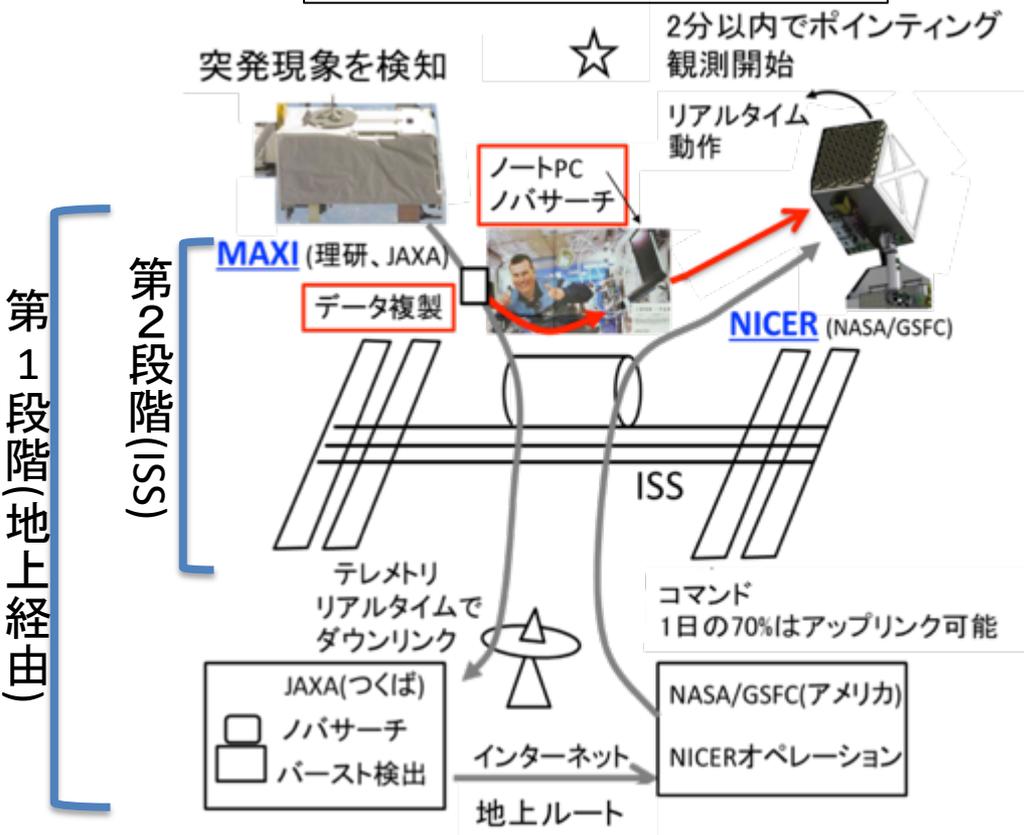


アルゴルの巨大フレアの時間発展(Favata+99)

→MAXI-NICER連携

Future work : On-orbit Hookup of MAXI And NICER (OHMAN)

