

## X 線天文衛星「すざく」による木星観測

沼澤 正樹 (首都大学東京大学院 理工学研究科)

### Abstract

私たちは 2014 年 4 月 15 日から 同 21 日まで、合計 160 キロ秒に渡って木星の「すざく」観測を行った。スペクトル解析では、スペクトルは 3 つの輝線と制動放射、巾関数で再現できることが分かった。制動放射は、0.4 キロ電子ボルト程度、巾関数の光子指数は 0.37 程度と非常にフラットで、非熱的放射を強く示唆するものである。イメージ解析では、木星と地球の移動を補正した静止座標系イメージを作成し、木星からの放射の検出を確かめたところ、2006 年観測 (Ezoe et al. 2010) で見られた木星の周りに広がった X 線放射について、本観測においてもその兆候が確認できた。

### 1 Introduction

木星は太陽系最大の惑星であり、巨大な磁気圏をもつ。木星からの X 線放射は 1979 年 アインシュタイン衛星によってはじめて見つかった (Metzger et al. 1983)。以降研究が進み、これまでの先攻研究により木星 X 線放射メカニズムは大きく 3 つに大別されることがわかっている。1 つ目は木星表面における太陽 X 線の散乱であり、すべての惑星、衛星でみられる放射である。太陽 X 線が天体表面で吸収され、輝線として再放出されたり、弾性散乱されたりする。2 つ目に木星のオーロラ領域において起こる電荷交換反応プロセスがあげられる。これは太陽風中の多価イオンが惑星などの大気との衝突プロセスにおいて電子の脱励起を引き起こし、X 線が放射されるというものである。3 つ目は磁気圏からの非熱的な放射で、非熱的なエネルギー分布をする電子が磁場中で加速されることで X 線が生じる (Bhardwaj et al. 2007)。さらに電波による観測では、木星を中心とした 6 木星半径以内の放射線帯内殻領域からのシンクロトロン放射が確認されている (Bolton et al. 2001)。シンクロトロン放射は数十メガ電子ボルトのエネルギーの相対論的速度を有する電子が磁場中を運動する際に生じるもので、それゆえ木星は太陽系内有数の電子加速の現場と考えられている。最近の研究では、この領域からの広がった X 線放射も確認されている (Ezoe et al. 2010)。

### 2 Observation

私たちは X 線観測衛星「すざく」で 2014 年 4 月 15–21 日に木星を観した。木星の軌道に合わせて視線方向を変えながら計 14 回、160 キロ秒の観測を行った。検出器として用いたのは XIS0, 1, 3 である。観測時の木星、太陽、地球の相対位置を 図 1 に示す。JPL HORIZON 天体位置表からこれら 3 天体のなす角を求め、観測時における地球から木星までの距離を 5.39 天文単位と見積もった。

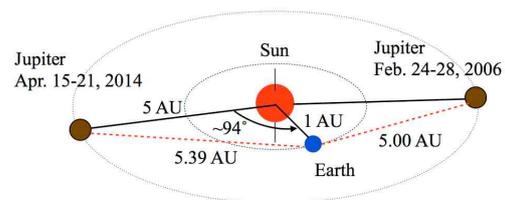


図 1: JPL HORIZON 天体位置表から作成した本観測時と 2006 年すざく観測時の木星、太陽、地球の相対位置。

### 3 Spectral analysis

スペクトル解析を行う前に、本観測における木星からの X 線放射フラックスに変動がないかを確認する目的でライトカーブの解析を行った。結果を図 2 に示す。14 個の観測データを XIS1, XIS0+3 ごとに、軟 X 線帯 (0.2–1 キロ電子ボルト), 硬 X 線帯 (1–5 キロ電子ボルト) に分けてカウントレートを調べた。それぞれの X 線帯でのライトカーブ (上, 中段) に加え、

$$\frac{\text{(硬 X 線帯カウントレート)}}{\text{(軟 X 線帯カウントレート)} + \text{(硬 X 線帯カウントレート)}} \quad (1)$$

で定義するハードネスレーシオ (下段) を示した。各観測の時間を横軸にとり、XIS1 と XIS0+3 をそれぞれ黒と赤で示してある。これらの結果から本観測における X 線の変動は 2 倍程度と小さいことがわかり、一定であるとみなして、次のスペクトル解析では全データを足し合わせることにした。また以降の解析においては、図 2 が示すように、軟 X 線帯に対してより感度の良い XIS1 を、反対に硬 X 線帯に対して XIS0+3 をそれぞれ解析に用いることにした。

スペクトル解析において、スペクトルは 3 つのガウシアンと、制動放射、巾関数からなるモデルによってよく再現できた。得られたスペクトルとそれらに対するフィッティングの結果を図 3 に示す。本スペクトルにおいて、3 つのガウシアンはそれぞれ 0.23, 0.78, 1.32 キロ電子ボルトで固定しており、これらはそれぞれ C, S 輝線, O VIII 輝線, Mg XI 輝線を示唆するものである。また制動放射の温度は  $0.40 \pm 0.04$  キロ電子ボルト、巾関数の光子指数は  $0.37 \pm 0.50$  とどちらも非熱的な放射を強く示唆するものであった。モデルから計算された X 線光度は軟 X 線帯で  $1.9 \times 10^{16}$  ergs/s, 硬 X 線帯で  $2.7 \times 10^{15}$  ergs/s であった。

