

硬X線集光偏光計X-Calibur気球実験の2018年フライトと将来計画

高橋 弘充 (広大) , Quin Abarr^A, 栗木 久光^B, Richard Bose^A, Dana Braun^A, Gialuigi de Geronimo^C, Paul Dowkontt^A, 榎戸 輝揚^D, Manel Errando^A, 深沢 泰司^E, Tom Gadson^F, Victor Guarino^A, 郡司 修一^G, 林田 清^H, 早藤 麻美^I, Scott Heatwole^F, 石田 学^J, Fabian Kislat^K, Mozi Kiss^L, 北口 貴雄^I, Henric Krawczynski^A, Nirmal Kumar Iyer^L, Rakhee Kushwah^L, James Lanzif^F, Shaorui Li^M, Lindsey Lisalda^A, 前田 良知^J, 松本 浩典^H, Joe McGee^F, 宮澤 拓也^N, 水野 恒史^E, 岡島 崇^O, Mark Pearce^L, Zachary Peterson^F, Brian Rauch^A, Felix Ryde^L, 斎藤 芳隆^J, Garry Simburger^A, David Stuchlik^F, 玉川 徹^J, 田村 啓輔^P, 常深 博^H, 堤 まりな^Q, 内田 和海^E, 内山 慶祐^Q, Andrew West^A, 周 圓輝^Q, X-Caliburチーム

A: WUSTL, B: 愛媛大, C: SUNY, D: 京大, E: 広大, F: Wallops/NASA, G: 山形大, H: 阪大, I: 理研, J: ISAS/JAXA, K: UNH, L: KTH, M: BNL, N: OIST, O: GSFC/NASA, P: 名大, Q: 東京理科大

偏光観測は、撮像、測光、分光とは独立な物理量（磁場や幾何構造など）が得られる強力な観測手段である。電波や可視光では広く利用されているが、X線やガンマ線など高エネルギー帯域では、いまだ観測天体は数天体に限られている。そこで我々は日米瑞の国際協力で、X-Calibur気球実験を推進している（PI: Henric Krawczynski、ワシントン大学）。X-Caliburは、硬X線望遠鏡によって天体信号を集光することで、従来のコリメータ型の偏光計よりも小型な検出器で低バックグラウンドを達成し、高感度な偏光観測を実現させる。偏光計は、コンプトン散乱の際に光子は偏光方向と垂直に散乱されやすい（クライン-仁科関係）ことを利用する。2018年12月に南極でのフライトを実施し、質量降着型パルサーGX 301-2とVela X-1を観測することに成功した。これにより、パルサーの磁極からのX線放射機構のより詳細な理解を目指している。我々はさらなる性能改善を目指しており、FFAST衛星用に開発された硬X線望遠鏡を利用した次期観測を2021年に計画している。FFAST望遠鏡は、「ひとみ」衛星用に開発された硬X線望遠鏡と同型であり、現行のInFOCuS望遠鏡と比較して、大きな有効面積、広いエネルギー域、高い空間分解能を持つ。次期観測では、活動銀河核など新しい種類の硬X線偏光観測を目指す。

高エネルギー偏光観測：現状と利点

強い磁場や散乱によって生じる偏光は、X線・ガンマ線帯域においても、中性子星やブラックホール、超新星残骸、活動銀河核などにおける高エネルギー放射機構を研究する上で非常に強力な観測手法と考えられている。しかしながら、現在までに有意な偏光の検出が報告されている事例は、GAP検出器/ASTROSAT衛星による明るいガンマ線バースト、OSO-8衛星（数keV）/PoGO+気球実験（20-180 keV）「ひとみ」衛星SGD検出器（60-160 keV）/INTEGRAL衛星（数100 keV）によるカニ星雲とCyg X-1の観測のみに限られている。こうした中で、最近になって本格的なX線・ガンマ線偏光検出器の開発が世界中で進められている（X-Calibur, IXPE, ...）。

