

1.はじめに

太陽の8倍以上の質量を持つ星は、内部での核融合反応による熱エネルギーにより自身の重力を支えている。反応が進み、中心部で鉄が生成されると、鉄は安定であるためそれ以上核融合が進まなくなるため、急激に内部圧力が下がる。これにより、外層を支えきれなくなり、重力崩壊を起こす。さらに内部が高密度となると、中心部に中性子の核が残り、落ちこんでくる外層が中心核表面で跳ね返されることで外側に向かう強い衝撃波が形成される。この衝撃波が、ついには外層を吹き飛ばし、超新星爆発を起こす。近年のシミュレーションでは、爆発前の星の形状の非対称性や星内部の乱流状態による爆発の非球対称性が噴出物の分布に反映されると考えられている。本研究では、X線で観測される形状が非球対称な超新星残骸G350.1-0.3において、超新星爆発によって生じた噴出物の速度を輝線のドップラーシフトから求めることで非球対称な超新星爆発メカニズムに迫る事を目的としている。

2. 超新星残骸 G350.1-0.3

G350.1-0.3は(RA,Dec)=(17h21m05s,-37°.27)に位置する年齢1000–2000歳の若い超新星残骸である。これまで赤外、電波及びX線で観測されており、それぞれの波長でその特異な形状が異なることが確認されている。日本のX線観測衛星すざくによる観測 [2]では、鉄より大きな質量のNiが検出されており、非対称な爆発がスペクトル解析から示唆されている。また、本天体はFig.1のように極端に非対称な形状をとっていることから、超新星爆発における非対称性を噴出物の分布を引き起こすメカニズムに迫るための重要な天体の1つだと考えられる。

