

X線バーストによる元素合成の現場は 捉えることができるか？

～NICERでどんな面白いことが狙えるか？～

理研 岩切渉

～中性子星の観測と理論～

研究活性化ワークショップ2017

2017/11/24

開催主旨：

本研究会では、中性子星の観測や理論の（特に若手の）研究者の間で議論や交流を活発化し、互いのニーズとシーズを整理していくことで、新たな観測データからサイエンスを出して行く下地作りを目的とする。今年パルサー発見から50周年の節目にあたり、米国のNICER(Neutron star Interior Composition ExploreR)は無事打ち上げられ、2020年代前半にはX線偏光観測衛星等が打ちあがる可能性が大きくなってきた。特に本研究会では、結果まで至っていない内容でも交流を進め、議論を重視した勉強会にしたいと考えている。また、参加者は理論屋、観測屋が半々の割合となる予

開催主旨：

本研究会では、中性子星の観測や理論の（特に若手の）研究者の間で議論や交流を活発化し、互いのニーズとシーズを整理していくことで、新たな観測データからサイエンスを出して行く下地作りを目的とする。今年パルサー発見から50周年の節目にあたり、米国のNICER(Neutron star Interior Composition ExploreR)は無事打ち上げられ、2020年代前半にはX線偏光観測衛星等が打ちあがる可能性が大きくなってきた。特に本研究会では、結果まで至っていない内容でも交流を進め、議論を重視した勉強会にしたいと考えている。また、参加者は理論屋、観測屋が半々の割合となる予

X線偏光観測衛星の将来計画

これまでに中性子星関連のX線偏光の有意な検出はCrab nebulaのみ(軟X線では1976年以来無しWeisskopf+76)

打ち上げ決定

- **ASTRO-H (SGD検出器: 50 keV以上)**
2016年2月12日 種子島より打ち上げ予定
ミッション審査中
- 2020年打ち上げ予定

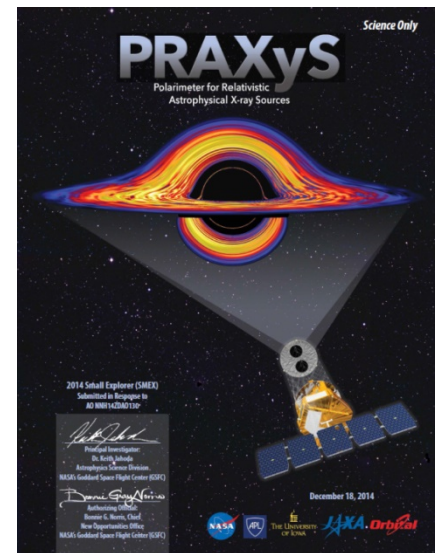
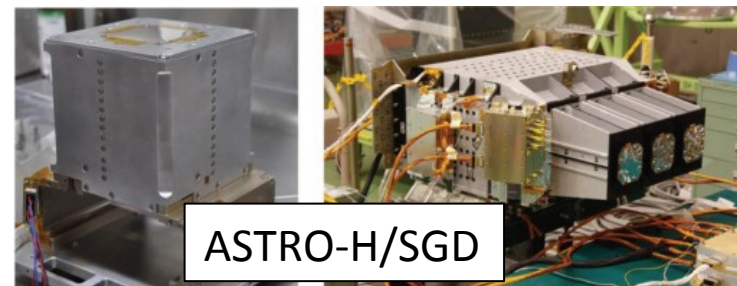
- **PRAXyS(2 – 10 keV, 撮像を捨てて高感度)**
V.S
• **IXPE(2 – 8 keV, 感度を捨てて撮像)**

NASAの小型衛星計画の第1次審査で選ばれた3基中2基がX線偏光。来年度に1基に絞られる。

- 2025年打ち上げ予定
- **Xipe(2-8 keV, 撮像)**

ESAの中型衛星計画の1次審査で、3基のうち1基に残る。

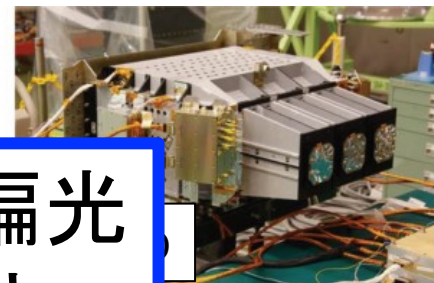
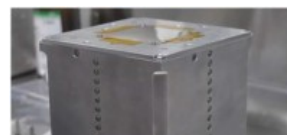
他にも、中国のミッションが上がるかも。



今後10年で、X線偏光観測のデータが出てくる可能性が大きい

X線偏光観測衛星の将来計画

これまでに中性子星関連のX線偏光の有意な検出はCrab nebulaのみ(軟X線では1976年以来無しWeisskopf+76)



打ち上げ決定

- ASTRO-H (SGD検出器: 50 keV以下) 2016年2月12日 種子島より打ち上げミッション審査中

Crabの硬X線偏光はPoGO LiteとAstrosat

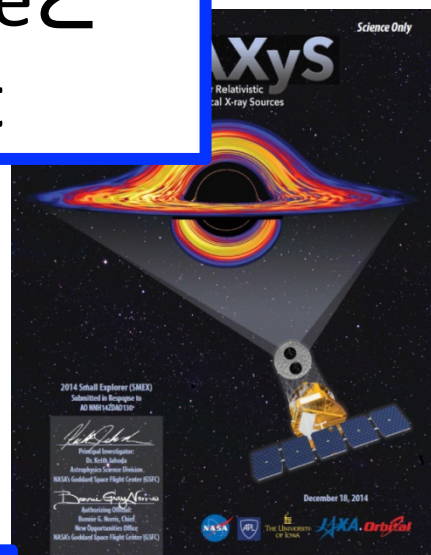
- 2020年打ち上げ予定

- PRAXyS (2 - 10 keV, 撮像を捨てて高感度)