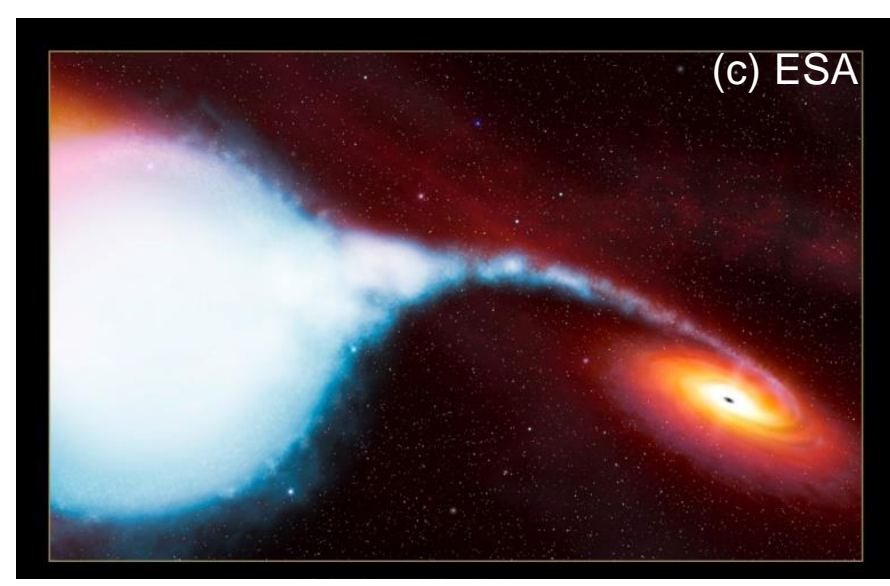
偏光情報は、イメージ、タイミング、スペクトルとは相補的

- ・シンクロトロン放射 => 磁場
- ・反射・散乱 => 幾何学構造
- ・QED効果?などが観測できる

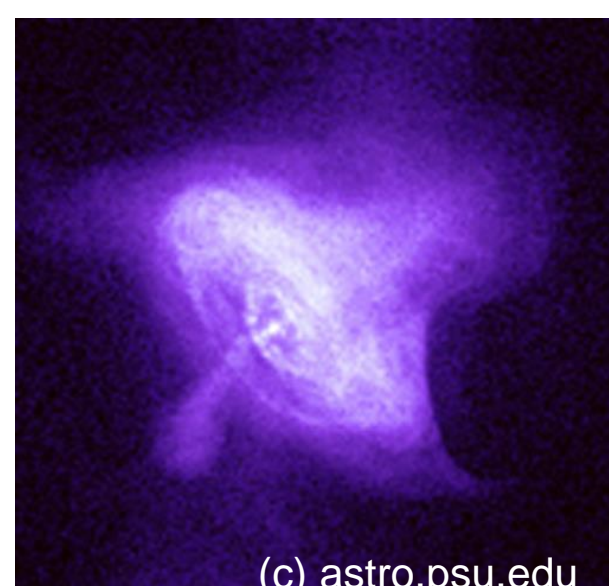
異なるエネルギー帯域 ⇔ 異なるエネルギーの粒子・場所を観測

- ・シンクロトロン放射：高エネルギー電子ほど寿命短い => 高エネルギー放射を観測すると、粒子加速の現場により近い磁場情報
- ・降着円盤：硬X線では反射成分（コロナからの放射が円盤で反射）が寄与 => コロナの形状、円盤とコロナの位置関係

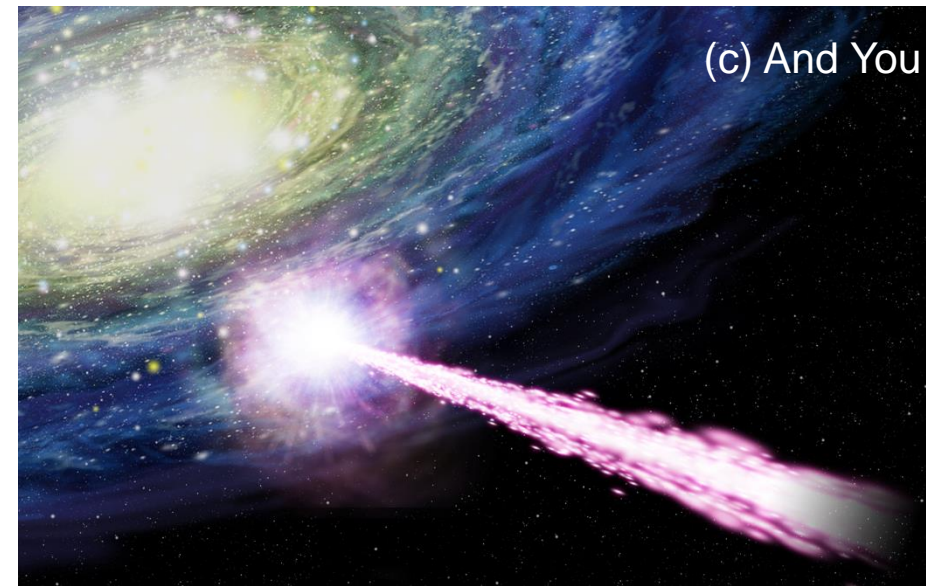
Cyg X-1 (ブラックホール連星系)



カニ星雲 (パルサー)



