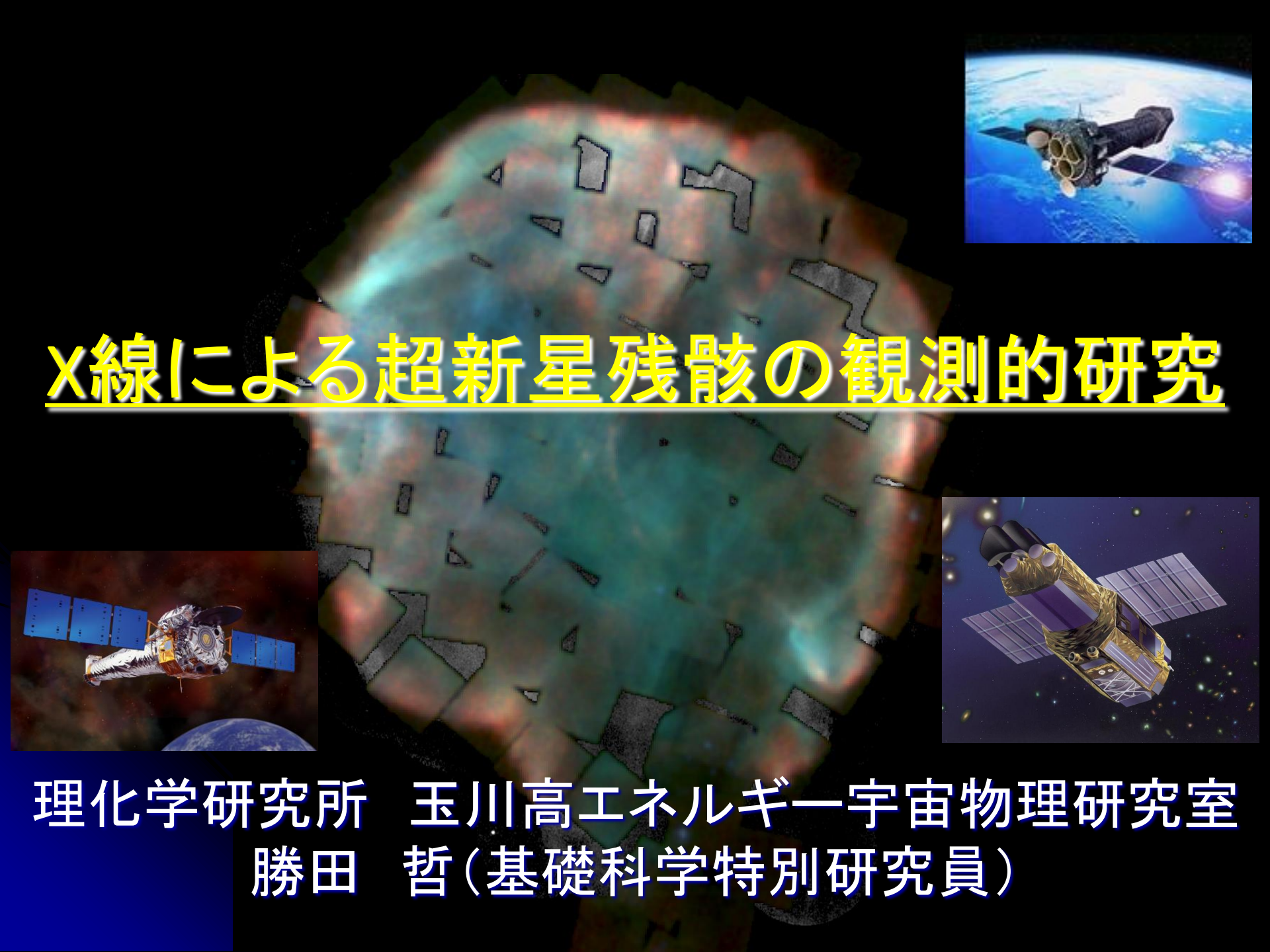
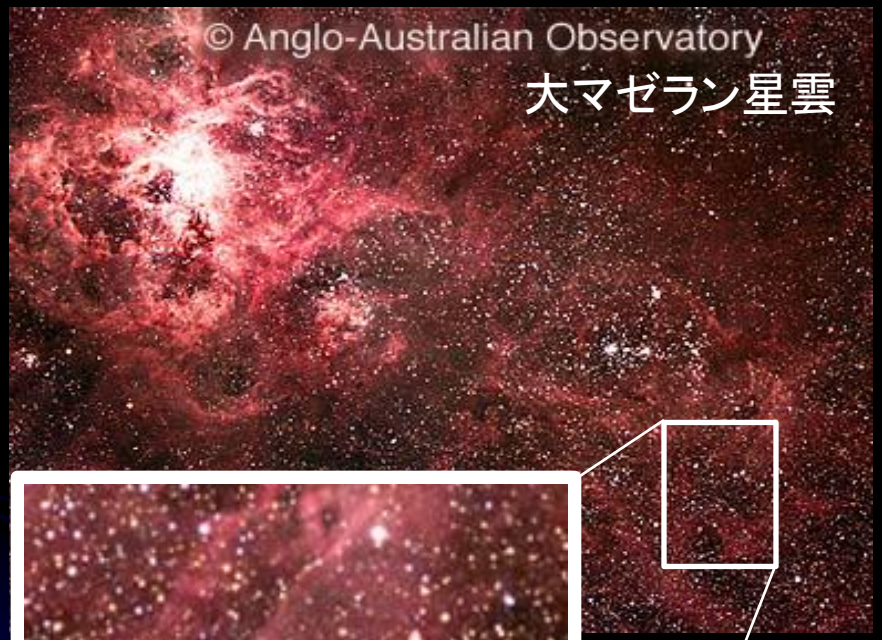


