

日本発のMeV/sub-MeV全天サーベイCAST計画

○中澤知洋¹, 高橋忠幸^{1,2}, 田島宏康⁴, 釜江常好¹, 国分紀秀², 高島健², 田代信⁵, 玉川徹⁶, 寺田幸功⁵, 能町正治⁷, 深沢泰司⁸, 牧島一夫¹, 水野恒史⁸, 三谷烈史², 吉光徹雄², 渡辺伸², 一戸悠一^{1,2}, 武田伸一郎², 内山泰伸⁹, 榎戸輝揚⁶ et al. and the CAST WG (ISAS/JAXA)
 1:U Tokyo, 2:ISAS/JAXA, 4:Nagoya U/STE lab, 5:Saitama U., 6:RIKEN 7:Osaka U., 8:Hiroshima U., 9 Rikkyo U.

CAST (Compton Telescope for Astro and Solar Terrestrial) 計画は、未だ精密な観測の存在しない 200 keVから 2 MeV の帯域で、全天観測を行い、宇宙の高エネルギー現象の理解を飛躍的に高めることを目的とする。シリコン (Si)とテルル化カドミウム(CdTe)を組み合わせた広視野の半導体コンプトンカメラを主検出器に用いることで、過去の検出器 COMPTEL(0.5-10 MeV)よりも低いエネルギーのコンプトン撮像を実現する。sub-MeV帯域の全天観測は世界で初めてであり、光子一つ一つのエネルギーが減る分その数が増えるため、より小型の検出器でCOMPTELと同等数以上の天体を検出できる。また、CAST は明るい天体に対して、全天の偏光サーベイも初めて実現する。

1 全天サーベイ新時代

1-1 残された MeV

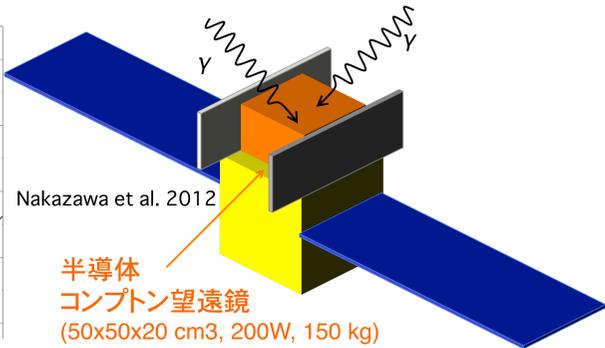
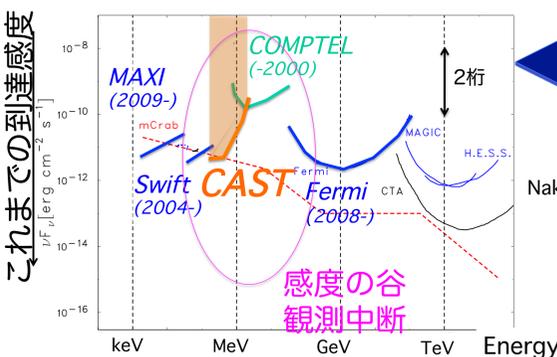
近年、多波長で全天サーベイが実施され、新しい Time Domain Astrophysics が大きな成果を挙げている (赤外(「あかり」, WISE (米)), 可視(SDSS (米日), Pan-STARRS (米)), X線(MAXI, Swift(米)), GeV (Fermi)など)。しかし、**MeV帯域は2000年に運用を終了したCOMPTEL以降ほとんど観測が進んでいない。**

1-2: sub-MeV 全天サーベイ=CAST 計画

Si/CdTe コンプトンカメラを用いて、0.2-2 MeVの全天サーベイを実施する。2020年代の観測を目標として、小型科学衛星や大型衛星のサブペイロードとして検討を進めている。