ガンマ線バースト

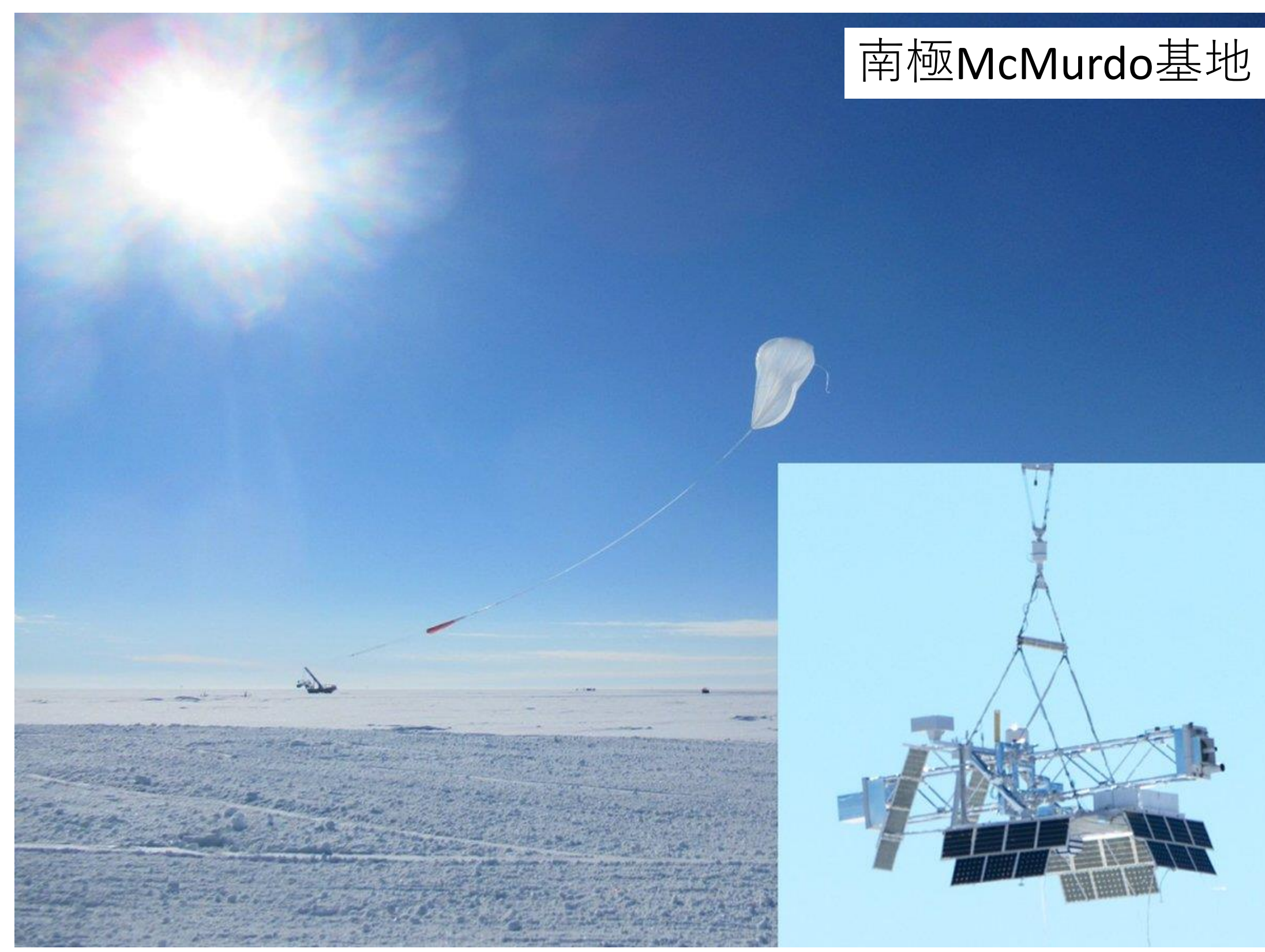


南極フライト：2018/12/30 - 2019/1/1

- ・南極の米国McMurdo基地より放球、上空40 kmに到達
- ・3日間の観測データはほぼ衛星通信で回収済み => 早速データ解析が進行中
- ・質量降着型パルサーGX301-2とVela X-1の観測に成功
- ・パルサーの磁極からのX線放射機構のより詳細な理解を目指す



左：南極に滞在したX-Caliburチーム
右、下：放球前後のX-Caliburの様子



南極McMurdo基地

YouTube
"X-Calibur Launch"



