

超新星残骸G156.2+5.7を縁取る
H α フィラメントの固有運動測定
～距離と年齢の新しい制限～

勝田 哲¹、田中雅臣²、諸隈智貴³、

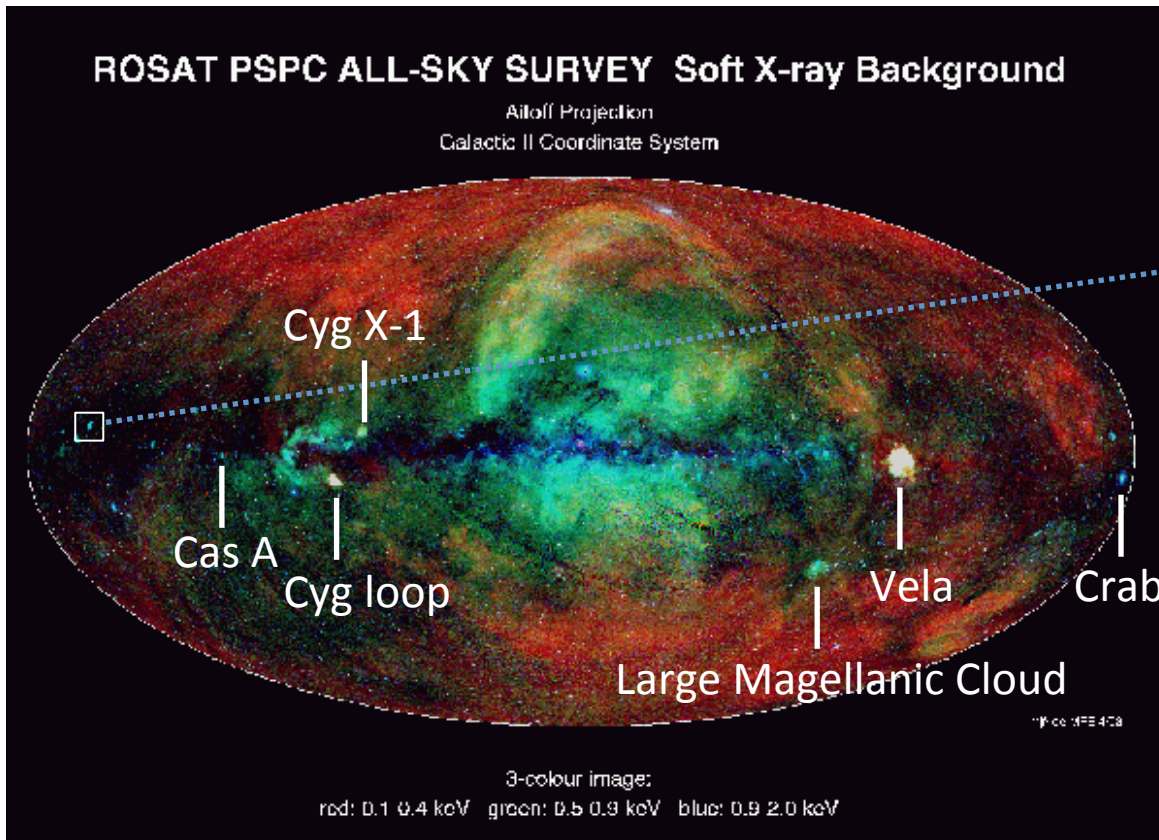
Robert Fesen⁴、Dan Milisavljevic⁵

(1. 中央大学; 2. 国立天文台; 3. 東京大学;

4. Dartmouth College, USA; 5. Harvard-Smithsonian CfA, USA)

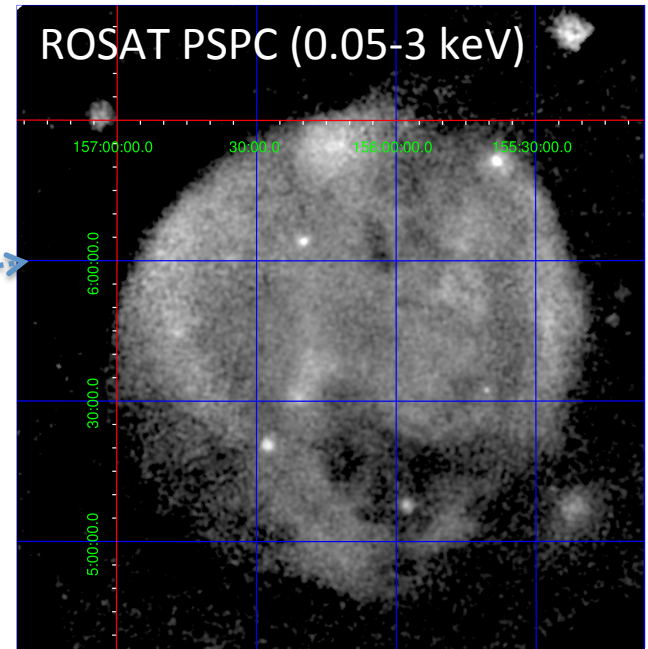
The Astrophysical Journal in press

G156.2+5.7の発見



Snowden et al. (1997)