MAXI-NICER連携概要

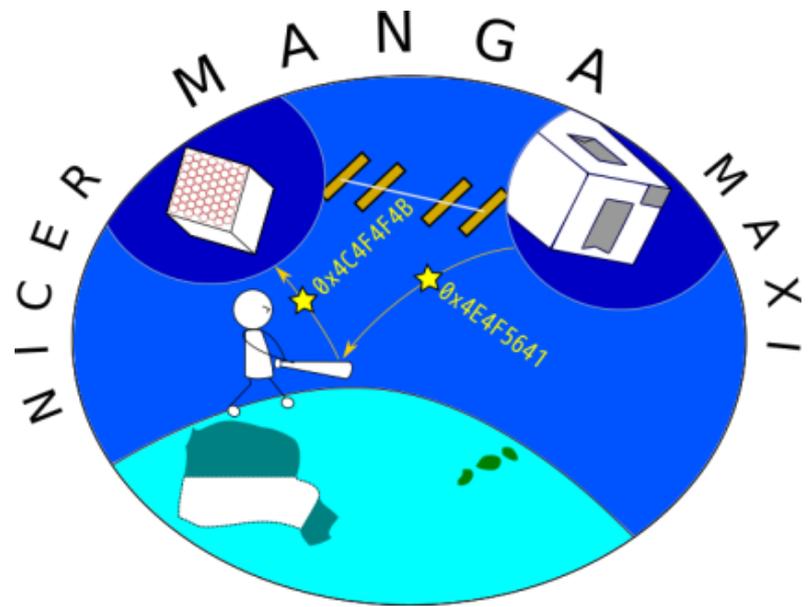
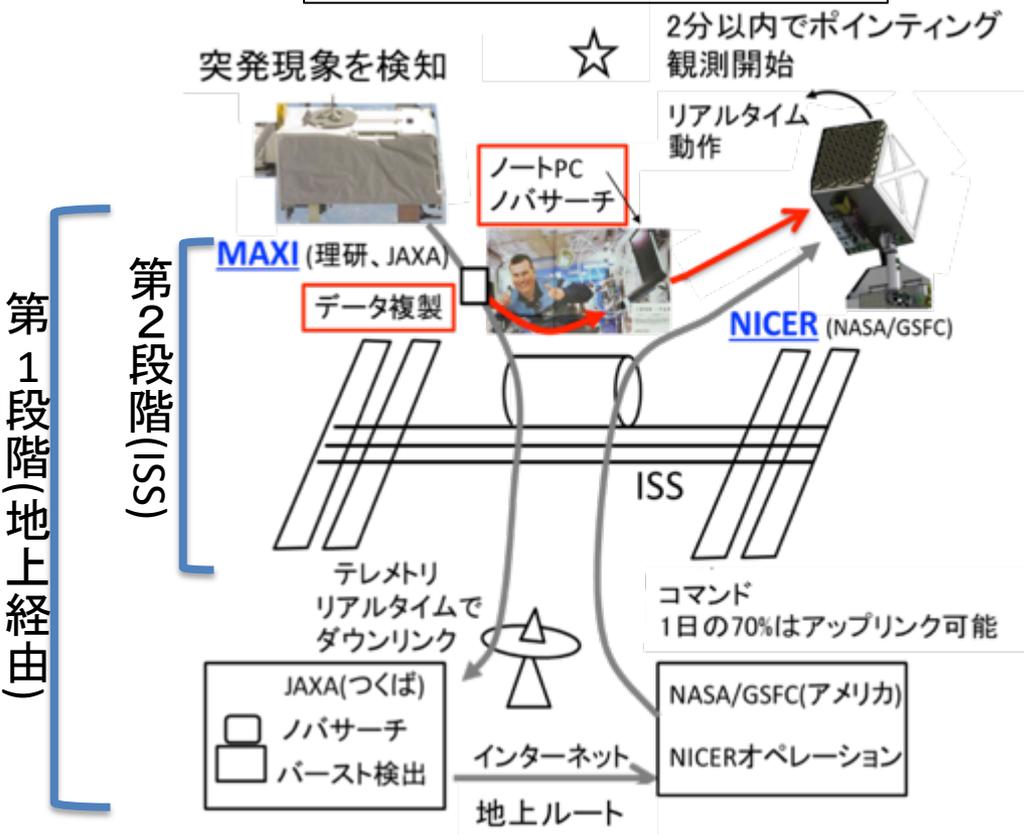


NASA/GSFC

- MAXIのトリガーソフトをISSのPCで走らせて、直接NICERに情報を送る計画も進められている(軟X線帯域におけるSwift衛星のようなものになる)
- 軌道上で連携できれば、MAXIでtransient 発見後、2分以内にNICERによる高感度の観測を始められる
- (NASA側で予算が通らず) 現在は第1段階の地上経由でがんばっている

Future work : On-orbit Hookup of MAXI And NICER (OHMAN)

MAXI-NICER連携概要



天文月報2019年10月号
http://www.asj.or.jp/geppou/contents/2019_10.html

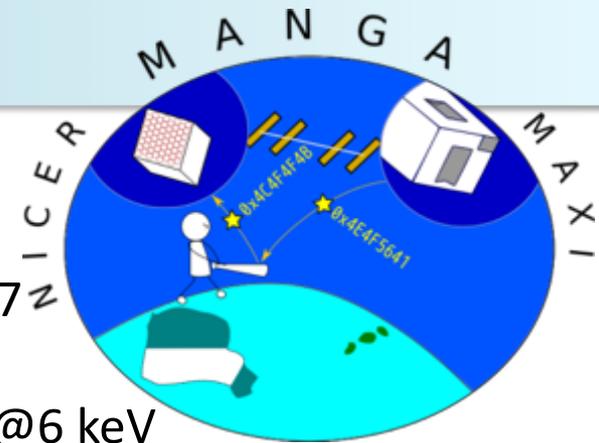
- MAXIのトリガーソフトをISSのPCで走らせて、直接NICERに情報を送る計画も進められている(軟X線帯域におけるSwift衛星のようなものになる)
- 軌道上で連携できれば、MAXIでtransient 発見後、2分以内にNICERによる高感度の観測を始められる
- (NASA側で予算が通らず) 現在は第1段階の地上経由でがんばっている