X線による超新星残骸の観測的研究

理化学研究所　玉川高エネルギー宇宙物理研究室
勝田　哲（基礎科学特別研究員）

超新星爆発



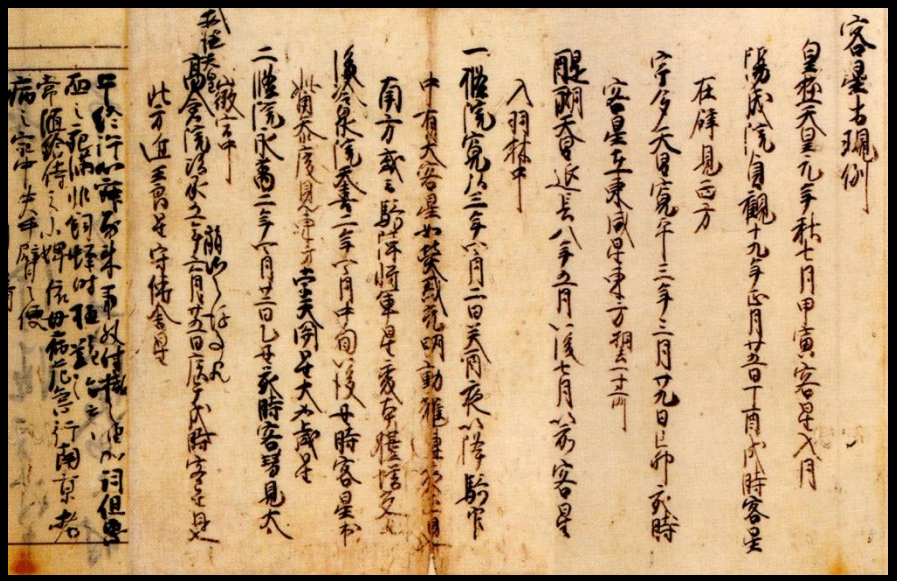
超新星 SN1987A

超新星爆発：
- 星が急激に10億倍ほど増光する天体現象。
- 星が死滅する際の大爆発（宇宙最大規模）。
- 重元素や宇宙線の供給源としても重要。

歴史に刻まれる超新星爆発

近場で起これば昼でも見えるほど明るくなる。

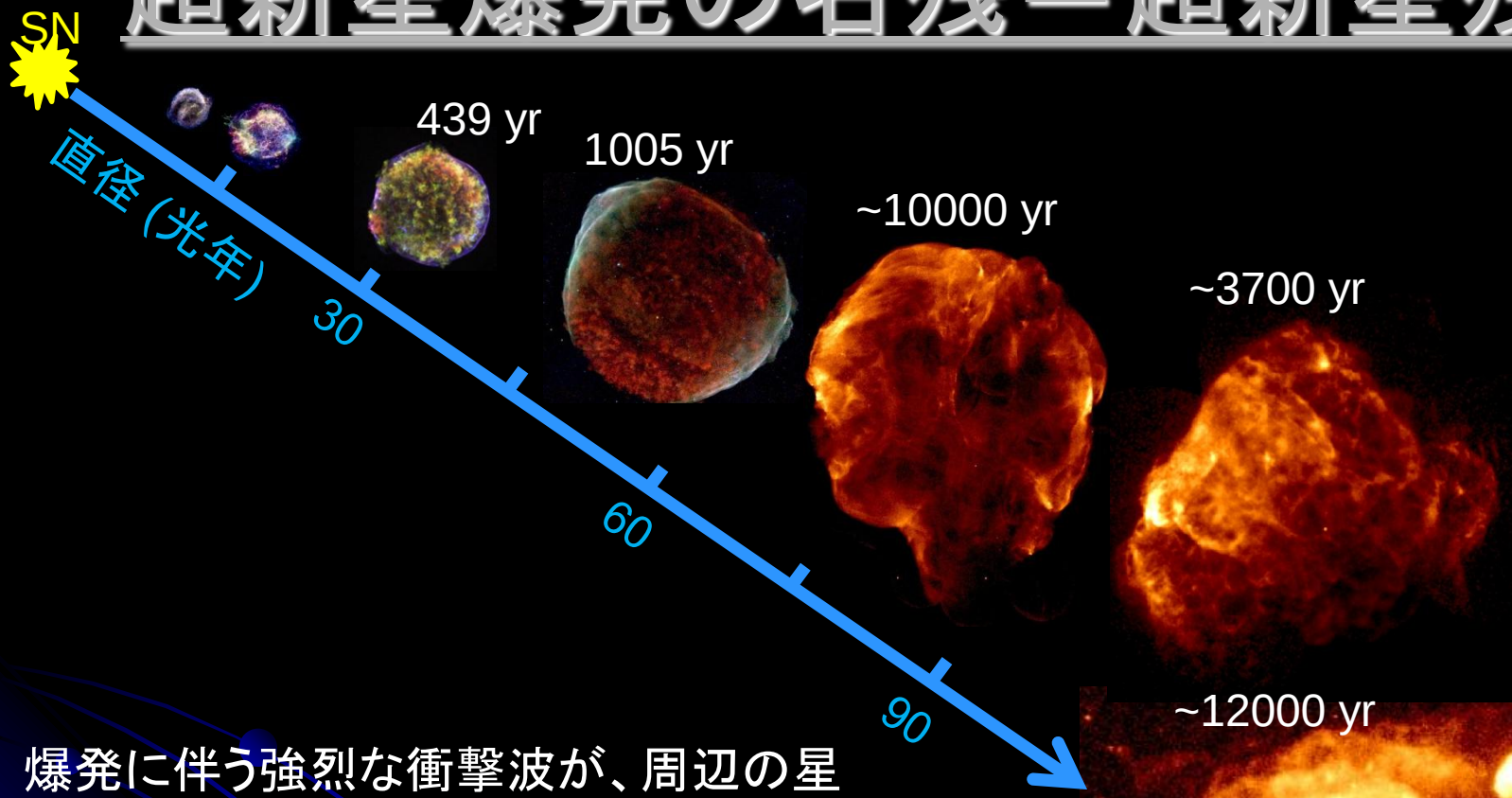
藤原定家の明月記



歴史書に記された超新星爆発

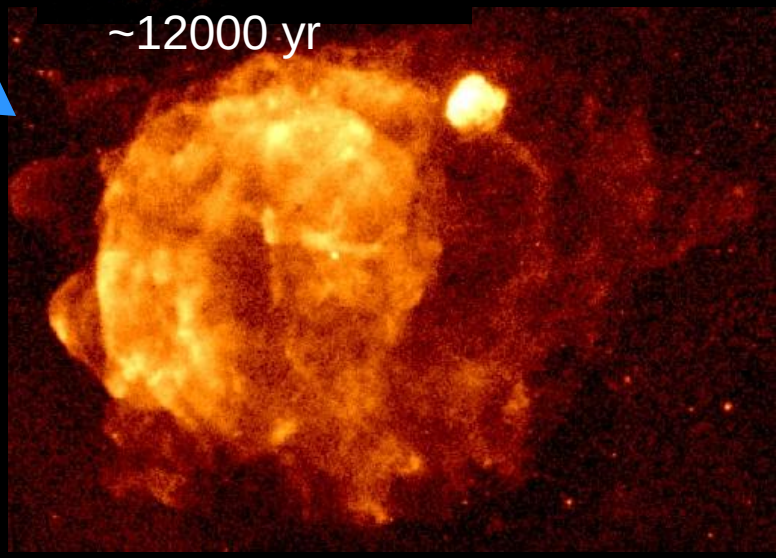
-SN185
-SN393
-SN1006
-SN1054
-SN1181
-SN1572
-SN1604

超新星爆発の名残＝超新星残骸



爆発に伴う強烈な衝撃波が、周辺の星間ガスを侵食。数千万度の極高温プラズマ雲を形成する。

⇒超新星残骸(SNR)として、爆発後10,000年以上、X線など様々な波長で明るく輝く。



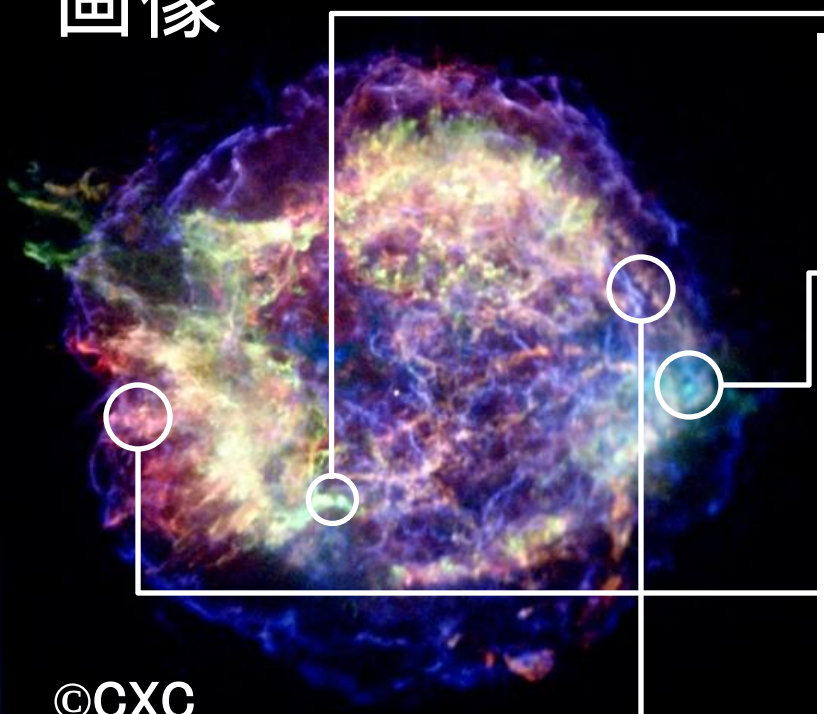
X線天文衛星

衛星	稼動期間	国	特徴
チャンドラ	1999-	米国	空間分解能(0.5 秒角)
ニュートン	1999-	欧州	有効面積
すざく	2005-	日本	低エネルギーでの感度