電波サーベイではなく(それより先に)X線(ROSAT)サー
ヴェイで見つかった珍しい超新星残骸。
見かけのサイズ、X線表面輝度は非常に大きい。
=> X線強度は全天でもトップ10に入る。



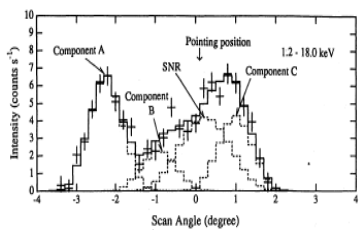
Pfefferman et al. (1991)

- $kT \sim 0.5$ keV
 - $F_x \sim 2 \times 10^{-10}$ erg/s/cm²
 - $R \sim 1^\circ$
 - セドフ期を仮定
- 年齢 $\sim 2.6 \times 10^4$ 年
距離 ~ 3 kpc

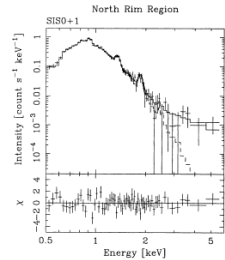
その後のX線観測の進展

• 非熱的X線放射の有無

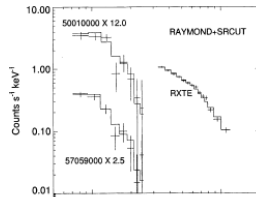
| Ginga 1993 | ASCA 1999 | RXTE 2004 | Suzaku1 2009 | XMM 2010 | Suzaku2 2012 |
|------------|-----------|-----------|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Yes! | Yes! | Yes! | Yes! ($V_{sh} \sim 500$ km/s) | ?? (galaxy cluster) | No! (galaxy cluster) |



