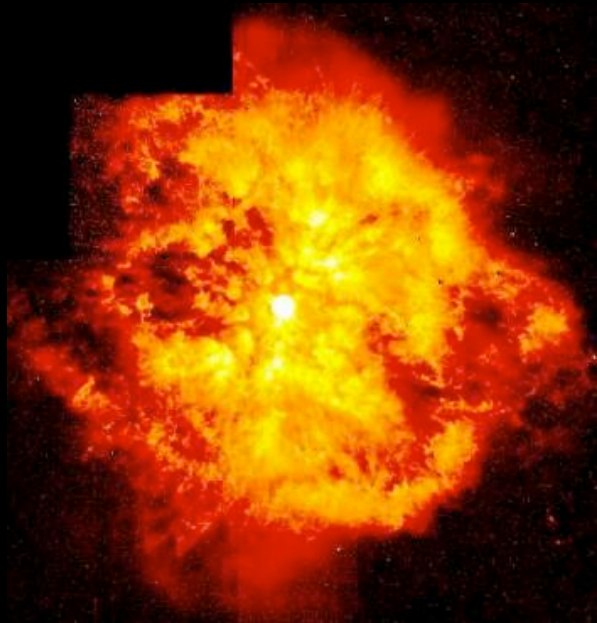
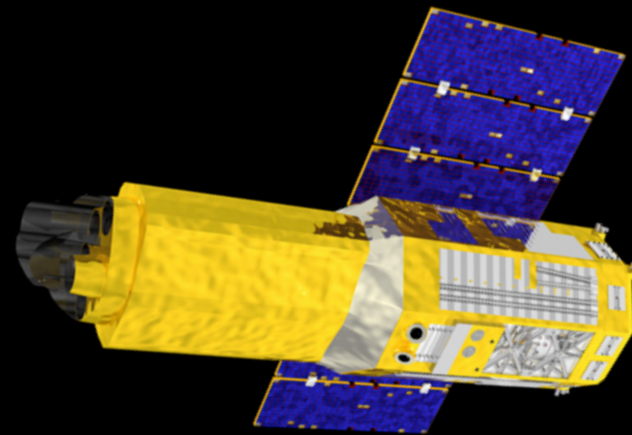


X-ray Study of Stellar Winds with Suzaku



Grosdidier et al. 1998



ISAS/JAXA

兵藤 義明 (京大宇宙線D3)

2009/03/17 高宇連研究会

Contents

- 導入
 - 星風とは
 - 星風からのX線放射機構
 - X線分光観測の意義
- 解析と議論
 - M17
 - Carina Nebula
- まとめ

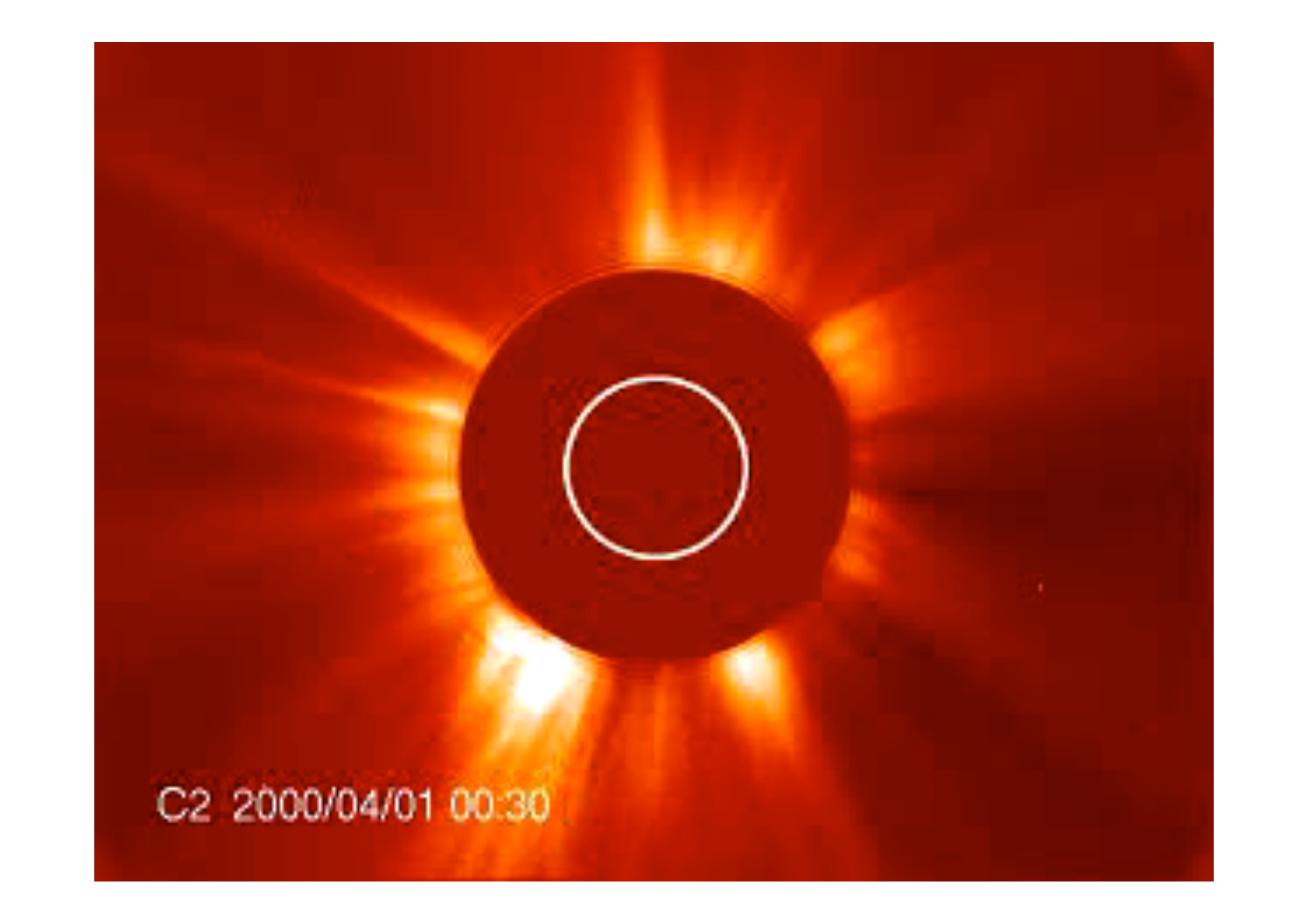
導入

星風とは

- 恒星からの (比較的) 安定した質量放

星風のtype	星のtype	dM/dt	駆動力
コロナ型	小質量星	10^{-14} Mo/yr (太陽)	熱運動
放射圧型	大質量星	$10^{-6} - 10^{-4} \text{ Mo/yr}$	光子

- UV光子から外向きの運動量を獲得し、超音速 ($\sim 2000 \text{ km/s}$) に加速。
- 宇宙における化学的・力学的進化に超新星爆発と同程度の寄与。



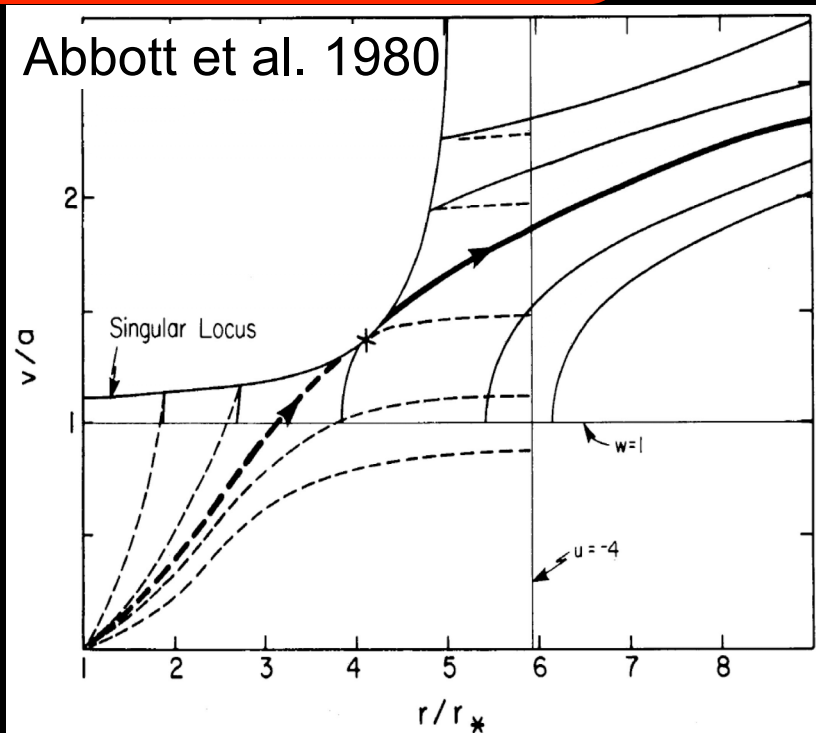
C2 2000/04/01 00:30

星風とは

- 恒星からの (比較的) 安定した質量放

星風のtype	星のtype	dM/dt	駆動力
コロナ型	小質量星	10^{-14} Mo/yr (太陽)	熱運動
放射圧型	大質量星	$10^{-6} - 10^{-4} \text{ Mo/yr}$	光子

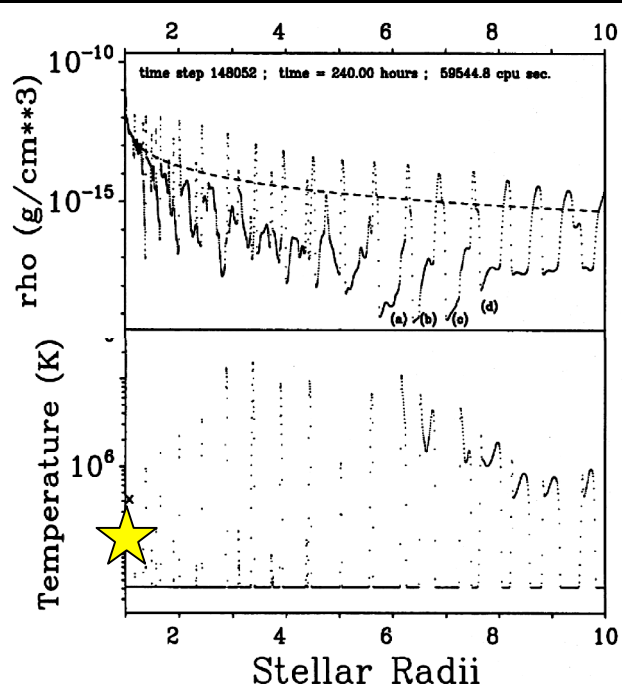
- UV光子から外向きの運動量を獲得し、超音速 ($\sim 2000 \text{ km/s}$) に加速。
- 宇宙における化学的・力学的進化に超新星爆発と同程度の寄与。



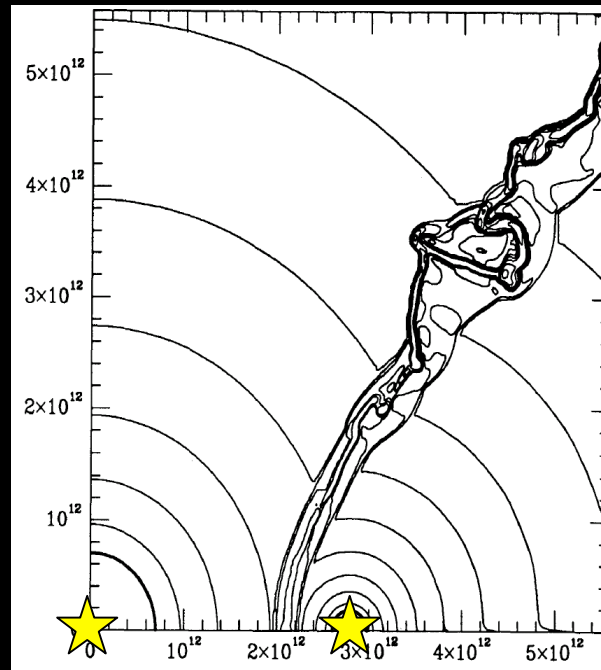
星風衝撃波

- 超音速の星風は様々な過程で衝撃波を形成

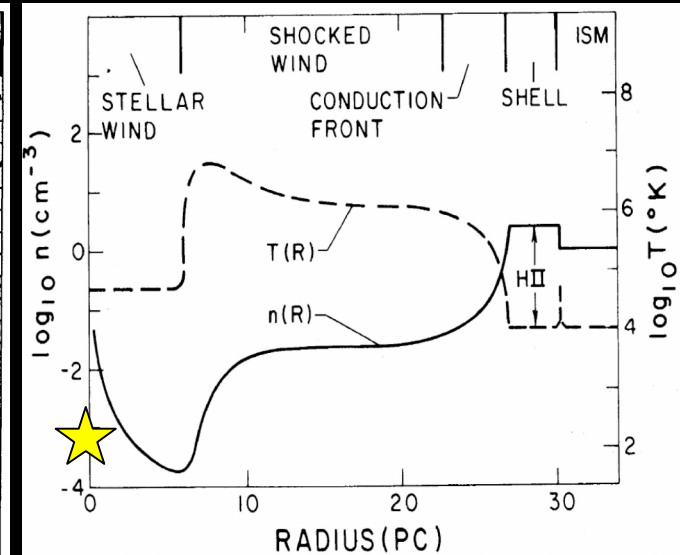
	流体不安定性	星風-星風衝突	星間物質と衝突
log T (K)	7	7.5	6.5
log R (cm)	13	13-14	19



