

1.はじめに

地球に降り注ぐ宇宙線の中でも $\sim 10^{15}$ eVの宇宙線は銀河系内の超新星残骸で生成されと考えられている。宇宙線の加速機構としては超新星残骸の衝撃波面を粒子が往復することで粒子が光速近くまで加速されるフェルミ衝撃波統計加速が提唱されており、宇宙線電子がこの加速機構により加速されていることはX線観測衛星「あすか」による観測で確認された。宇宙線陽子の加速過程については未解明の部分が多いが、近年の研究により分子雲と相互作用している超新星残骸において宇宙線陽子が加速されている可能性が示唆され注目されている。そこで、このような天体であるW44をX線で観測することで宇宙線陽子の加速過程を解明することを目的としている。

2. 超新星残骸 W44

W44は年齢が約20000年、地球からの距離が約2.8 kpc、大きさが35'×27'の複合型（電波のシェルと中心に集中したX線）の超新星残骸（Fig 1）である。この超新星残骸は分子雲と相互作用しており、電波望遠鏡で分子雲からの様々な放射が観測されている。W44はGeV領域の γ 線で明るく輝いている天体であり、 π^0 崩壊により輝いていることが示唆されている。分子雲と相互作用している超新星残骸における宇宙線陽子の加速過程を探るのに適した天体である。