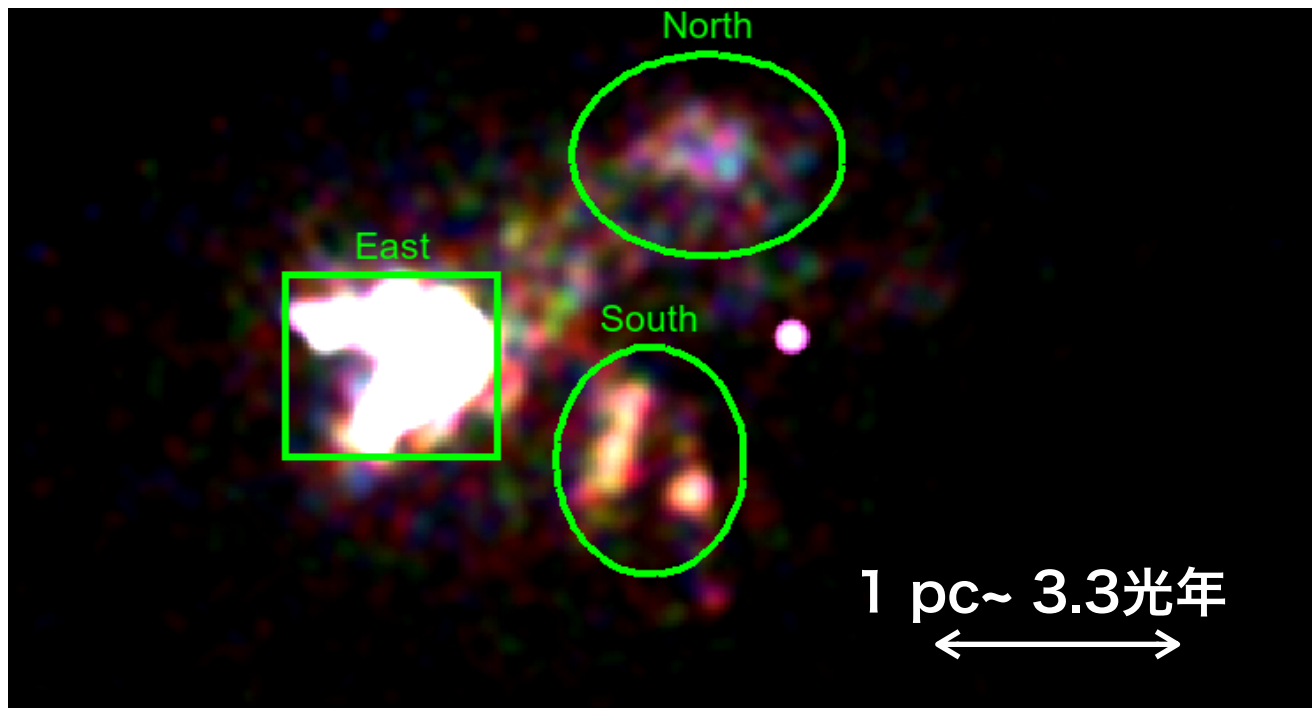


Fig.1:ChandraによるG350.1-0.3のRGBイメージ
(Red: 1.78 - 1.835 keV, Green:1.84 - 1.87 keV, Blue:1.875 - 1.93 keV)

3.超新星残骸における輝線のドップラーシフト

超新星爆発の噴出物は非常に高温であるため、輝線や制動放射などの熱的放射を出すようになる。このとき、超新星爆発によって、噴出物の視線方向の速度はとても大きいので、観測される輝線の中心値と理論的に期待されるエネルギー中心値にずれが生じ、輝線のドップラーシフトという形で観測される。このときの視線方向（近づく向きを正）の速度は(1)式で見積もることができる。