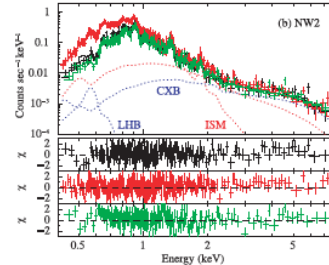
Yamauchi+1993



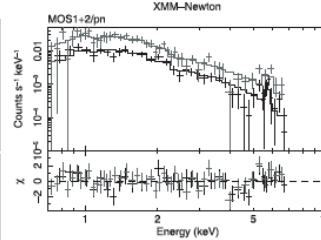
Yamauchi+1999



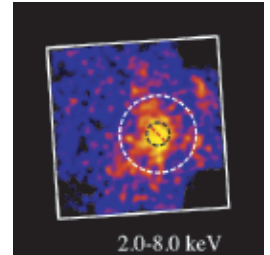
Pannuti+2004



SK+2009

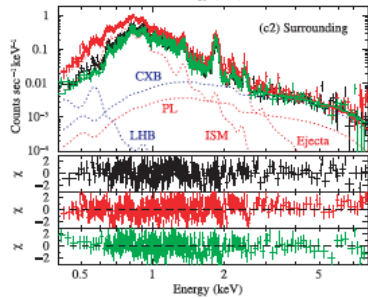


Yamauchi+2010



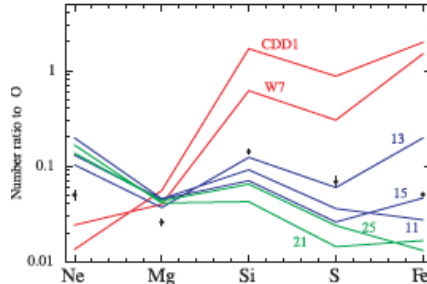
Uchida+2012

• 爆発破片の検出とその分布

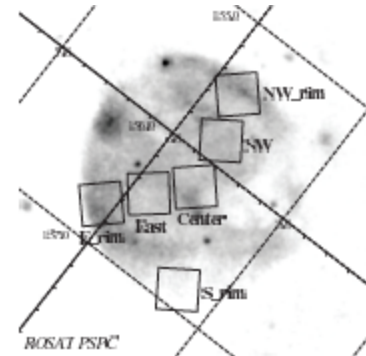


SK+ 2009

イジェクタの組成比

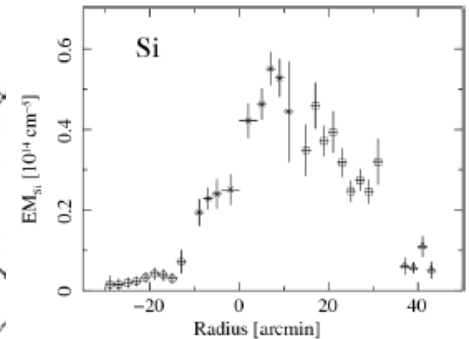


→ 親星は比較的軽め(15M_⊙)の大質量星



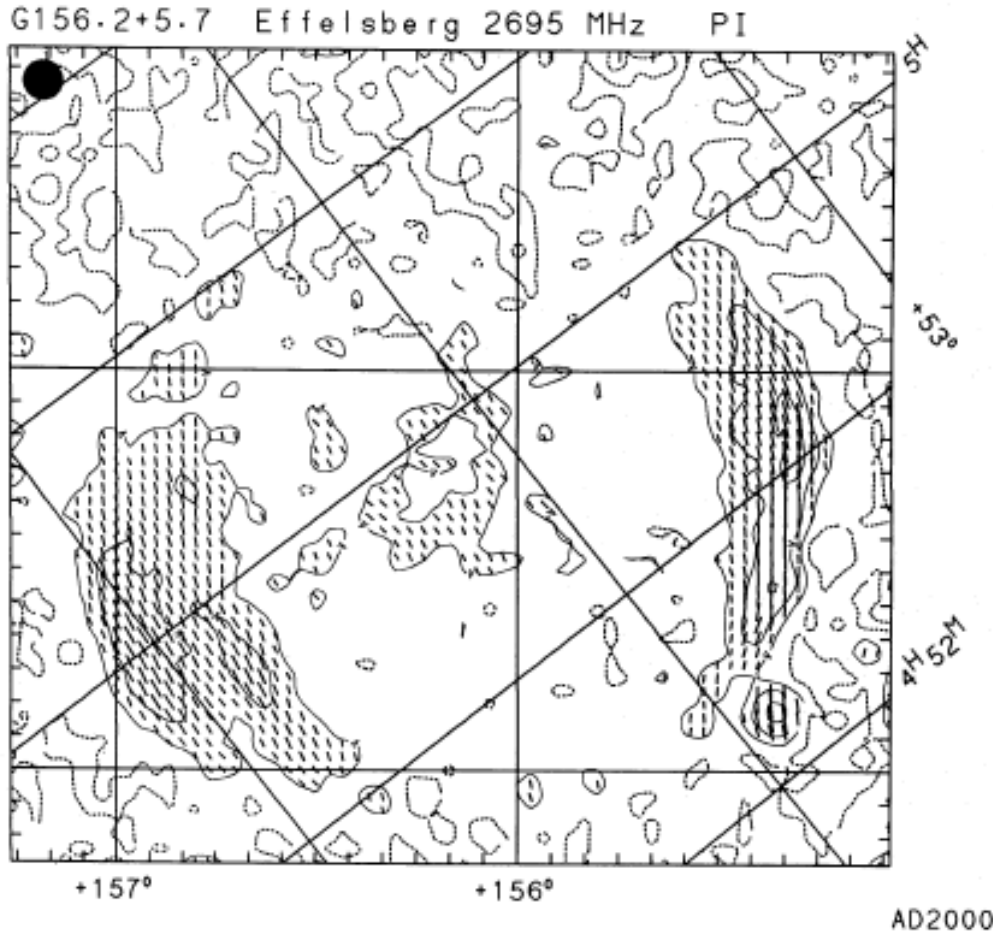
Uchida+2012

イジェクタの分布



→ 爆発破片は非対称的に分布

電波観測



※棒線は磁場の方向と強度を示す

Reich et al. (1992); Xu et al. (2007)

□ ROSATによる発見を受け、Reich et al. (1992)が深い電波観測を実施。

a) 南北のリム、および中心領域から偏光した連続波($S \sim \nu^{-0.5}$)を検出。

- 表面輝度は全SNR中で最弱!

