

ひとみ衛星による 超新星残骸 N132D の観測

信川正順¹・信川久実子²

〈¹ 奈良教育大学教育学部 〒630-8528 奈良県奈良市高畑町〉

〈² 奈良女子大学理学部 〒630-8506 奈良県奈良市北魚屋西町〉

e-mail: ¹nobukawa@nara-edu.ac.jp, ²kumiko@cc.nara-wu.ac.jp



信川正順



信川久実子

X線天文衛星ひとみは大マゼラン星雲の超新星残骸N132Dを観測した。X線マイクロカロリメータSXSは短時間しか天体を捕捉できず、わずか17カウントの輝線データしか得られなかったが、熱的プラズマからの鉄のK殻輝線を検出し、爆発噴出物が非対称に運動していることを明らかにした。

1. 大マゼラン星雲の超新星残骸 N132D

N132Dは大マゼラン星雲(LMC)内で最もX線で明るい超新星残骸であり、親星からの爆発噴出物や衝撃波で掃き集められた星間物質が高温プラズマとなりX線を放射している。「すぎく」とNuSTARの観測によって、プラズマが過電離状態であることがわかっており、また、10 keV以上で非熱的放射の兆候が検出されている¹⁾。「ひとみ」の精密分光により、プラズマの電離状態とドップラーシフトによるバルク運動を明らかにできると期待された。

N132DはO, Si, S, Feの強いK殻輝線を放射していることから、10 keV以下のX線に対する較正用天体という側面もある。「ひとみ」でも、軟X線分光器SXSの較正のため初期観測天体にリストされた。

2. 苦境からのスタート

最初の観測天体であるペルセウス銀河団において、まさに順風満帆の滑り出しを見せた「ひとみ」だったが、次に観測したN132Dで思いがけない事象が起きた。観測開始からおよそ30分間

は狙い通り天体を捕捉していたが、スタートラッカーに問題が生じ、姿勢がどんどんずれてしまった。そのため、N132Dは3'×3'しかないSXSの視野からあつという間になくなってしまった。結局、SXSが取得したX線データは2-10 keV帯域で合計198カウントであった。サイエンスの鍵となるFe He α 輝線バンドに至っては、わずか16カウントだった(図1)。あまりに少ない統計であるが、バックグラウンドは極めて低いのでほぼ全て天体由来の光子である。

当初は、筆者を含めサイエンス検討チームの多くの人が、SXSで意味のある制限は何もできないだろうと考えた。一方X線CCDカメラSXIは、38'×38'の大きな視野を持っているので10時間分のデータを得ることはできたものの、「すぎく」の合計観測時間¹⁾に比べれば15%に過ぎず、SXIだけで新しい成果を出すことも困難だった。

なんとかしてカロリメータによる成果を絞り出すため、まず統計を増やすことを試みた。天体の一部だけが視野に入っているような、通常は使わないデータもかき集めた。その結果、2-10 keV帯域の統計は198から233カウントに増え、Fe He α 輝線も16から17カウントになった。

さらにプラズマモデルを仮定すれば、SXSの高

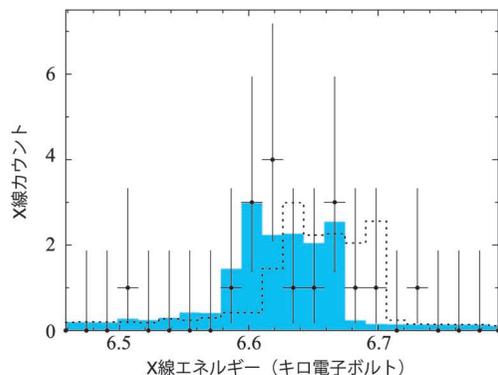


図1 SXSによるN132DのFe He α 輝線スペクトル。「すざく」とNuSTARで求められた輝線構造モデルを重ねた。点線はドップラー速度ゼロ、青線は 1400 km s^{-1} を入れた場合。

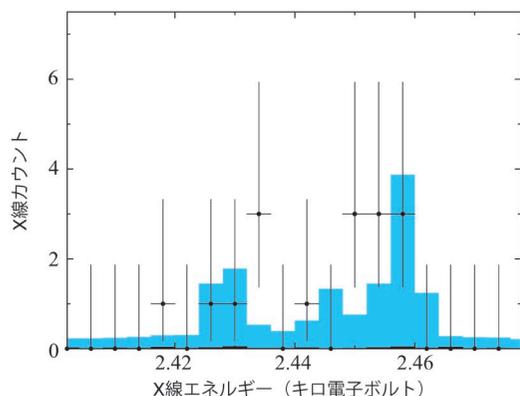


図2 SXSによるN132DのS He α 輝線スペクトル。ベストフィットモデル(青線)からは有意なドップラー速度が検出されなかった。

いエネルギー分解能のおかげで、17カウントでもドップラーシフトが制限できることが判明した。こうして科学成果を創出(捻出)する道筋が見えてきた。

3. 「ひとみ」が得た成果

複雑な微細構造を持つFe He α 輝線のうち、特に $E=6.70 \text{ keV}$ の共鳴線と $E=6.64 \text{ keV}$ の禁制線が顕著に現れる(図1の点線モデルを参照)。「すざく」とNuSTARで求められたプラズマ状態を加味した輝線構造モデルと比較したところ、SXS