Feldmeier 1995

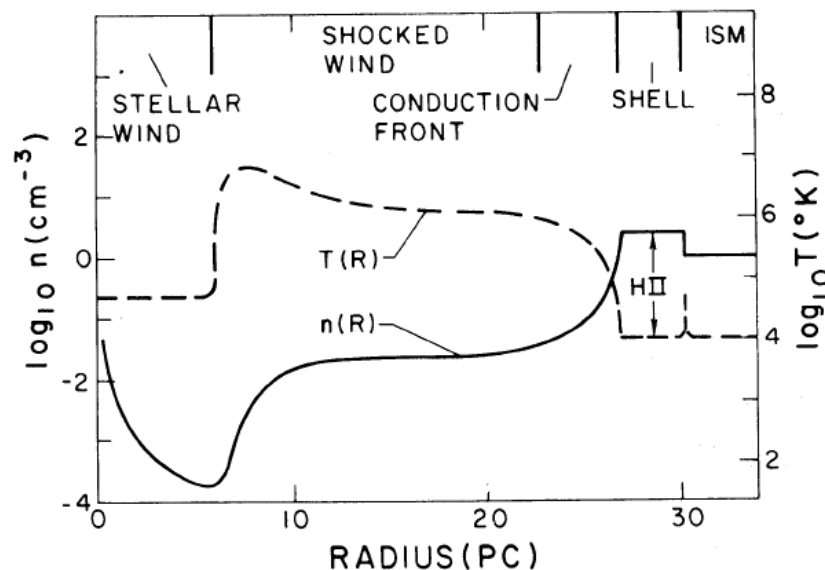
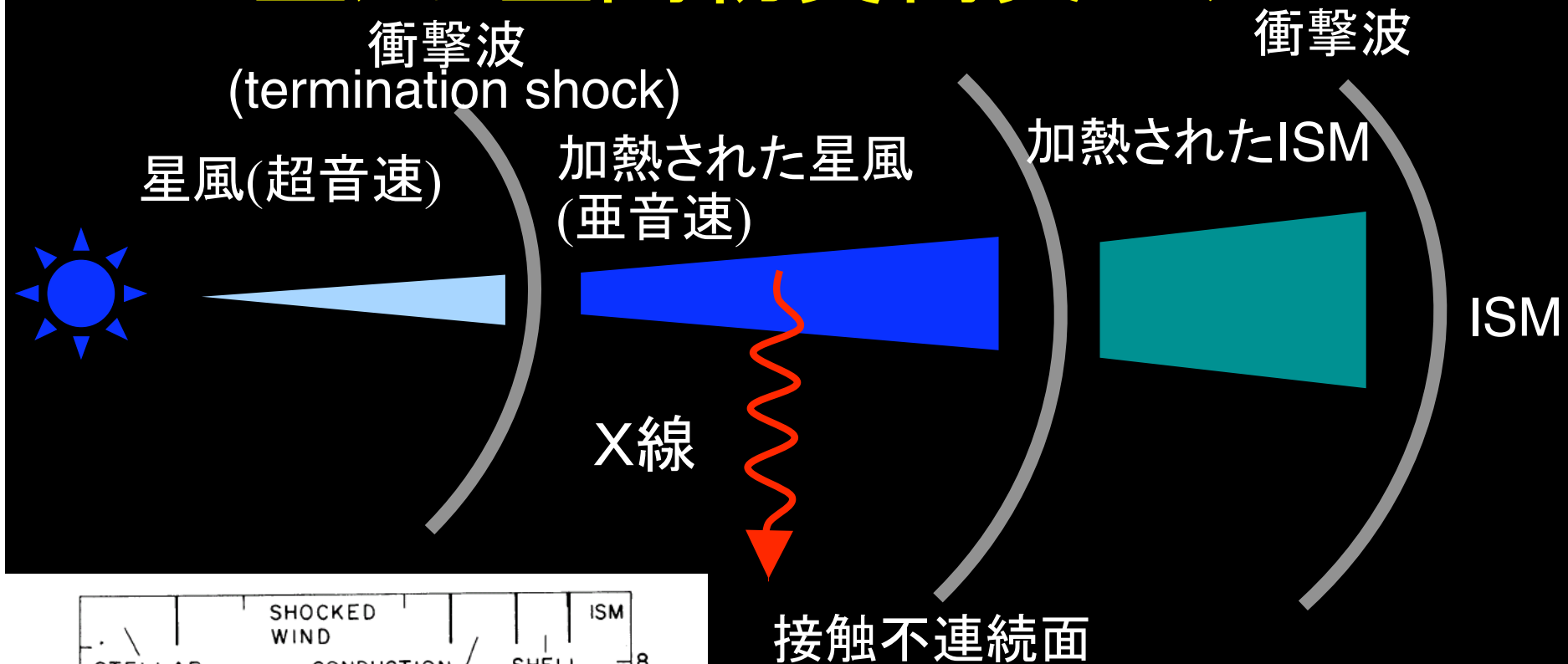


Stevens et al. 1992



Weaver et al. 1977

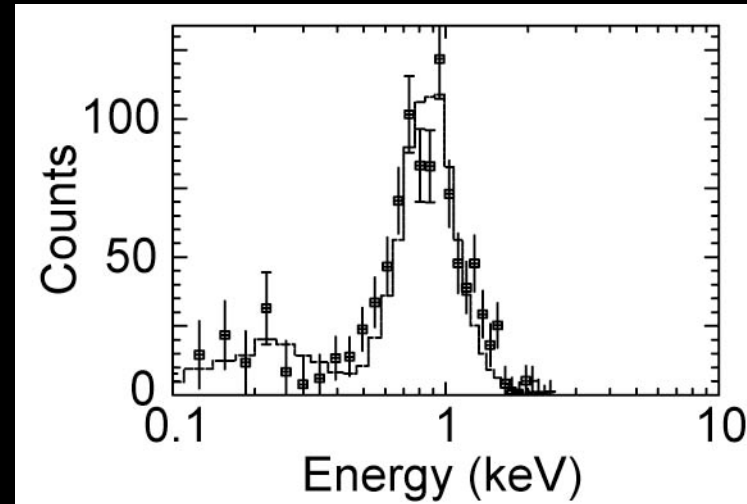
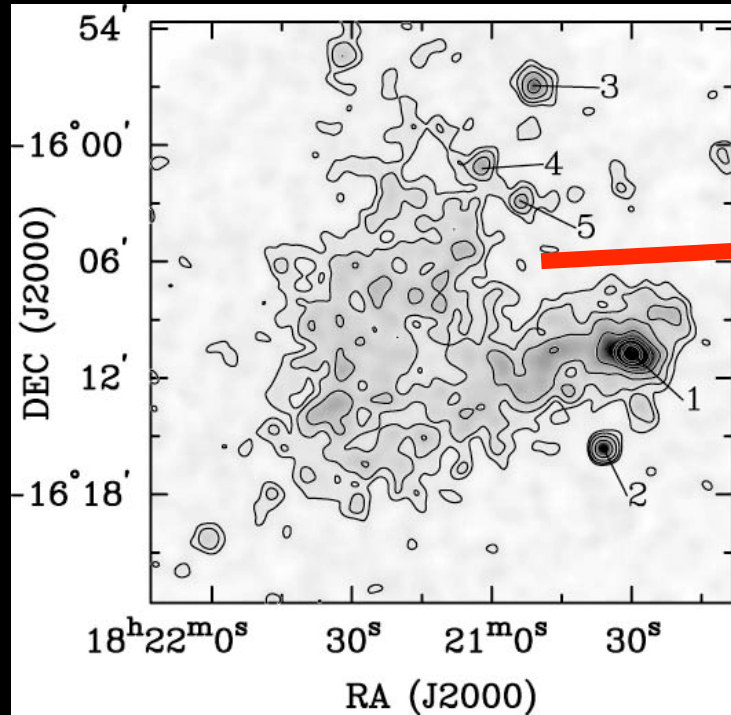
星風-星間物質衝突モデル



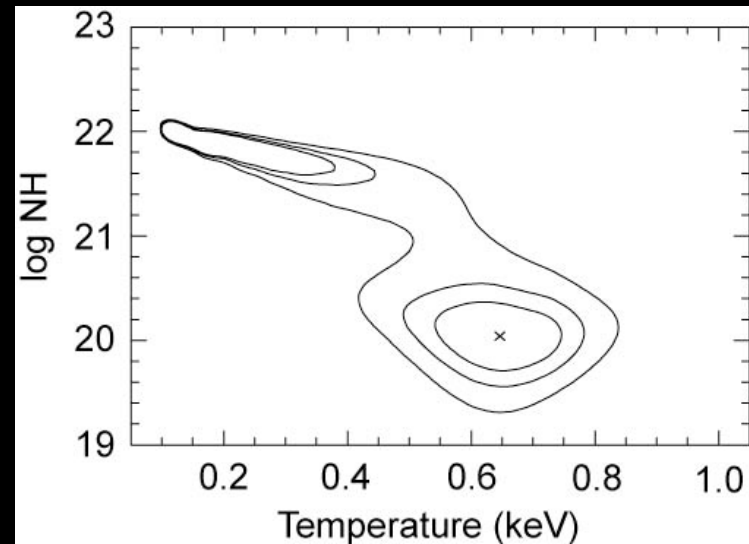
- 広がった ($10'$ @1kpc) 軟X線放射源として観測される。

X線観測

- 2003年、Dunneら (ROSAT) と Townsleyら (Chandra) がHII領域M17から広がった軟X線放射の検出を報告

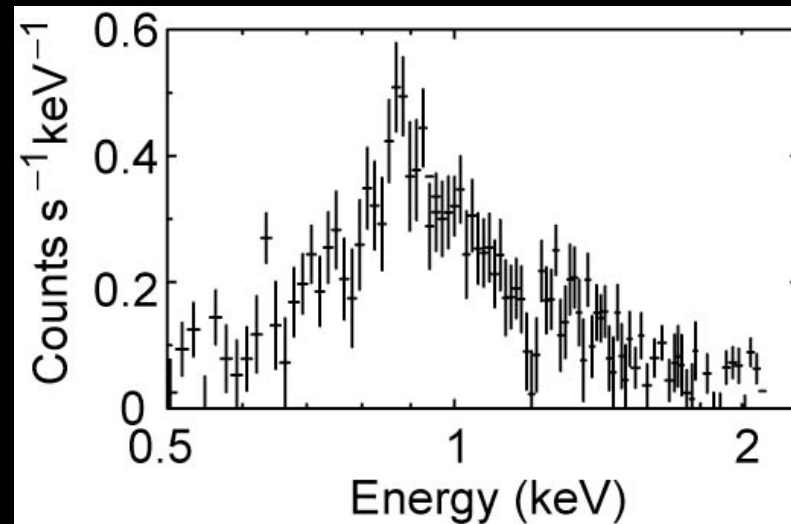
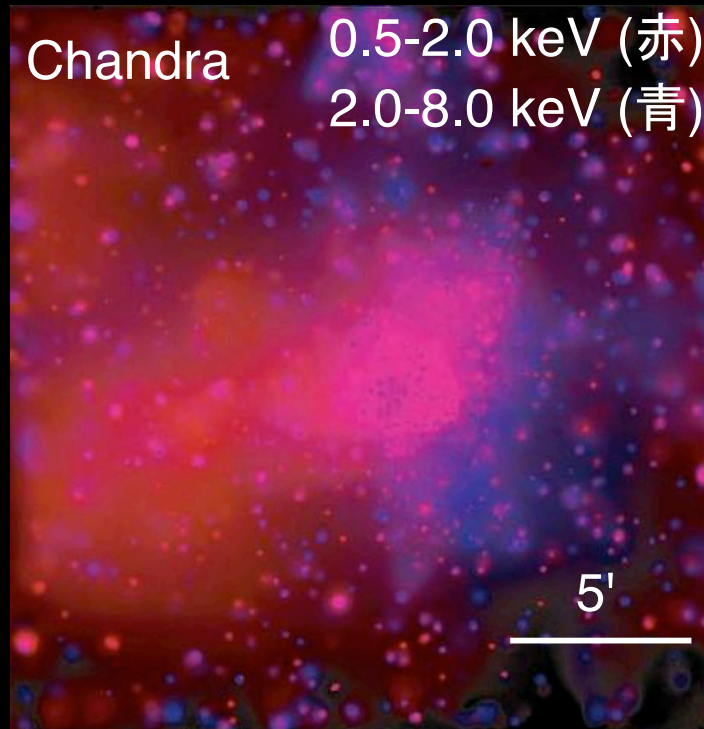