- 磁場方向はシェルに並行

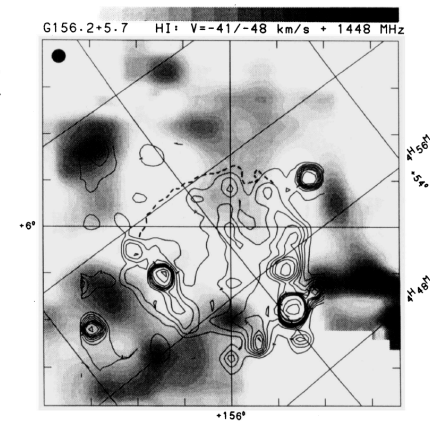
→ 古いSNRの特徴

b) 水素 21 cm 輝線の観測。

視線速度 -45 km/s の位置に、SNRと関連していそうなシェル構造あり。

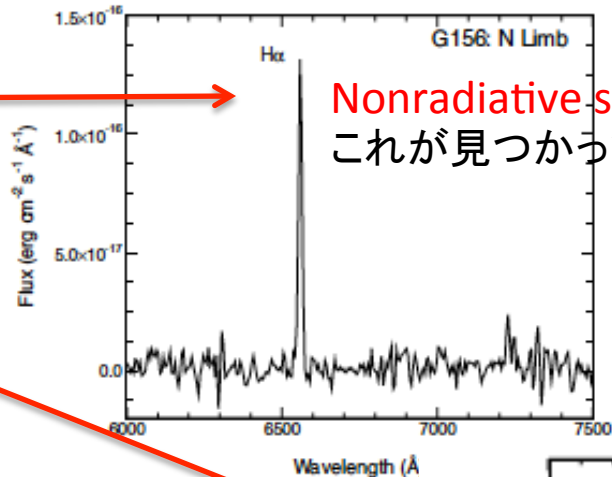
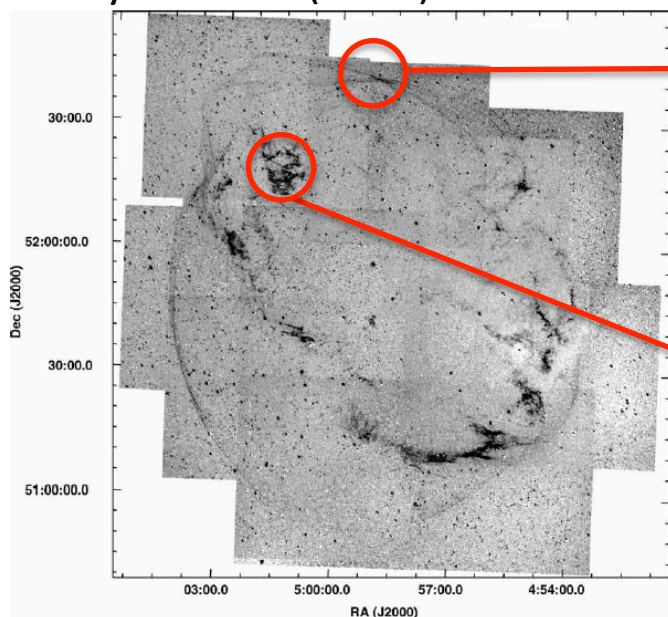
→ -45 km/s は距離7kpcに対応

(但し、この領域の視線速度の構造は複雑なので当てにならない)



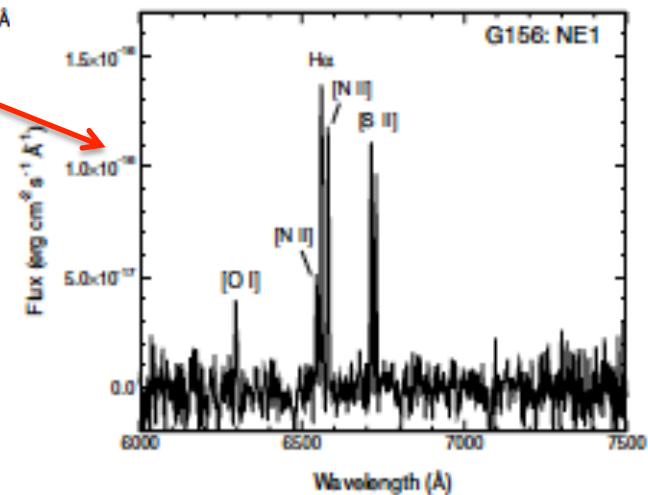
可視光観測

Gerardy & Fesen (2007)

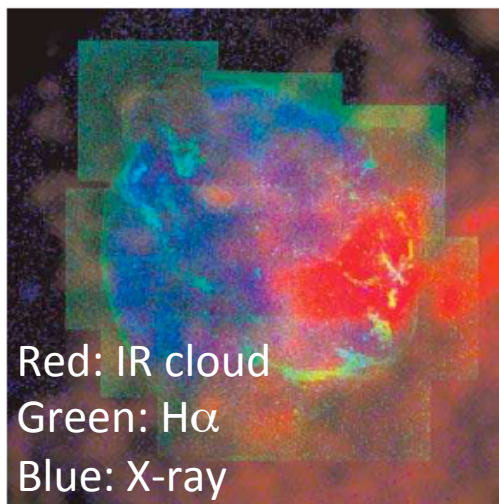


Nonradiative shock -- No [N II] lines
これが見つかったSNRは10個程度。

Radiative shock



Association with Taurus-Auriga complex?