$$\frac{(E_{obs} - E_0)}{E_0} = \frac{v}{c} \dots (1)$$

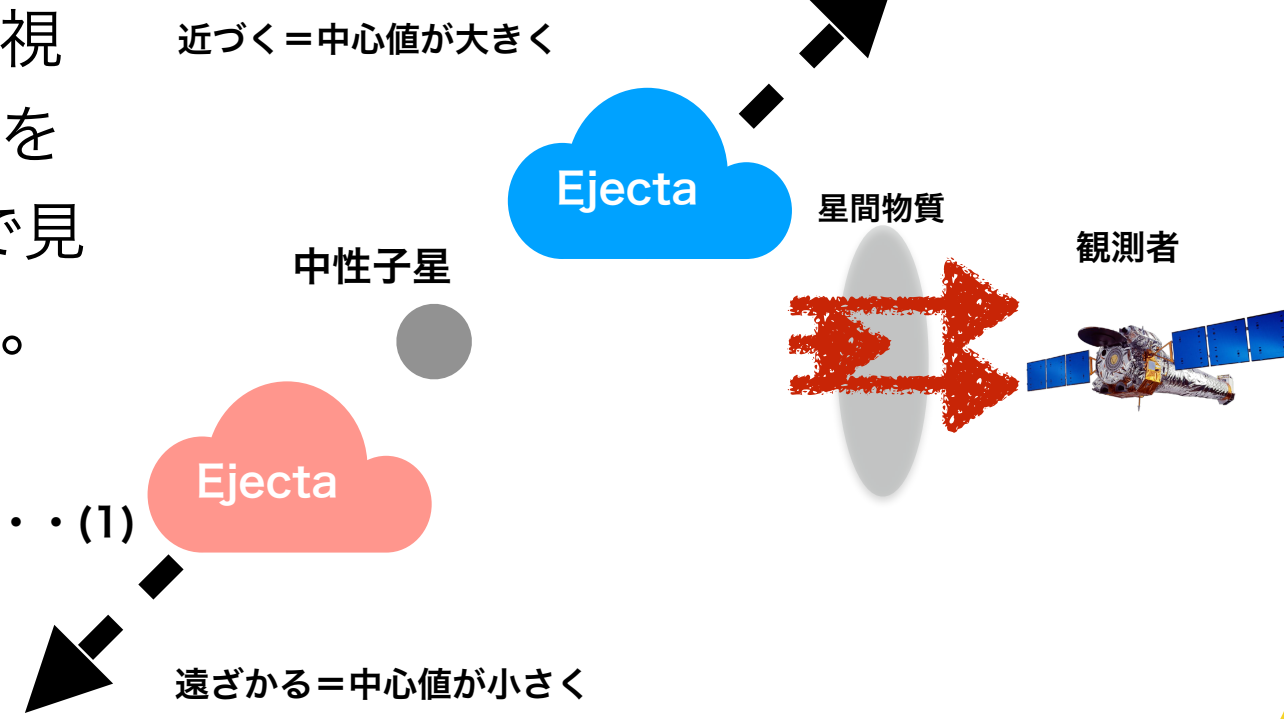


Fig 2:SNRにおけるドップラーシフトの観測原理

4.ChandraX線観測衛星

ChandraX線観測衛星は1999年にNASAが打ち上げた衛星である。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10keV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

5-1. スペクトル解析

超新星残骸をFig.1のように放射が明るい3つの領域(東側・北側・南側)に分割し、スペクトル解析を行った。スペクトルモデルは星間吸収モデルとしてwabs、連続成分として制動放射、輝線には複数のガウシアンを考慮したwabs × (bremss + gaussian) と赤方偏移 $z \sim v/c$ を考慮したガウシアンをSi、S、Arに適用した $wabs \times (bremss + zgaussian)$ である。解析結果より、Si、S、Arのそれぞれの領域での視線方向の速度を求めた(Fig.6)。

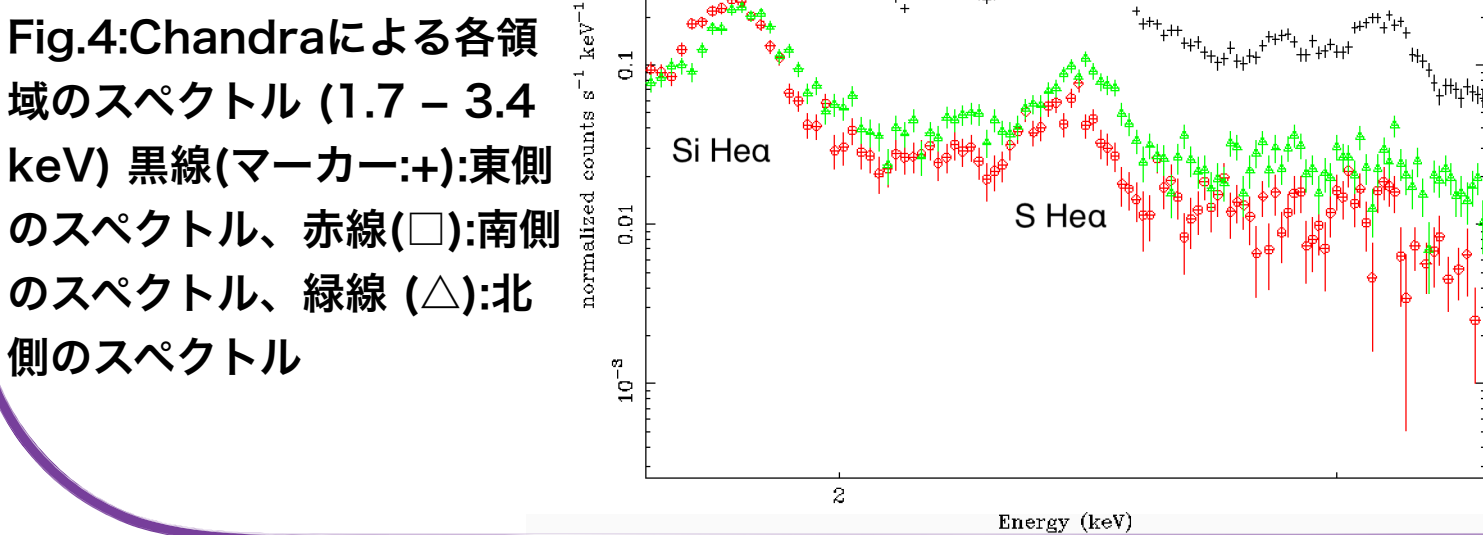


Fig.4:Chandraによる各領域のスペクトル (1.7 – 3.4 keV) 黒線(マーカー+:)東側のスペクトル、赤線(□):南側のスペクトル、緑線(△):北側のスペクトル