何れも焦点面検出器に非分散系のX線CCDを搭載。
⇒撮像と同時に分光が可能。

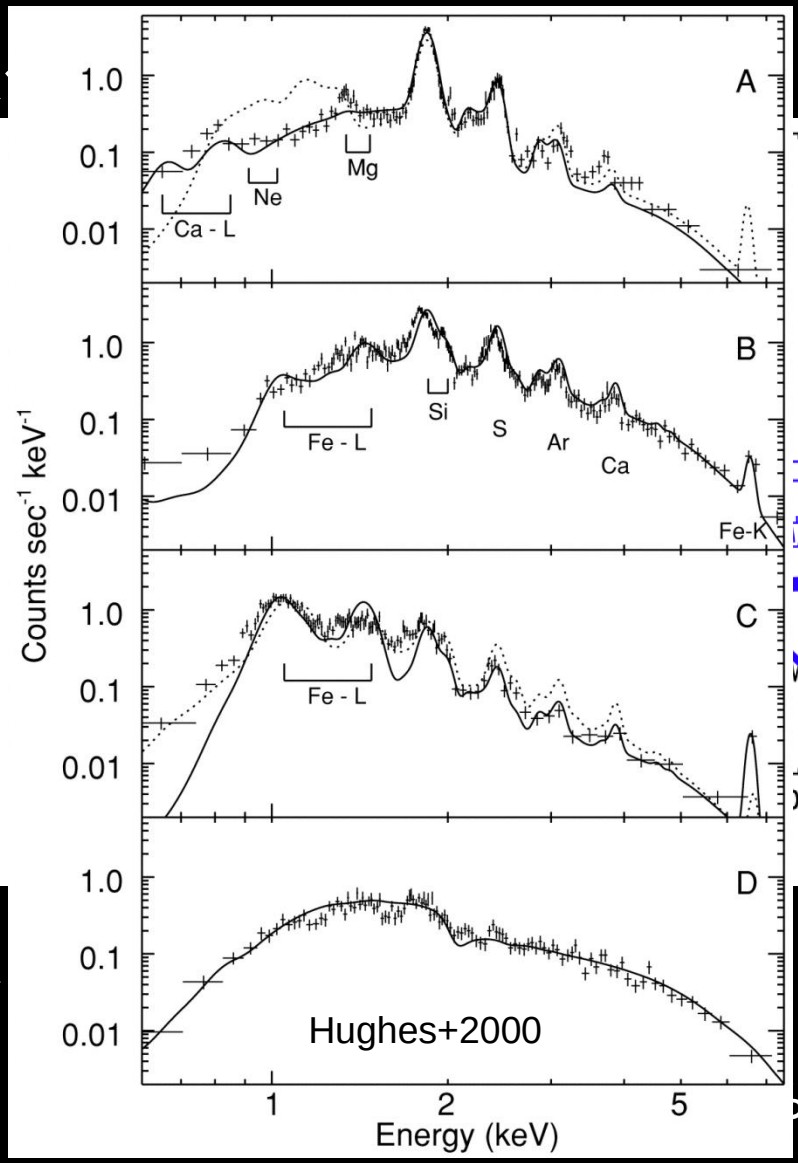
観測データと引き出せる情報

画像



©CXC

X線の明るさ



極めて
ネルギーの
立子の存在

0.0 50.0

鮮明なX線画像
⇒運動の直接撮像
（時間を空けた複数の観測の比較から）

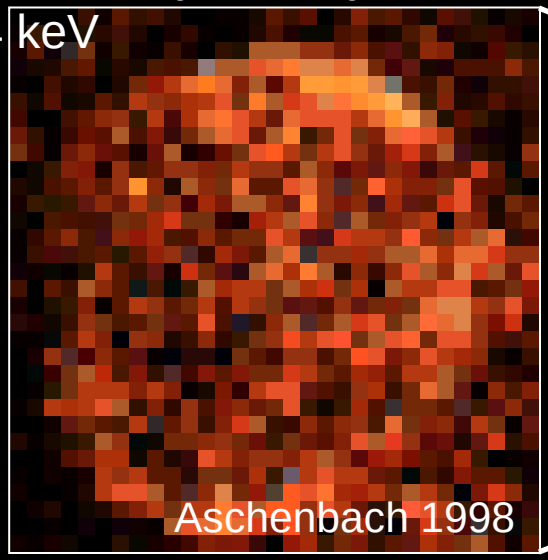
本研究内容

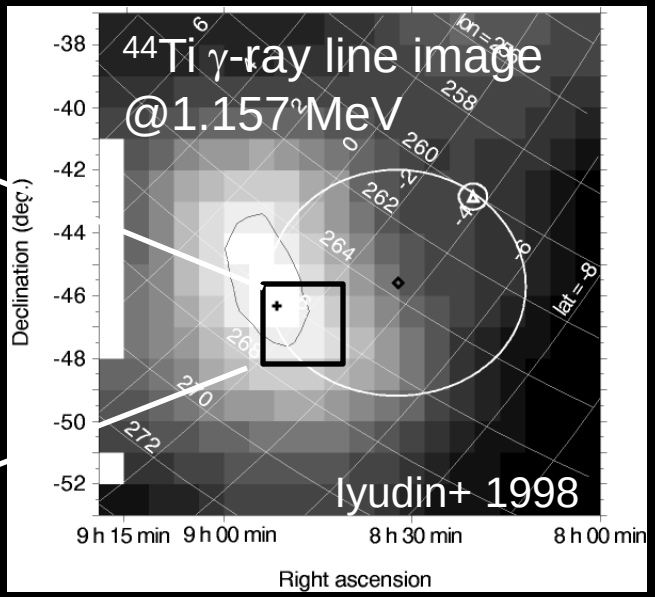
X線天文衛星「チャンドラ」、「ニュートン」、「すざく」を駆使し、以下の成果を得た。