- 放射機構は不明。熱的プラズマを仮定しても吸収と温度が縮退。



X線観測

- 2003年、Dunneら (ROSAT) と Townsleyら (Chandra) がM17星雲から広がった軟X線放射の検出を報告



- 点源の寄与の少ないスペクトル。東部では拡散:点源=10:1
- 放射機構はやはり不明。

- 大有効面積
- 低バックグラウンド
- 高いenergy分解

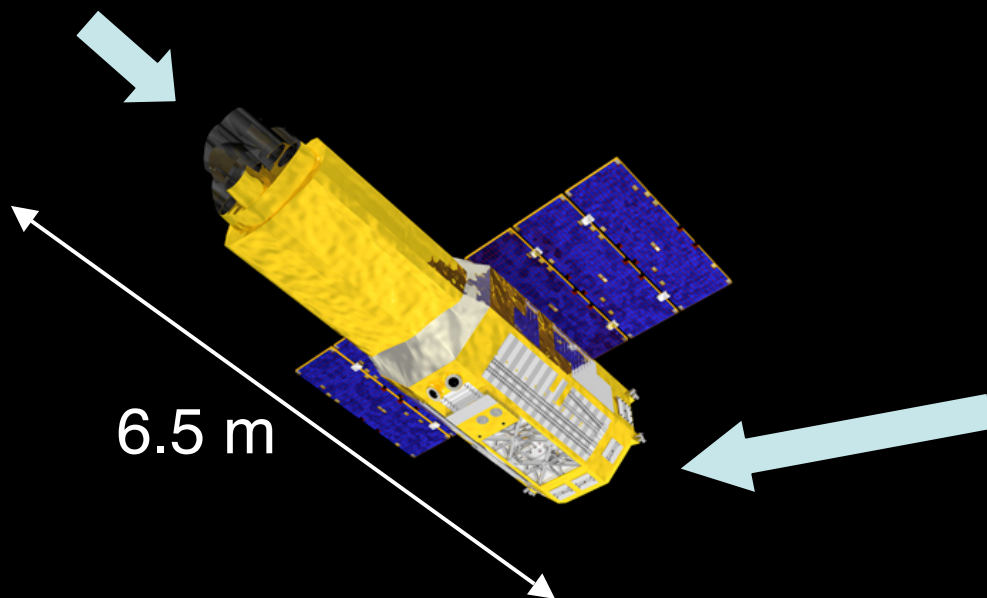
能

すざく衛星

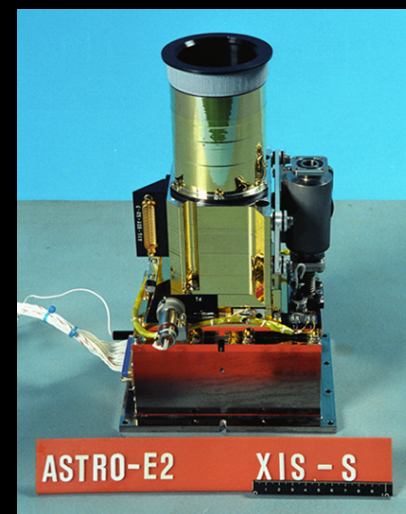


XRT
(X線望遠鏡)

- 日本で5番目のX線天文衛星
- 2005年7月10日鹿児島から打ち上げ
- (XRT+XIS)×4 + HXD
FI×3+BI



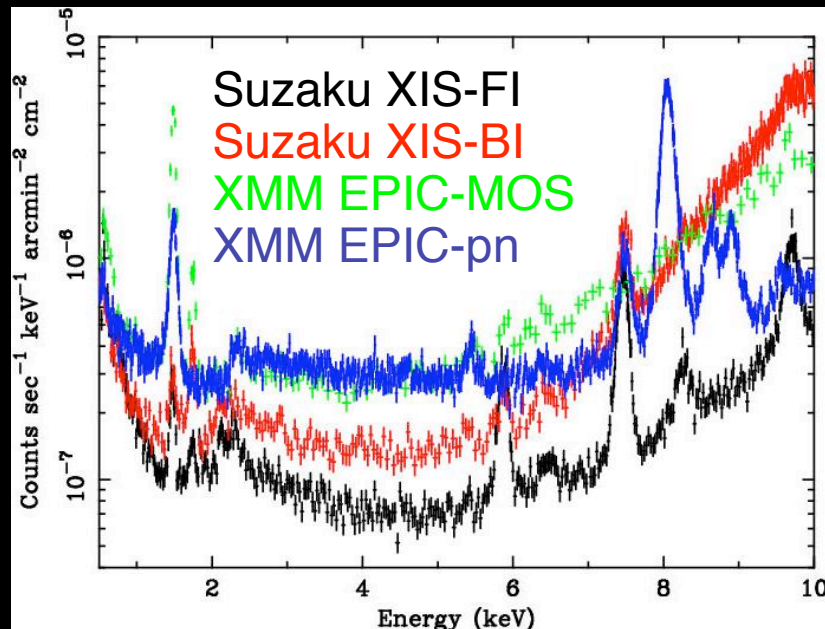
6.5 m



XIS
(X線CCDカメラ)

衛星の性能比較

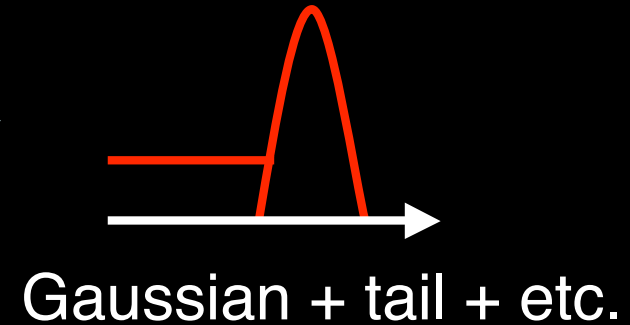
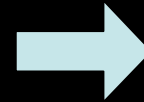
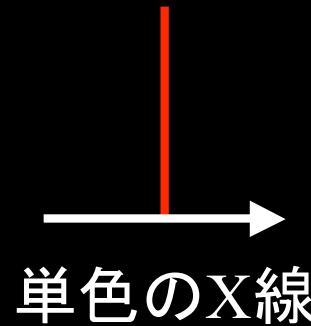
衛星	視野	有効面積 (cm ²)		角度 分解能
		@1keV	@8keV	
Suzaku	18'×18'	1000	500	2'
Chandra	17'×17'	600	40	0."5
XMM-Newton	d ~ 30'	1800	600	15"



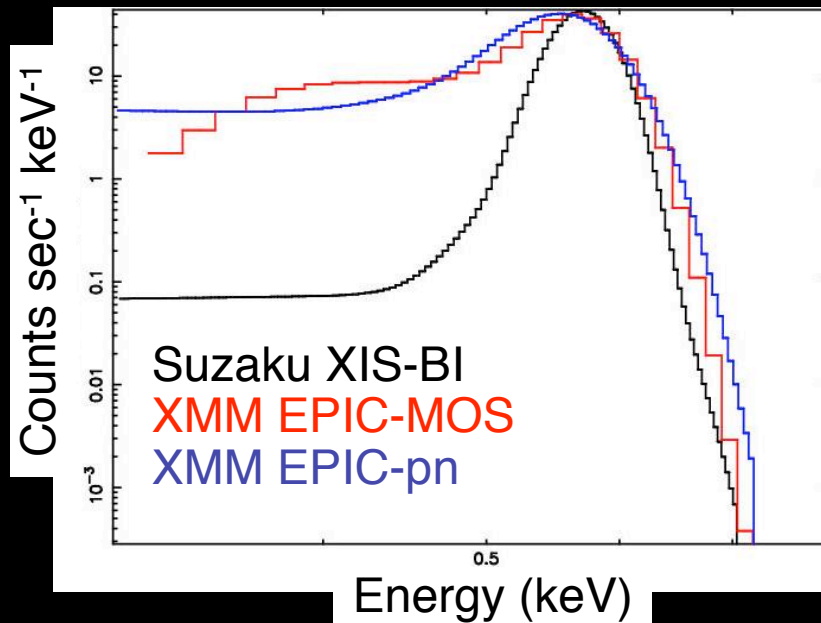
- ・ 広がった天体に対するバックグラウンドレベルが平均的に低い
- ・ 軌道が円に近いためバックグラウンドが安定している。

XISの応答関数

検出器の応答
(Response func.)



0.57 keV輝線に対する応答



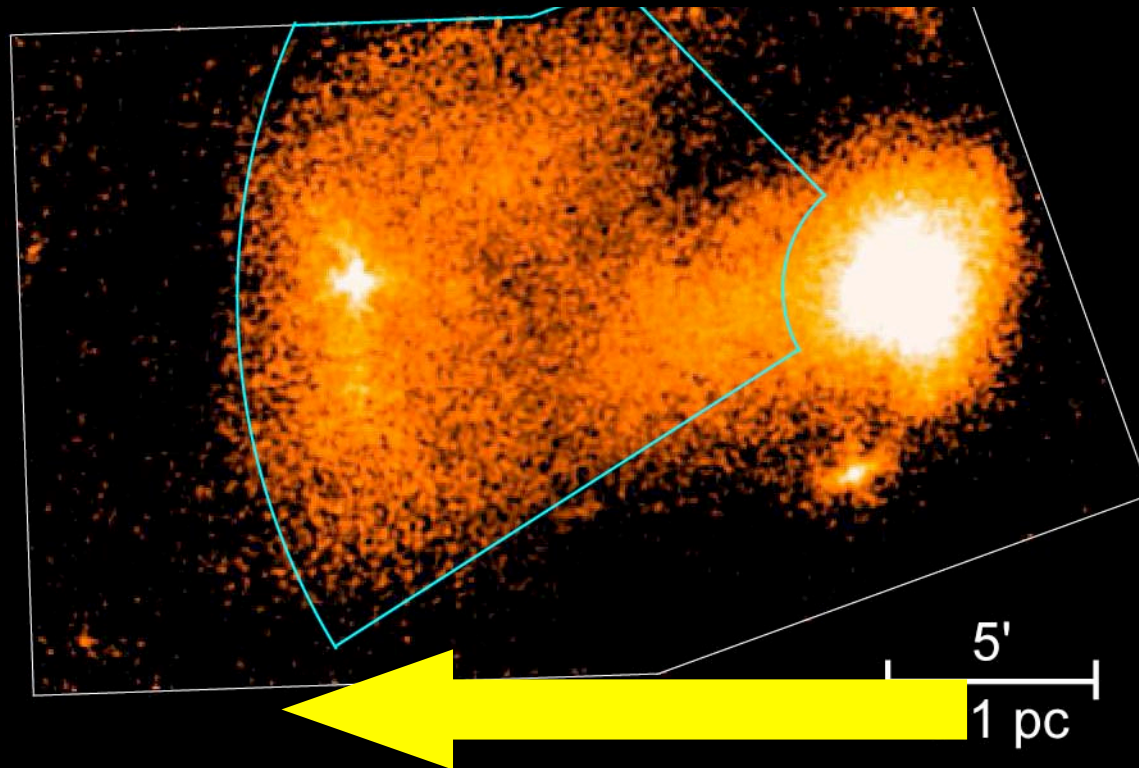
- 輝線と連続スペクトルの切り分けが容易
- 強い輝線のすぐ下にある弱い輝線を検出可能

解析と議論

M17 (1)