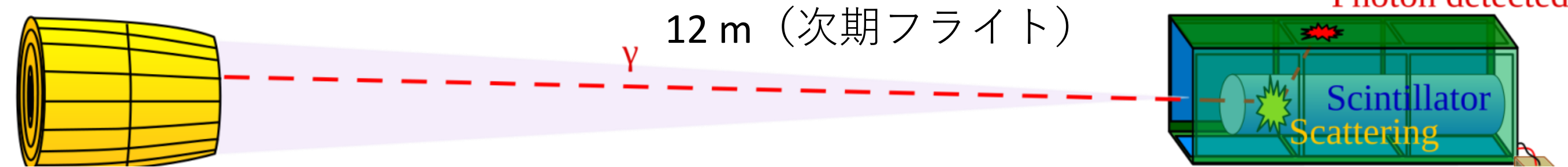
X-Caliburブログ



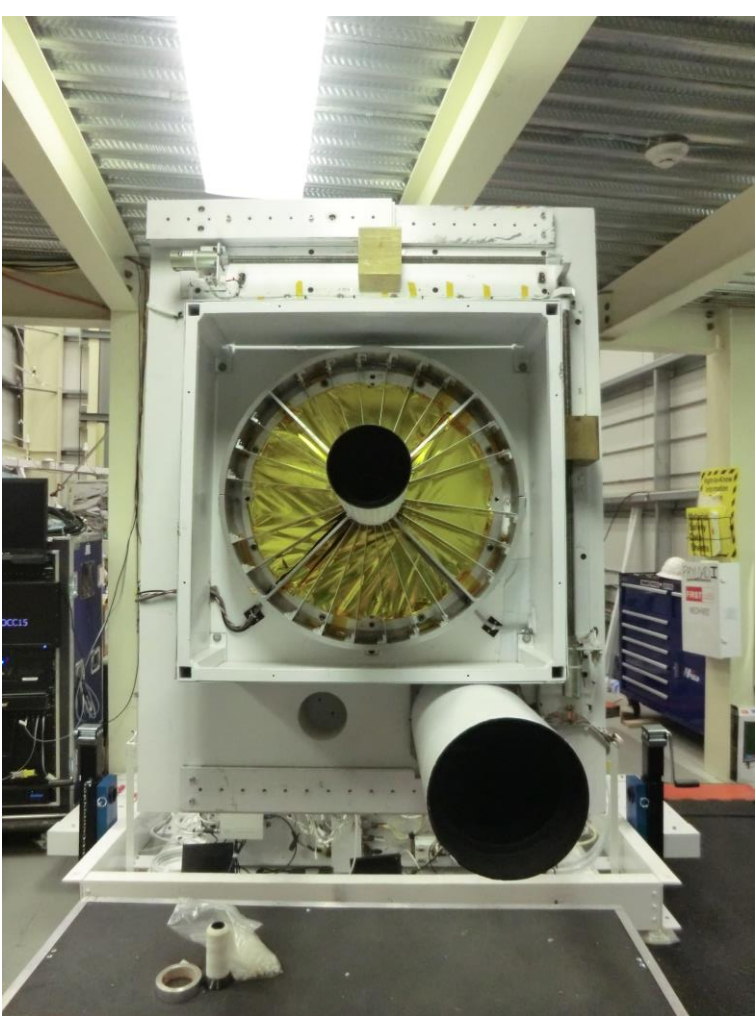
硬X線集光偏光計 X-Calibur 気球

- ・上空40kmから硬X線（20-80 keV）を観測
- ・望遠鏡によって集光することにより、高感度な偏光観測を実現
- ・2016年に米国でテスト放球 => 姿勢制御（秒角）と偏光計の動作実証済み
- ・日本の貢献：2018年フライトは運用+データ解析、将来計画ではFFAST望遠鏡を搭載

焦点距離：8 m (2018年フライトまで)
12 m (次期フライト)