MAXI And NICER Ground Alert (MANGA)

NICER (Neutron star Interior Composition ExploER)



- NASA/GSFC mission.
- Installed at ISS on June 2017
- Energy range : 0.2 – 10 keV
- Energy resolution : 137 eV @6 keV
- Large effective area : >2000cm²
10 times higher than the Swift/XRT



➔ ToO observations of NICER provide accurate timing and spectroscopy of MAXI transients



Volume 14 • Issue 2 • Winter 2018

NASA Goddard NICER運用室



Scientists operate the NICER mission and the X-ray navigation experiment, SEXTANT, from the operations center at Goddard.

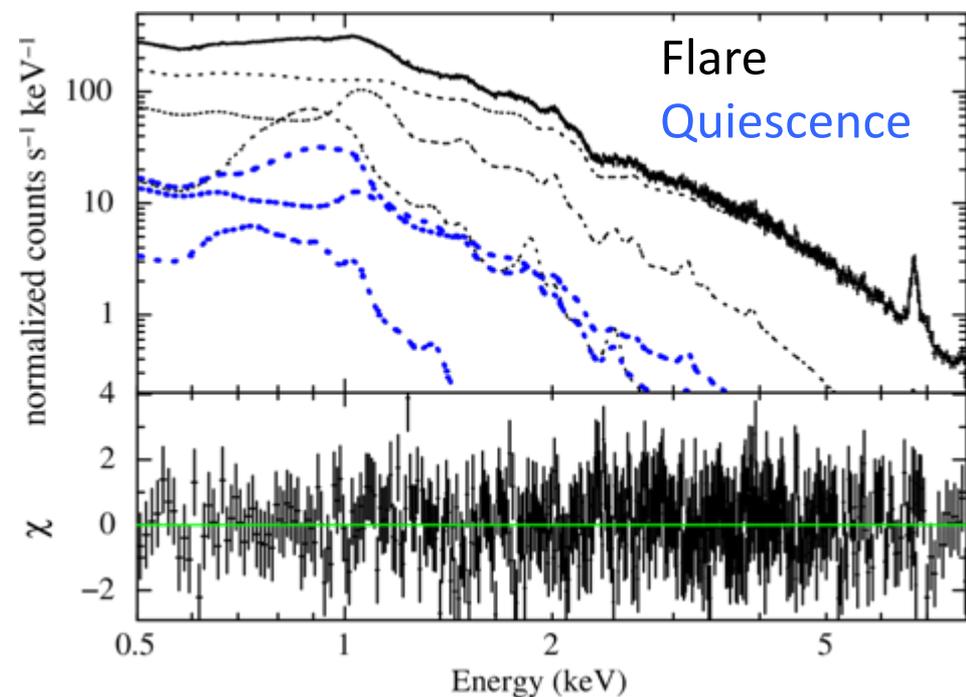
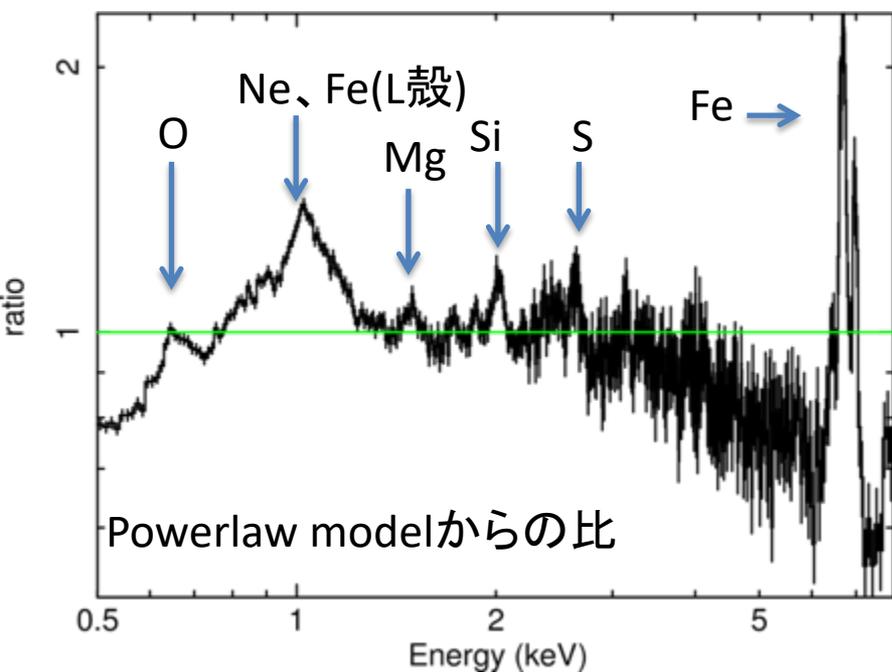


NICER PI : Keith Gendreau

Principal Investigator Keith Gendreau — the scientist who advanced the dual-purpose NICER/SEXTANT mission — works at the mission's operations center at Goddard.