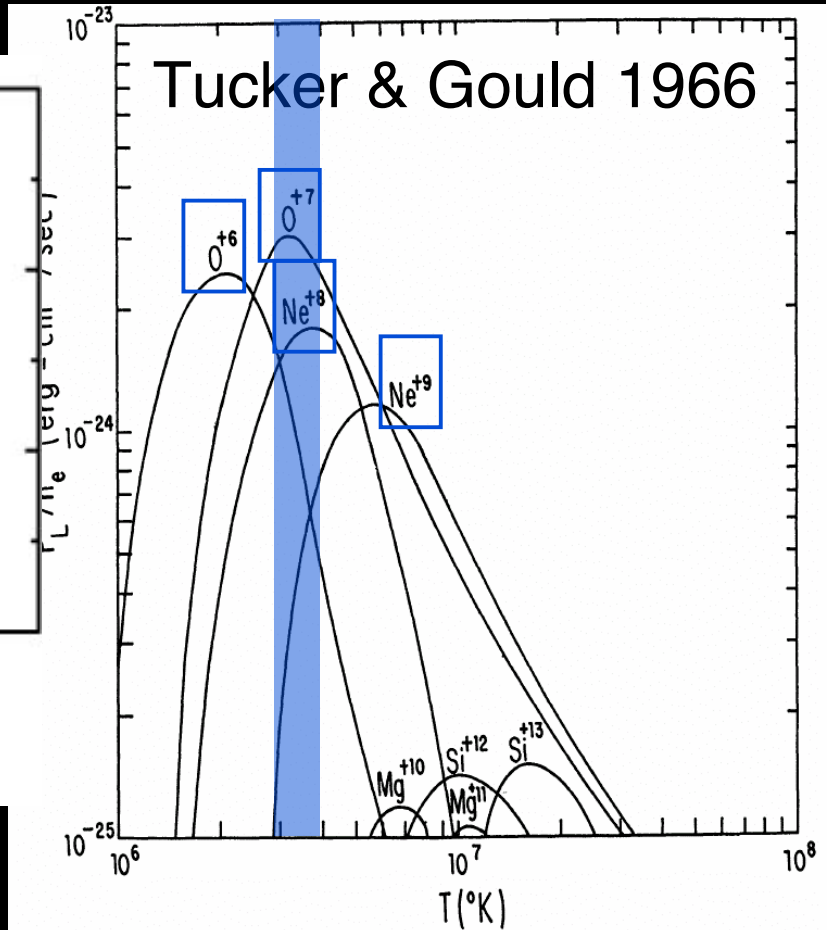
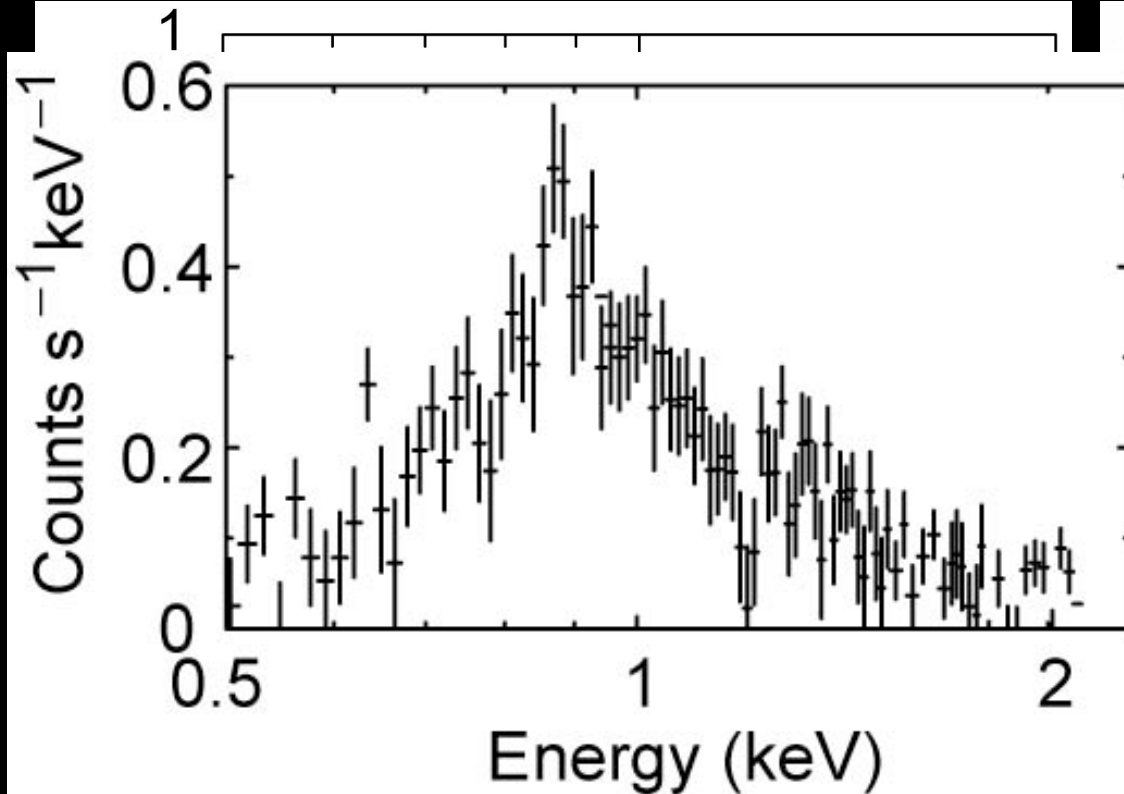
0.5–2.0 keV

ジェット? !



- 距離2.1 kpc、年齢100万年、53個のOB星が作る星雲
- 2視野を計64時間観測。広がった放射のほぼ全体を捉えた

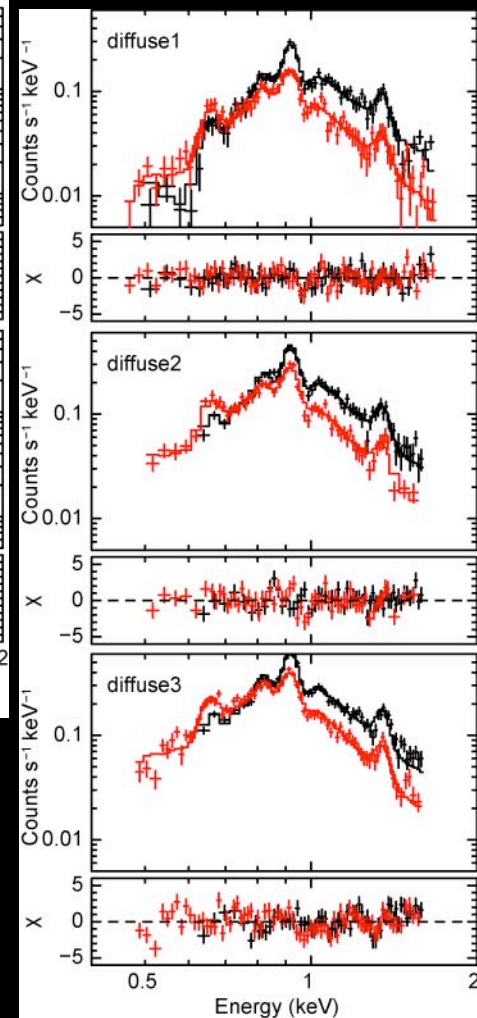
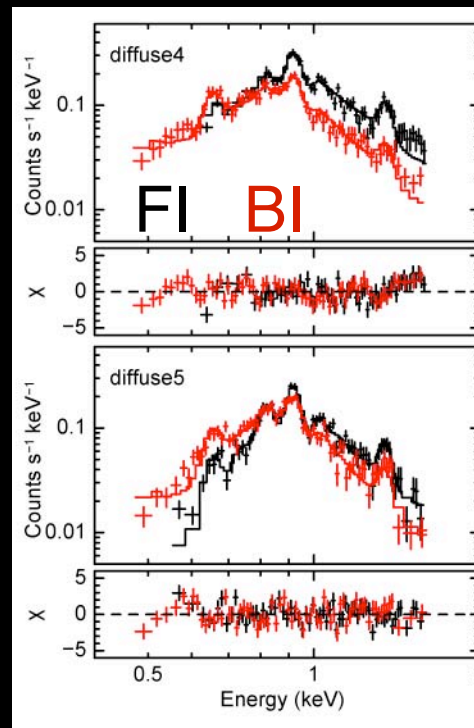
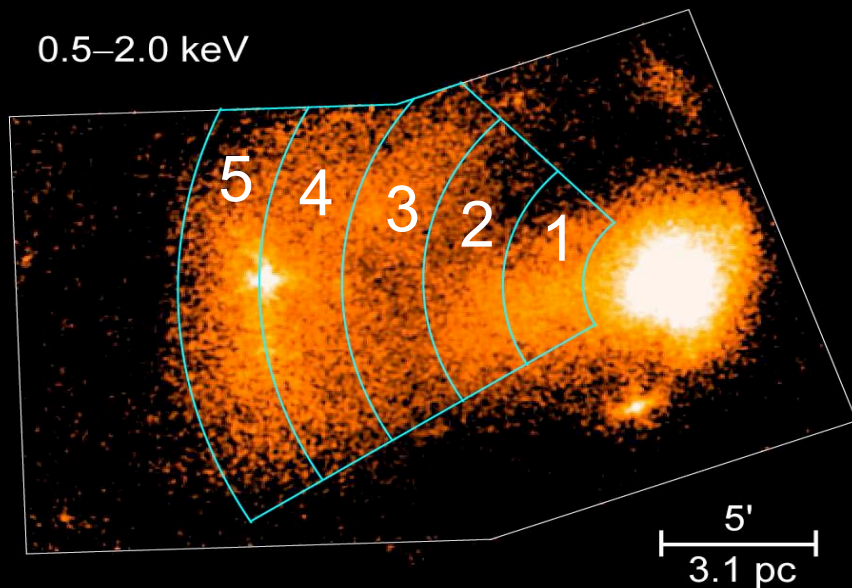
M17 (2)



- X線の起源は光学的に薄い高温プラズマ
- 温度は300万K (0.25 keV) ぐらい。

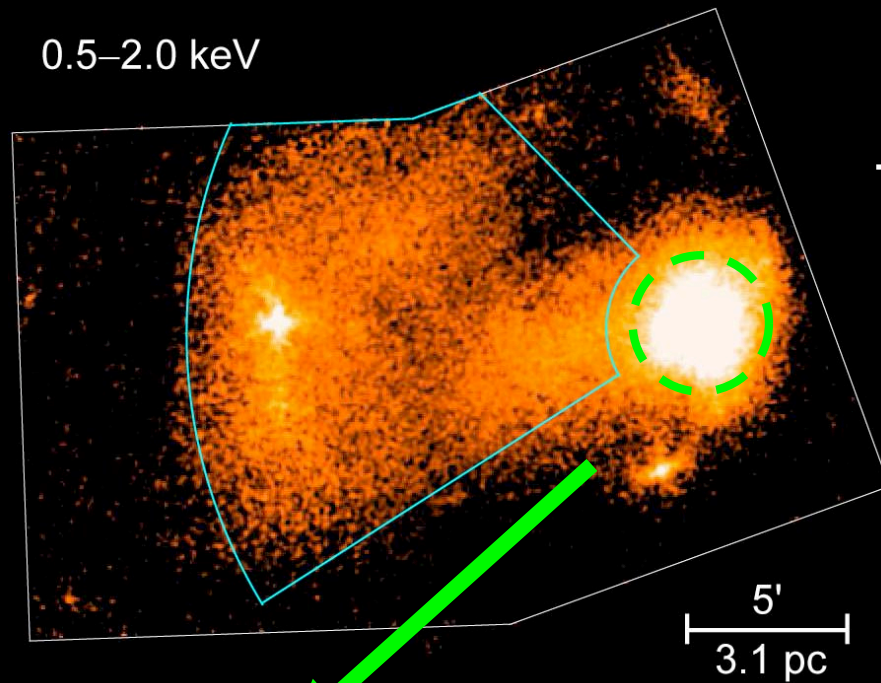
M17 (3)

0.5–2.0 keV



	1	2	3	4	5	typical error
kT (keV)	0.23	0.24	0.23	0.24	0.25	0.01
$N_H(10^{21} \text{ cm}^{-2})$	5.3	4.4	4.1	4.0	4.0	0.2
O/Fe (solar)	0.8	0.6	0.7	0.6	0.8	0.1

M17 (4)



$$f=1 \left\{ \begin{array}{l} \cdot EM \sim 10^{58} \text{ cm}^{-3} \\ \cdot V \sim 100 \text{ pc} \\ \cdot n_e \sim 1 \text{ cm}^{-3} \\ \cdot M \sim 2 M_{\odot} \end{array} \right.$$