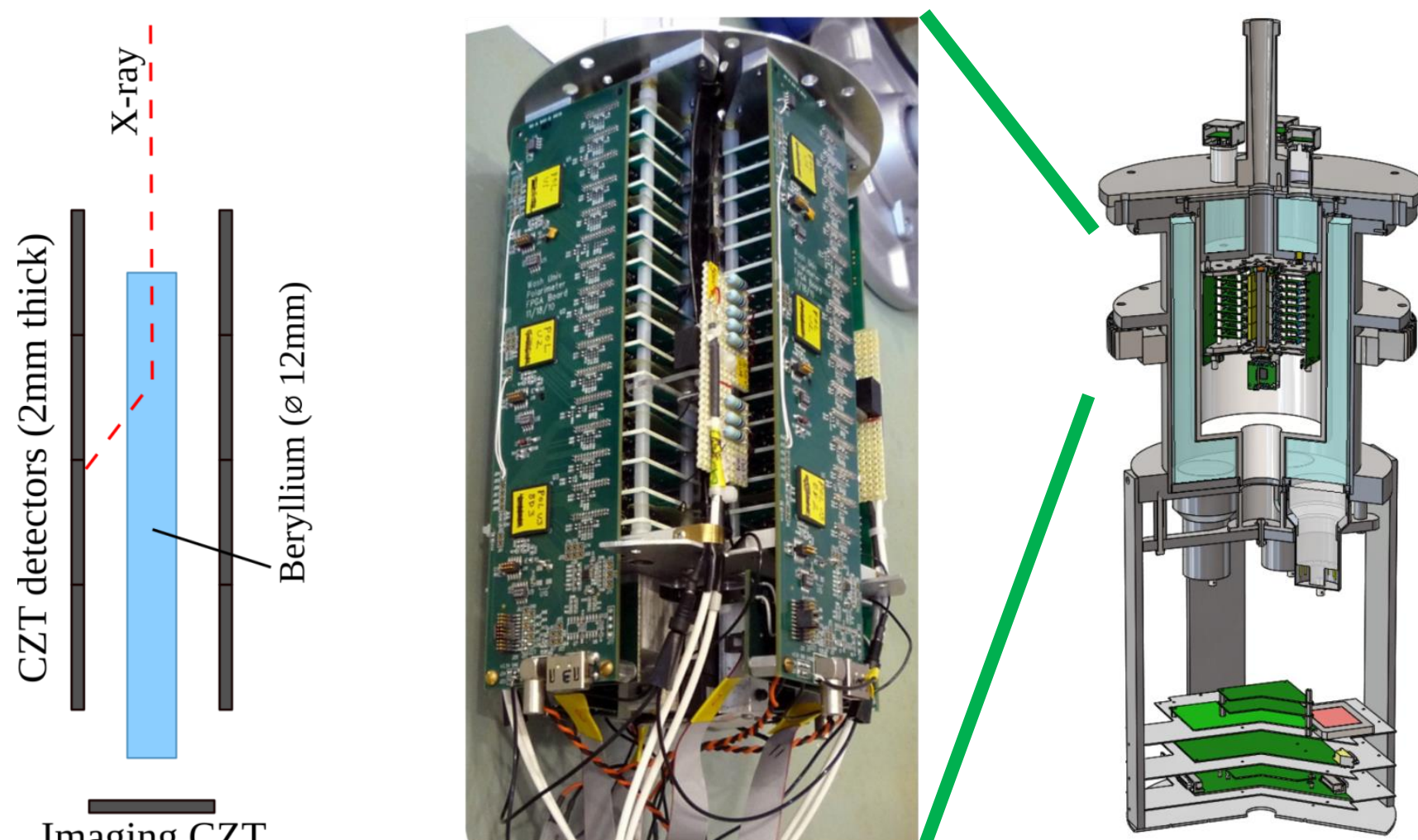


硬X線望遠鏡



InFOCuS硬X線望遠鏡 (中央)
スターカメラ (右下)
(2018年ゴンドラ取り付け後)

偏光計(コンプトン散乱型)



偏光計 (左：断面図)、(右：実物)
Be (散乱体)、CZT半導体 (吸収体)