5-2. 温度・電離度依存性

Fig.4から、北側と南側で輝線の中心値がシフトしていることがわかった。この輝線のエネルギー中心値のずれがプラズマの温度・電離度に由来するものかシミュレーションスペクトルを作成し、同じスペクトルモデルを用いてスペクトル解析を行い、Fig.6にSiのエネルギー中心値を求めた結果を示す。

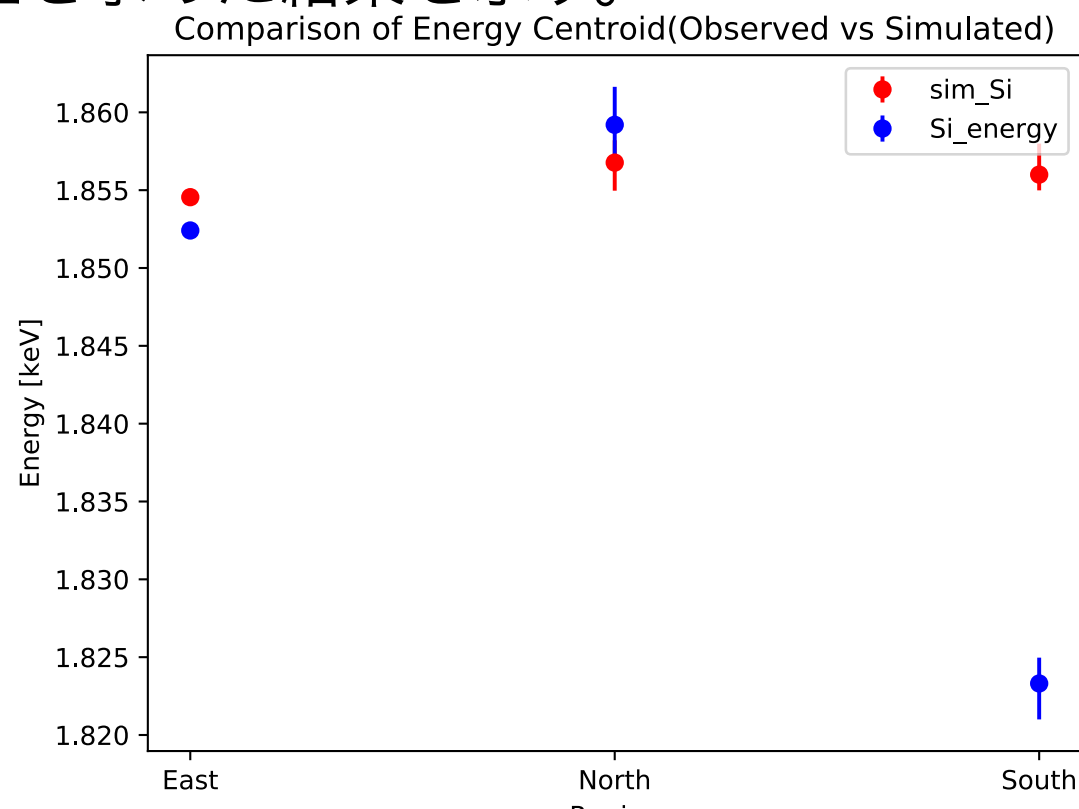


Fig.6:各領域のシミュレーションスペクトルと観測スペクトルのSiのエネルギー中心値の比較 (青：観測値、赤：シミュレーション)

5-3. 噴出物の視線方向速度

Fig.6から北側(直径：約1 pc)は近づく向き、南側(直径：約1 pc)は遠ざかる向きに運動していることがわかる。それぞれの領域での視線方向の速さは $v_{North} \sim 1570^{+330}_{-240}$ km/s $v_{South} \sim 1640^{+150}_{-130}$ km/s となる。この結果から、この超新星残骸が極端に非対称な超新星爆発によって誕生したことが強く示唆される。