V.S

- IXPE (2 - 8 keV, 感度を捨てて撮像)

NASAの小型衛星計画の第1次審査で選ばれた3基中2基がX線偏光。来年度に1基に絞ら



- 2025年打ち上げ予定

- Xipe (2-8 keV, 撮像)

ESAの中型衛星計画の1次審査

マグネターの予測は昨日の矢田部講演

後10年で、X線偏光観測のデータ出てくる可能性大きい

他にも、中国のミッションが上がるかも。

開催主旨：

本研究会では、中性子星の観測や理論の（特に若手の）研究者の間で議論や交流を活発化し、互いのニーズとシーズを整理していくことで、新たな観測データからサイエンスを出して行く下地作りを目的とする。今年パルサー発見から50周年の節目にあたり、米国のNICER(Neutron star Interior Composition ExploreR)は無事打ち上げられ、2020年代前半にはX線偏光観測衛星等が打ちあがる可能性が大きくなってきた。特に本研究会では、結果まで至っていない内容でも交流を進め、議論を重視した勉強会にしたいと考えている。また、参加者は理論屋、観測屋が半々の割合となる予

開催主旨：

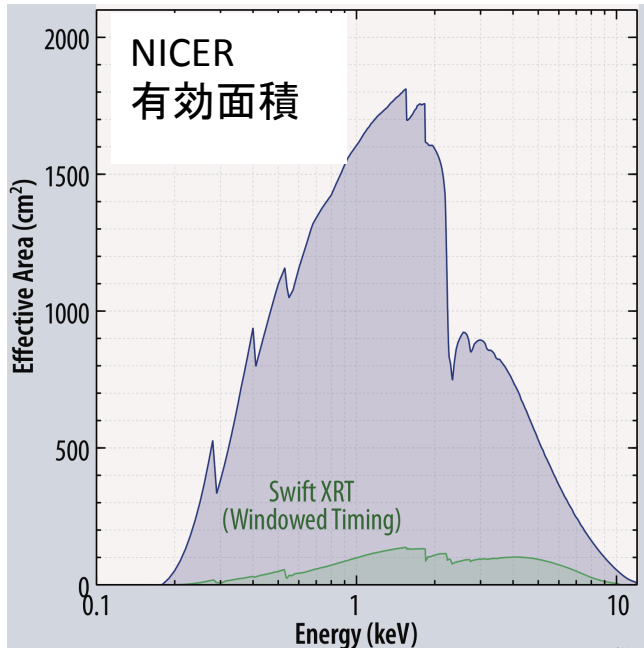
本研究会では、中性子星の観測や理論の（特に若手の）研究者の間で議論や交流を活発化し、互いのニーズとシーズを整理していくことで、新たな観測データからサイエンスを出して行く下地作りを目的とする。今年パルサー発見から50周年の節目にあたり、米国のNICER (Neutron star Interior Composition ExploreR)は無事打ち上げられ、2020年代前半にはX線偏光観測衛星等が打ちあがる可能性が大きくなってきた。特に本研究会では、結果まで至っていない内容でも交流を進め、議論を重視した勉強会にしたいと考えている。また、参加者は理論屋、観測屋が半々の割合となる予

NICER

NICER(Neutron star Interior Composition ExploER)



