

P3-086 SOLAR-C衛星に向けたX線望遠鏡の検討状況

坂尾太郎¹、成典典之²、下条圭美²、宮崎聡²、渡邊恭子¹、堂谷忠靖¹、Edward E. DeLuca³、
ほかSOLAR-C X線望遠鏡検討グループ

1: JAXA宇宙研, 2: 国立天文台, 3: Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, U.S.A.

I. はじめに

- 「ひので」衛星に続いて、わが国のスペース太陽コミュニティが2019年頃の打ち上げをめざしている次期太陽観測衛星計画SOLAR-Cに搭載するX線望遠鏡の検討を進めている。
- 検討はISAS/JAXA SOLAR-C WGのもとに組織された日米サブWGにより開始され、主に、SOLAR-C計画で検討されている「B案」でのX線望遠鏡(斜入射型・直入射型)の検討を進めてきた。

II. 光子計測型斜入射X線望遠鏡

- これまでに行なわれたことのない、光子計測型の軟X線撮像観測により、フレアで進行する磁気リコネクションにともなう粒子加速や衝撃波の形成、およびプラズマの加熱過程など、太陽コロナが示す多様な磁化プラズマの活動現象を引き起こす物理過程をあきらかにすることを目的とする。
- 焦点面検出器として高速の画像読み出しが可能なX線CMOS撮像センサーを、また光学系にはsub-arcsecond分解能をもつ斜入射ミラーをもちいる斜入射軟X線望遠鏡。
- 「ようこう」「ひので」の軟X線望遠鏡と同様な、光子積算型の撮像観測と、X線天文衛星でひろく行なわれている光子計測型の撮像観測(検出した個々の光子のエネルギーを測定)とを、切り替えて観測を実施。
- 活動領域およびフレアに対して光子計測型の観測が可能。

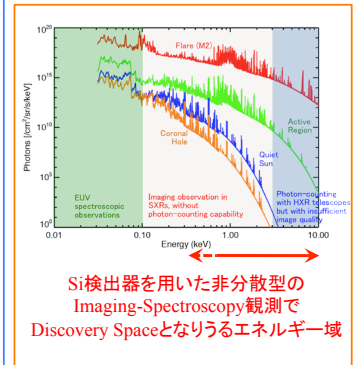
背景

- 太陽からの軟X線フラックスは大きく、かつ、現象の時間スケールが短いため、従来、軟X線波長域でのコロナの撮像観測で光子計測を行なうことは従来できなかった。

→ 特に1-10 keVが太陽コロナで未踏査の領域

- フレアで生ずる加速粒子は、熱的分布をしたコロナ中のアンビエント・プラズマからの非熱的乖離として発現するため、活動領域などバックグラウンドプラズマからの放射(〜2 keVまで)と、加速粒子による非熱的放射の両方をとらえることが、加速過程を解明する上での鍵をにぎる
- 特にフレア初期の<10 keV以下のエネルギー域での観測
- 活動領域における高温(>5 MK)プラズマ成分の観測
- EUV光での分光診断では探索が困難な温度 → 活動領域での熱エネルギー輸送過程(コロナの加熱過程)の解明

→ 近年のCMOS撮像センサーの発展を背景に、太陽X線コロナに対する光子計測型の撮像観測が手の届くものとなりつつある!

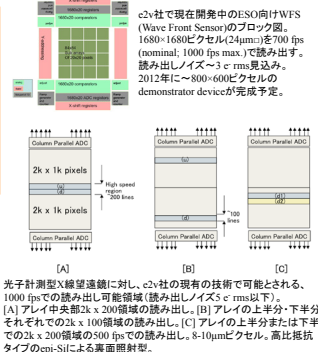
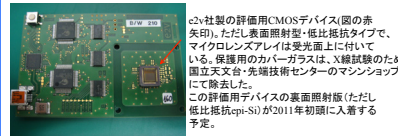
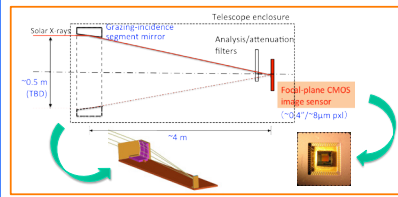


Si検出器を用いた非分散型の Imaging-Spectroscopy観測で Discovery Spaceとなりうるエネルギー域

II-1. 観測装置の概要と開発検討

装置の暫定諸元

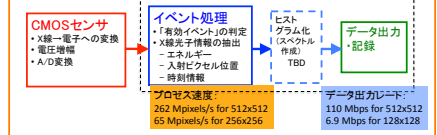
- 焦点距離: ~4 m
- プレートスケール: ~0.4"/8μmピクセル
- X線ミラー: Walter-I斜入射セグメントミラー(円周の1/8セグメントを使用)。Irコーティング。
- 斜入射角: 0.9°をベースラインとするが、0.45°のケースも検討中。
- ミラー表面精度: Figure error ~10 nm P-V。Micro roughness ~0.3 nm rms。
- 撮像モード: 光子計測撮像モードと光子積算撮像モード。光子計測は、受光面中の256×256ピクセル程度の領域で実施。
- 焦点面検出器: 英国e2v社製表面照射型CMOSイメージセンサ(高比抵抗epiタイプ)をベースラインとする。2k×2k(TBD)。8μmピクセル。
- フレーム読み出しレート: 光子計測撮像時1000 fps。A/D変換10ビット以上。
- コンポーネント開発検討
 - 高速・低ノイズのX線スペクトロスコピーCMOSセンサー
 - 英e2v社をはじめとするCMOSメーカーと技術調査・予備実験を進めている。
 - サブ秒角斜入射ミラー... 国内メーカー・大学との協力の方向で検討・調整中(製作可能性あり)。