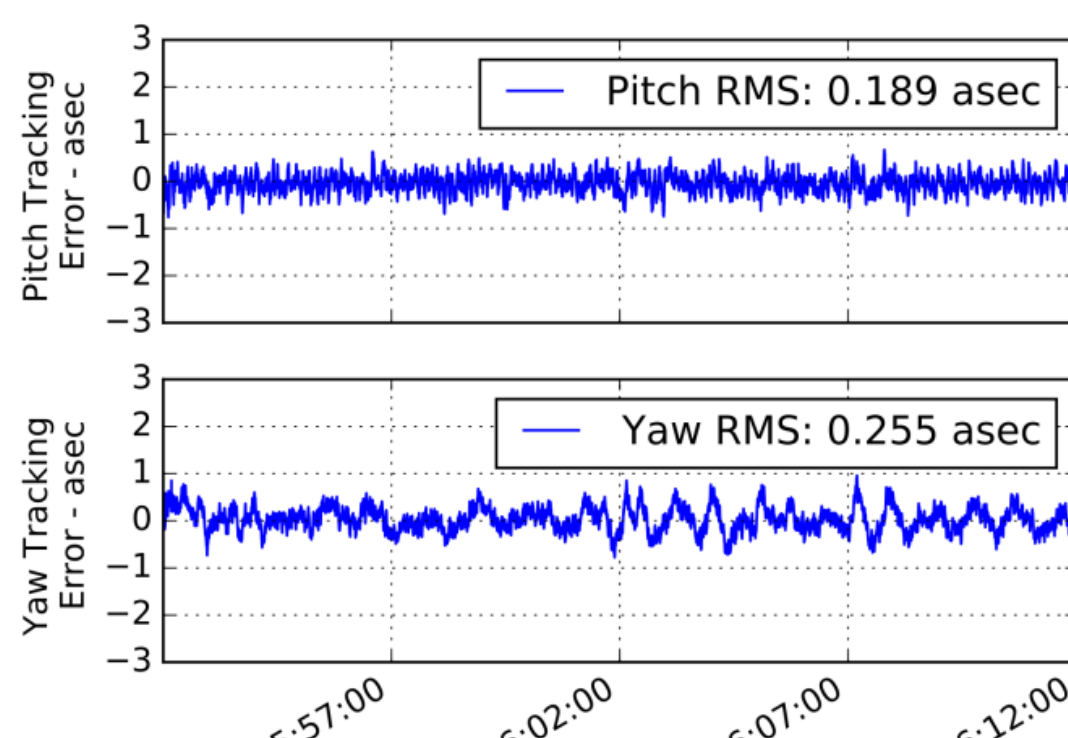
コリメータ
CsIシールド

姿勢制御：Wallops ArcSecond Pointer (WASP)