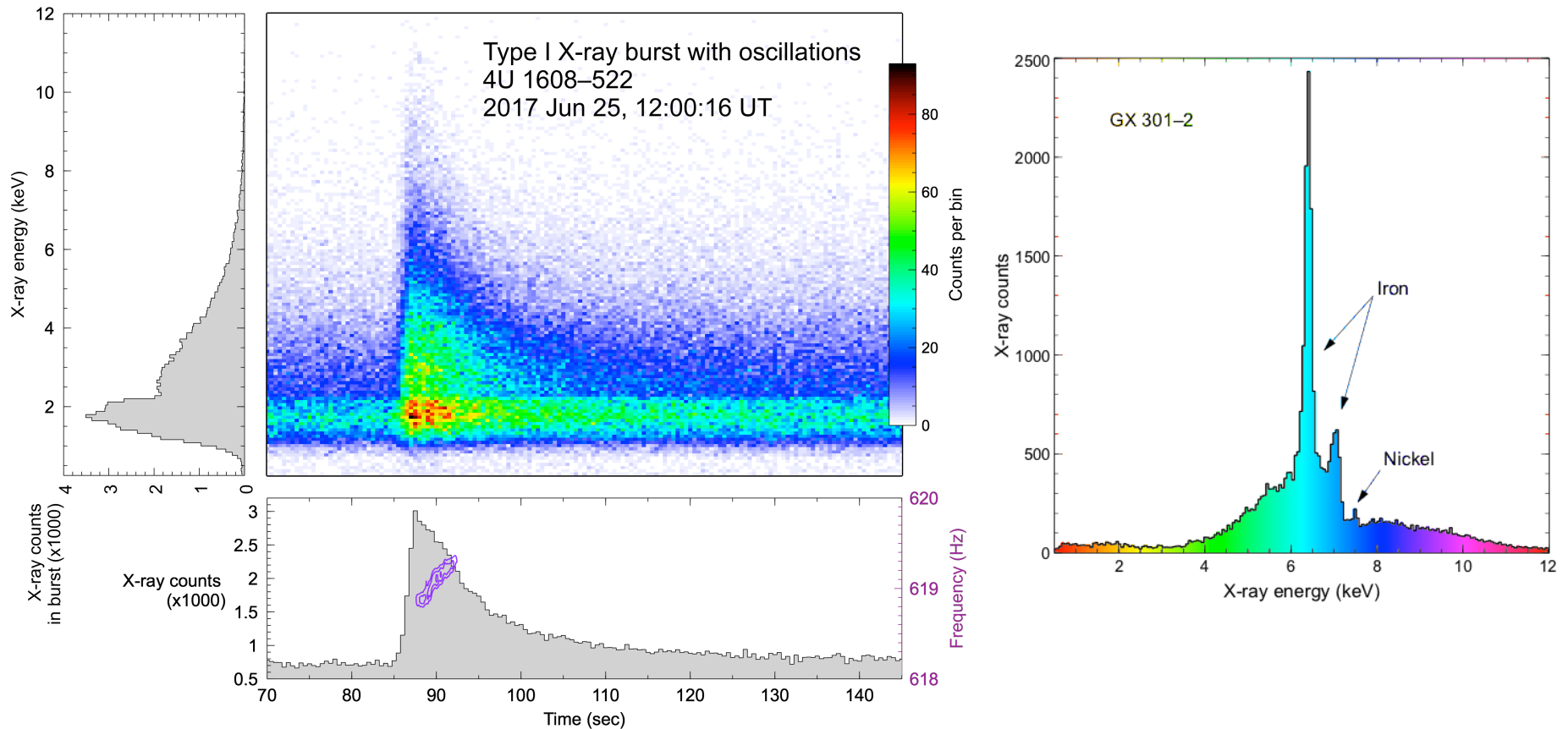
- 56台のX線集光鏡と、高カウントレートの処理に強いシリコンドリフト検出器
- 単独パルサーのパルス波形の高精度観測から、中性子星の質量と半径を決めることを主目的とした、視野の狭いポイントング観測機器
- 2017年6月にISSに設置、現在問題無く運用中



NICERの強み:

1. 有効面積が大きい(短時間のスペクトル変動を追える)
2. 時刻精度が < 300 nsec(absolute)→kHzの変動が追える
3. ISSに搭載されいているため、人工衛星に比べてコマンドを送るタイミングが多い→突発天体の緊急観測(ToO)に向いている

NICER ファーストライト

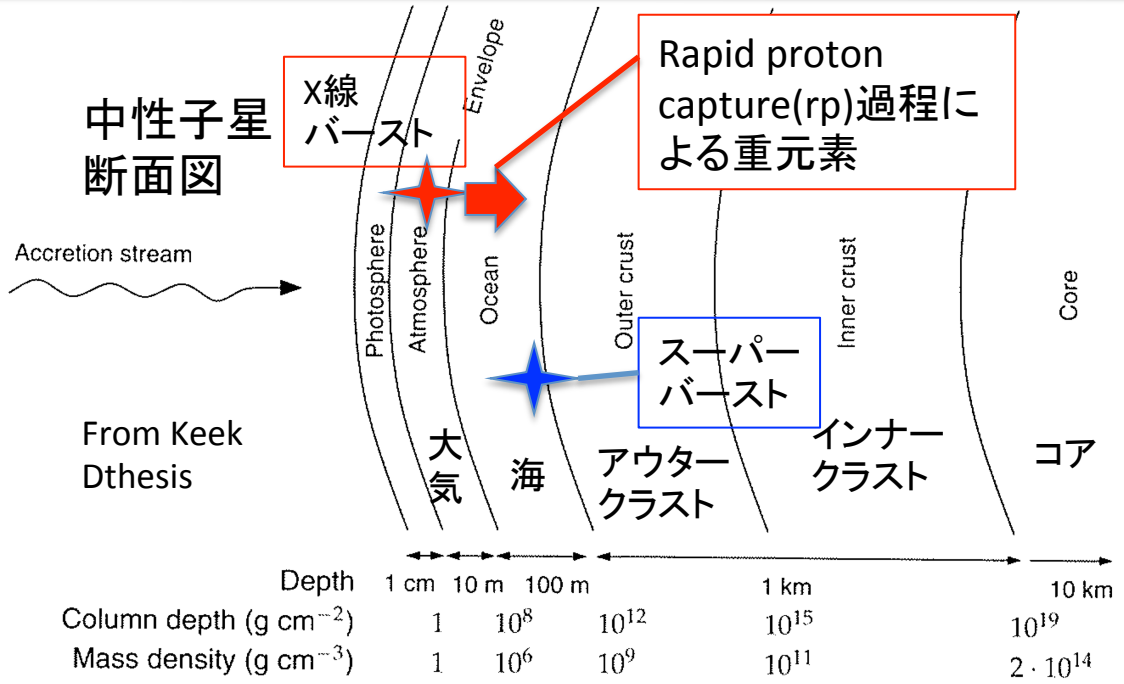
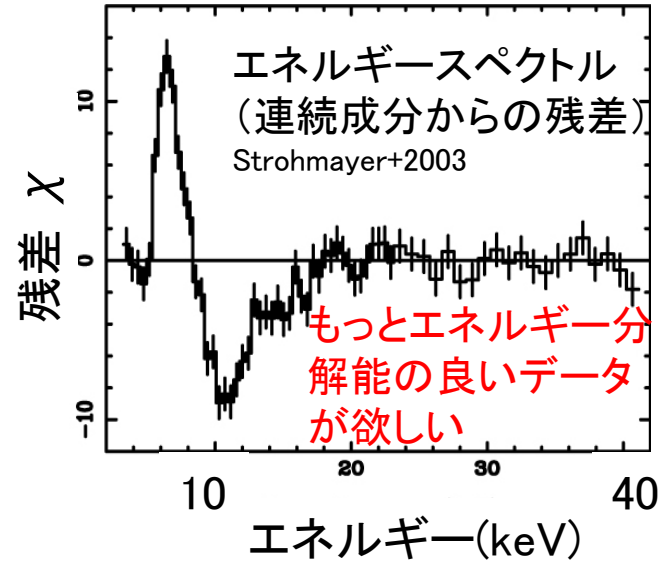
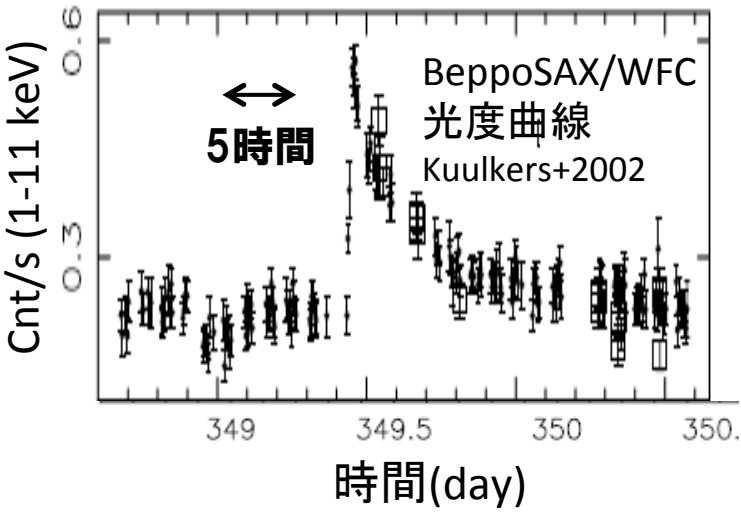