○ サーベイ観測の到達感度

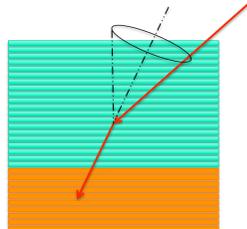
○ 小型衛星 CAST or sub-payload CAST



1-3: コンプトン望遠鏡の原理

$$\cos \theta = 1 - m_e c^2 \left(\frac{1}{E_2} - \frac{1}{E_1 + E_2} \right)$$

検出器の中で、ガンマ線をコンプトン散乱させてから光電吸収し、エネルギー損失と散乱角の関係をj用いて、ガンマ線の入射方向を天空上の円弧として知る。

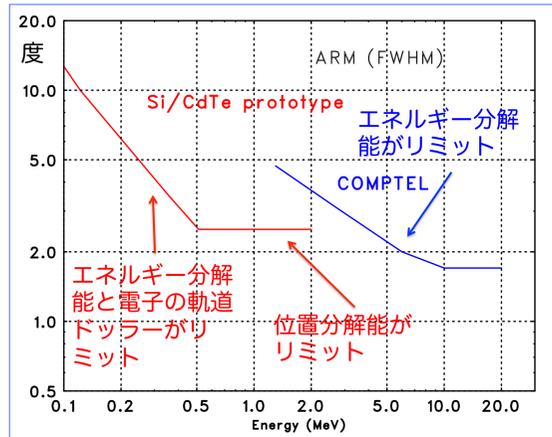


コンプトン散乱は、光子の電場ベクトルに垂直方向に散乱しやすく、それは cos φ の分布をなすため、偏光感度もある。

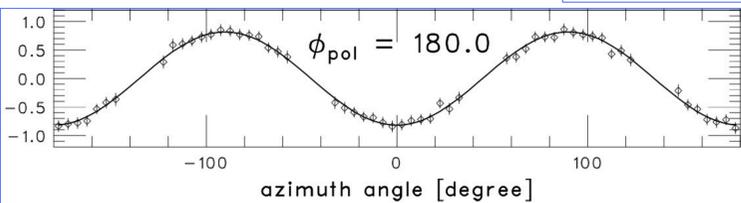
右図: COMPTEL検出器の角度分解能 (Angular Resolution Measure: 青線 [1])と、我々のSi/CdTeコンプトンカメラのARM(赤線 [2])の比較。いずれも実測値。

1-4: Si/CdTe コンプトンカメラでSub-MeV帯域を

SiとCdTeという高性能の半導体にもとづくコンプトンカメラを開発した。~1% (FWHM)という高いエネルギー分解能により、100 keV以下までコンプトン再構成できるため、sub-MeVの全天観測が可能となる。



1-5: sub-MeVの全天の偏光観測



Si/CdTeコンプトンカメラによる直線偏光の測定結果[2]。CASTの全天データ観測は、そのまま**世界初の全天のガンマ線直線偏光データ**となる。

[1] Deil R., Space Science Reviews, 49, p85-106, 1988
 [2] 武田伸一郎, 博士論文, 東京大学, 2008
 [3] Nakazawa K. et al. SPIE 2012
 [4] Ichinohe Y. et al. 2013
 [5] Watanabe S. et al. IEEE TNS, 52, p2045-2051, 2005
 [6] Watanabe S. et al. NIM-A, 579, p871-877, 2007
 [7] Tanaka T. et al. NIM-A, 568, p375-381, 2006
 [8] Takeda S. et al. NIM-A, 579, 859-865, 2007
 [9] Schönfelder et al., AAS., 143, 145-179 2000

2 CASTの狙うサイエンスの例

2-1 AGNジェットとそのフレアアップ

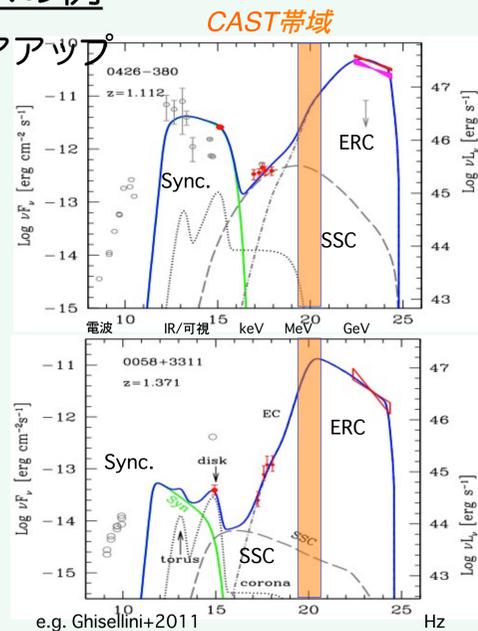
銀河ジェット(BL Lac, FSRQ)は、宇宙最強の加速器



シンクロトロンとIC放射
→電波~TeVの広帯域スペクトル

Fermi衛星: GeVのフレアを発見
→ Jet 内部構造、放射の場所に進展
e.g. Saito+2011

スペクトルに「MeVの穴」→成分の決定。MeVのフレア? + 偏光面?