1. SNRの膨張を世界に先駆けて測定し、SNRの運動を明らかにした。
2. 爆発噴出物が非一様に飛散していることを発見した。
3. 電荷交換反応由来のX線を発見した。

1.1 ベラジュニアSNR

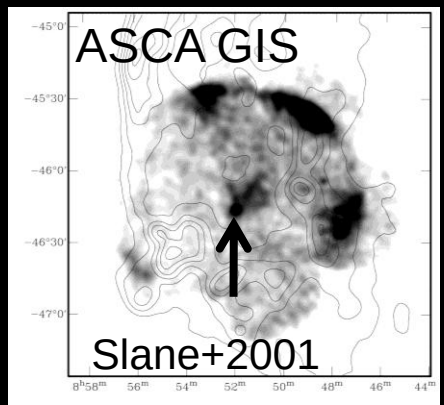
ROSAT all-sky survey
1.3-2.4 keV



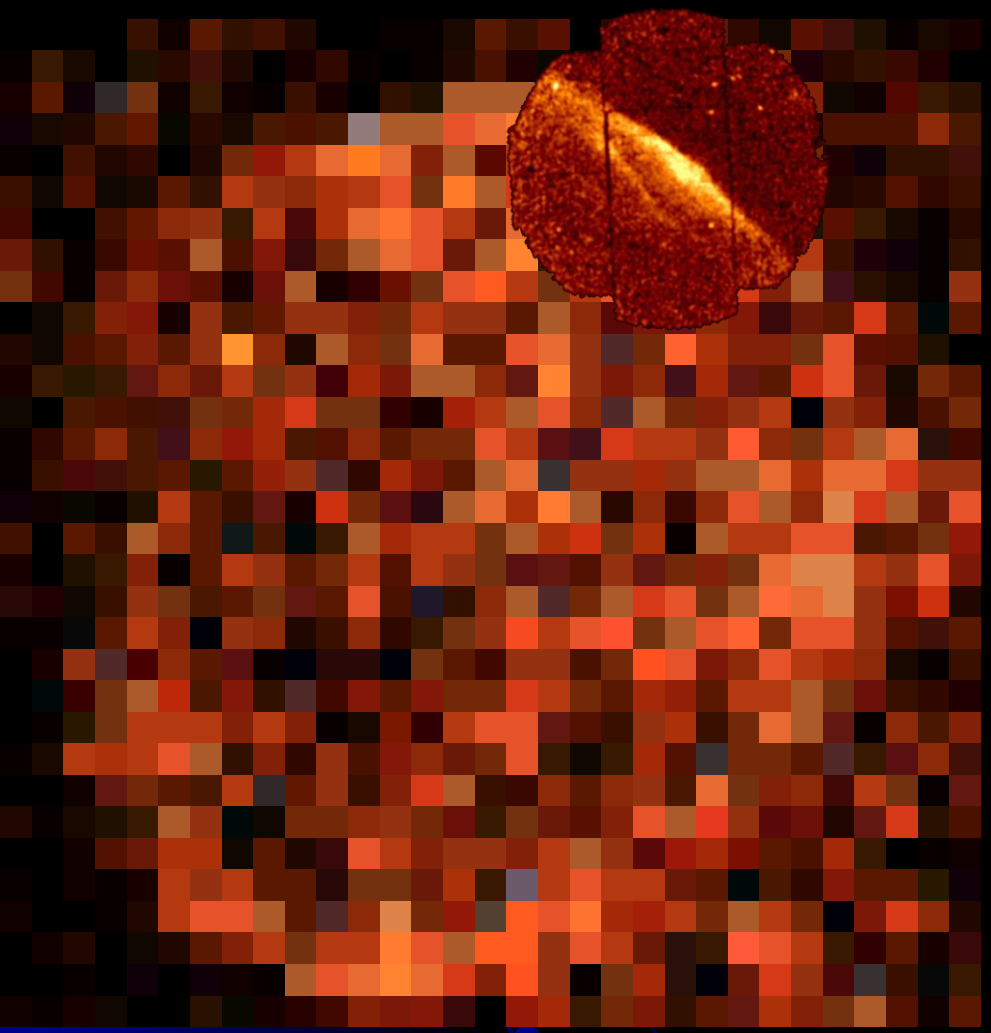


- 1998年に「ロータット」衛星が見つけた新しいSNR(Aschenbach 1998)
- 発見と同時に^{44}Ti γ線放射も検出された(Iyudin+1998)
  ⇒若く(年齢~700 yr)、近い(距離~600光年)
- 中性子星の発見(Slane+2001; Kargaltsev+2002)
  ⇒年齢～数千年、距離~3000光年

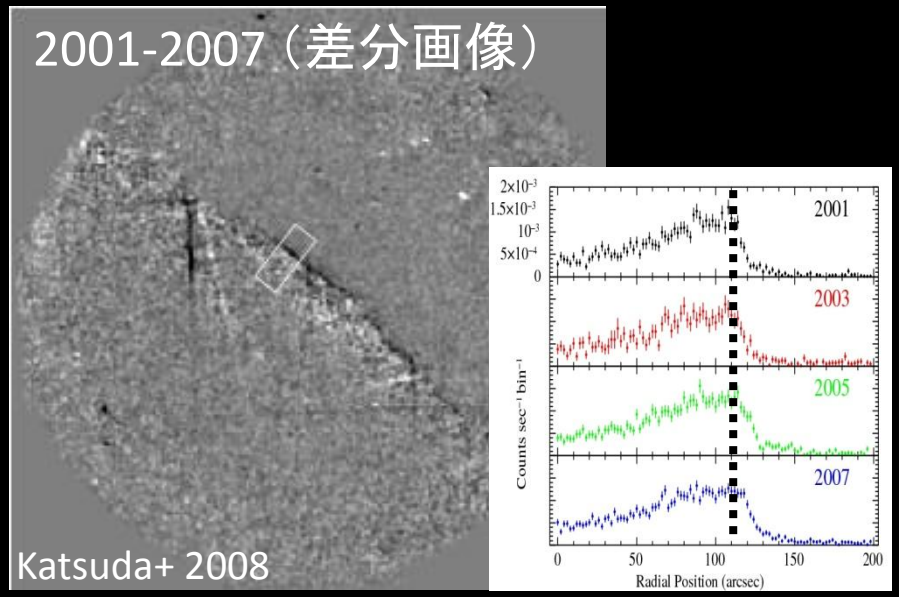
両者の見積もりに矛盾



1.1「ニュートン」による膨張率測定



「ニュートン」が 2001 年から2007年にかけてベラジュニア北西端を複数回観測。



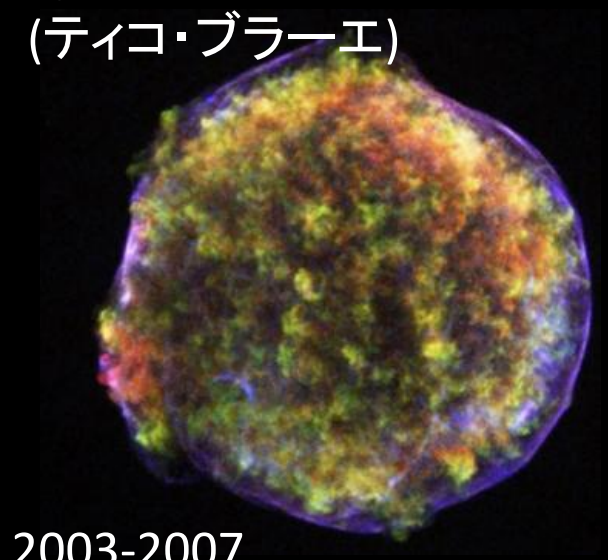
6.5年で5秒角の移動⇒膨張率0.02%/yr
他のSNRの膨張率との比較により、ベラジュニアの年齢を2000年程度と推定。
距離も2200光年以上と算出した。

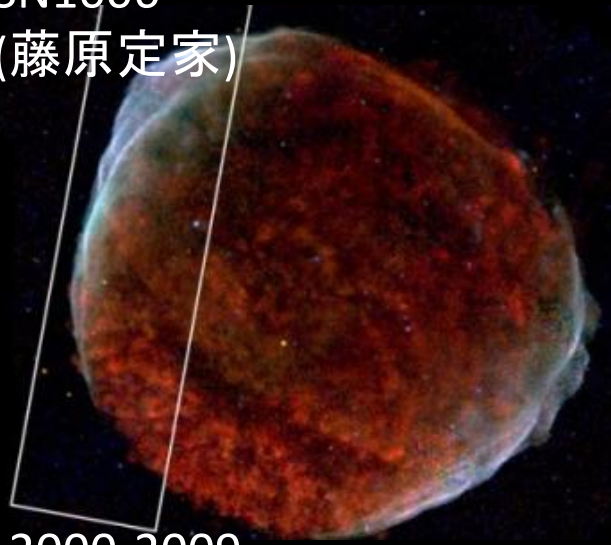
1.2 歴史的SNRの膨張率測定

Tycho (SN1572)
(ティコ・ブラーエ)

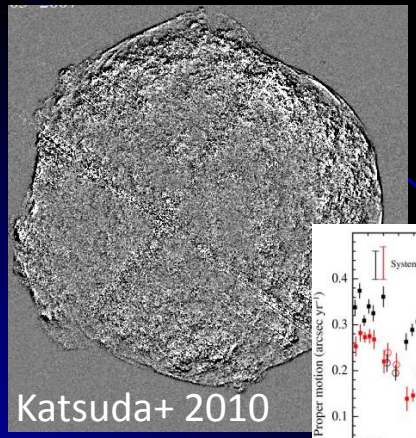
Kepler (SN1604)
(ヨハネス・ケプラー)

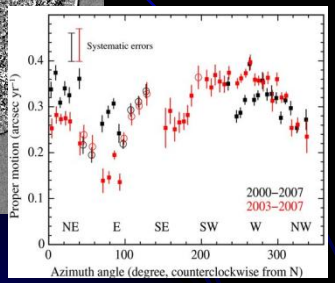
SN1006
(藤原定家)