<https://www.nasa.gov/press-release/goddard/2017/nasa-neutron-star-mission-begins-science-operations>

NICERでこういう観測ができれば:

1. X線スーパーバーストの観測→rp過程の元素合成
2. X線連星パルサーの表面温度の変化→NSの内部情報
3. X線連星パルサーのkHz帯域の変動の探査→ULXパルサーの放射機構

低質量X線連星からのX線「スーパーバースト」



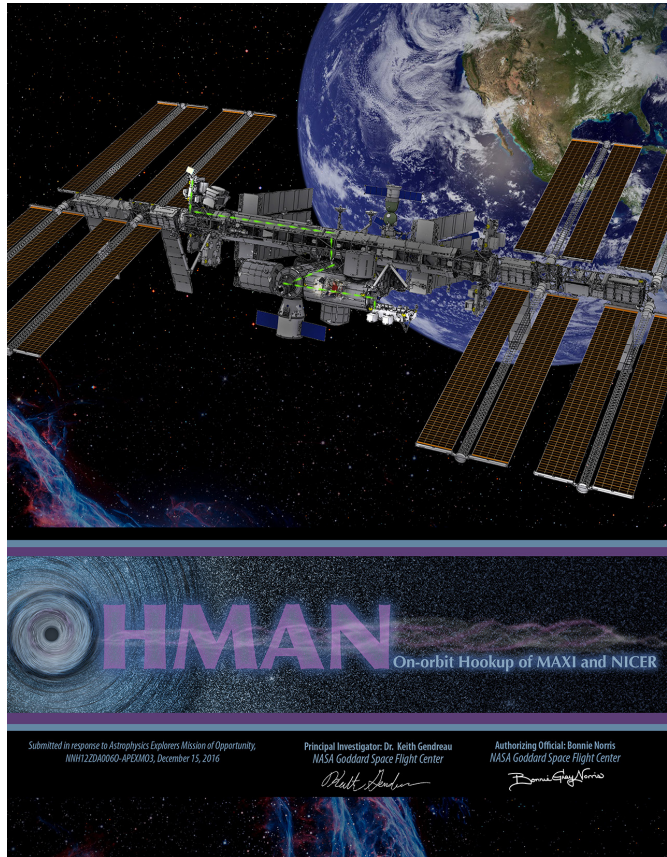
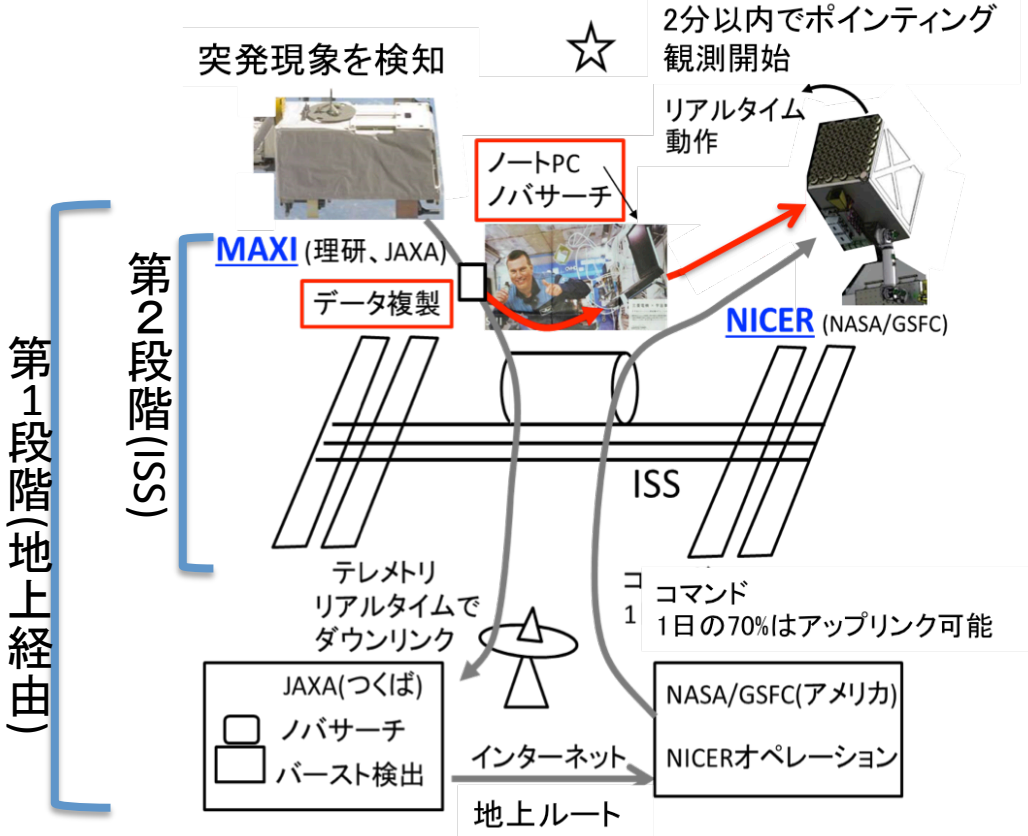
X線バースト: 継続時間が数十秒。H、Heが燃料でrp過程による重元素の合成が起きていると考えられる(e.g, Wallace and Woosley 1981)。→直接観測の例は無し