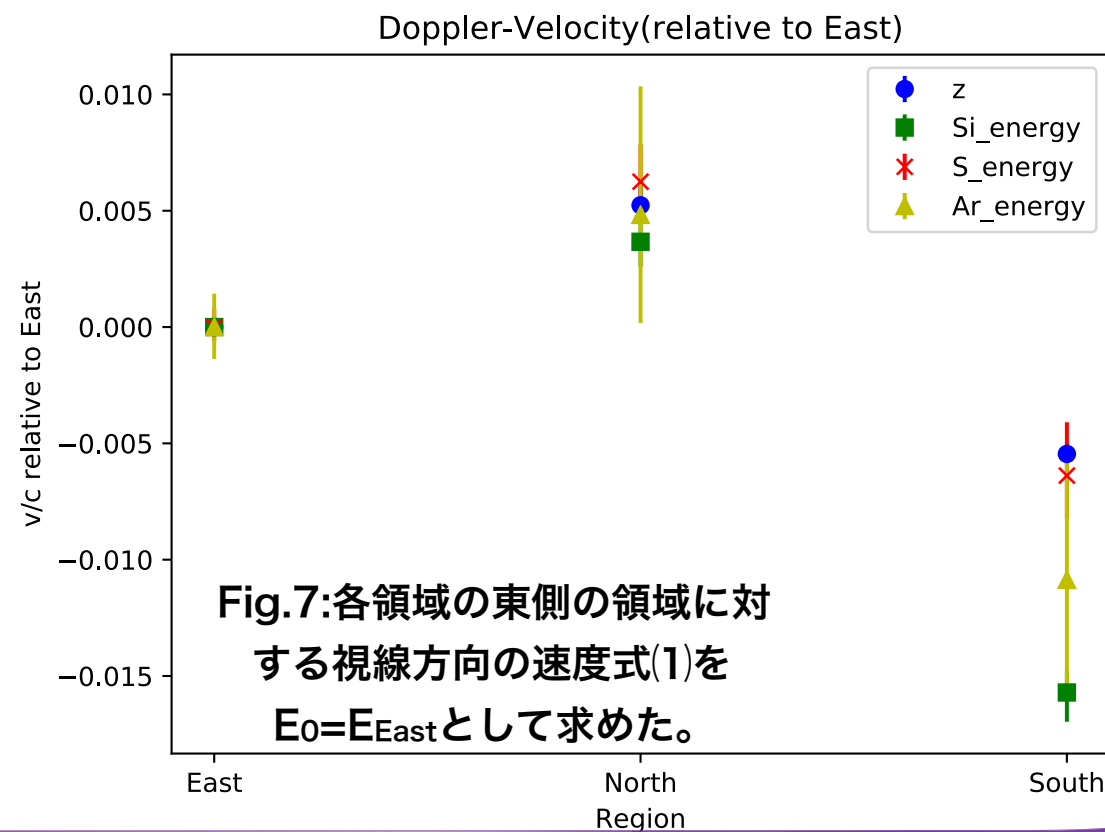


Fig.7:各領域の東側の領域に対する視線方向の速度式(1)を $E_0=E_{East}$ として求めた。

今後の予定

今後はESAのXMM-Newtonを用いた同様の解析によって、今回のChandraのデータを用いた解析による結果を確認することを予定している。この他、ドップラー効果の面から非対称性爆発が示唆されたことから、Chandraの空間分解能を活かし、より細かな領域に分割し、それぞれの領域でスペクトル解析することで、どのような超新星爆発モデルによってこの超新星爆発が再現できるのか既存の理論と照らし合わせて確かめていきたい。

参考文献

[1] Toshiki Sato 博士論文 2018

[2] Yasumi, M. et al. 2014, Pasj, 66, 68

[3] Hayato, A. et al. 2010, Apj, 725, 894

[4] Gaensler, B. M. et al. 2008, ApjL, 680, L37