光子計測型X線望遠鏡に対し、e2v社の現在の技術で可能とされる、1000 fpsでの読み出し可能領域(読み出しノイズ<3 c rms以下)。[A]アレイ中央部2k×200領域の読み出し。[B]アレイの上半分・下半分それぞれ2k×100領域の読み出し。[C]アレイの上半分または下半分の2k×200領域の500 fpsでの読み出し。8-10μmピクセル、高比抵抗タイプのepi-Siによる表面照射型。

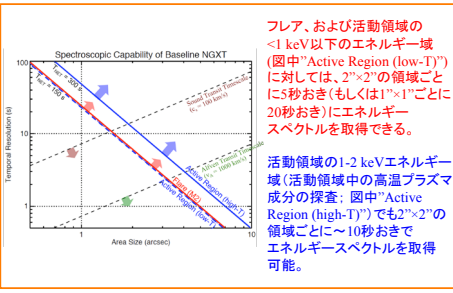
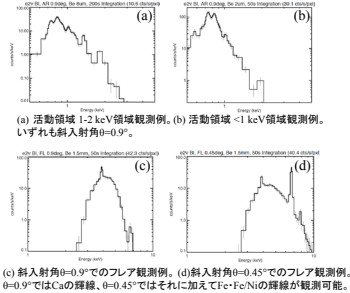
II-2. イベント処理

- A/D変換後のCMOS信号出力に対して、機上でのイベント判定処理を行なう。
- イベント処理に必要なプロセス速度は最大262 Mpixels/s(512×512ピクセルの場合)程度。この処理に必要なハードウェア(画像処理エンジン)を搭載する高速SoI-SoC、あるいはFPGAを三菱重工(株)殿と検討している。
- Pile-upイベントを抑えるため、光子計測観測時には減光用のフィルターを挿入する必要がある。1000 fpsの読み出しレートに対して得られる、有効イベントの最大レートは約15 events/s/pixel。



II-3. 期待される性能

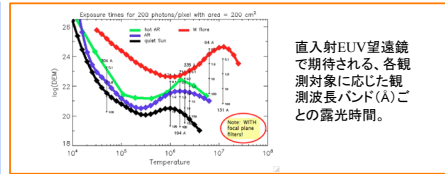
- ベースラインCMOSと斜入射角0.9°のセグメントミラーの組み合わせで光子計測観測を行なった場合の、(1)活動領域と(2)フレア(GOES M2クラス)のモデル観測スペクトル例を示す。また、斜入射角0.45°ではエネルギー域を10 keV近くまで延ばすことが可能であり、この場合のフレアスペクトル例もあわせて示す。
- なお、ここに示したフレアスペクトルには、フレアで生成される30 MK以上の超高温プラズマからの放射や、存在の可能性がある非熱的な成分は含まれていない。
- 表面照射型デバイスを採用しており、活動領域・フレアいずれの観測でも減光フィルターが必要。
- スペクトル作成にあたっては、センサの読み出しノイズを5e⁻⁶ rms、またエネルギー分解能はFano-limited、と仮定した。



フレア、および活動領域の<1 keV以下のエネルギー域(図中"Active Region (low-T)")に対しては、2"×2"の領域ごとに5秒おき(もしくは1"×1"ごとに20秒おき)にエネルギースペクトルを取得できる。
活動領域の1-2 keVエネルギー域(活動領域中の高温プラズマ成分の探索: 図中"Active Region (high-T)")でも2"×2"の領域ごとに~10秒おきでエネルギースペクトルを取得可能。

III. 超高空間分解能直入射EUV望遠鏡

- SOLAR-C搭載のX/EUV撮像望遠鏡として、超高空間分解能の直入射EUV望遠鏡ももう一つの候補となっている。これはSOLAR-C/B案搭載のEUVスペクトロメータLEMURの補助観測装置(Context Imager)という位置付けであり、EUVスペクトロメータよりも(1)広視野、(2)高時間分解能、(3)高空間分解能、かつ(4)十分な波長/温度オーバーラップ、を持つことをコンセプトとし、取得する撮像データによってEUVスペクトロメータの観測データの解釈に資することを主眼としている。
- 暫定諸元:
 - 空間分解能...~0.2"-0.3" (~1.0"/pixel)
 - 観測視野...~400"×400"
 - 波長バンド...TBD(171Å, 195Å, 211Å, 335Å, 94Å, UV-band、等)
 - 露光時間...活動領域1 s、フレア0.1 s
 - 撮像頻度...<10 s
 - 主鏡直径...~32 cm(望遠鏡2本構成(TBD))



直入射EUV望遠鏡で期待される、各観測対象に応じた観測波長バンド(A)ごとの露光時間。

IV. 謝辞

- 本検討は、ISAS/JAXA宇宙物理学委員会が所掌する戦略的開発研究経費の支援を受けて進めている。