スーパーバースト: 継続時間が数時間。Ignition column depth $\sim 10^{12} \text{ g/cm}^2$ 。海の底で起きる炭素の核融合と考えられる。→ rp過程元素が放出、曝露すればX線で観測できるのでは？

問題: 年に数回のレアイベント。観測例が少なく、エネルギー分解能の良い検出器での観測例が無い

MAXI-NICER連携

MAXI-NICER連携概要

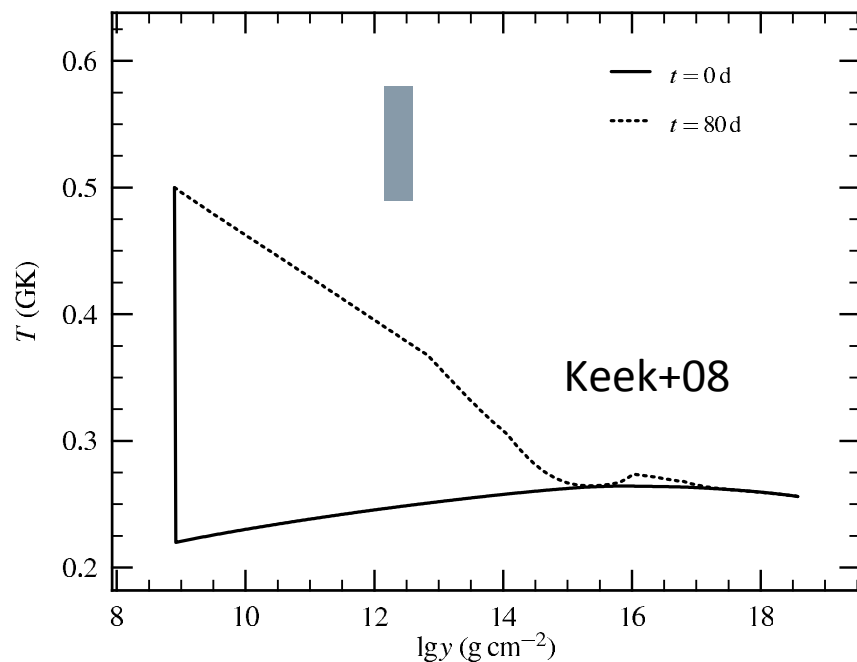


- ・感度は低いが92分でX線帯域の全天を走査しているMAXIと、感度は高いが視野の狭いNICERは非常に相補的。スーパーバーストのToO観測はまだだが、これまで恒星フレアなど地上経由でのToO観測を2 events/月程度で行っている
- ・究極的には、MAXIのトリガーソフトをISSのPCで走らせて、直接NICERに情報を送る計画も進められている(軟X線帯域におけるSwift衛星のようなものになる)