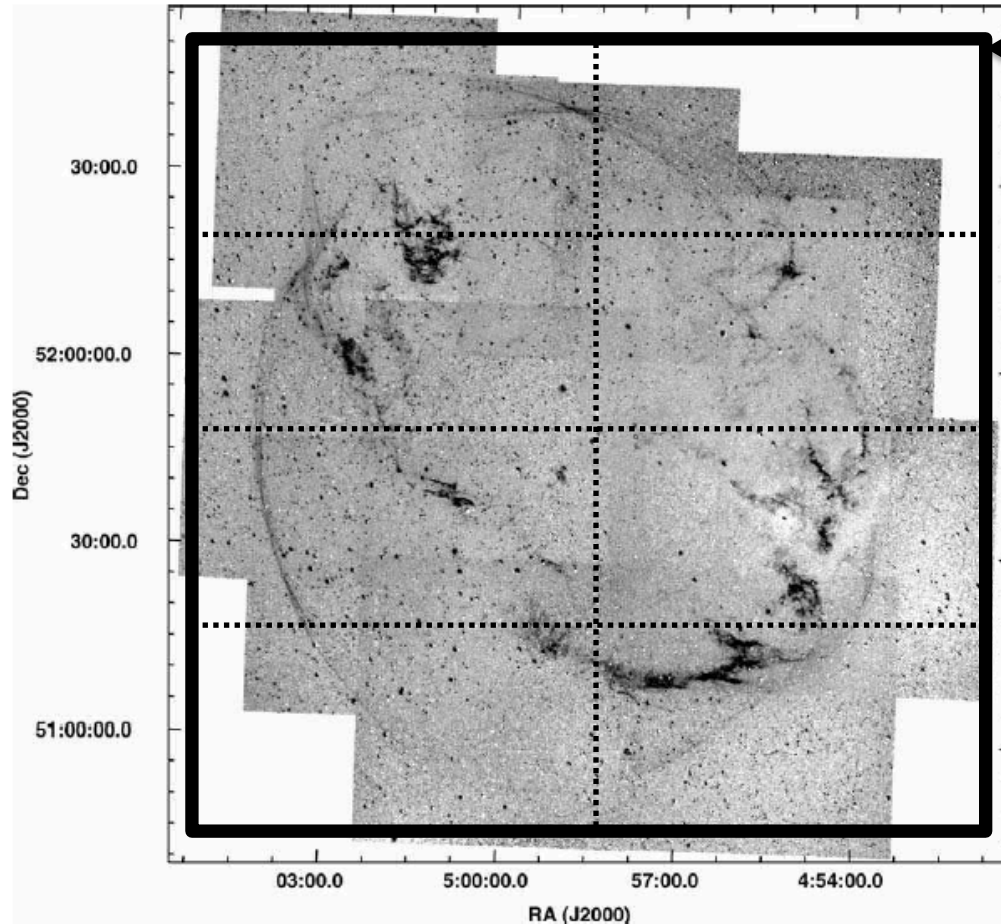
H α が IR 星間雲(Taurus-Auriga complex @140--300 pc)と所々で一致するようにも見える。もし本当なら、極めて近傍の超新星残骸になる。また、セドフ期を仮定すれば年齢は数千年。

過去の観測まとめ

- G156.2+5.7 は、X線で非常に明るく、電波で非常に暗い。
(電波サーベイより先にX線サーベイで見つかった珍しい例)
- X線で比較的よく研究されてきた。
 - 当初はシンクロトン放射を示すと考えられたが、最近は否定的
 - 爆発破片からの放射を検出
 - 親星は 15 M_☉程度。破片の分布は非対称。
- 距離と年齢の不定性は、まだかなり大きい。
D ~ 0.3 -- 7 kpc; t ~ 5,000 -- 50,000 yr
 - SNRのエネルギーや密度、進化段階など重要な観測量をきちんと決定できない。

この巨大かつ高X線輝度SNRの素性が全くわかっていない!
→ SNRの膨張率から距離と年齢に制限を与えたい。

KWFC による観測



← KWFC の視野
($2.2^\circ \times 2.2^\circ$)