### 4 Imaging analysis

次にイメージ解析を行った。まず初めに、観測視線の移動、つまり木星の軌道に沿って全 14 観測データを足し合わせた天空イメージを作成した。このイメージをもとにチャンドラの HRC のデータから得られた天空イメージと比較して合計 31 個の点源を識別した。これら背景に写る点源の除去を行い、木星の軌

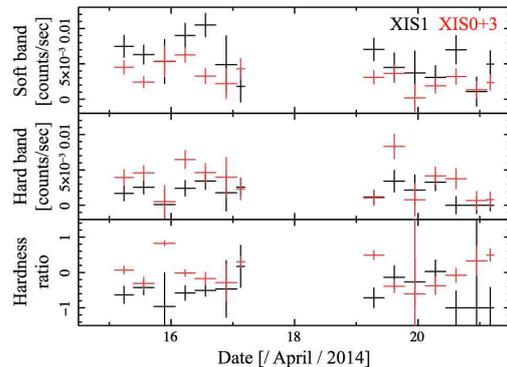


図 2: 軟 X 線帯 (上段), 硬 X 線帯 (中段) のライトカーブとハードネスレーシオ (下段, 本文参照).

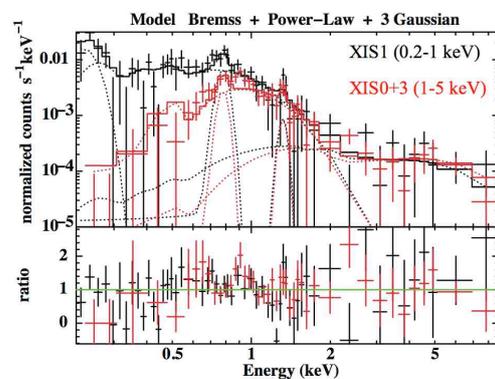


図 3: 得られた本観測のスペクトルとそのフィッティング曲線 (上段) と 分散値 (下段).

道上の運動を補正して得られたのが、図 4 に示す木星の静止座標系イメージである。オリジナルのプログラムと JPL HORIZON 天体位置表とを合わせて用いることで補正した。木星の移動に合わせて、ある時間の木星の位置情報から基準点までのシフト量を計算し、データ内の位置情報を書き換えることで、ある基準点における木星の静止系で表現されたイメージが出来上がる。上段が XIS1 (軟 X 線帯), 下段が XIS0+3 (硬 X 線帯) のイメージである。これらから硬 X 線帯において、木星の周りに広がった放射があるらしいことが確認できた。

これらの兆候を定量化するために図中四角枠の範囲で積分投影した断面プロファイル作成した。また観測器の応答によるイメージの広がりを明らかにするため、検出器中心に点源を仮定した場合の像の広が

りについて XIS1 (軟 X 線帯) と XIS0+3 (硬 X 線帯) のそれぞれでシミュレーションを行った。これら観測とシミュレーションの断面プロファイルと比較したところ、結果的に硬 X 線帯において、観測器の応答では説明できない広がった X 線があることがわかった。

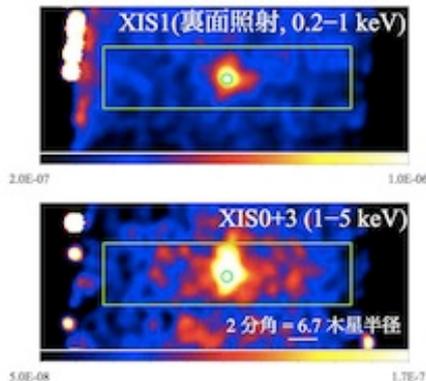


図 4: 木星の XIS1 (軟 X 線帯) (上段) と XIS0+3 (硬 X 線帯) (下段) の静止座標系イメージ。

## 5 Discussion

スペクトル解析では本観測における硬 X 線帯の X 線光度が 2006 年のそれと比べてやや落ちていることが分かった。またイメージ解析における木星の周りに広がった X 線は 2006 年のすざくによる観測でも確認されているが、本観測の結果は 2006 年の観測結果ほど顕著ではない。これら硬 X 線帯の放射は太陽風と関係があるとされており、ACE 探査機 SWEPAM のデータから得られた太陽風中の陽子フラックスの変動を見ると、2006 年観測時に比べて 2014 年観測時のフラックスが平均的に落ちているのがわかる。一方で軟 X 線帯に関しては、X 線光度が 2006 年に比べて大きくなっている。これは太陽 X 線と関わりがあると見ており、GOES 衛星の公開データを見ると、2006 年に比べて太陽 X 線フラックスが増大していることが分かる。これら太陽活動との関係を明らかにするため、名古屋大による木星近傍での太陽風シミュレーション結果も用いながら今後更に解析を進めていく。

## Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04) 及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。

## Reference

- A. E. Metzger, et al., 1983, J. Geophys. Res. 88, 7731
- S. J. Bolton, et al., 2001, Geophys. Res. Lett. 28, 907
- A. Bhardwaj, et al., 2007, Planetary and Space Science 55, 1135-1189
- Y. Ezoe, et al., 2010, ApJ 709, L178