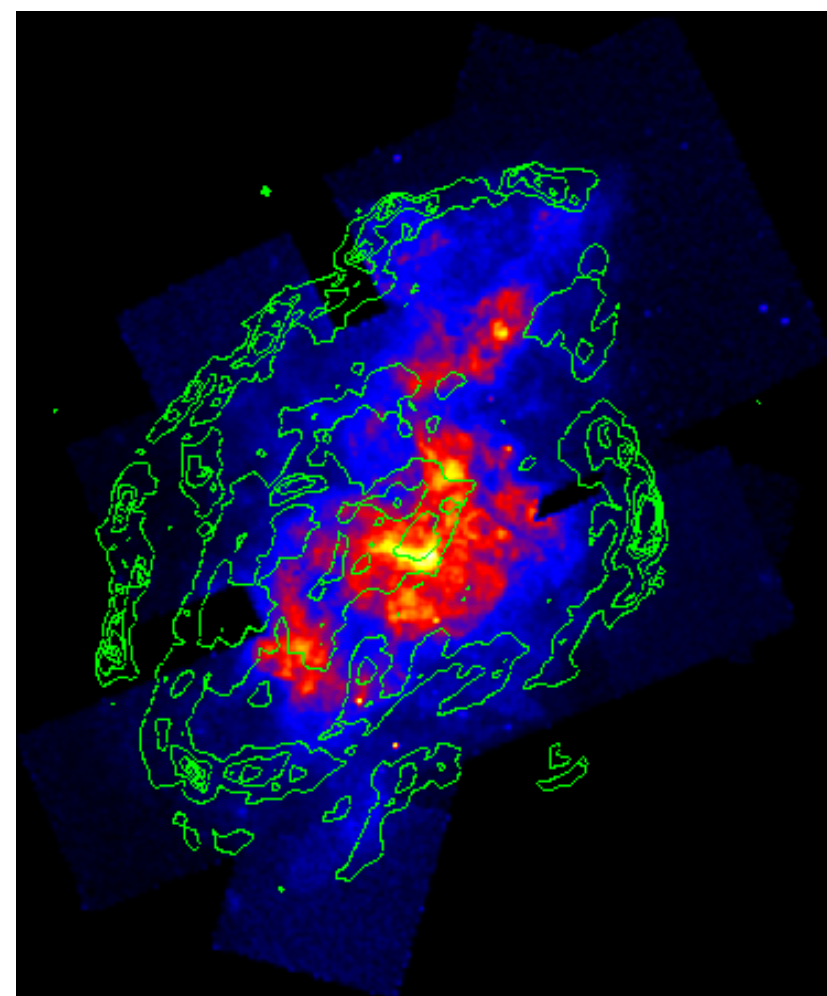


Fig1:W44のイメージ

ChandraによるX線のイメージ（2.0~7.0keV）に等高線はEffelberg電波望遠鏡により捉えられた電波のシェル

3.宇宙線陽子の加速過程

分子雲と相互作用している超新星残骸では衝撃波によって加速された陽子と低エネルギー陽子によりFig 2のような現象が起きていると考えられている。加速された高エネルギー陽子は π^0 崩壊を起こす。ここで、低エネルギー陽子が通過する際に電離された分子雲中の鉄（Fe）は基底状態に戻るときに輝線を出す。一方、 π 中間子は光子に崩壊し、GeV領域の γ 線となるため、中性鉄輝線（Fe-K α :6.4keV）が観測される領域はGeV領域で明るくなっているはずである。