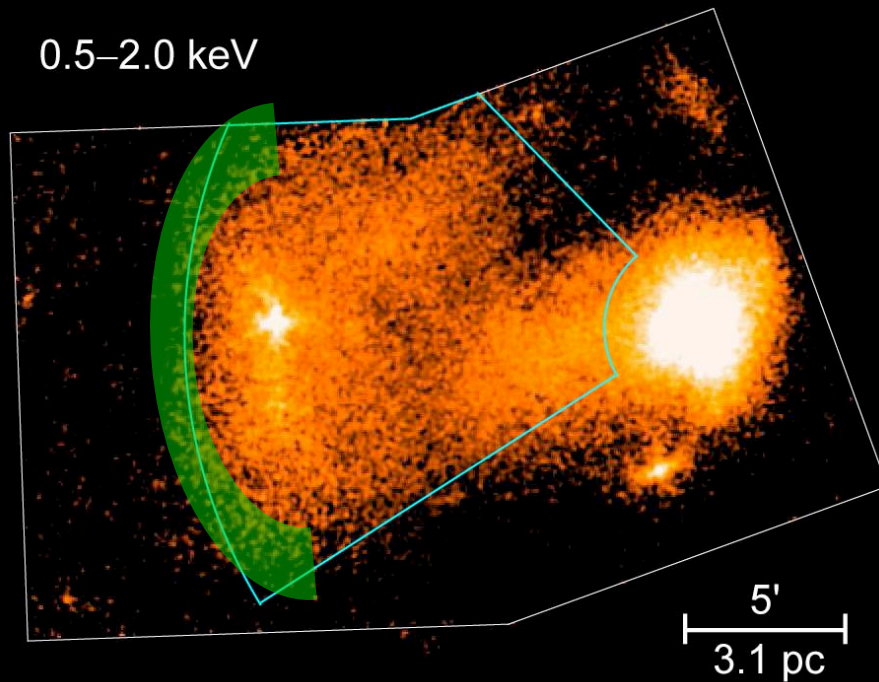
残りのプラズマ
はどこへ？

$$M_{\text{tot}} = \dot{M}_{\text{tot}} \times \tau_{\text{sys}} \sim 3 \times 10^{-5} \times 10^6 = 30 M_{\odot}$$

$$\tau_{\text{rad}} (10^7 \text{ yr}) \gg \tau_{\text{cond}} (30 \text{ yr})$$

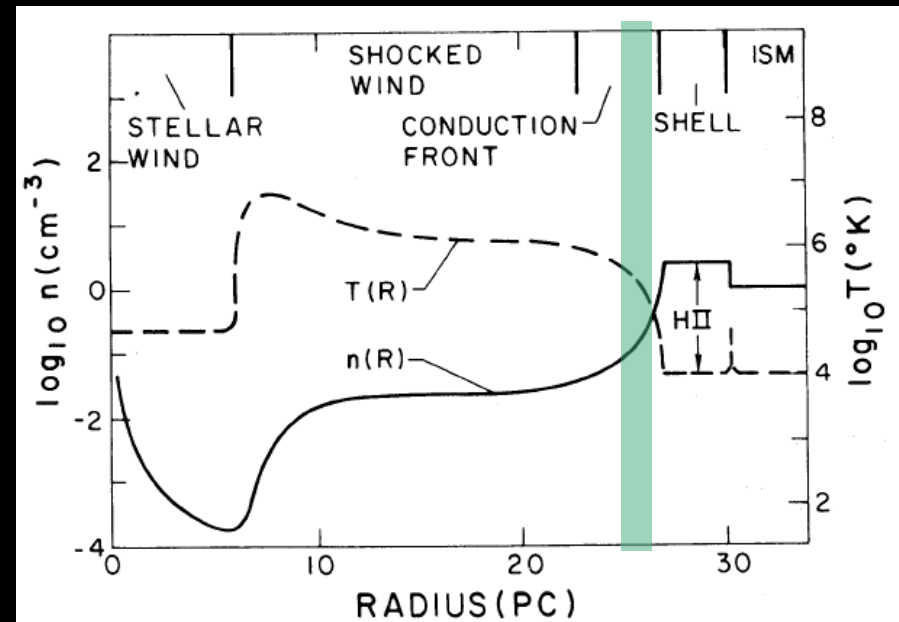
→ 星間物質との接触領域はすぐに冷える。

M17 (5)

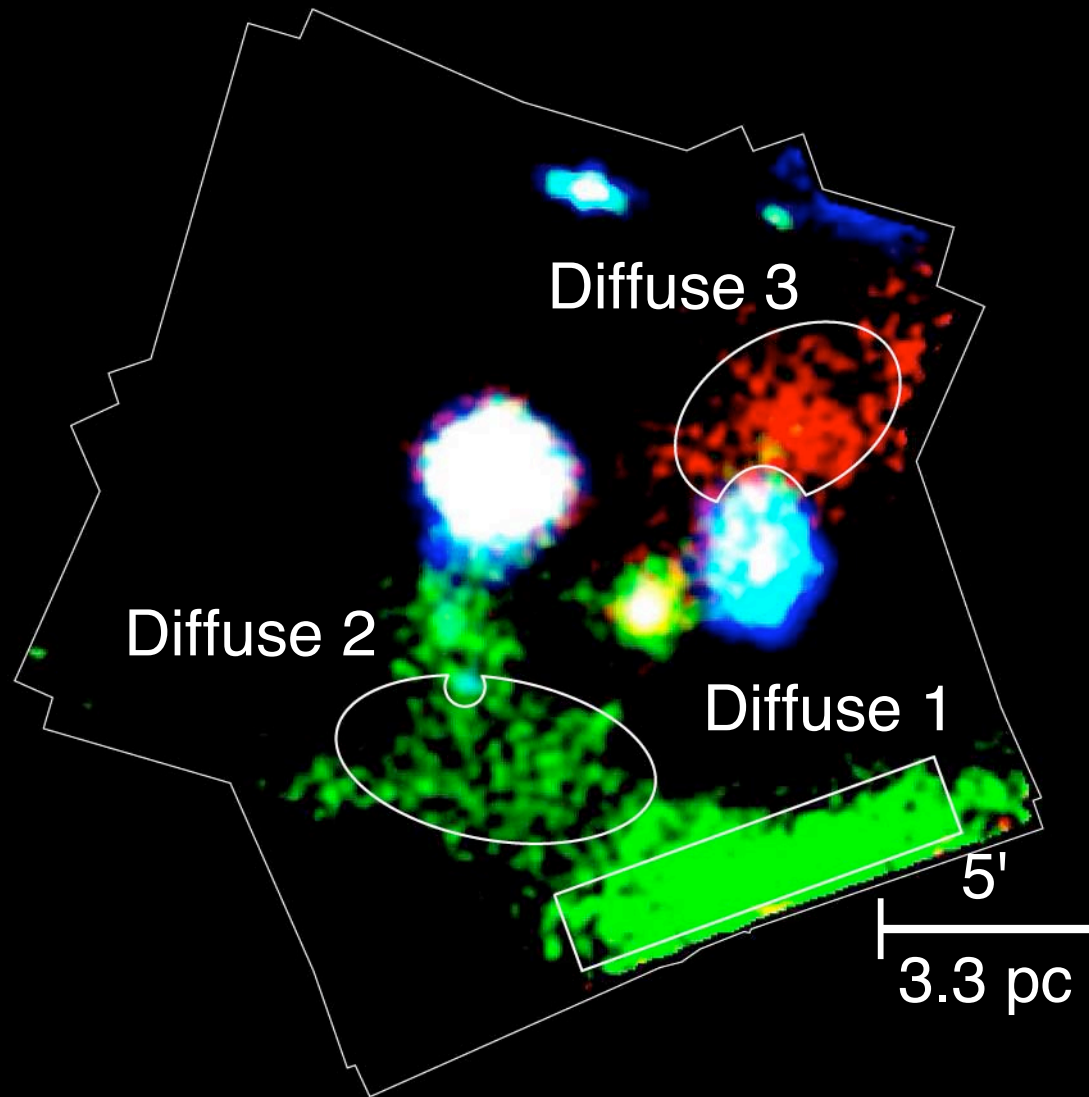


古典的な理論に則った
星風 bubbleの
初めての観測例

- 熱伝導によって冷えた領域は
~10 km/sで厚みを増す。
- ×年齢(1 Myr)~a few pc
- プラズマの温度はプラトー状の
構造のあと急激に小さくなる。

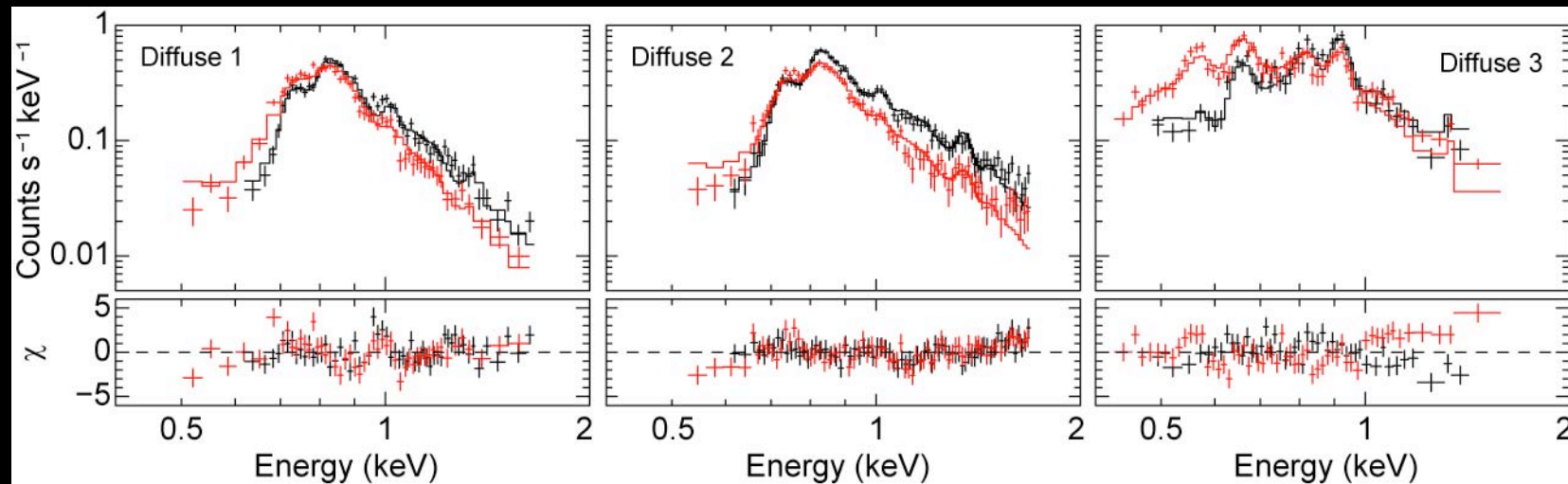


カリーナ星雲 (1)



- 距離2.3 kpc
- 年齢3 Myr
- 60個のO型星
- 計52時間観測

カリーナ星雲 (2)

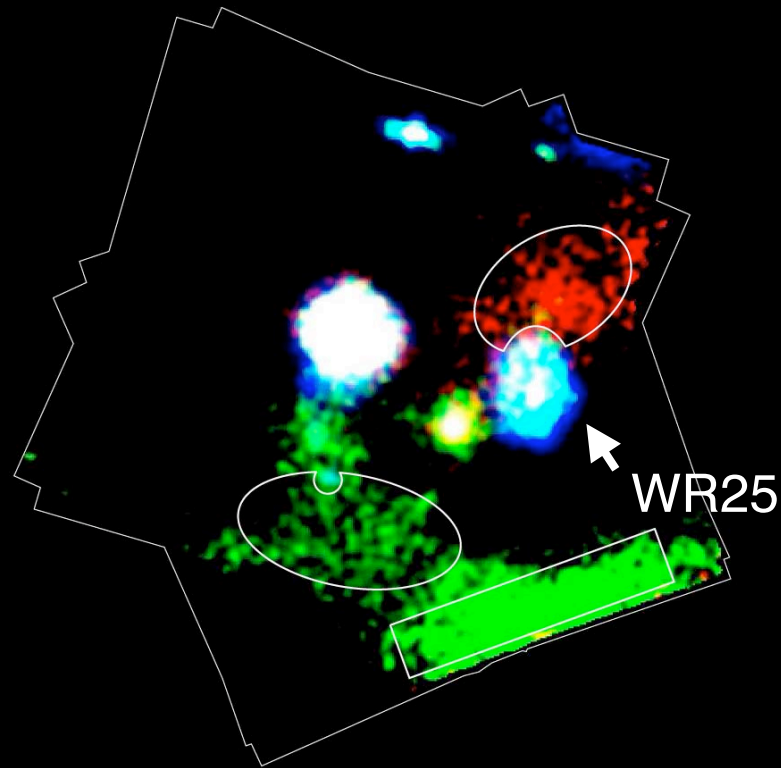


	1	2	3	typical error
kT (keV)	0.55	0.56	0.18	0.01
$N_{\text{H}} (10^{21} \text{ cm}^{-2})$	0	0.6	3.6	0.3
O/Fe (solar)	0.2	0.2	0.6	0.1



手前の天体

カリーナ星雲 (3)



- ・ 赤色の領域 (diffuse 3)

最も近くに位置するWR25が作った
星風 bubbleだとする。

WR25の $\dot{M} \sim 3 \times 10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$
= M17のOB association