残骸全体が、KWFC の大きな視野に
ちょうど収まる! (G156とKWFCは抜群の
相性)

観測目的:

McDonald Observatory (米テキサス)の
2004 年の画像と比較し、 $H\alpha$ フィラメント
の固有運動を計測したい。そして、固有
運動から距離・年齢に制限をかけたい。

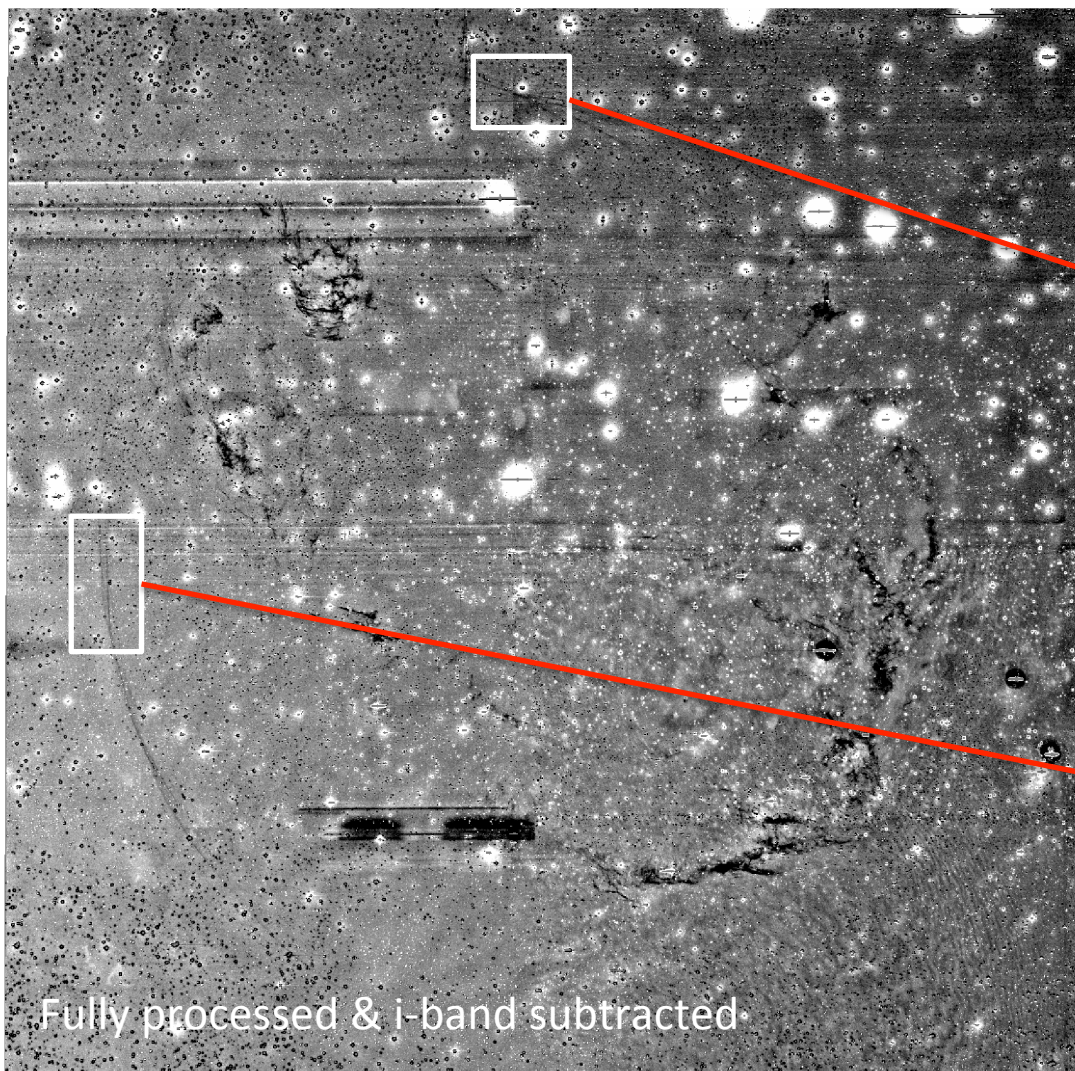
観測日:

1. 2015-11-12 ~ 2015-11-21
 2. 2016-01-08 ~ 2016-01-15
- 総観測時間 ~8 hr

使用したフィルター:

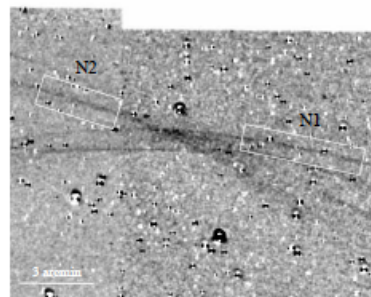
N6590 (6518--6681Å) for $H\alpha$
i-band for continuum subtraction

KWFC画像と解析用H α フィラメントの選定

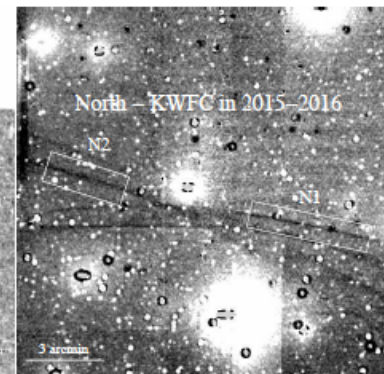


Nonradiative H α フィラメントはかなり微弱・・・それでも特に明るいもの(N, E)についてはハッキリと検出!!

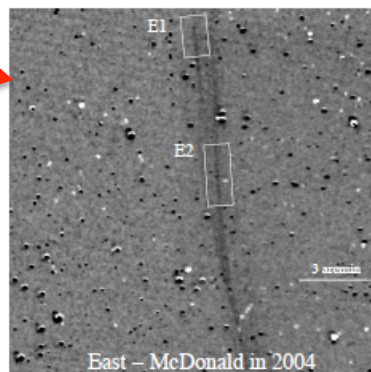
North - McDonald in 2004



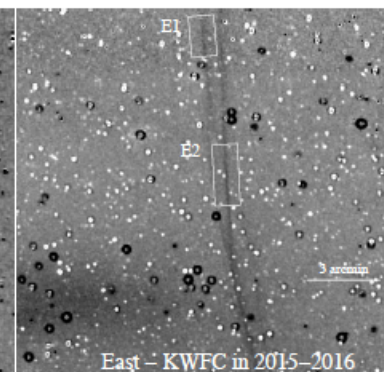
North - KWFC in 2015-2016



East - McDonald in 2004



East - KWFC in 2015-2016



画像の位置合わせとその精度

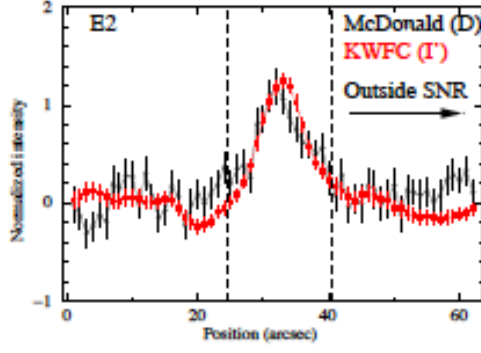
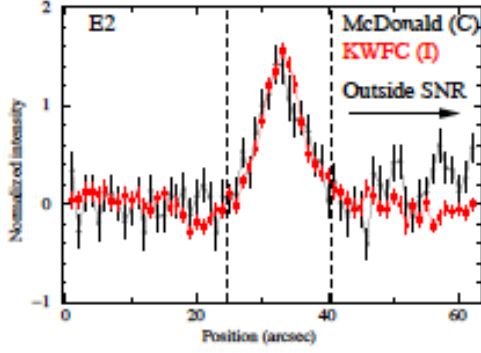
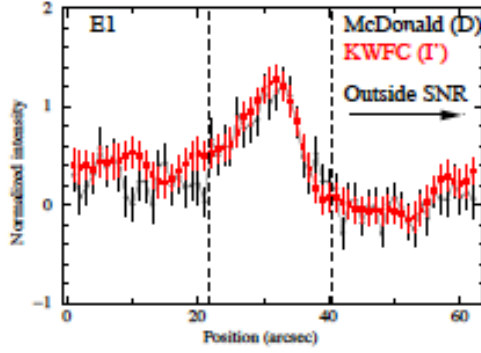
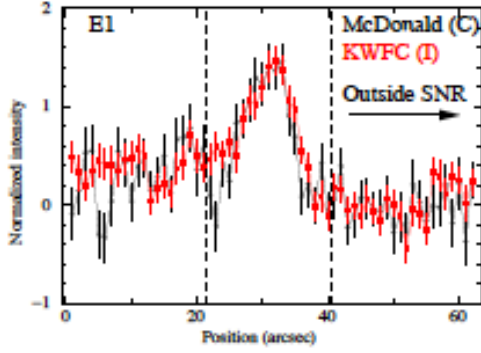
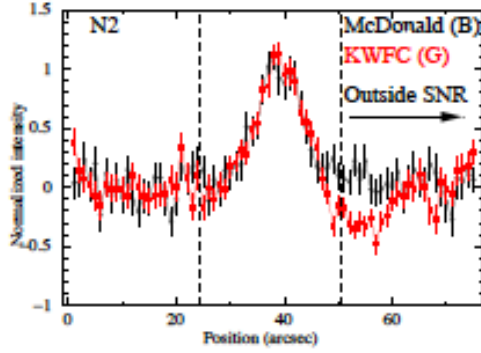
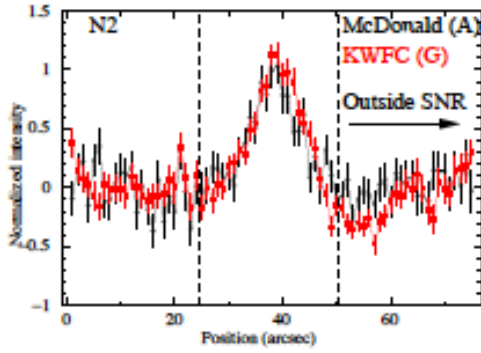
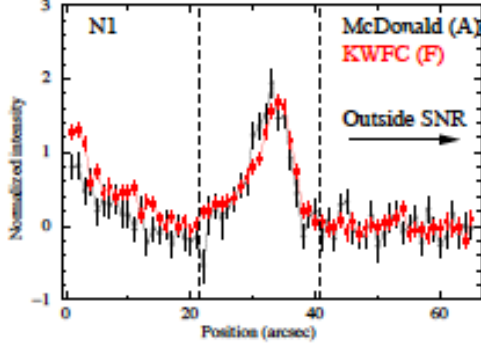
チップ毎に、点源の位置をカタログ値と一致させた。