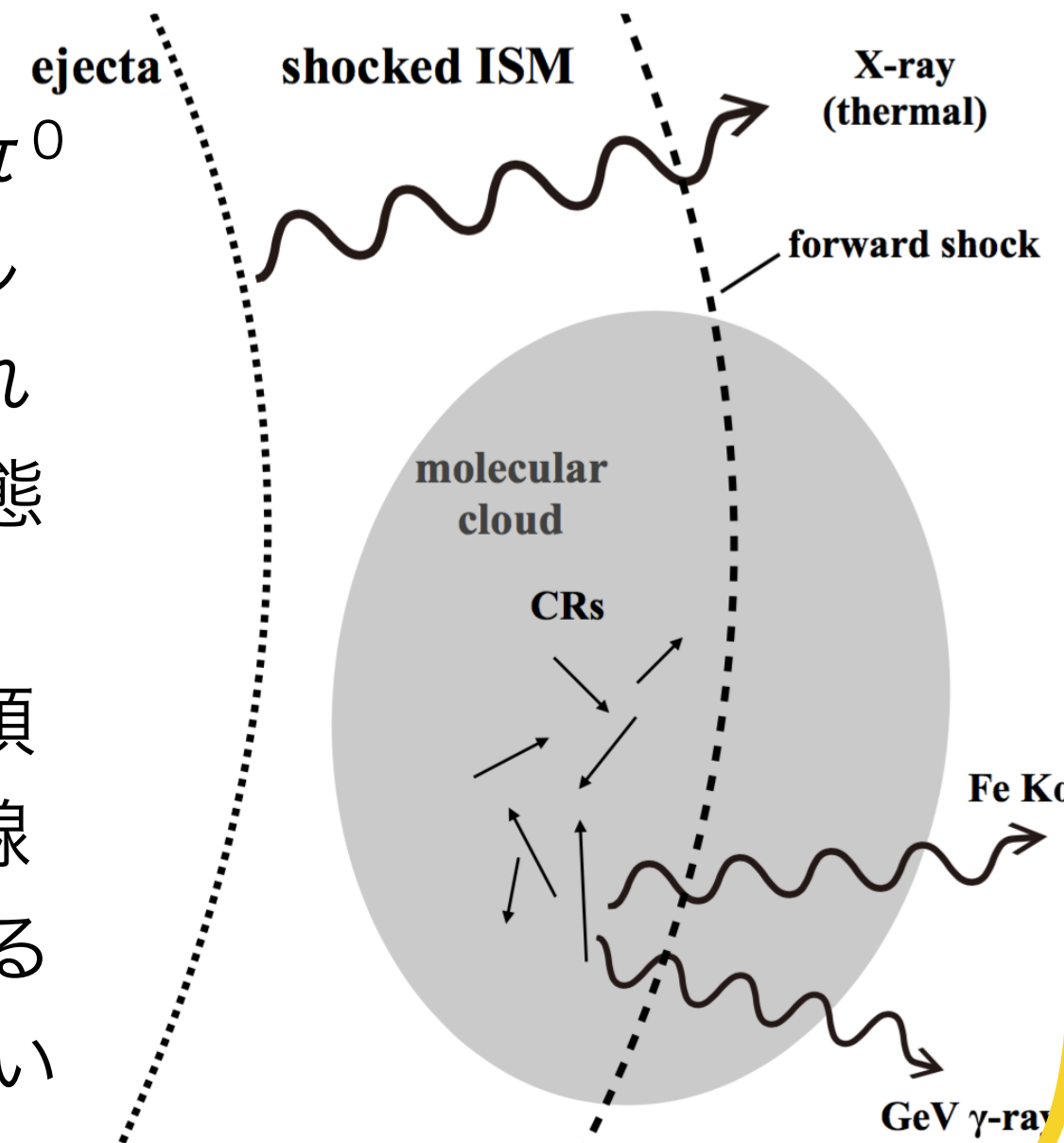


Fig 2:宇宙線陽子の加速機構

4.ChandraX線観測衛星

ChandraX線観測衛星は1999年にアメリカのNASAにより打ち上げられたX線観測衛星である。搭載されている観測機器は以下の3つである。

- ・10枚のCCDで構成されるACIS(Advanced CCD Imaging Spectrometer)
- ・マイクロチャンネルプレートからなるHRC（High Resolution Camera）
- ・高エネルギー透過型回折格子HETGと低エネルギー透過型回折格子LETG

ACISには2×2のCCDからなるACIS-Iと1×6のCCDからなるACIS-Sがある。Chandraの特徴としては視野中心での空間分解能が約0.5秒角であることと、観測できるエネルギー範囲が10 keVであることが挙げられる。今回、解析に用いたのは撮像と分光が可能なACIS-Sを用いて観測されたデータのみである。