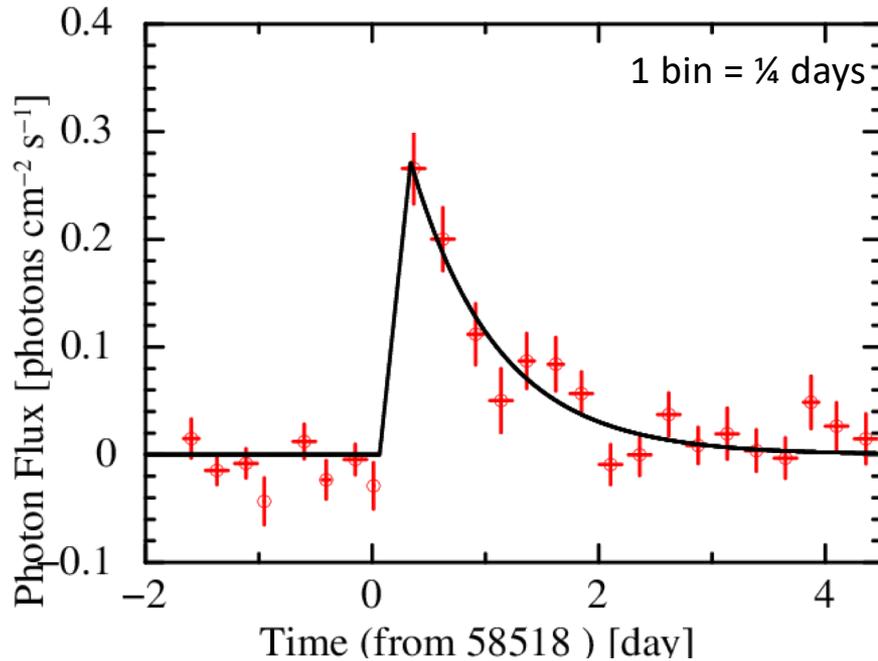
we have already made 26 ToO observations within a 2 year, 9 for stellar flares from 5 sources.

フレアのスペクトル解析方法



- 静穏期(コロナ)+フレア成分を考える
- フレアの成分は、3温度の衝突電離平衡モデル(vapec)で半現象論的に合わせる(右図だと、 $kT = 0.8, 1.8, 5.7$ keV)
- 各元素の組成比は、明らかに見えているものはfree、見えていないものに対しては、第一イオン化ポテンシャルに近い元素に合わせる(例:CaとFe)