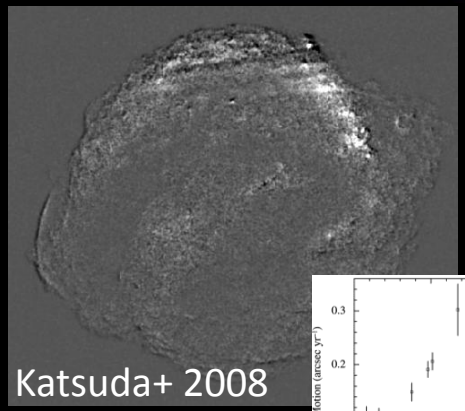
2003-2007

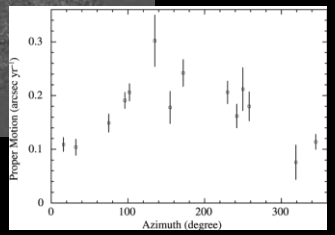




2000-5000 km/s

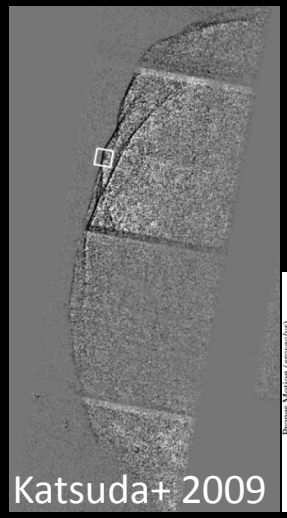
2000-2006

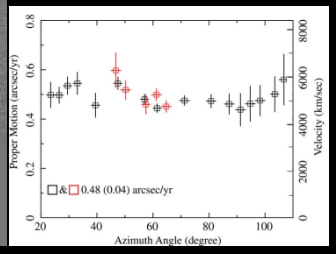




1500-5000 km/s

2000-2009

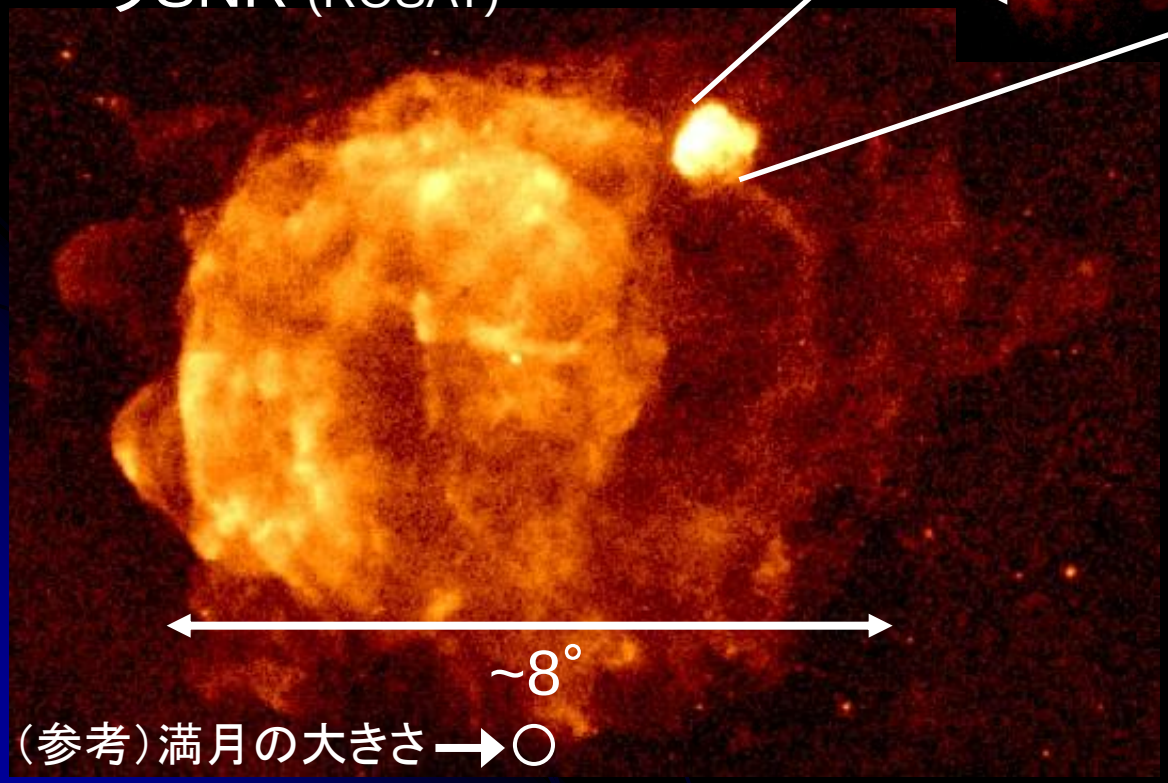


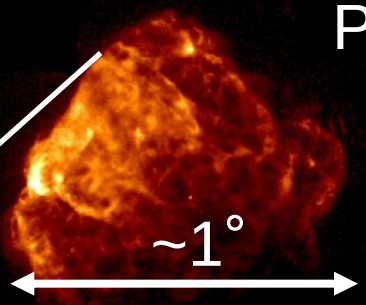


~5000 km/s

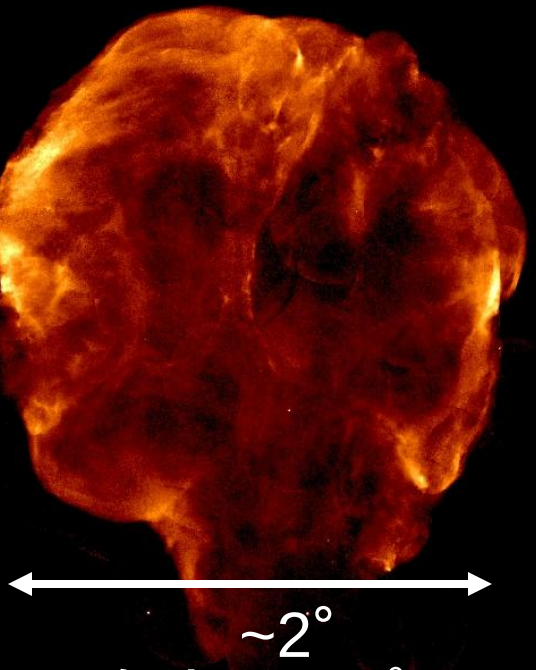
2. 巨大SNRの大規模観測

全天で輝度ベスト3のSNRに着目



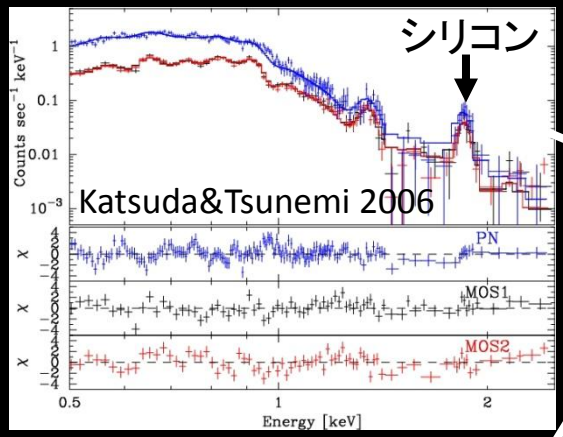


Puppis A SNR
(ROSAT)



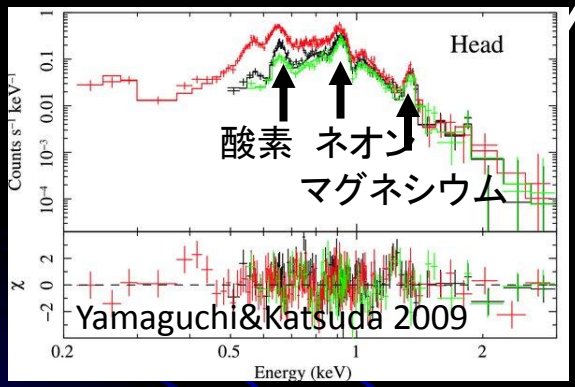
白鳥座ループSNR
(ROSAT)