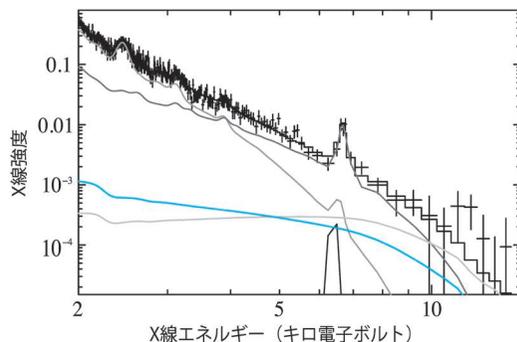


図3 SXIによるN132Dの全バンドスペクトル。モデルはそれぞれ熱的プラズマ(2つの濃い灰色)、CXB(薄い灰色)、 6.4 keV 輝線(黒)、非熱的成分(青)。

データはエネルギーが $+30 \text{ eV}$ ほどずれていた(図1、青色モデル)。一方で、S He α 輝線についても16カウントのX線を検出することができた(図2)。しかしFeとは異なり、有意なドップラーシフトはなかった。

以上の結果は、Fe He α 輝線を放射するプラズマは、LMCの固有運動($+275 \text{ km/s}$)を超える 1140 km/s もの速度で偏った方向に運動していることを意味する。このプラズマは親星の爆発噴出物由来なのだろう。一方S He α は衝撃波によって掃き集められた星間物質由来と考えて矛盾がない。このようなプラズマ運動の制限は、従来の検出器であるX線CCDでは決して得られないものである。カロリメータの高いエネルギー分解能の威力を示す象徴的な結果となった。

図3に示すSXIスペクトルには $E=2.45 \text{ keV}$ のS He α 輝線と $E=6.7 \text{ keV}$ のFe He α 輝線、および連続光成分が含まれる。「すざく」とNuSTARによる観測では、過電離プラズマ成分に加えて非熱的成分の兆候が報告されている。このモデルによるスペクトルフィットを行ったところ、図3の通り矛盾のない結果を得た。

SXIは従来よりも空乏層が厚いCCD素子を用いているため、X線検出効率が高くFe K輝線より高い 7 keV 以上のエネルギー帯域でも良い感度

がある。今回よりも観測時間が長く、十分な統計量があれば、非熱的成分の詳細な検証にも踏み込めただろう。

4. XRISMに向けて

「ひとみ」がわずか17カウントで輝線のドップラーシフトを測定したことは、マイクロカロリメータの力を証明するには十分だろう。2021年度に打ち上げを目指すXRISM衛星には、本観測で用いた装置と同じセット（マイクロカロリメータ ResolveとX線CCDカメラ Xtend）が搭載される。高統計の輝線データは、運動学だけでなく、精密なプラズマ診断も可能にするはずだ。これらの新情報により、超新星残骸プラズマがさらに発展することを期待する。

謝 辞

本稿に記載した結果は「ひとみ」関係者の10年にもわたる努力により実現したものである。この誌面を借りて心から感謝の意を示したい。本研究の詳細については投稿論文²⁾を参照されたい。

参考文献

- 1) Bamba, A., et al., 2017, ApJ, 854, 71
- 2) Hitomi Collaboration, 2018, PASJ, 70, 16

Hitomi Observation of the supernova remnant N132D

Masayoshi NOBUKAWA¹, Kumiko K. NOBUKAWA²

¹Faculty of Education, Nara University of Education, Takabatake-cho, Nara, Nara 630-8528, Japan

²Faculty of Science, Nara Women's University, Kitauoyanishi-machi, Nara, Nara 630-8506, Japan

Abstract: We report the result of the Hitomi observation of N132D, a supernova remnant in the Large Magellanic Cloud. Thanks to the excellent energy resolution of SXS, only seventeen photons of Fe He α reveal the large velocity offset between Fe in the ejecta and the LMC. These results demonstrate the fantastic performance of Hitomi, and may promise fruitful results of the future mission "XRISM".