

全天 X 線監視装置 MAXI (III) X 線 CCD カメラ (SSC) と全天観測

富田 洋・MAXI/SSC チーム

〈宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 ISS 科学プロジェクト室 〒305-8505 つくば市千現 2-1-1〉

e-mail: tomida.hiroshi@jaxa.jp

MAXI に搭載された X 線カメラの一つ SSC (Solid-state Slit Camera) は日本で開発した X 線 CCD を用いたチャレンジングなカメラであるが、軌道上で無事に動作し順調に観測を行っている。本稿ではその意義を述べるとともに、初期観測成果を簡単に紹介する。

国際宇宙ステーションから X 線で輝く空をモニターし続ける「全天 X 線監視装置 (MAXI)」シリーズ 3 回目は MAXI 搭載の X 線 CCD カメラについて紹介します。

1. MAXI と SSC

MAXI には 2 種類の X 線カメラが搭載されています。一つはこれまで紹介されてきた GSC (Gas Slit Camera) です。比例計数管を用いており大面積 (= 高感度) を特徴としています。そしてもう一つが今回紹介する SSC (Solid-state Slit Camera) で X 線 CCD を用いたカメラです。SSC と GSC は互いに相補的な関係にあり、これは 1990 年代に活躍した日本の X 線天文衛星「あすか」の GIS (Gas Imaging Spectrometer) と SIS (Solid-state Imaging Spectrometer) の関係に似ています。

「あすか」の GIS はガスを用いた検出器で広視野、ややエネルギーの高い X 線 (硬 X 線) 領域での感度、高い時間分解能などを特徴としたのに対し、SIS は X 線 CCD を用いた検出器でエネルギー分解能と低エネルギーバンド (軟 X 線) での感度を特徴としていました。MAXI では GSC が「あすか」の GIS に、SSC が SIS に相当します。つまり SSC は軟 X 線での感度とエネルギー分解能が特徴

です。これまでの X 線全天モニターはどれも 2 keV 以上のエネルギー領域で観測を行っており、GSC も 2-30 keV が観測範囲です。これに対し SSC は硬 X 線側は 10 keV 程度が限界ですが、軟 X 線では 0.5 keV までモニタリング観測が可能です。これまでなかったエネルギーバンドでのモニターにより、GSC でカバーできない低温度の天体などで新しい発見が期待できます。またエネルギー分解能を活かして酸素やネオンなどの輝線での全天マッピングが SSC では可能になります。

2. SSC の特徴

次に SSC の特徴を少し詳しく紹介しましょう。SSC の開発はこれまでの日本の X 線天文衛星「あすか」や「すざく」の X 線 CCD カメラで得られた知識と経験を活かして行いました。しかしカメラで最も重要で心臓部分である X 線検出器 (すなわち CCD 素子) は「あすか」や「すざく」においては周辺のアナログ回路も含めて海外での開発でした。「あすか」以降、X 線天文観測では CCD が主力の検出器になることは自然な流れであり、日本でも衛星搭載を目指して大阪大学などが浜松ホトニクスと共同でその開発を行ってきました。MAXI ではこの開発で得られた CCD (図 1) を搭載しており、国産度の高いカメラになって

います。さらに SSC では CCD の受光部面積を大きくするために CCD 素子を 32 個も搭載しており、面積が 200 cm² で X 線天文衛星では過去最大です。

SSC は CCD の冷却においても特徴があります。CCD のウェハ部分はペルチェ素子で冷却し、

ペルチェ素子からの熱はループヒートパイプ (LHP) およびラジエターを用いて宇宙空間に逃します。できるだけ温度を下げるために CCD ウェハはペルチェ素子自身だけで支えるという大胆な設計になってます。ラジエターは 2 面が異なる方向を向いており、これを LHP と組み合わせで使用するのは宇宙では初めての試みです。

CCD は可視光にも感度があり、これを遮断するためにはこれまで遮光膜を用いてきました。しかし遮光膜は破れやすく扱いが困難でした。SSC ではアルミニウムを CCD 受光面に直接蒸着させるという新たな手法を取り入れてます。これによりカメラは非常にシンプルな構造にできました。

こういった開発を経て最終的には観測レンズが 0.5–12 keV で瞬時の視野の大きさは 1.5° (半値幅) × 90 となり、時間分解能は標準的な観測モードでは 5.9 秒、Point Spread Function (PSF: 星の画像の広がり具合) は半値幅で 1.5° 程度、エネルギー分解能は 145 eV (CCD 温度 -70°C で 5.9 keV での半値幅で 32 個の CCD の平均値) を達成しました。望遠鏡がないため PSF は大きいですが、視野が大きく全天モニターとしては標準的な値です。その他の性能は「すざく」の XIS と比べても遜色がありません。