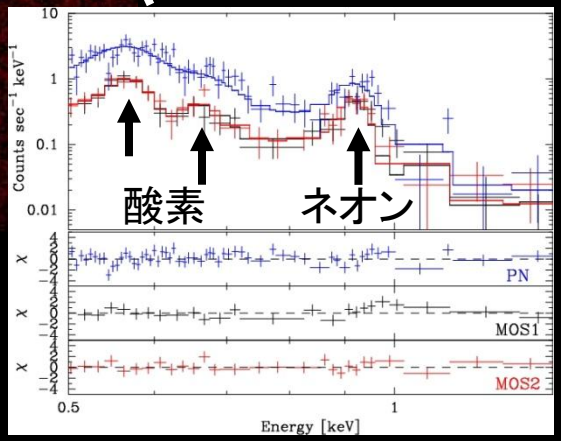
2.1 ベラ周辺の破片構造の観測



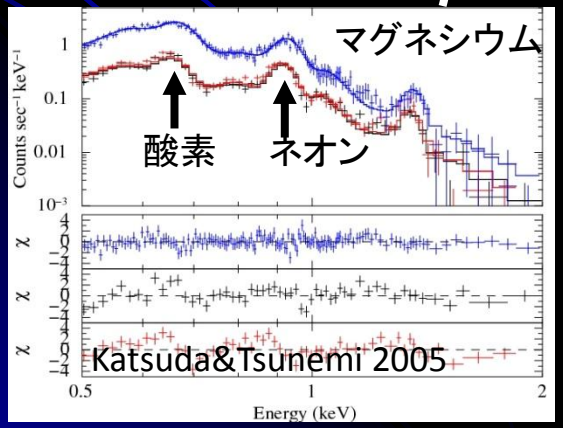
○ ニュートンの視野
□ すざくの視野

画像は「ローサット」による



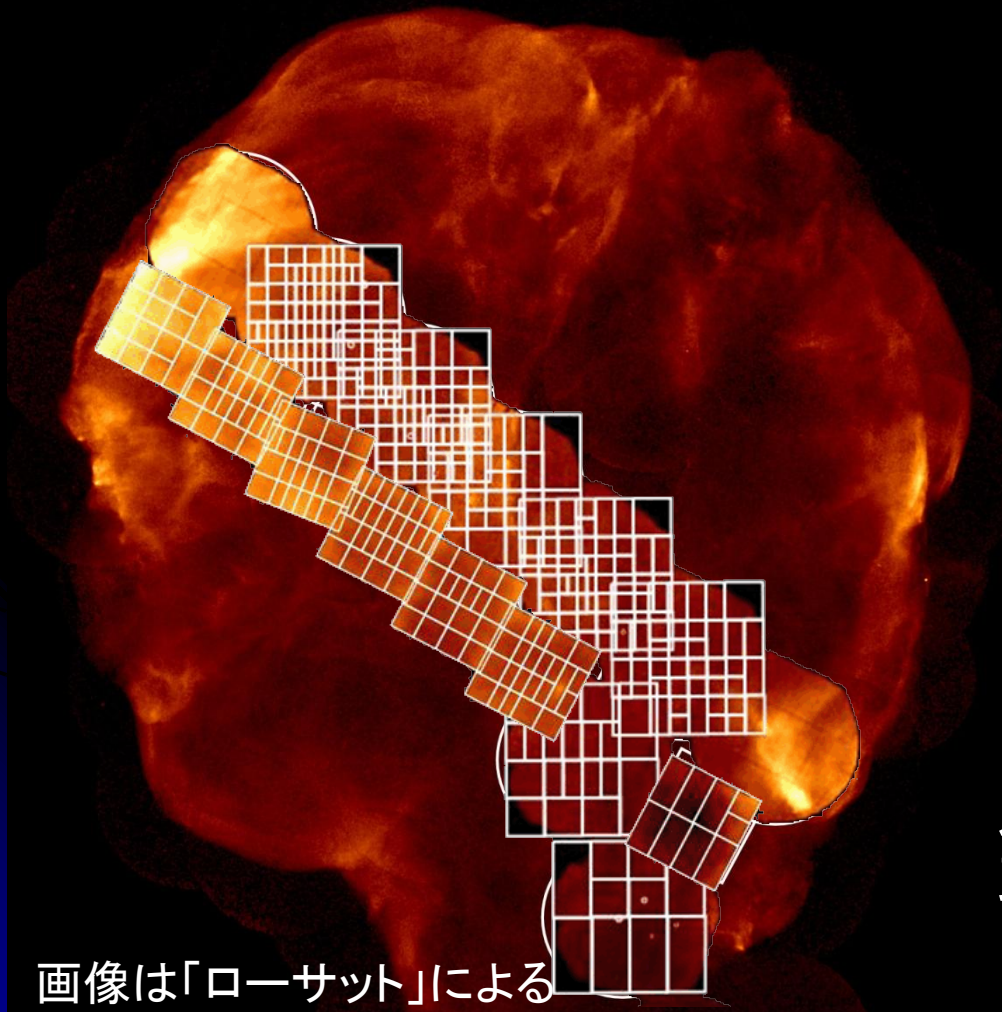


Katsuda PhD thesis 2008



重元素に富んでいることを見出し、真に星の破片であることを明らかにした。

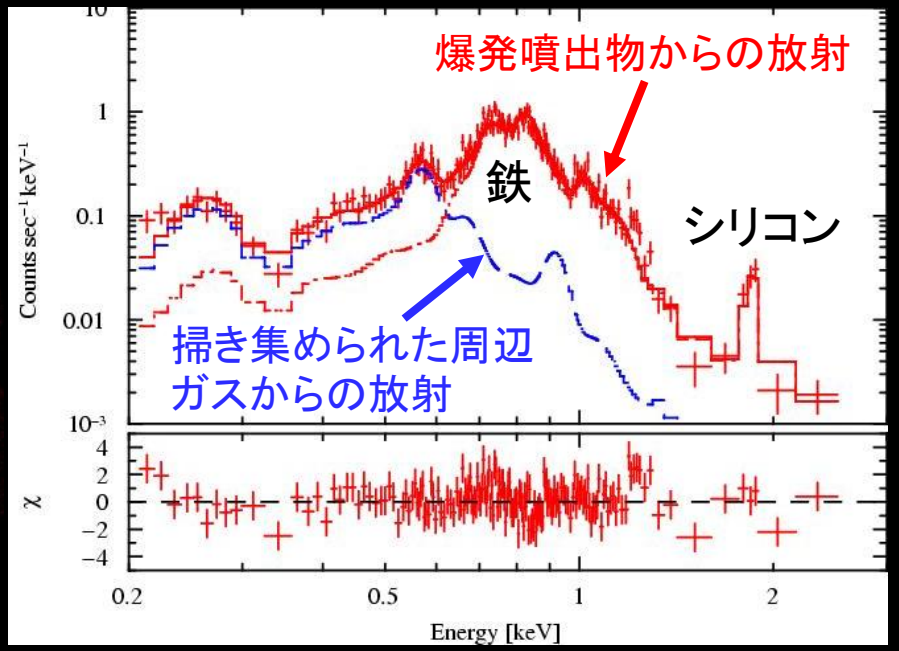
2.2 白鳥座ループ内部の詳細解析



画像は「ローサット」による

□：Suzaku ○：XMM-Newton

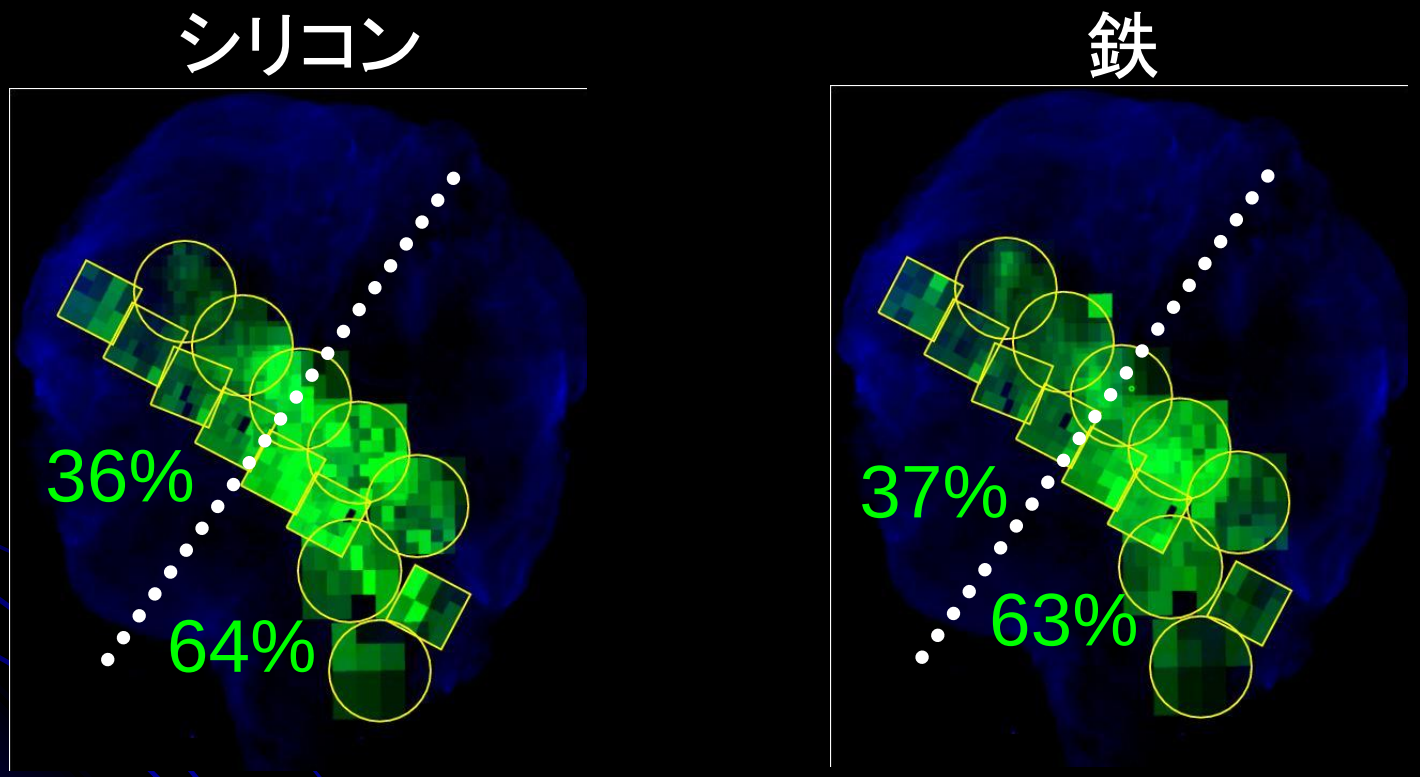
Tsunemi+2007; Katsuda+2008; Katsuda PhD thesis 2008