σ Gemの例



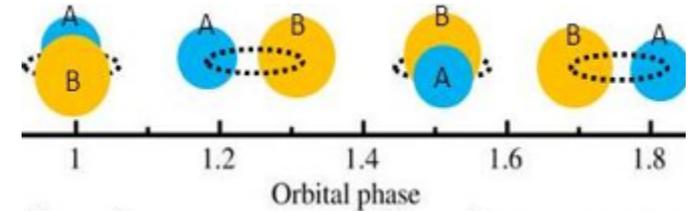
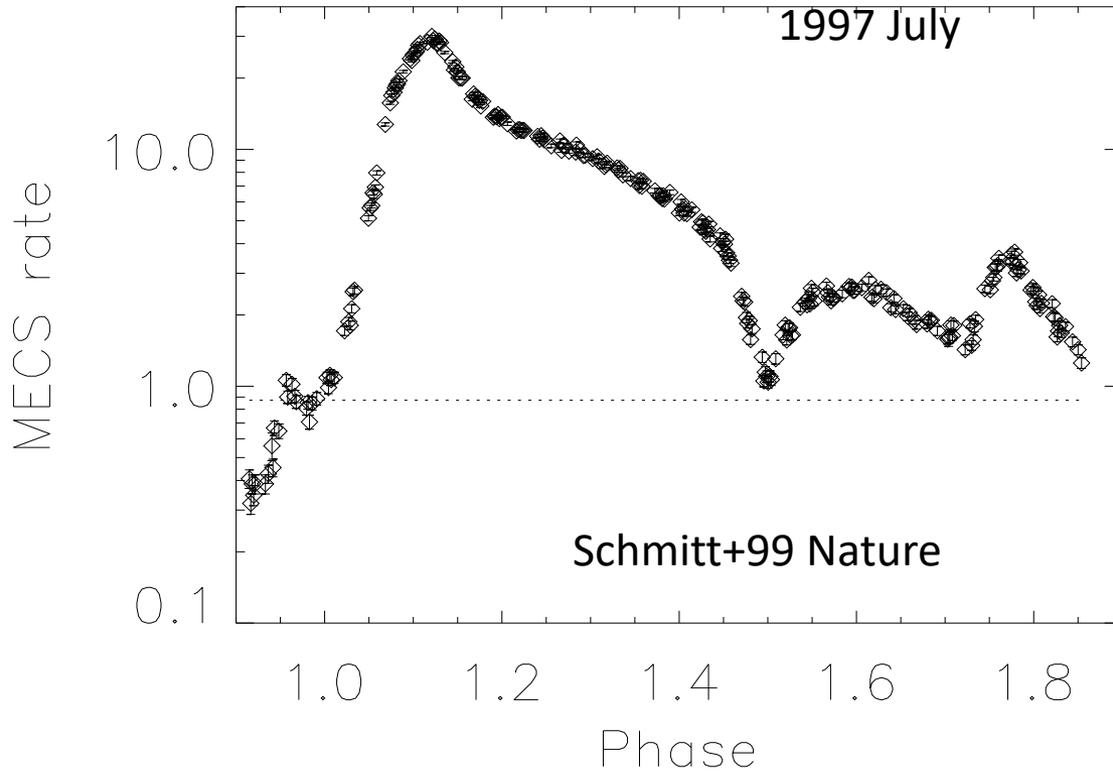
- 距離37.02 pcのRS CVn型星
- MAXIで検出後、10時間後にNICERの追観測
- $E_{\text{tot}} = 2 \times 10^{37}$ erg
- 単なる指数関数的な減衰では光度曲線を再現できない。現象論的には2成分で再現できる(fast : 29 ksec, slow:217 ksec)
- 元素毎のアバundance変化を観測
- fast成分が優勢の時に、low-FIP元素の減衰が見られる->物理的解釈は？