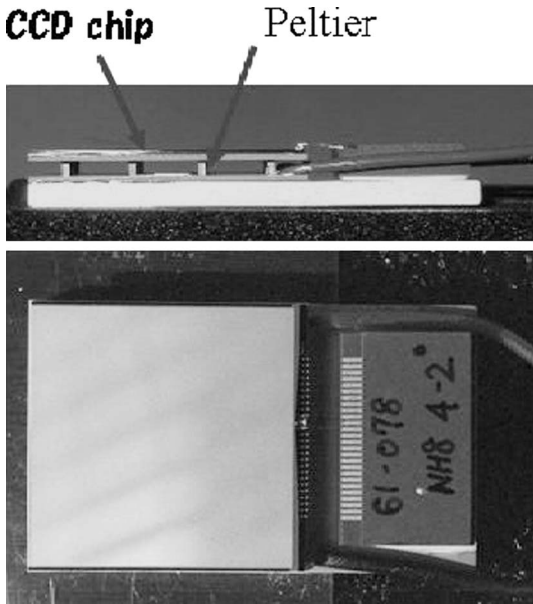


図1 MAXI/SSC で使われている CCD. 受光面は 25×25 mm 程度で、この CCD を合計 32 個搭載している。

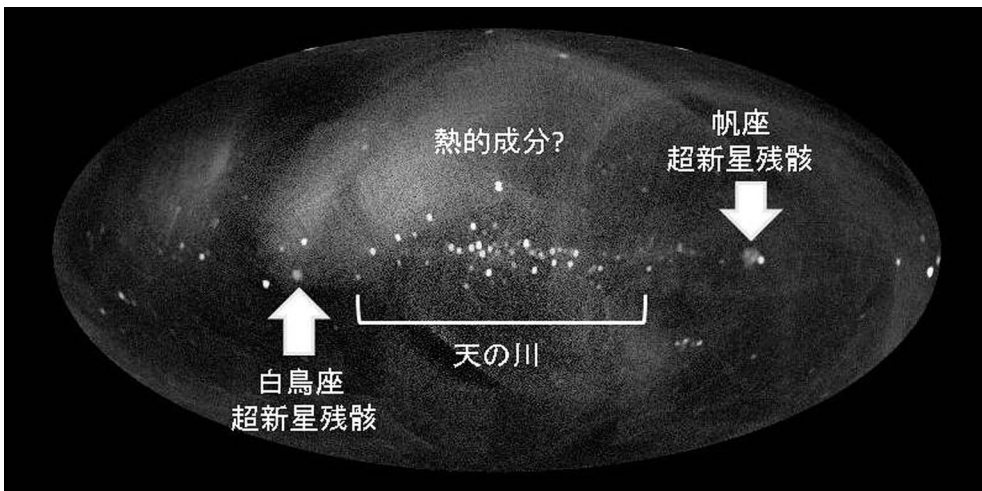


図2 SSC で捕らえた全天図。われわれの銀河 (天の川) の中心が図の中心である。

CCDの側面は遮光しなかったためここから可視光・赤外線が入ります。これが予想以上に大きく宇宙ステーションが昼の場合はSSCの観測が制限されていますが、これを除けばほぼ予想どおりの機能・性能が軌道上でも達成できました。SSCは技術的にもチャレンジングなことが多く、これだけでも大きな成果といえるでしょう。2013年度には次世代のX線天文衛星「ASTRO-H」が打ち上げ予定であり、これにもわれわれの開発したX線CCDの発展版が搭載されます。ASTRO-Hの開発に向けて多くの知識と貴重な経験がSSCより得られました。

3. SSCで見た宇宙

次にSSCの成果を簡単に紹介しましょう。図2はSSCで取得した全天イメージです。観測開始から3月末までの約半年のデータを積分しています。SSCは1日の全天カバー率は30-50%程度です。SSCは太陽近傍と宇宙ステーションの軌道軸周辺が観測できませんが、半年ほど観測することでおおよそ全天をカバーできており、明るい星が銀河面でたくさん見えています。GSCで得られた画像（シリーズの(I)をご覧ください）と比べると、同じX線ですのでかなり似てはいますが違いもたくさんあります。特徴的なのはGSCでは観測が難しい2 keV以下で明るい帆座と白鳥座の超新星残骸です。これらは比較的高齢な超新星の残骸で爆発から1万年かそれ以上経過したと考えられています。爆発から間もないころ（といっても約千年程度）は小さく温度も高かった超新星残骸も輻射などによって冷却されて温度が徐々に低くなり現在ではGSCでかすかに見える程度です。しかしSSCでは極めて明るく、しかも大きく

広がっている様子がわかります。帆座の超新星残骸は大きすぎて全体をX線CCDでとらえた例はなく、SSCが世界で初めての例でしょう。

銀河系内の他の超新星残骸もSSCでは明るく輝いて見えます。帆座や白鳥座以外にも太陽近傍には古い超新星起源とされる薄いプラズマが大きく広がっていると考えられており、軟X線での観測でその詳細に迫れると考えています。SSCではX線以外（主に荷電粒子）によるバックグラウンドの解析がまだ十分でないため図2に見える構造にはまだフェイクがあります。しかし図の銀河中心の上側（点線部分）に大きく広がった分布は日を変えて観測しても明るく、低エネルギー領域でのみ明るいことからX線によるものと考えています。古い超新星残骸からの熱的な輻射が起源であればCCDのエネルギー分解能を活かしたスペクトル解析により温度や重元素組成などについて重要な情報が得られ、その年齢などの詳細に迫れると考えています。まだ観測時間が十分でなく統計不足ですが、今後が楽しみなターゲットです。

4. 最後 に

SSCはGSCに比べて有効面積が1/30程度の大きさしかないため、成果を得るにはどうしても時間がかかります。そのためデータの公開もGSCから遅れています。2010年の夏頃には開始の予定です。GSCと同じくライトカーブから開始し、全天画像やスペクトル情報も加えていきMAXIの公開データの充実を図りたいと考えています。今後のMAXIはSSCにもご期待ください。