全てのスペクトルを二成分モデルでフィット。

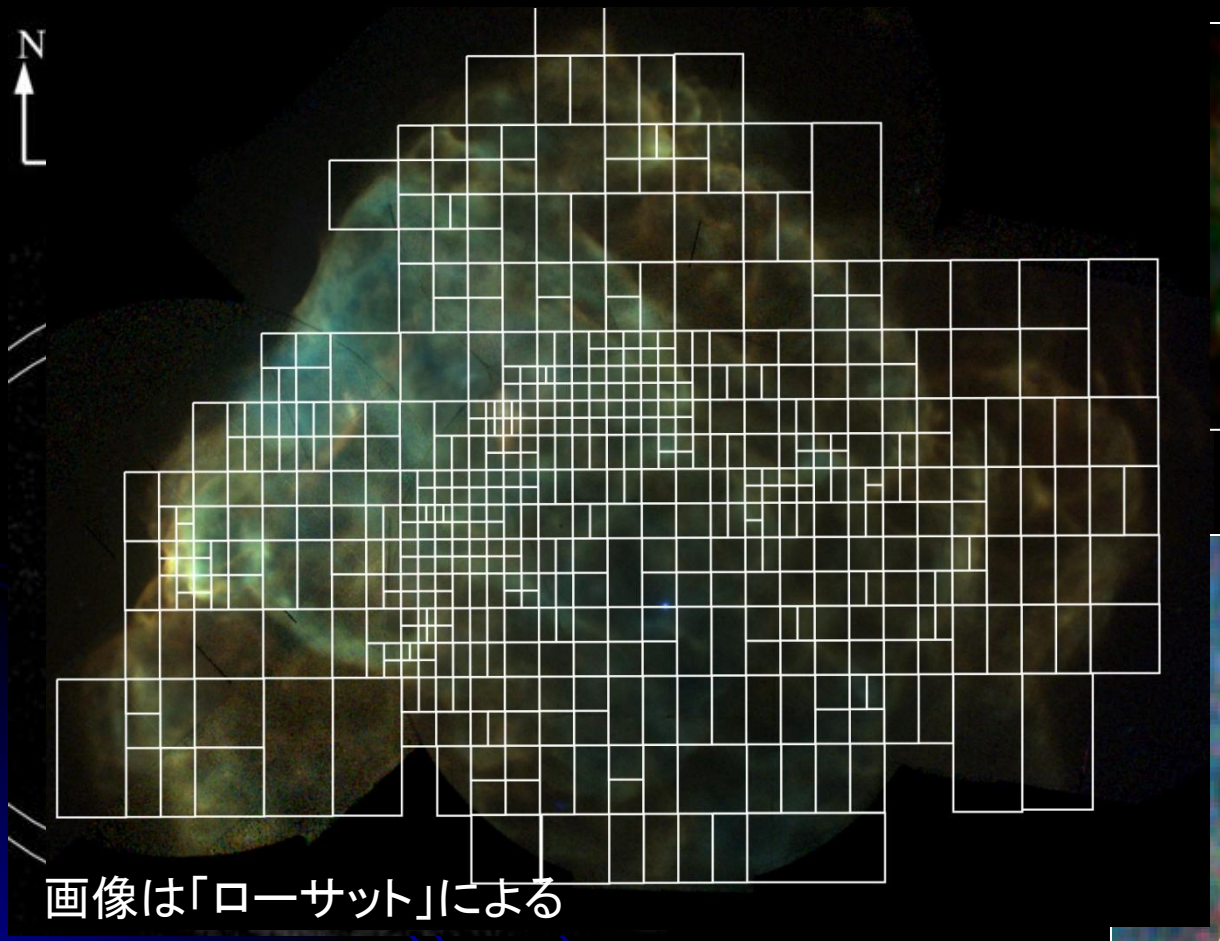
⇒爆発噴出物の分布を調査。

2.2 非一様な爆発噴出物



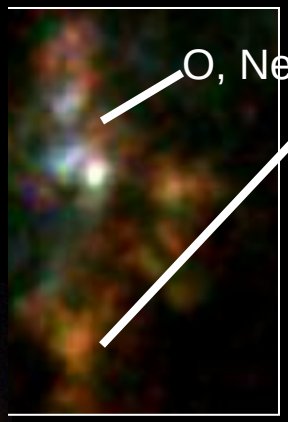
シリコンと鉄は1:2（北：南）で非対称に分布

2.3 Puppis Aの詳細解析



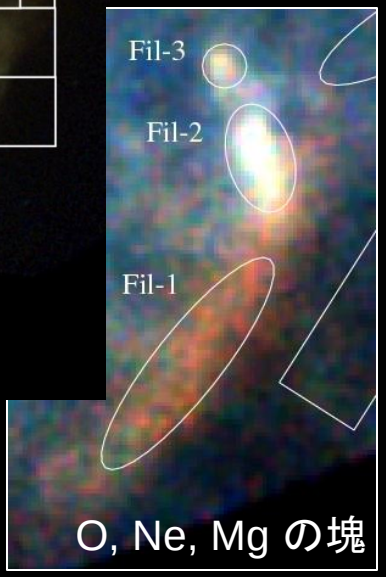
画像は「ローサット」による

星間物質が支配的



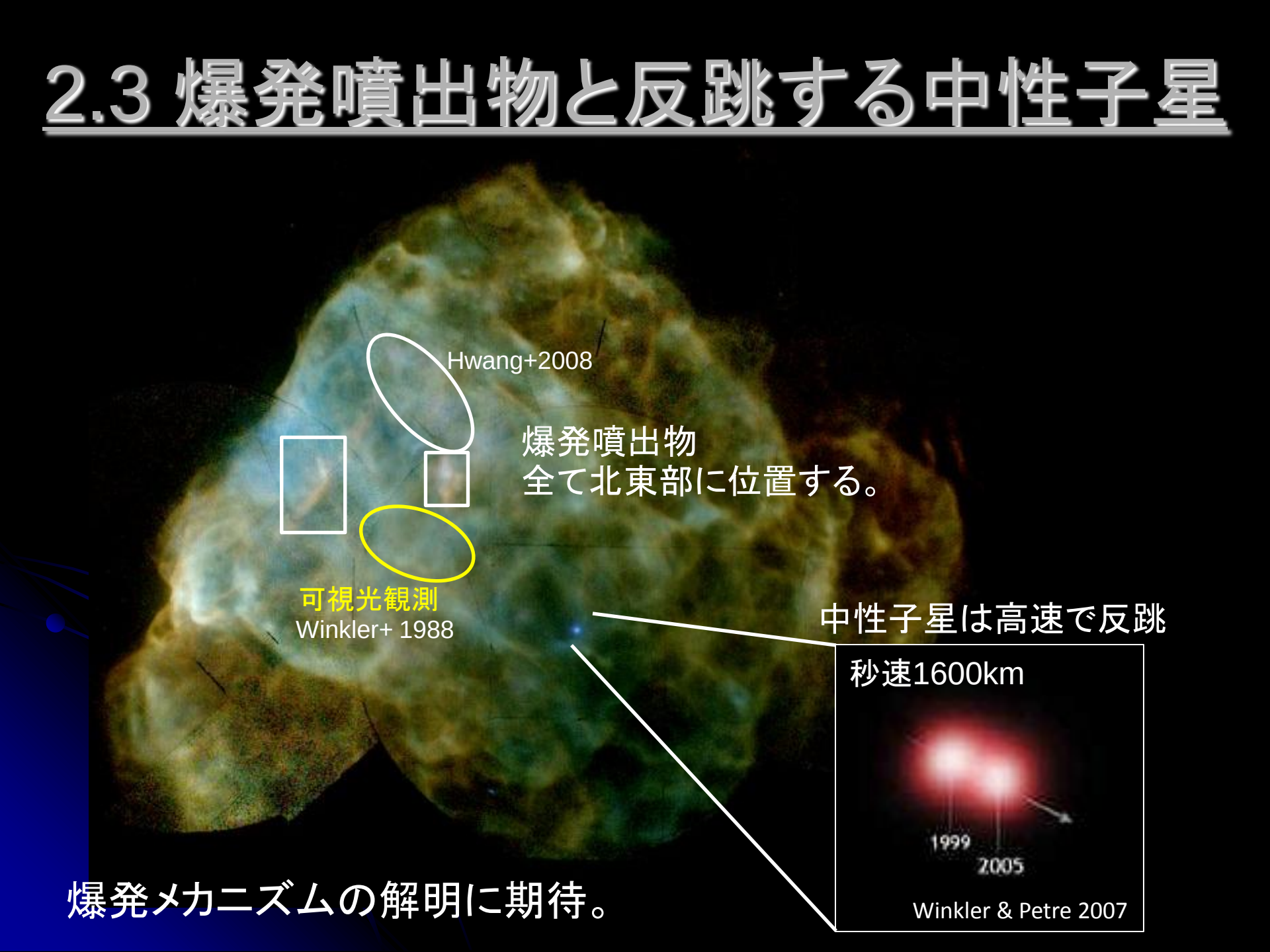
Katsuda+ 2008

特性X線のドップラーシフトを発見。~2000km/s でこちらに向かって飛んでいることが判明。



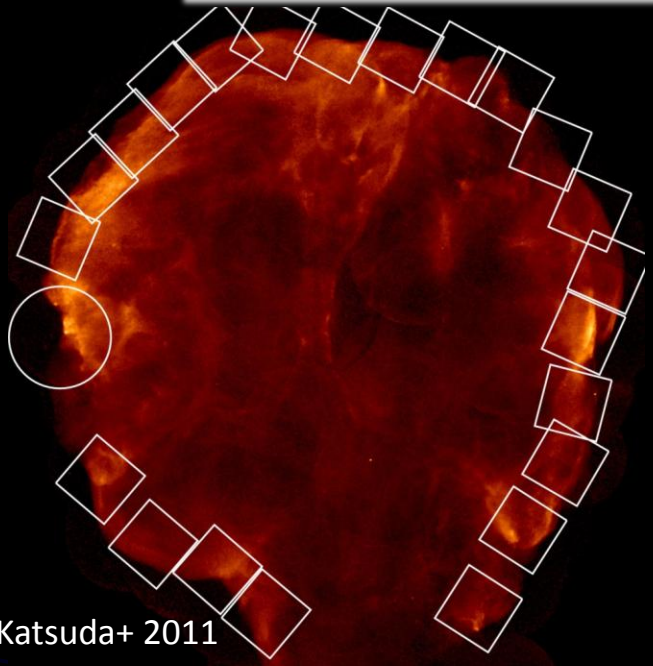
Katsuda+ 2010

2.3 爆発噴出物と反跳する中性子星



爆発メカニズムの解明に期待。

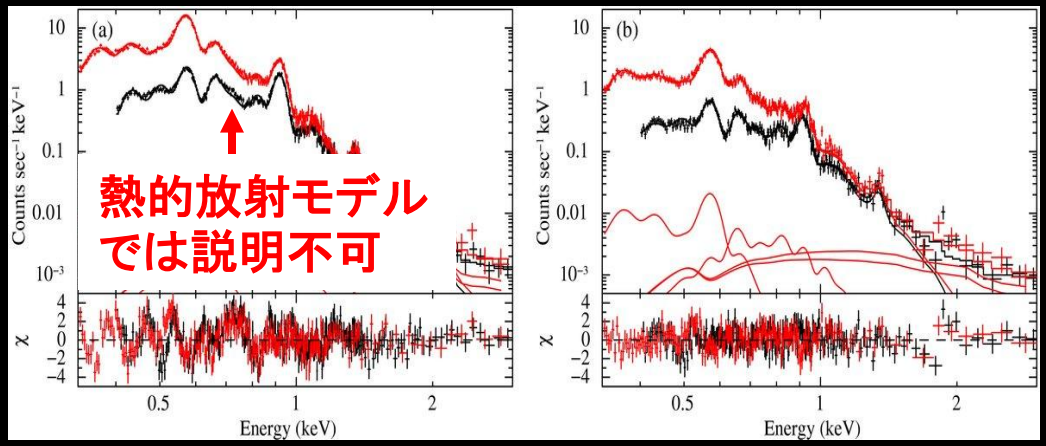
3. 電荷交換反応X線を初検出



Katsuda+ 2011