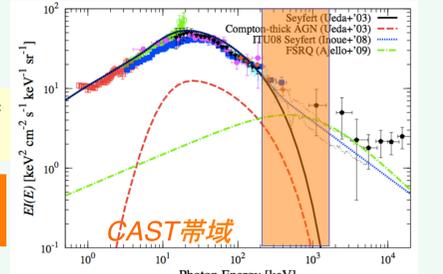


2-2 宇宙 MeV ガンマ線背景放射の起源

CXB= 吸収AGN
→現代宇宙でのこの降着の重要性を示す

宇宙MeV 背景放射 = 銀河ジェット天体(特にFSRQs)が占める?

→ 宇宙史でのブラックホールへの降着に於ける、FSRQ期の大きな役割?

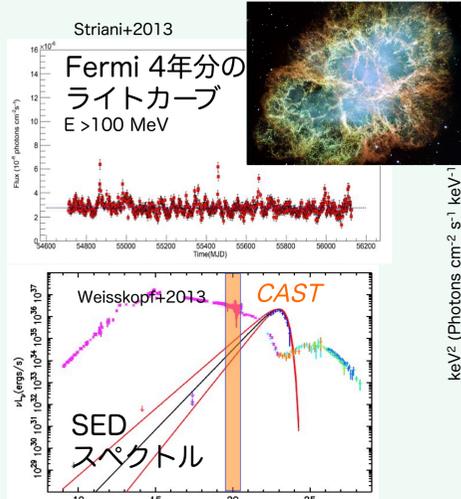


CAST全天サーベイ C"MeV" B 観測
スペクトルと空間揺らぎ、全天のMeV偏光マップも得る

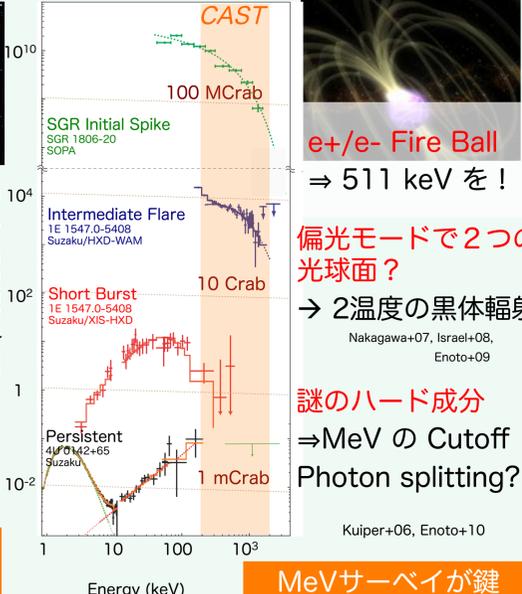
2-3 パルサー磁気圏+超強磁場中性子星

○ かに星雲の GeV フレア

○ 超強磁場: マグネター



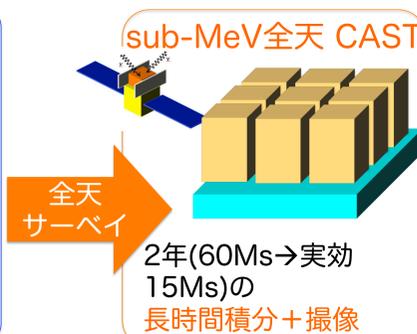
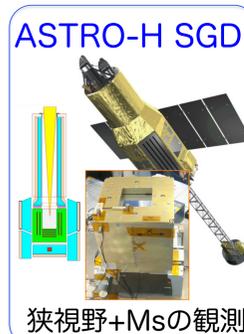
短時間で PeVまで加速する新しい加速機構 → MeVでは?



MeVサーベイが鍵

3 CASTの技術開発

ASTRO-H 軟ガンマ線検出器 SGD のSi/CdTe コンプトンカメラを、全天観測に応用する

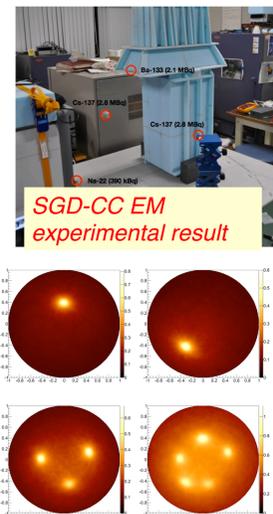


○ イメージングの実績



Also applying new reconstruction algorithms

Ichinohe et al. IEEE Korea 2013



Takahashi+2004, Takeda+2009, Tanaka+ 2007, 2005, Watanabe+ 2007,2006, 2005, Mitani+ 2004, Takahashi+ 2000 etc...