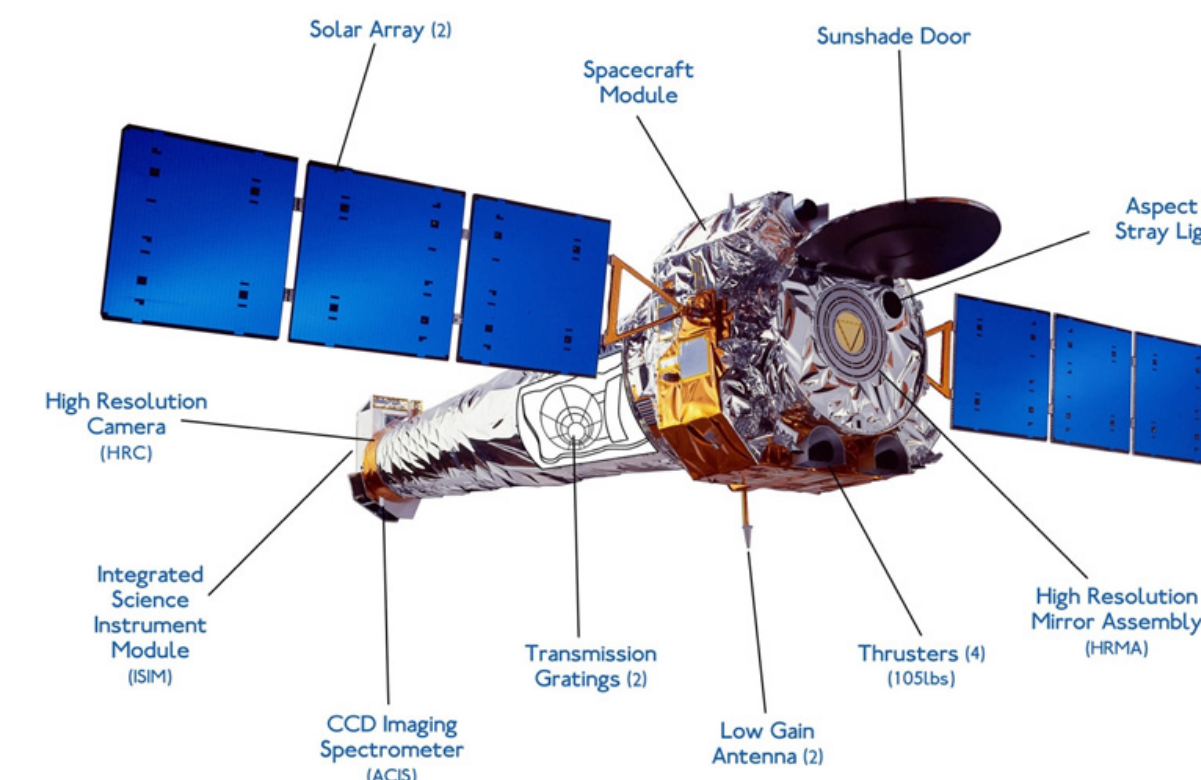


Fig 3:ChandraX線観測衛星の外観図

5.解析

解析にはNASAが提供する解析ソフトCIAO（version 4.8）を使用した。宇宙線陽子が加速されている領域を知るためにFe-K α の放射が集中している場所を表したフラックスイメージ（単位時間・単位面積あたりに到来する光子の量の画像）をチップ毎の特性（前面照射型か背面照射型）を考慮して作成する必要がある。そのためには、宇宙線などの非X線バックグラウンド（NXB）を考慮しなければならず、5.0 keV以上では天体の信号に対するNXBの割合が大きくなるため、スペクトルフィッティングをすることでNXBの量を算出した。使用したデータはW44の観測データであり、観測は2000年、2005年、2009年に計4回行われている。フラックスイメージ（Fig 6）とFermi衛星の2~300 GeVの等高線（赤）を比較すると γ 線で明るい領域でも鉄輝線が確認された。この結果は超新星残骸で加速された陽子が分子雲と相互作用し、高エネルギー陽子の π^0 崩壊による γ 線を放射し、低エネルギー陽子が分子雲を電離し鉄輝線を出していると考えられる。