Flare eclipse

Observation of flare eclipse leads to estimate the flare loop size directly

← **MANGA** succeeded to observe the **Algol** flare eclipse again

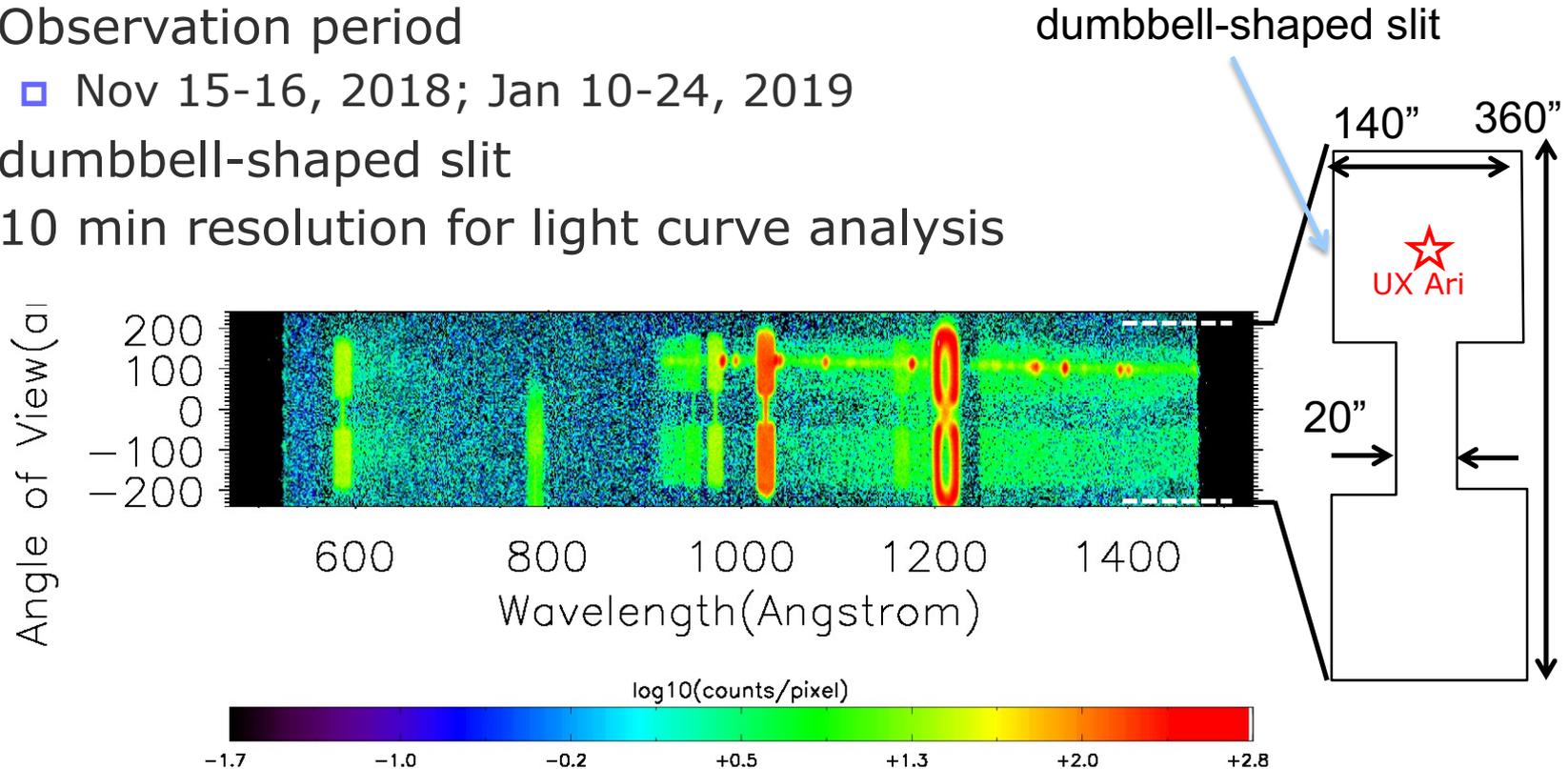
BeppoSAX: Algol





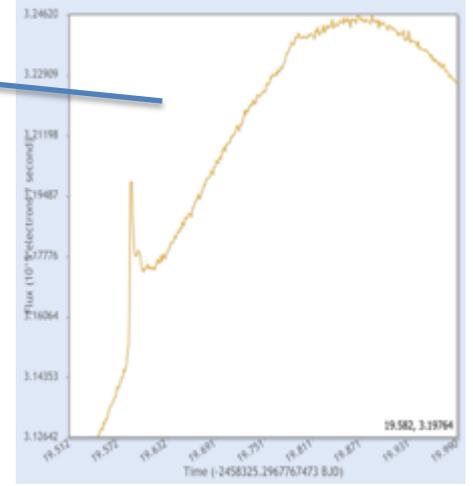
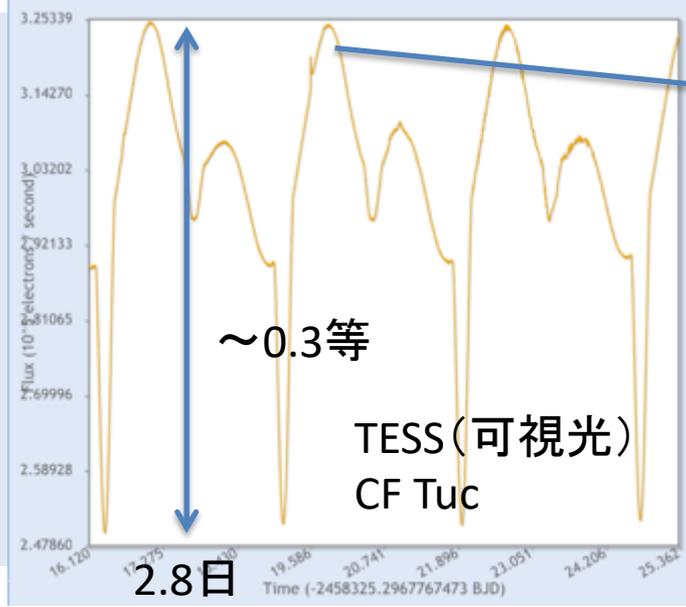
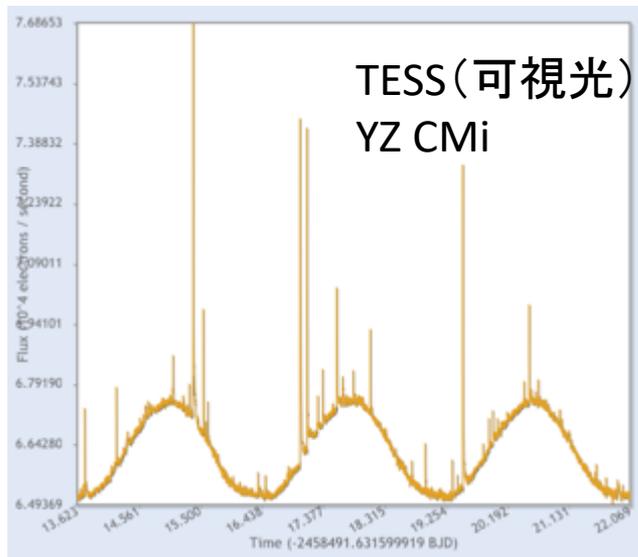
- EUV Spectrometer “EXCEED” : 550 – 1450 Å
- 基本的には太陽系の惑星を観測している。が、黄道面±10度の天体であれば観測可能→惑星が観測できない時期を利用してNICERと同時観測
- RS CVn型星 UX Ariからの巨大恒星フレアのNICER-ひさき同時観測に成功