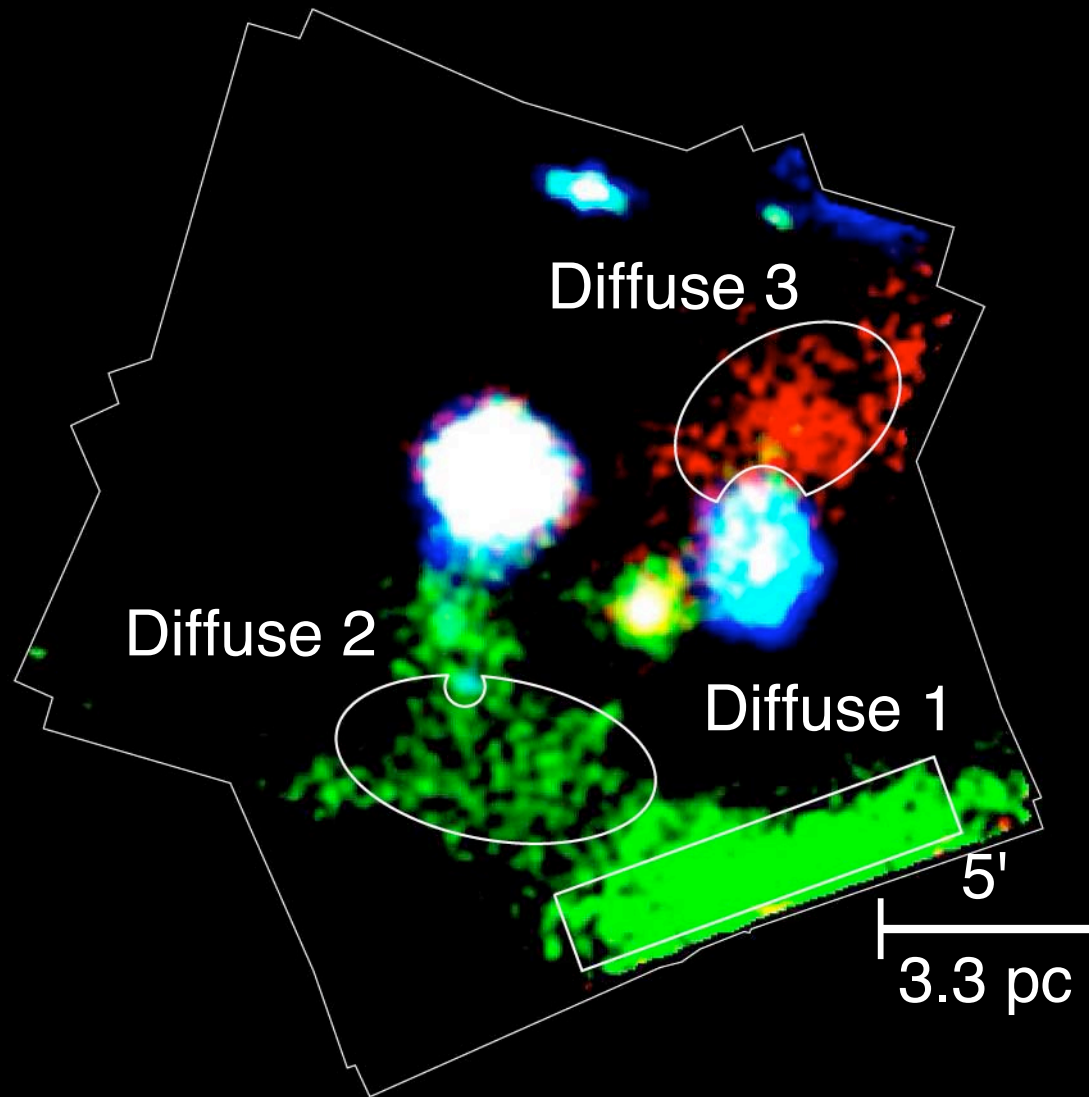
ただし、大きさは1/3程度。
周囲の密度への依存性小
→ おそらく年齢の違い (10^5 yr)

M17と同様の星風bubble。ただし少し若い？

まとめ

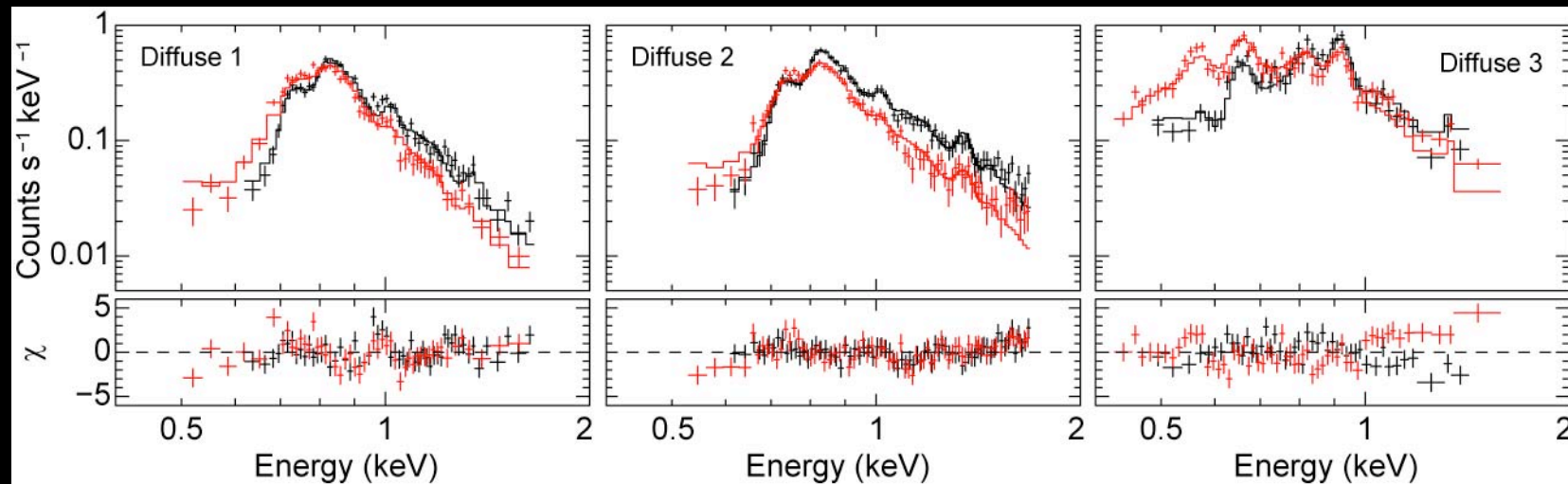
- すざく衛星を用いて銀河系内の大質量星団M17、Carina Nebulaの観測を行った。
- 高階電離したO, Ne, Fe, Mgの輝線を検出。→高温プラズマ(300万K)
- 空間構造は理論モデルと無矛盾。
- Carina Nebulaのdiffuse放射は一部だけが星風バブルであるようだ。

カリーナ星雲 (1)



- 距離2.3 kpc
- 年齢3 Myr
- 60個のO型星
- 計52時間観測

カリーナ星雲 (2)

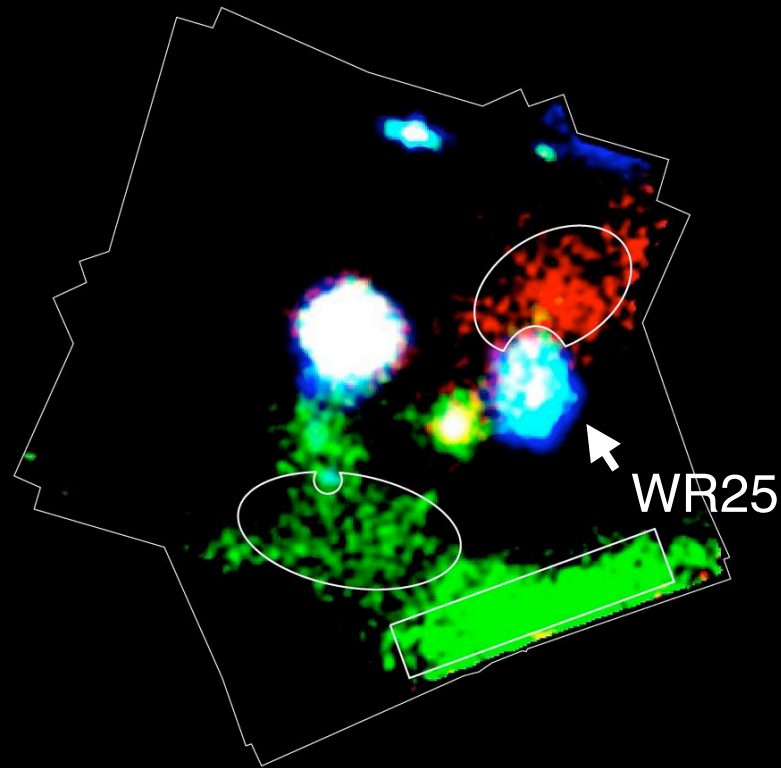


	1	2	3	typical error
kT (keV)	0.55	0.56	0.18	0.01
N_{H} (10^{21} cm^{-2})	0	0.6	3.6	0.3
O/Fe (solar)	0.2	0.2	0.6	0.1



手前の天体

カリーナ星雲 (3)



- ・ 赤色の領域 (diffuse 3)

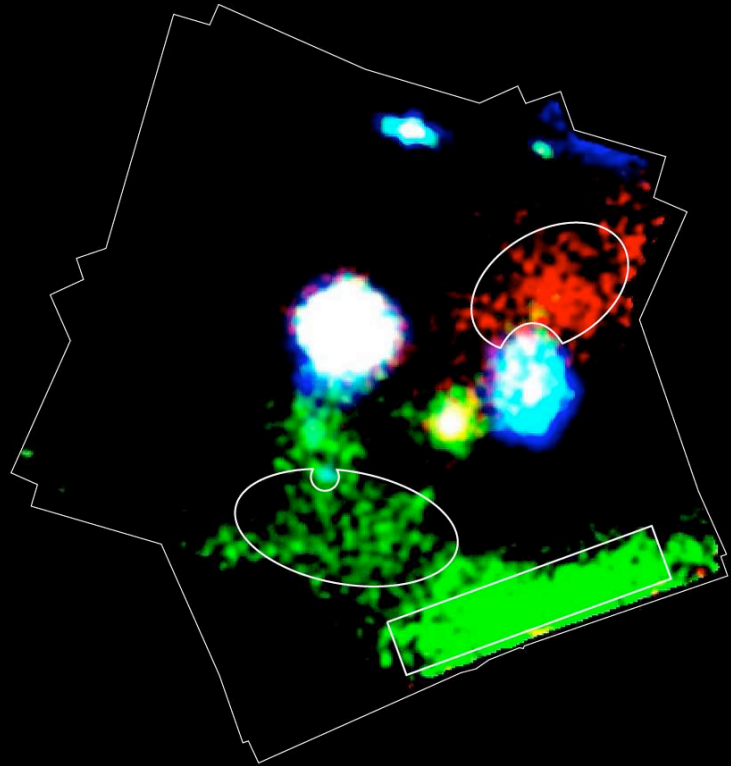
最も近くに位置するWR25が作った
星風 bubbleだとする。

WR25の $\dot{M} \sim 3 \times 10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$
= M17のOB星団

ただし、大きさは1/3程度。
周囲の密度への依存性小
→ おそらく年齢の違い (10^5 yr)

M17と同様の星風bubble。ただし少し若い？

カリーナ星雲 (3)



- ・ 緑色の領域 (diffuse 1, 2)

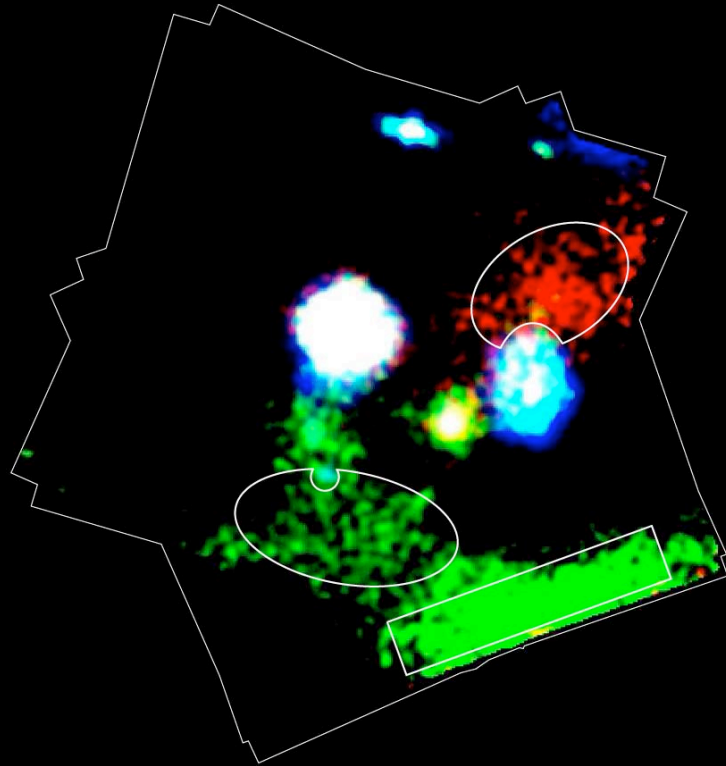
吸収がほぼ0。この領域に典型的な値 ($4 \times 10^{21} \text{cm}^{-2}$) よりも有意に小さい。



カリーナ星雲とは関係ない、
手前の天体。たまたま視線上
で重なっているだけ。

熱的で広がった天体であること、
Feが多い ($\text{O}/\text{Fe} \sim 0.2$) ことから
Ia SNRである可能性

カリーナ星雲 (4)



- 赤色の領域 (diffuse 3)