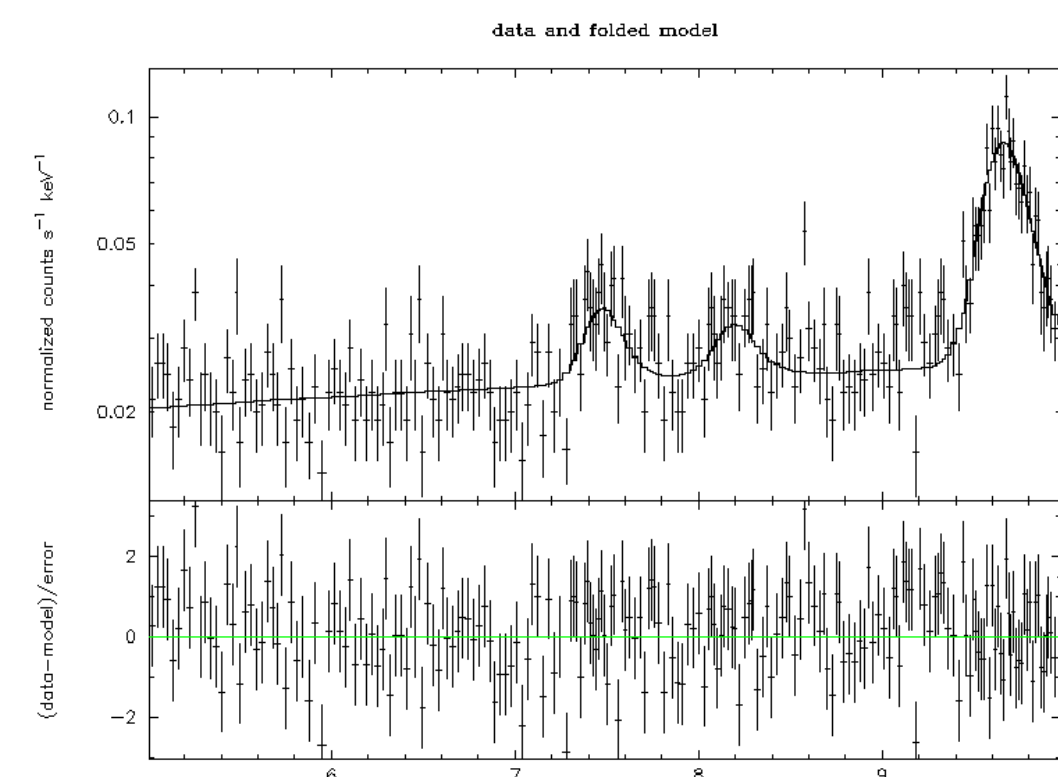


Fig 4:ACIS-Sで観測された前面照射型 CCDのNXBスペクトル

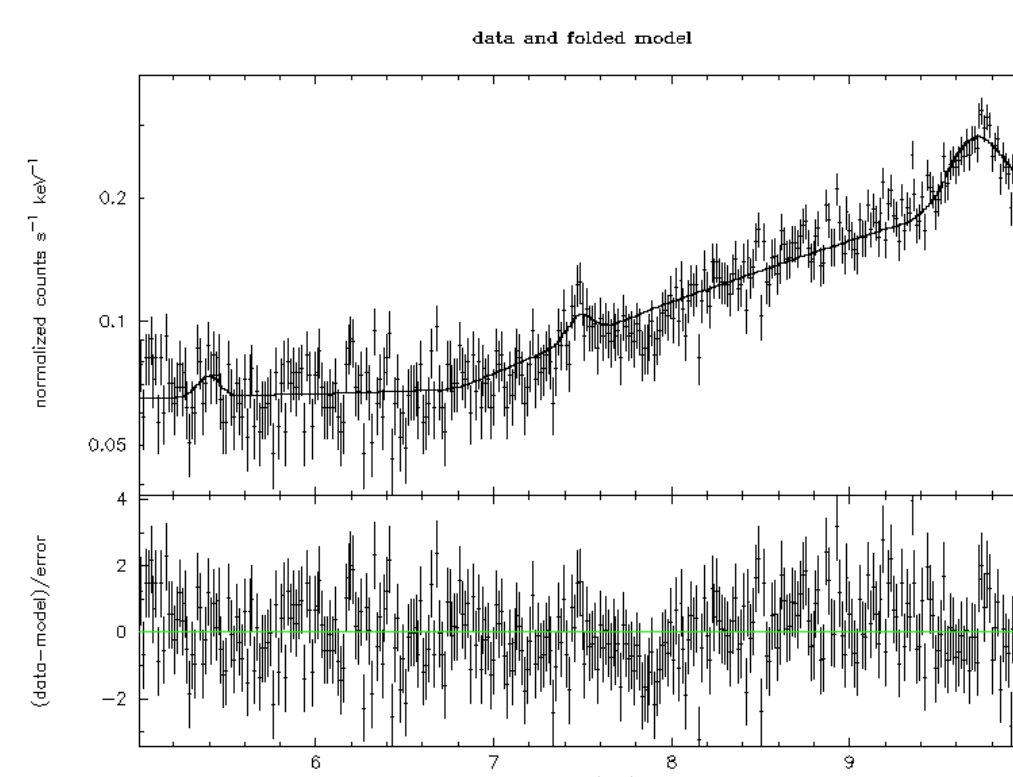


Fig 5:ACIS-Sで観測された背面照射型 CCDのNXBスペクトル

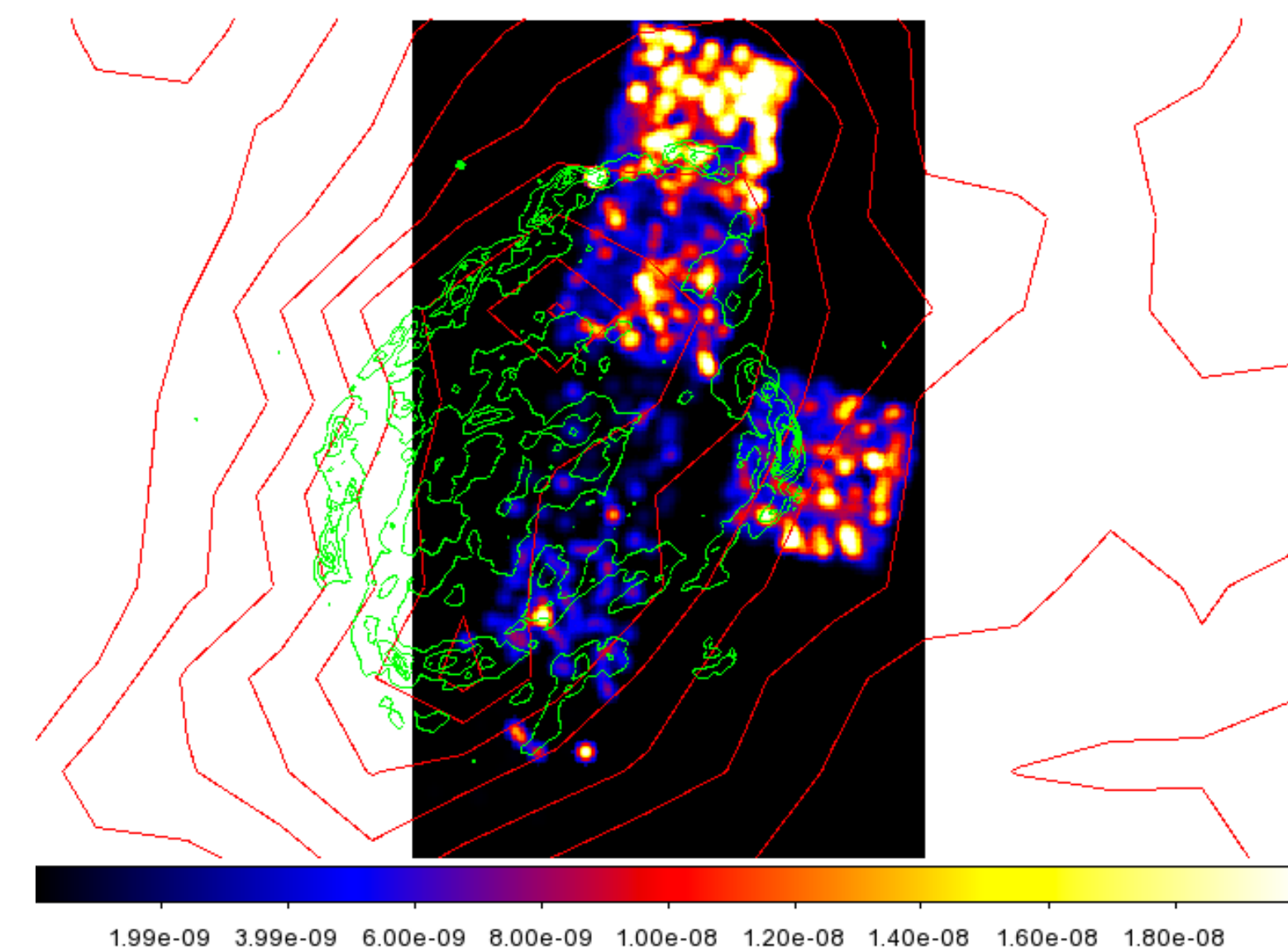


Fig 6:Chandraの観測データから自作したNXBを引いた6.1~6.7keVのフラックスイメージ（等高線はFermi衛星：赤、電波：緑）
1 pixel=7.87arcsec

今後の予定

これから作成する予定のFe-K α のフラックスイメージに加えて、 γ 線の観測をしているフェルミガンマ宇宙望遠鏡、電波望遠鏡のデータを用いることでそれぞれのフラックスの大きいところのX線スペクトルを抽出し、そのスペクトルのフィッティングを行っていく。この他、超新星残骸 Cassiopeia Aの熱的放射の時間変動についても解析を行っていく予定である。

参考文献

- [1]Tamotsu Sato, 2015, 東京大学博士論文
[2]Uchida H., Toyama K., Yamaguchi H., et al. 2012, pasj, 64,141