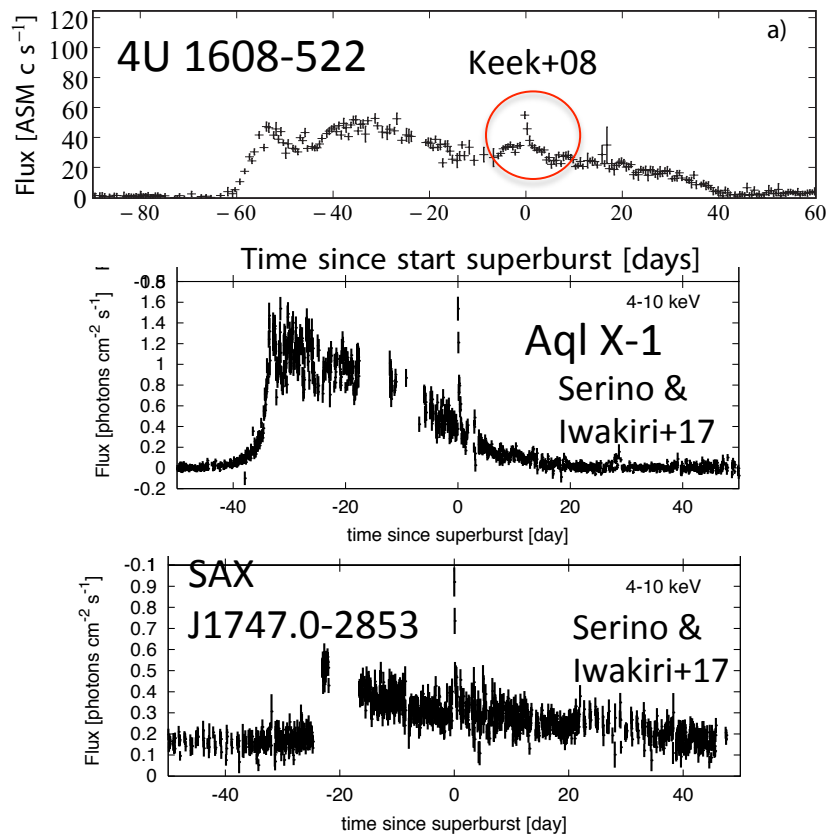
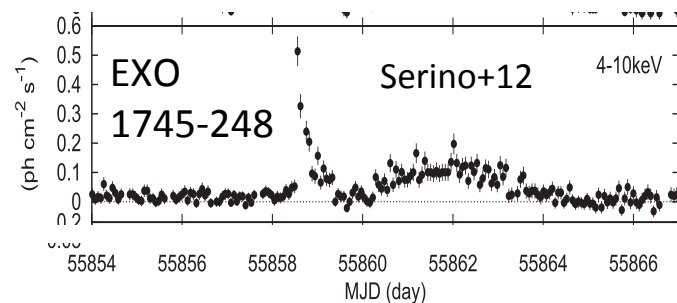
スーパーバーストの他のトピック

どうやって炭素に火がつく温度 (6×10^8 K) に達するか？

アウタークラスト付近の温度を上げる物理としては、電子捕獲(e.g, Gupta+07)とピクノ核融合(高密度下、格子振動による核融合)等がある。

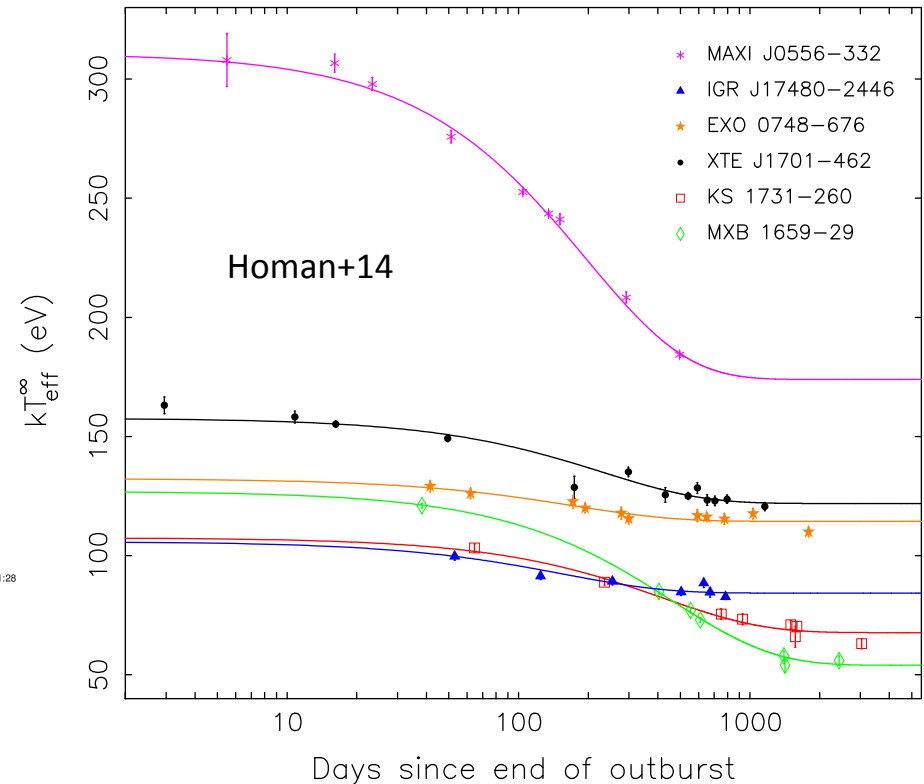
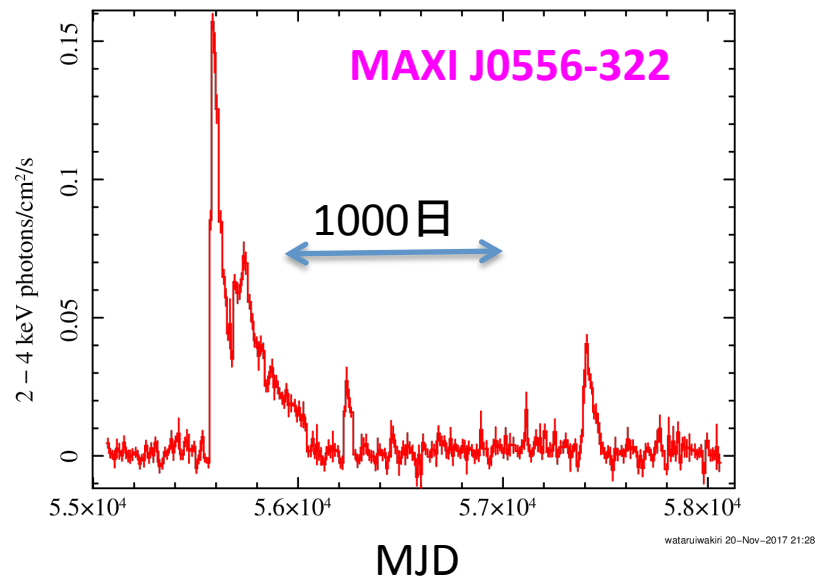