2018年ゴンドラの制御の様子

ジャイロとスターカメラにより、秒角での姿勢制御を実現する



WASPの2016年フライトの実績
1秒角以下で天体を追尾することに成功

X-Calibur
JATIS論文



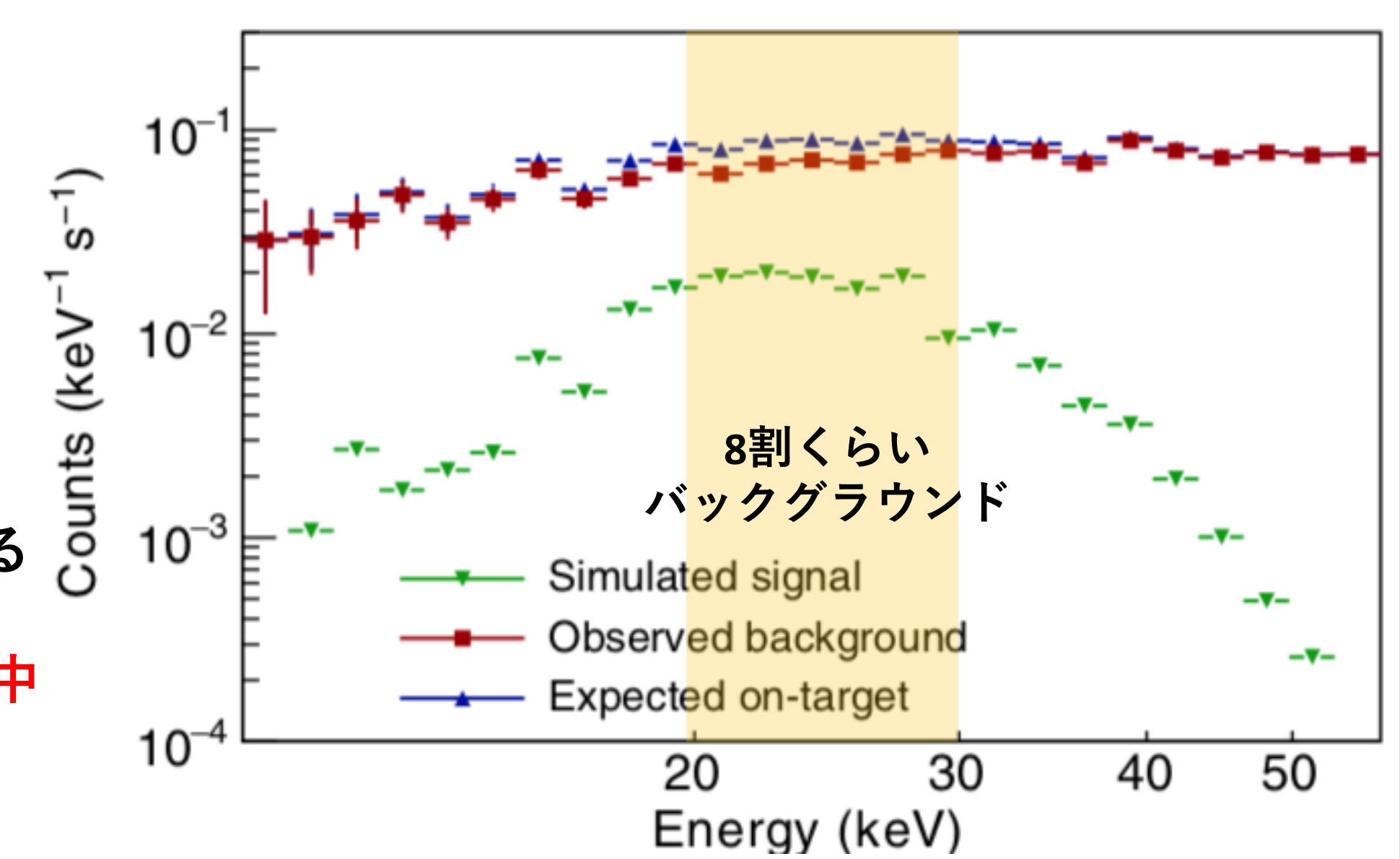
WASP情報PDF



将来の長期フライト計画：スウェーデン/南極

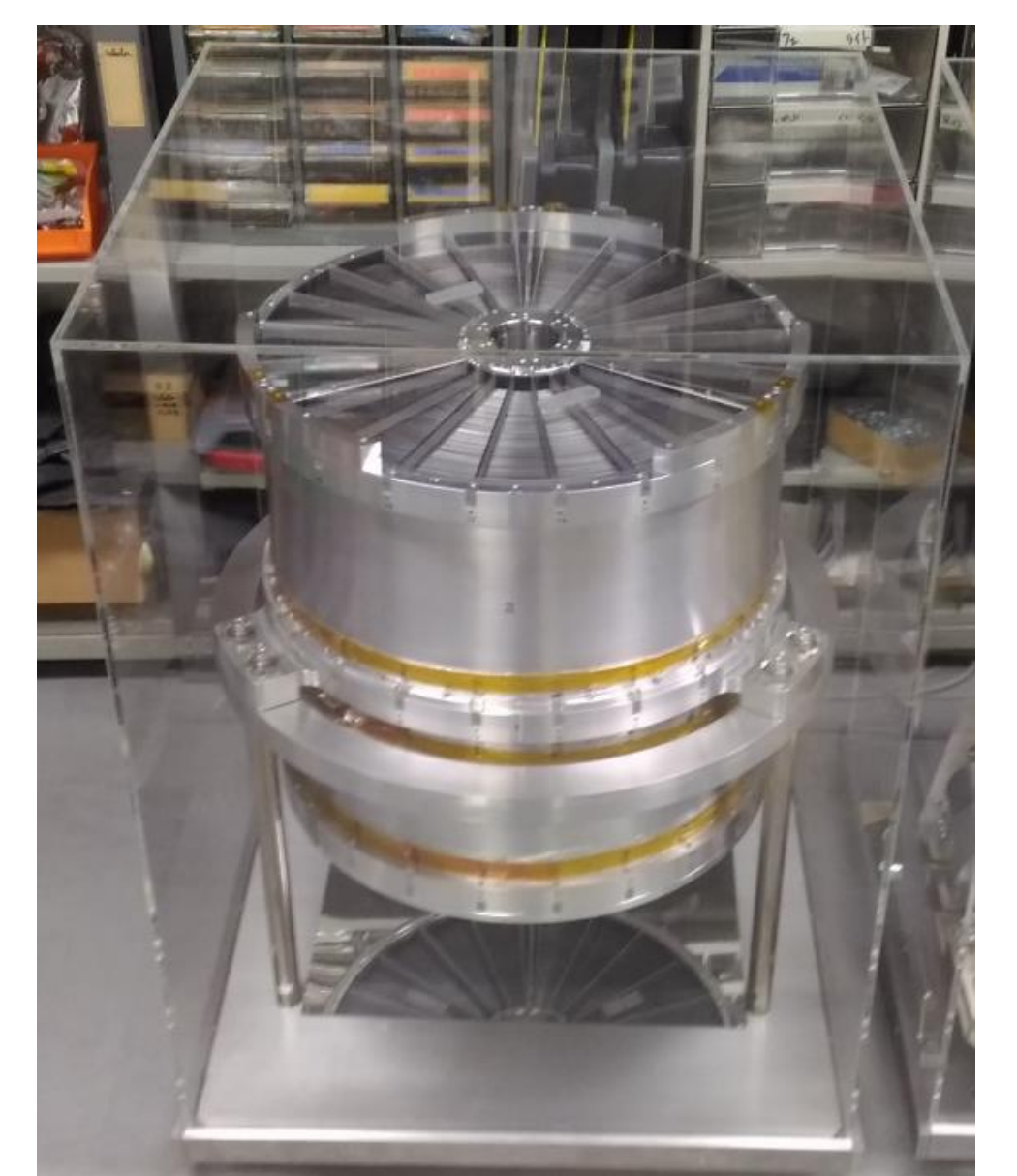
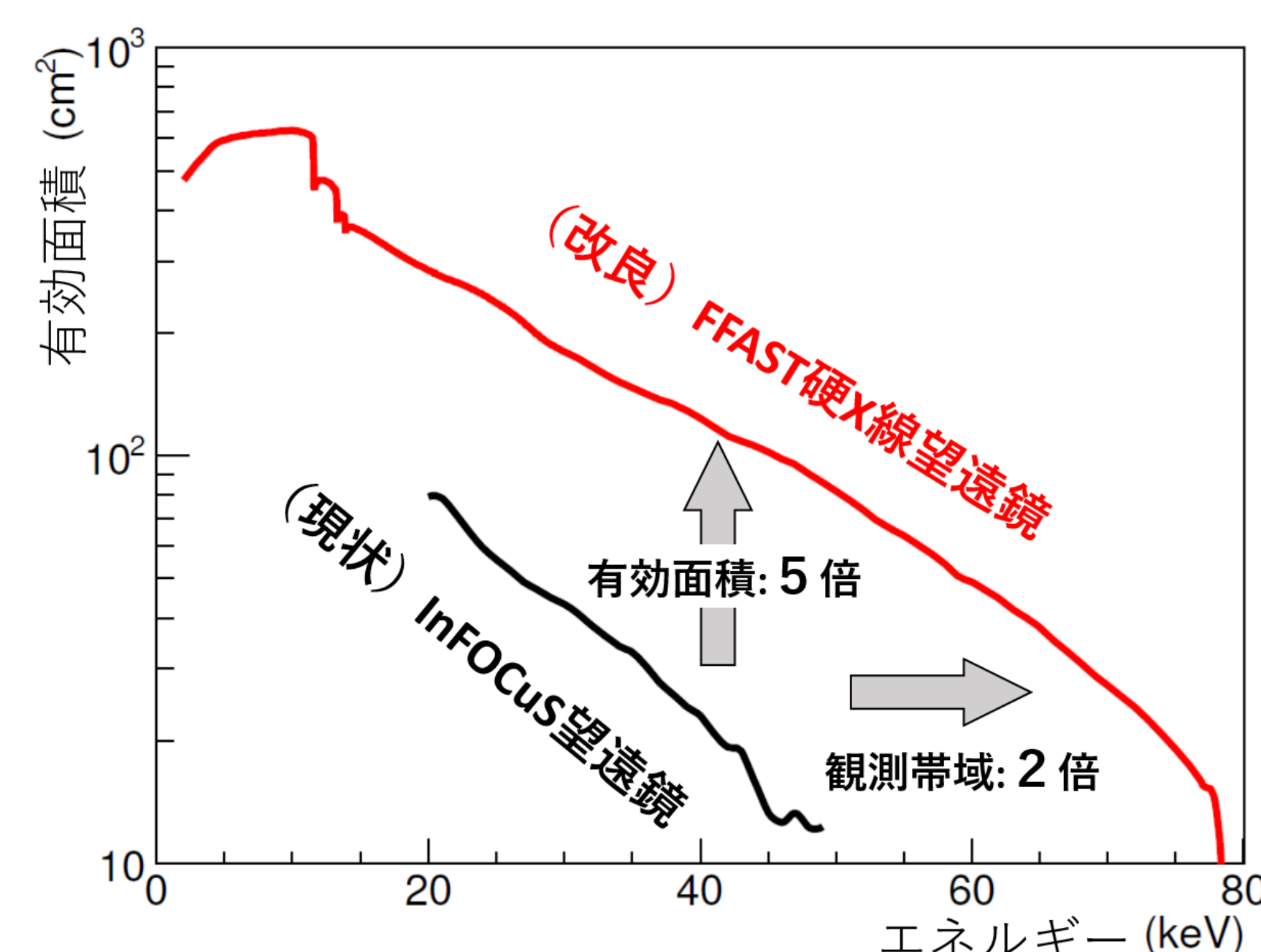
現在の予想感度 (Vela X-1: 200 mCrab)

- ・バックグラウンドが高い、天体信号をより増やしたい
- ・日本製のFFAST硬X線望遠鏡を将来計画では搭載することの対応は検討済み
- ⇒ 2021年に次回フライトを計画 (その先も複数フライト)



FFAST硬X線望遠鏡(日本製)

製作済みであり、現在のInFOCuS望遠鏡よりも有効面積を5倍、帯域を2倍広げられる => 数10 mCrabの天体からの硬X線偏光観測を実現させる



観測天体

- ・スウェーデン～カナダ (1週間)：全天で硬X線で最も明るい2天体 カニ星雲 (回転駆動型パルサー) とCyg X-1 (ブラックホール連星系) の詳細観測
- ・南極 (2~4週間)：GX 301-2, Vela X-1 (質量降着型パルサー) の追観測 Cen A (活動銀河核)
- ・突発天体