- Observation period
 - Nov 15-16, 2018; Jan 10-24, 2019
- dumbbell-shaped slit
- 10 min resolution for light curve analysis

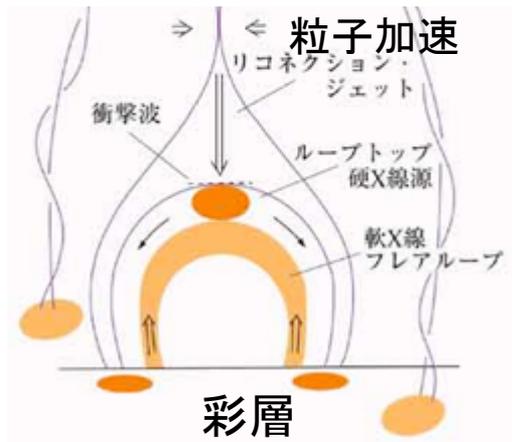


可視光観測への期待

可視光で見えるもの



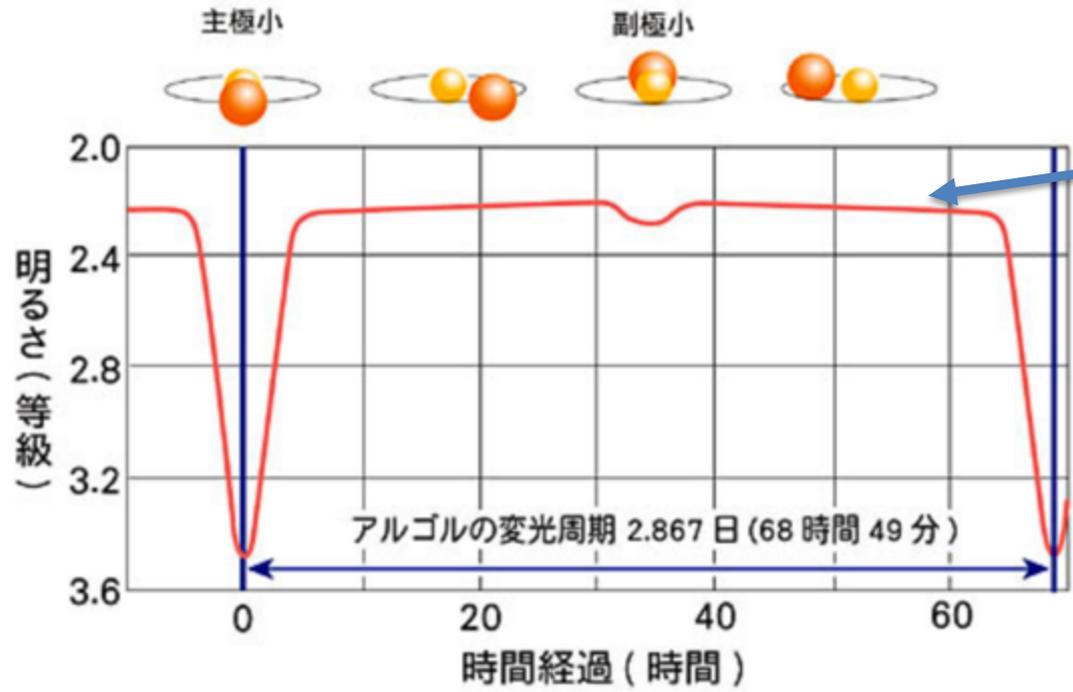
コロナ



- ・白色光フレア
 - 温度が $\sim 10,000$ Kの黒体輻射 (M型星がよく見えるが、RS CVnでも見える)
 - 多波長で観測できると解放された磁気エネルギーがどの波長に分配されていくかわかる。
- ・黒点の変動、フレアの発生場所