アウタークラスト付近のheat sourceが不明



さらに、MAXIではほとんど物質が降着していない状態からのスーパーバーストを2例観測している

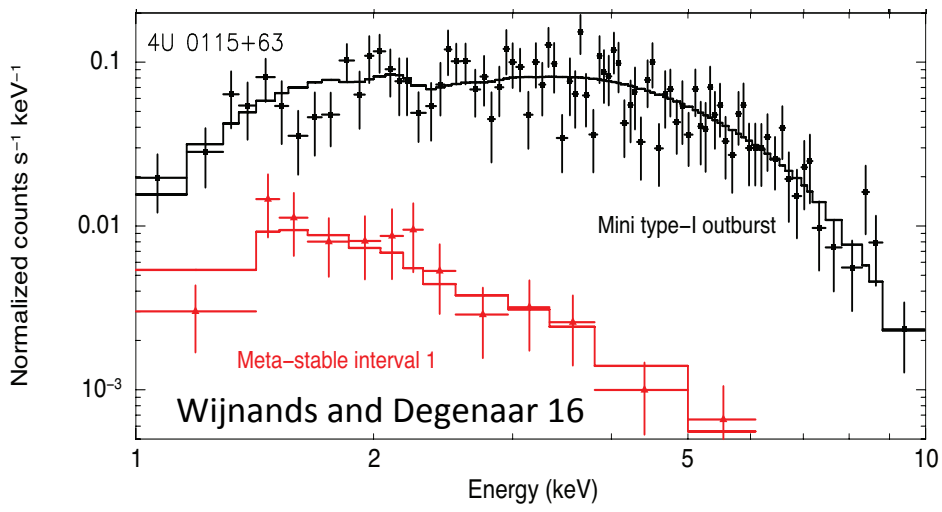
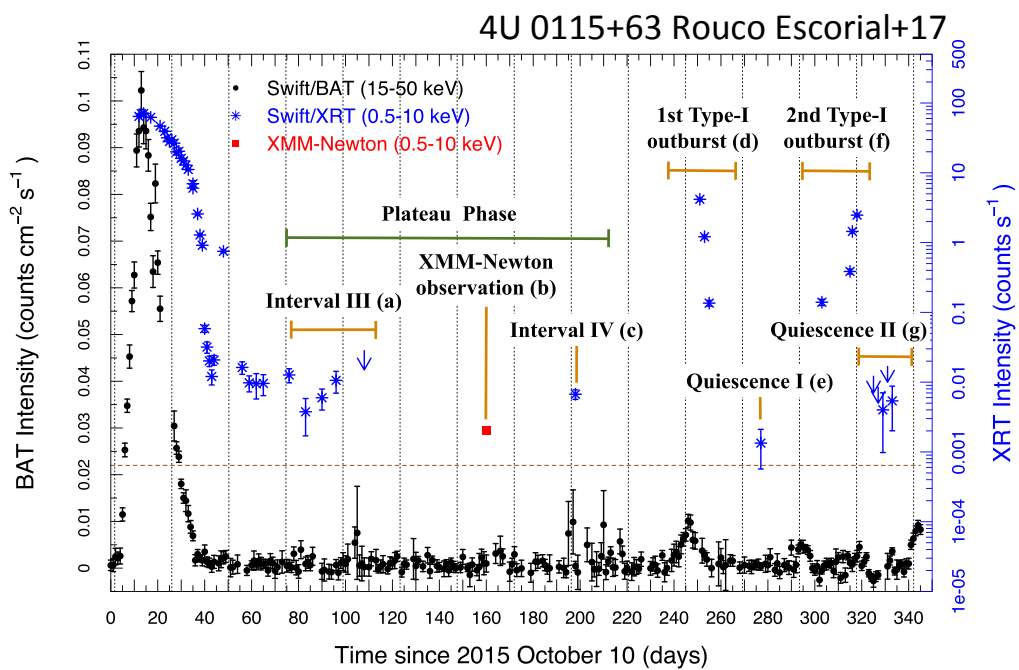
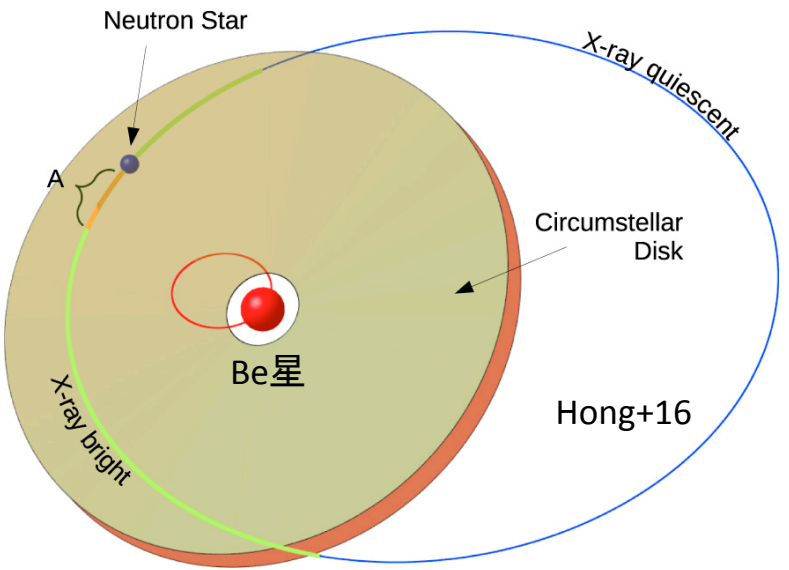
連星系のNSの表面温度は？