吸収は $N_H \sim 4 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ 。

カリーナ星雲に付随。

年齢3 Myrなので超新星爆発
起こっている可能性がある。

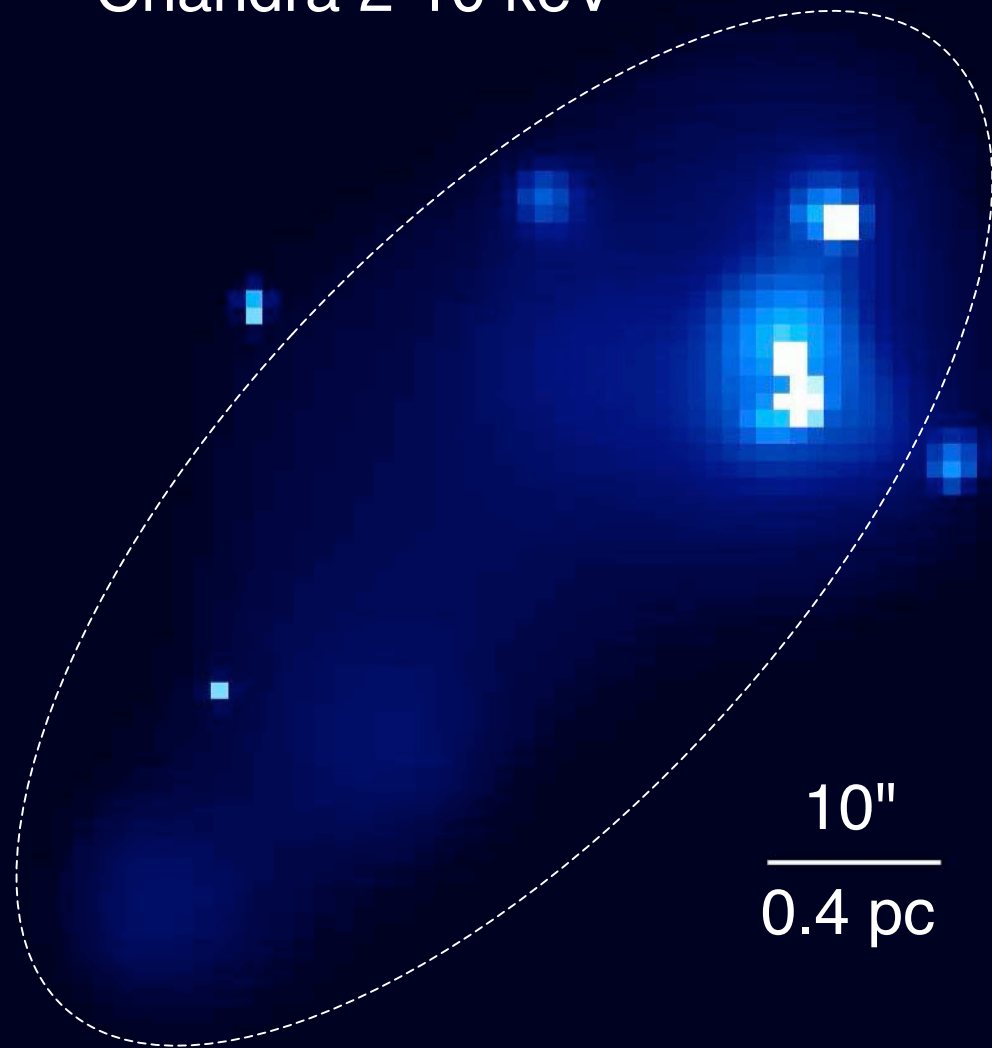
O3星がまだ主系列にいたので
SN起こした星はO3よりearly
Ib, IcなどのSN→O/Fe大
(e.g., Thielemann et al.1995)



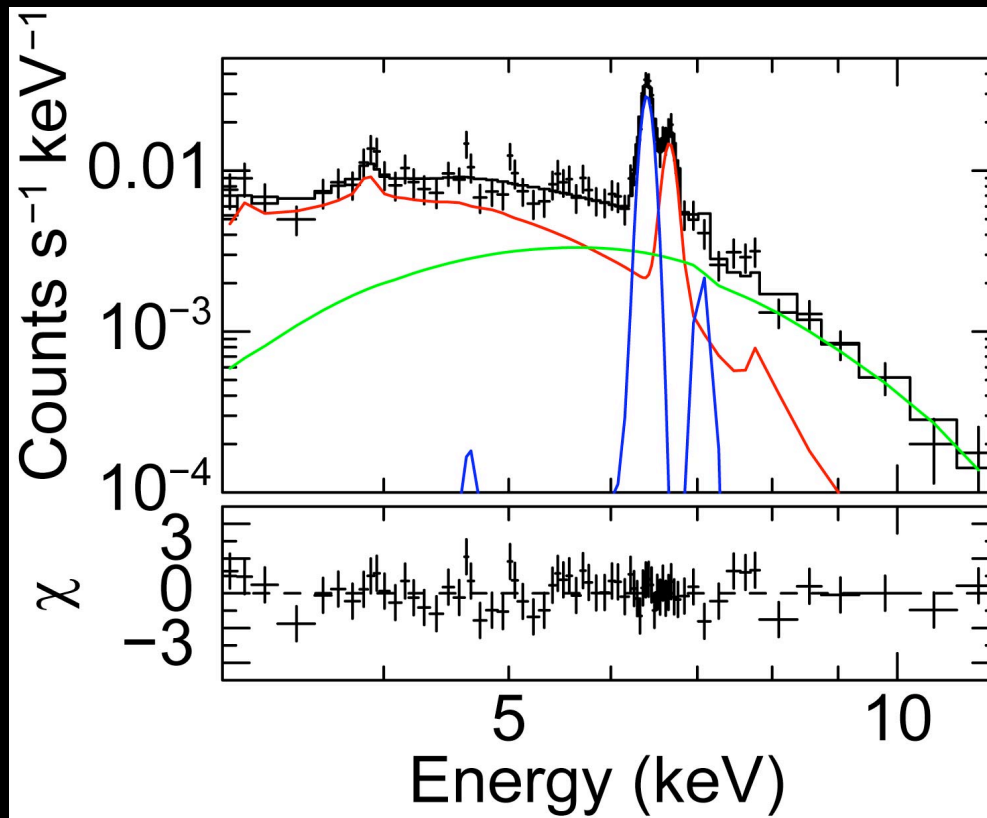
観測値と矛盾。

アーチーズ星団 (1)

Chandra 2-10 keV



アーチーズ星団 (2)



スペクトルは3成分からなる。

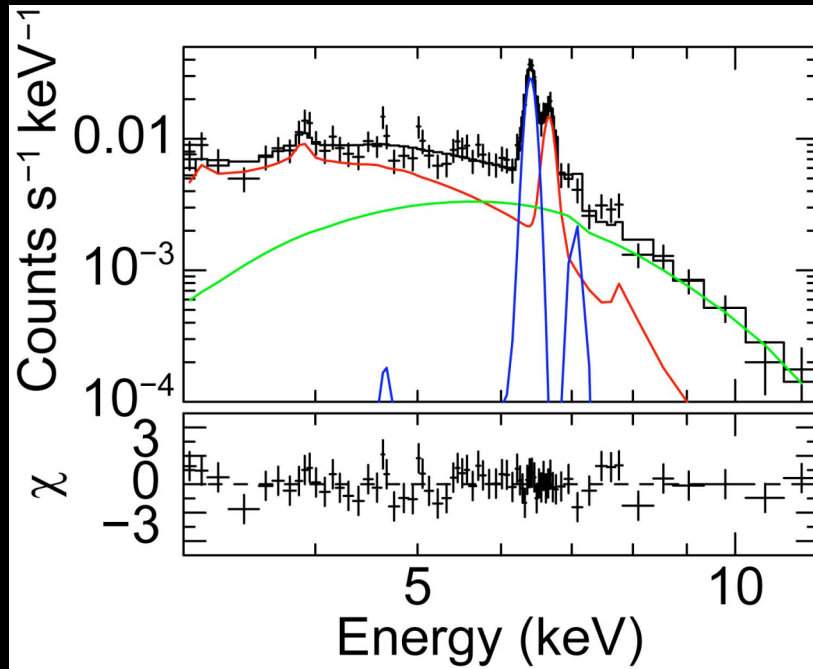
- $kT \sim 2$ keVの熱的放射(赤)
- 中性鉄輝線 (青)
- $\Gamma \sim 0.6$ のパワーロー (緑)

吸収量 ($N_H \sim 1.5 \times 10^{23} \text{cm}^{-2}$)
は銀河中心と矛盾なし。

このうち熱的放射 (赤) は3つの
点源 (WR星) からの放射の
足し算で説明される。

中性鉄輝線とパワーローの成
分は点源には見られないので
拡がった成分だと考えられる。

アーチーズ星団 (3)

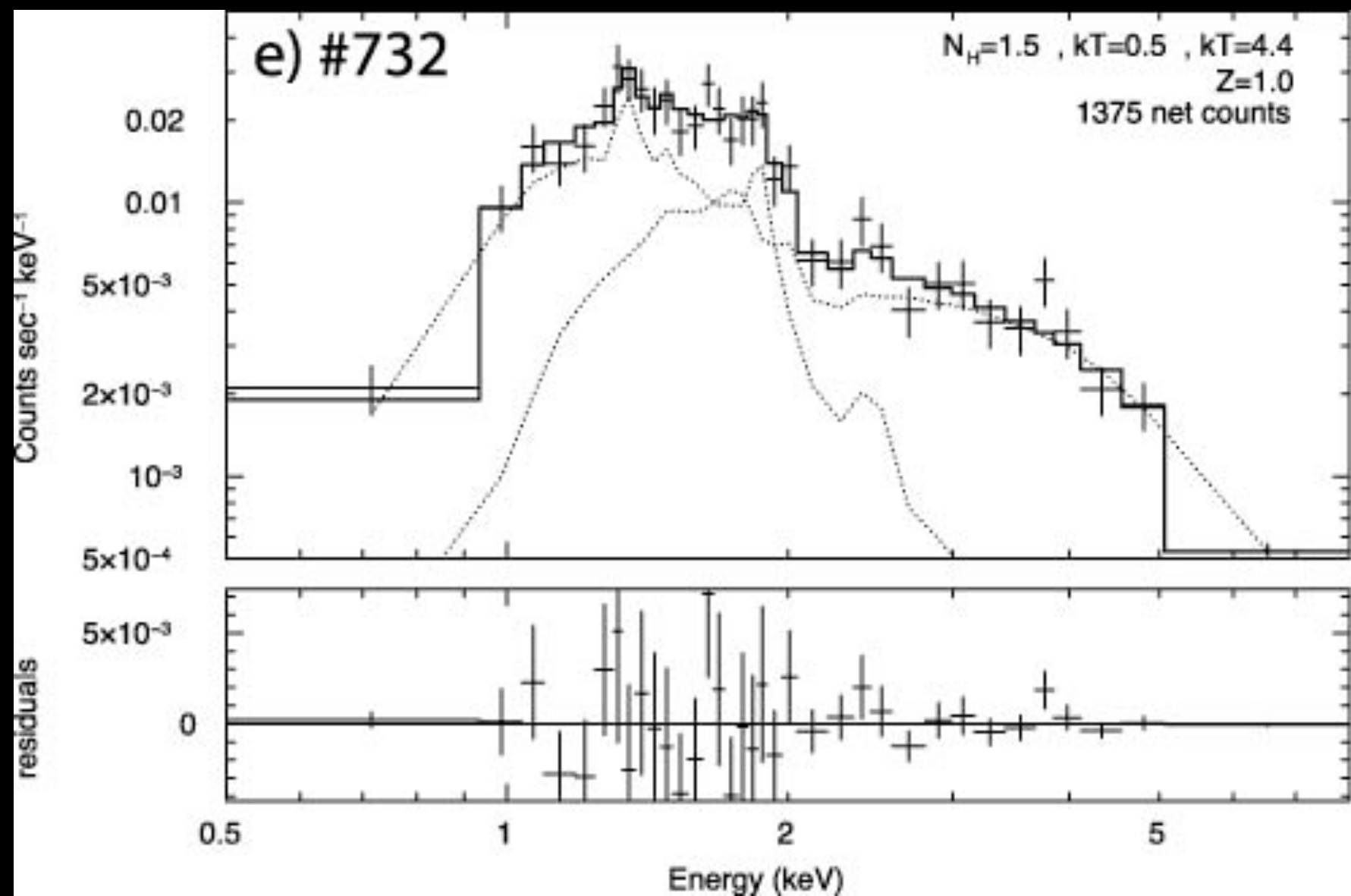


中性鉄輝線(低温)は自らX線を放射しない。考えられる機構は

1. X線照射 (連続成分はThomson)
2. 電子衝突 (連続成分は制動放射)

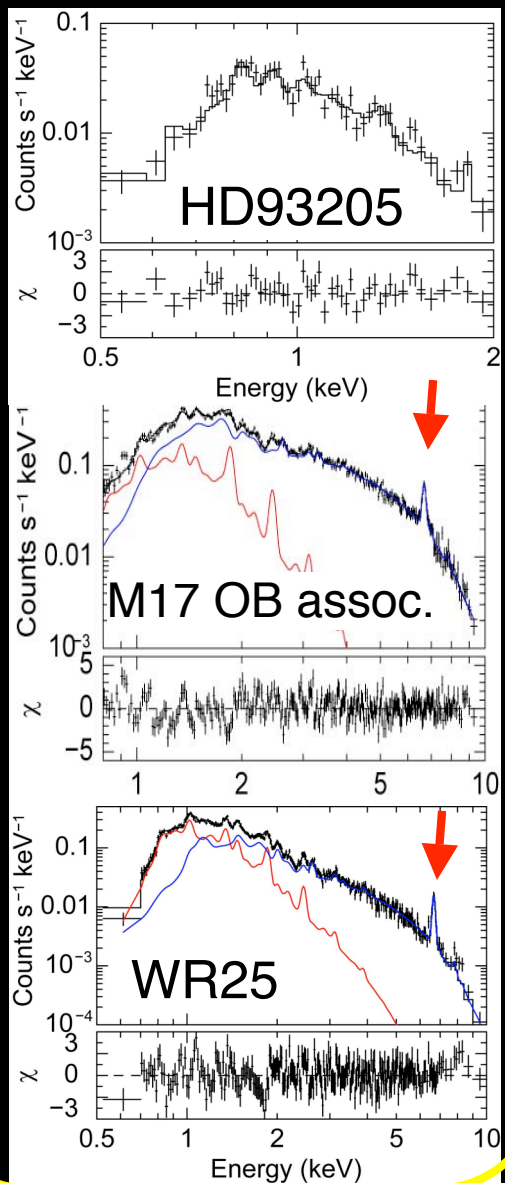
1. 中性鉄輝線強度 ($2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) を説明するためには照射源は $\Gamma \sim 1, 10^7 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ keV}^{-1}$ (@10 keV)が要求。Archesの星では足りない (スペクトルの形が違う)
2. $N(E)=E^{-2}$ を仮定すると $10^{39} \text{ erg s}^{-1}$ (10-100 keV)が要求。Archesの星風では足りない ($L_{\text{wind}} \sim 10^{38} \text{ erg s}^{-1}$)