- ホームへ
- プラネタリウム 全天周映画
- 科学展示室
- イベント 各種科学講座
- ご利用案内

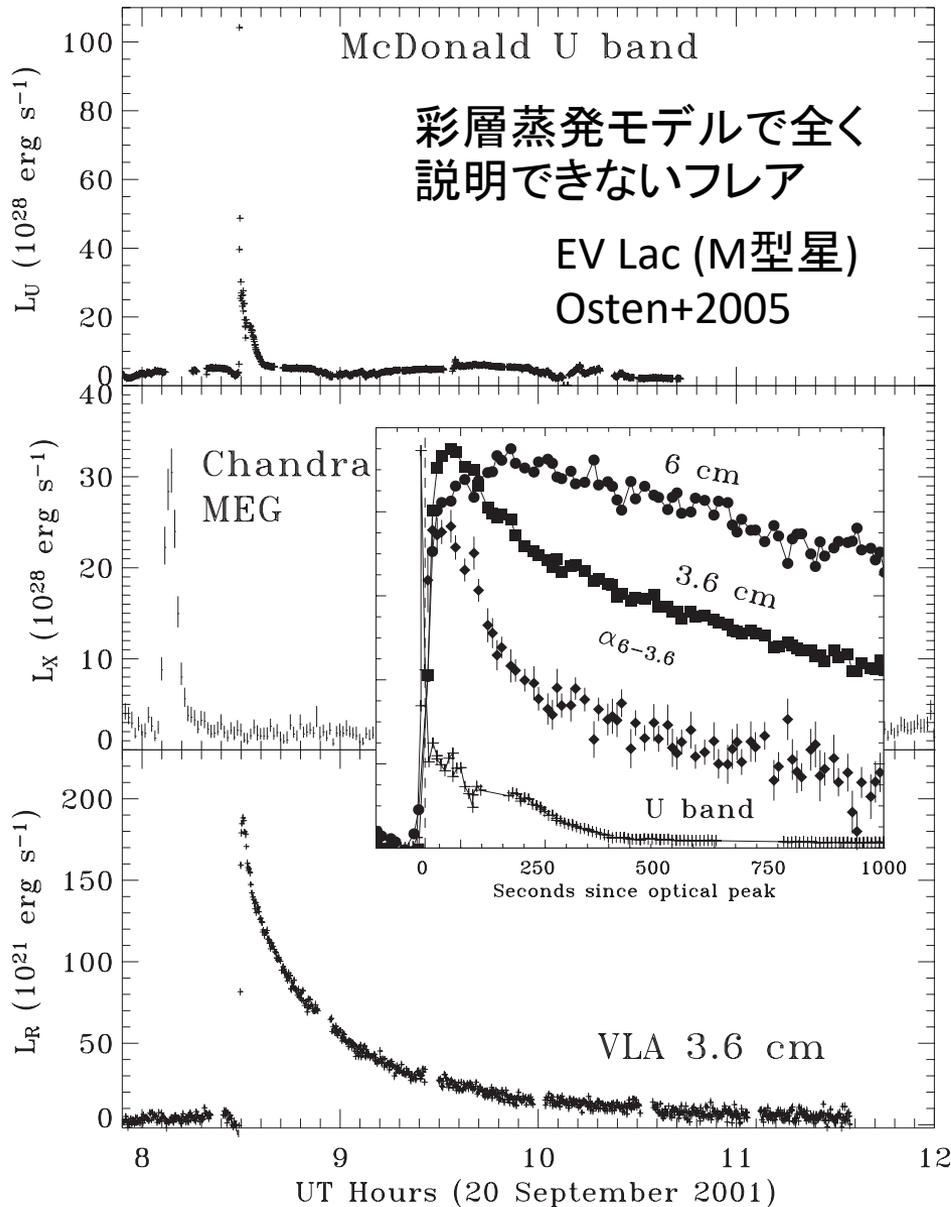
数時間で明るさが変わる星 食変光星「アルゴル」観測ガイド



アルゴルBの方には巨大な黒点があると考えられるが、いくら測光精度を上げててもRS CVn型星のような光度変動は見えないものか？

食変光星「アルゴルの光度変化」

まとめ



- MAXI-NICER連携による軟X線帯域での詳細観測や、多波長観測によって、太陽フレアの 10^{3-6} 倍の恒星フレアにおいても、定性的に彩層蒸発モデルで説明できることがわかってきた。
-> 過去に1例だけ見つかった、彩層蒸発モデルで説明できないフレアは特殊？
- 今後は定量的に蓄えられた磁気エネルギーがどのように分配されているかを確認していきたい。
-> 磁気リコネクションで解放される総磁気エネルギーの見積もりや、系外惑星に対する各波長の照射量の見積もり等