白鳥座ループ外縁領域を「すざく」と「ニュートン」で網羅的に観測

一部のスペクトル　　典型的なスペクトル



電荷交換反応「$O^{7+} + H \rightarrow O^{6+} + p$」に由来するヘリウム様酸素からの特性X線と提唱した。

SNRから初検出

「電荷交換X線」
中性ガスと高階電離プラズマの接触面で必ず発生。地上実験や彗星（その大気と太陽風の接触面）などでは普通に観測されている。

彗星「百武」(Lisse+ 1996)
等高線がX線（電荷交換由来）、画像は可視光

SNRの電荷交換X線から、無衝突衝撃波や粒子加速の物理を解き明かしていきたい。

まとめ

X線天文衛星「チャンドラ」、「ニュートン」、「すざく」を駆使し、以下の成果を得た。

1. SNRの膨張を世界に先駆けて測定し、SNRの運動を明らかにした。
2. 爆発噴出物が非一様に飛散していることを発見した。
3. 電荷交換反応由来のX線を発見した。

謝辞

ご指導頂いた先生方、
「すざく」、「チャンドラ」、「ニュートン」衛星の
開発・運用に携わる皆様、
ご支援頂いた大阪大学、日本学術振興会、
NASA/GSFC、理化学研究所の皆様、
宇宙科学奨励賞を授与下さった
宇宙科学振興会の皆様

に深くお礼申し上げます。