低質量X線連星の、アウトバーストが終了してからのNSの表面温度の変化を測定していくと、MAXI J0556-322の温度が高すぎる($kT \sim 300$ eV)。アウタークラスト付近に未知のShallow heating source(Homan+14, Deibel+15)？

このような観測はこれまで主にチャンドラ衛星が担っていたが、[NICER](#)によってもさらにサンプルが増えていくと考えられる。

磁場の強いNSの連星系(X線パルサー)の表面温度は？



連星軌道毎に表面温度が測定できれば、近星点で「磁極」に物が降ってから、どのように冷えていけるかが見えるのではないかと。←有効面積が大きく、**NICER**の観測が適している。

課題：降着による放射と、表面放射の成分を切り分けられるかどうか。

X線パルサーの観測からULXパルサーの情報を得られるか？

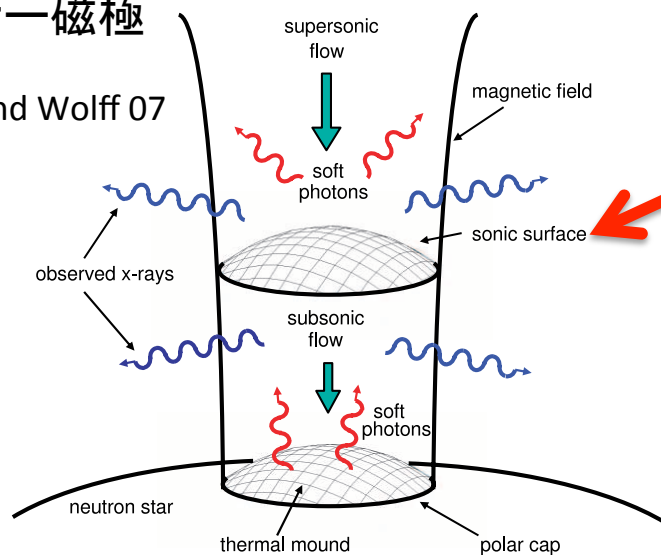
ULX (Ultra Luminous X-ray) パルサー:

- 光度が、 10^{39} erg/s を超える、つまりエディントン光度を超えている系外のパルサー
- NuSTAR衛星による発見を皮切りに、これまで3天体発見されている

→超臨界降着？マグネターの連星系(Tsygankov+16a,b)？

パルサー磁極

Becker and Wolff 07



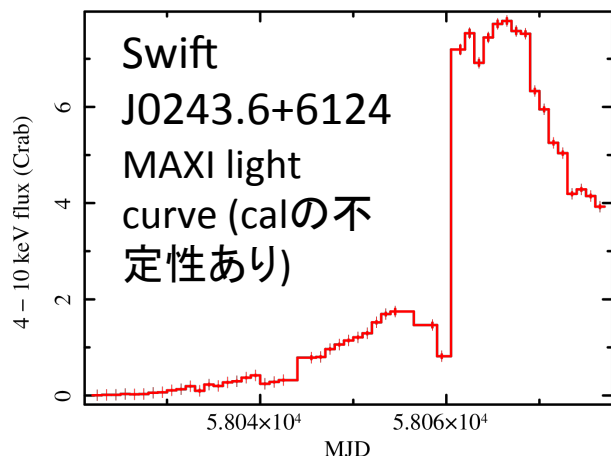
系内のBeパルサーでも $\sim 10^{38}$ erg/sの光度になることがある。

このぐらいの明るさだと、降着物質の流れは輻射圧でせき止められる(e.g, Becker+12)。→Photon bubble oscillationが、数百～数千ヘルツのX線の変動として観測されるのでは？(e.g, Klein+96a)

ULXを想定した中性子星への超臨界降着の2次元輻射流体シミュレーションの結果でもphoton bubbleが見られる(Kawashima+16)。

今年10月にMAXIとSwiftによって発見された新Beパルサーは $\sim 5 \times 10^{38}$ erg/sに達している(見かけの明るさは過去最大)。

←**NICER**ではところどころで観測を行っているため、数千ヘルツまで光度毎に変動調査が可能



まとめ

- スーパーバースト後の輝線の解釈のアイデア募集中
- NICERでやりたいサイエンス募集中