→ 外部からのエネルギー供給が必要。

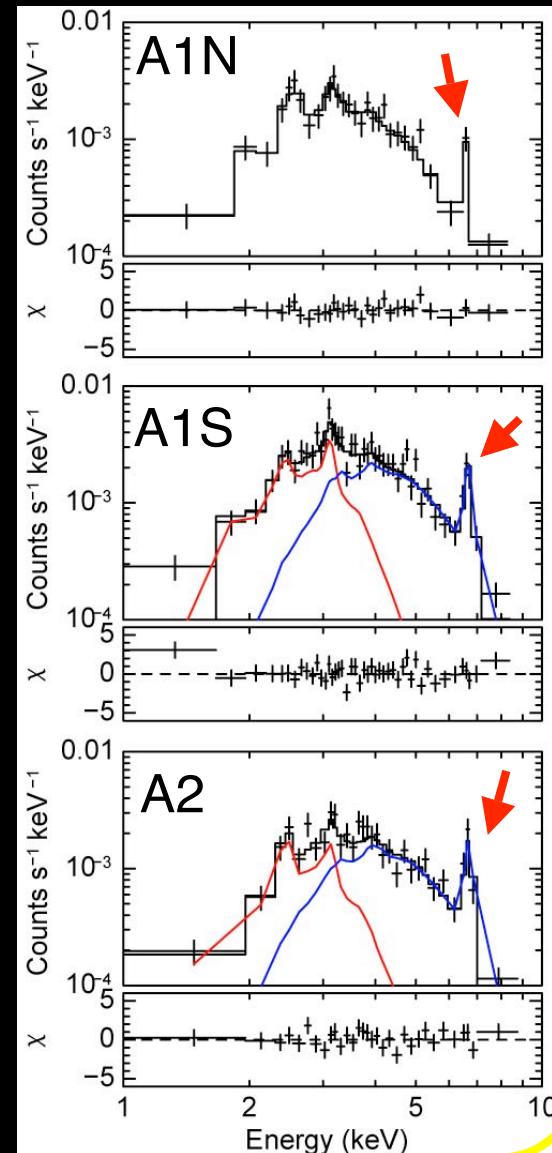
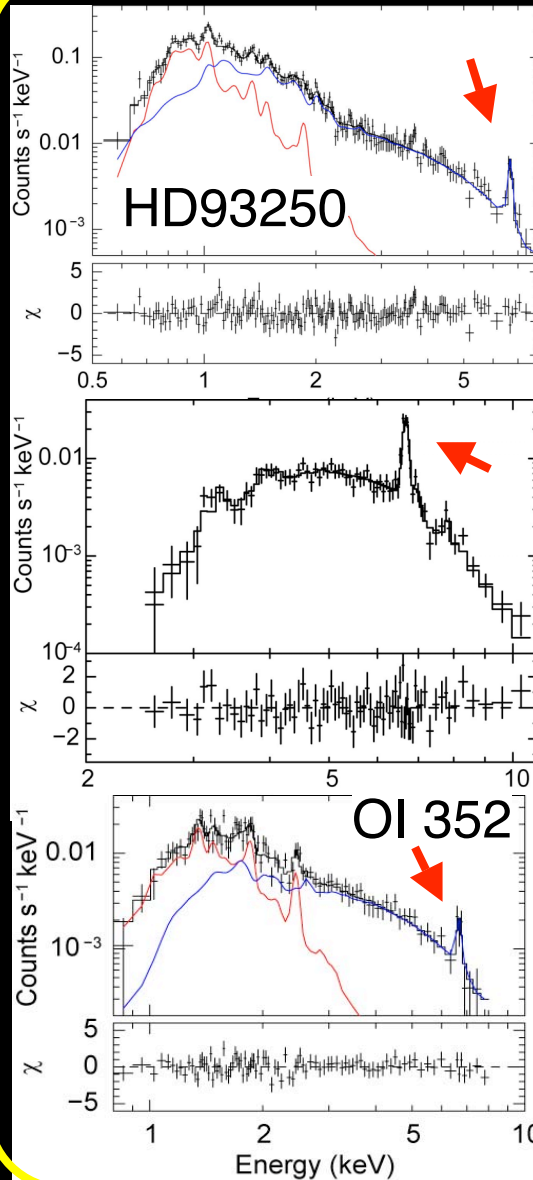


Discrete Sources

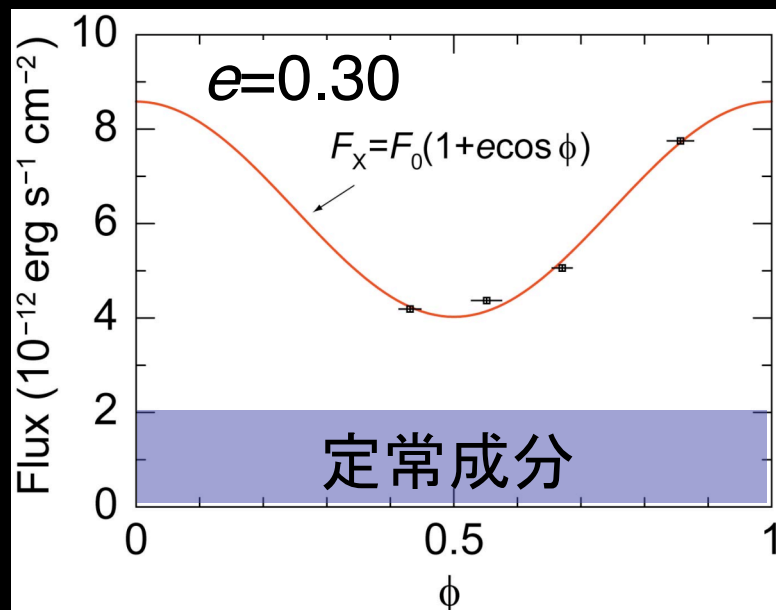
大質量星+ 大質量星の連星



伴星が見つかって いない大質量星



WR 25(WN6+O4)の時間変動



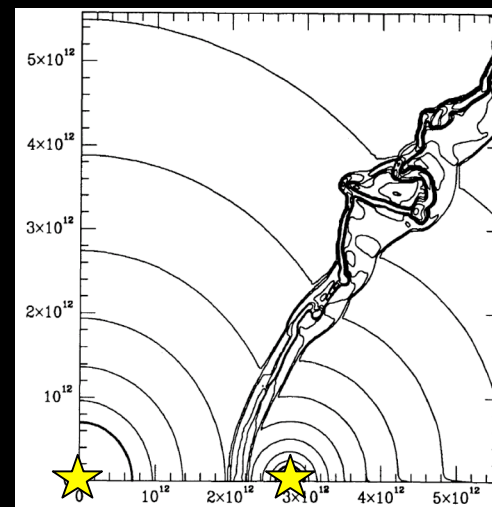
$e = 0.56$, $P_{\text{orb}} = 208 \text{ day}$
(Gamen et al. 2006, 2008)



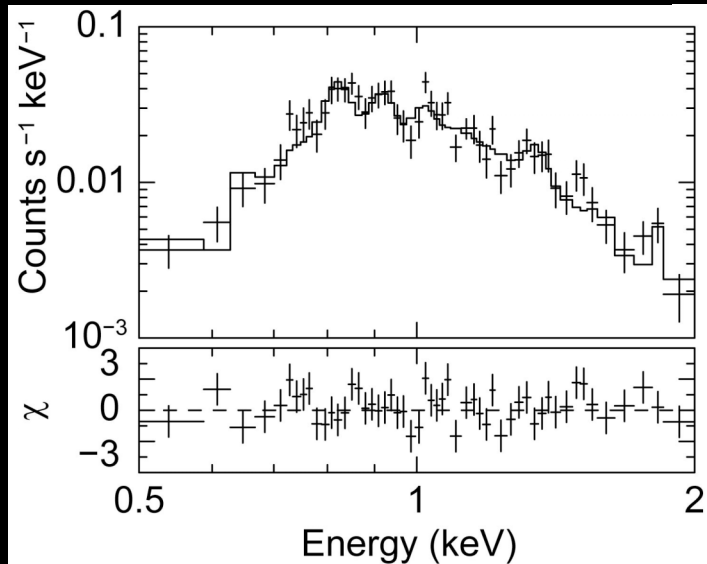
- X線放射が大質量星の星風同士
の相互作用によることの証拠。

$$\left\{ \begin{array}{l} F_X \propto EM \propto n^2 V \propto (D^{-2})^2 \times D^3 = D^{-1} \\ D = \frac{D_0}{1 + e \cos \phi} \quad (\text{ケプラー運動}) \end{array} \right.$$

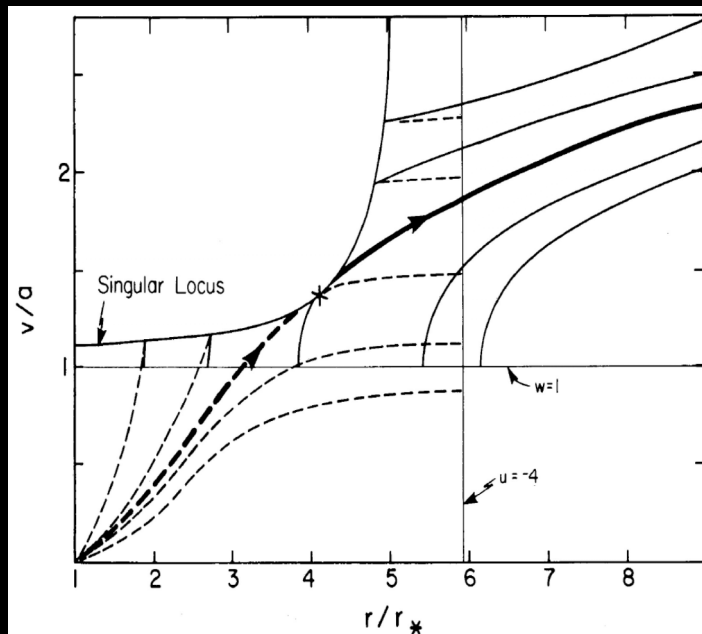
$$F_X = F_0(1 + e \cos \phi)$$



HD 93205 (O3+O8)



- ・今回観測した大質量星
同士の連星の中で唯一
hard成分検出なし。
- ・ $D_{\min} \sin i \sim 3 \times 10^7 \text{ cm } (\sim 2R_*)$
- ・ 近星点移動 (0.03deg/cycle)
(Morrel et al. 2001)



- ・ 星風が超音速に加速される前
に衝突しているのでは？
- ・ 大質量星同士の連星系で
あってもある程度 (several $\times R_*$)
の距離が必要。

大質量星のhardなX線放射

	WR 25	HD 93250	OI352	CXOGC 174645	A1N	A1S	A2	M17 OB assoc.
kT_{high} (keV)	2.3	3.1	3.8	3.8	2.0	2.5	2.1	4.0

- WR 25以外の大質量星も熱的なスペクトル(Fe K輝線)を持ち、その温度は2–4 keV. →おそらく星風-星風衝突。
- 確認するためにはX線のモニタリング観測、可視-赤外の分光観測が必要。