2004年と2015-2016年の座標のズレ

| Region, Dataset pair | Deviation in RA (") | Deviation in Dec. (") |
|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| N1, A-F (Pair-1) | 0.148 | 0.138* |
| N2, A-G (Pair-1) | 0.215 | 0.185* |
| N2, B-G (Pair-2) | 0.158 | 0.154* |
| E1 & E2, C-I (Pair-1) | 0.133* | 0.108 |
| E1 & E2, D-I (Pair-2) | 0.213* | 0.114 |

Note. — *We take this value to be a registration uncertainty in our proper-motion measurement.

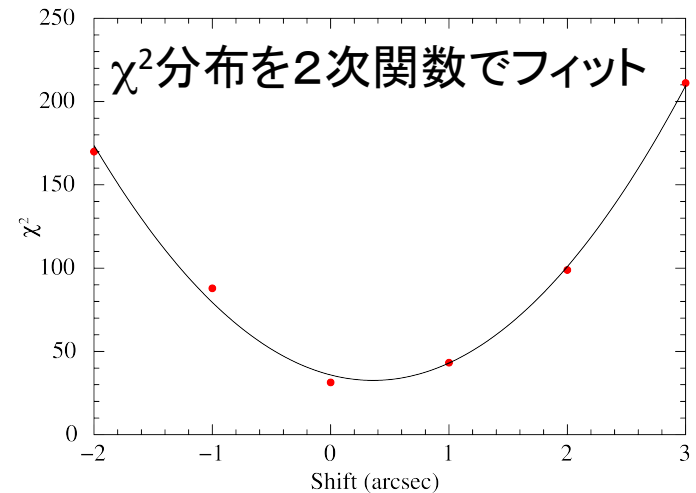
プロフィールの比較



固有運動(プロフィールシフト)の定量化

$$\chi^2(l) = \sum_{k=1}^n \frac{[y_1(k+l) - y_2(k)]^2}{\sigma_1^2(k+l) + \sigma_2^2(k)}$$

l = shift value, k = bin number



固有運動の測定結果

| Region | Pair 1 | | Pair 2 | | Mean | |
|--------|-------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| | arcsec | arcsec yr ⁻¹ | arcsec | arcsec yr ⁻¹ | arcsec | arcsec yr ⁻¹ |
| N1 | 0.744±0.216±0.138 | 0.062±0.018±0.012 | — | — | — | — |
| N2 | 0.336±0.336±0.185 | 0.028±0.028±0.015 | -0.192±0.312±0.154 | -0.016±0.026±0.013 | 0.048±0.228±0.120 | 0.004±0.019±0.010 |
| E1 | 0.516±0.372±0.133 | 0.043±0.031±0.011 | -0.408±0.480±0.213 | -0.034±0.040±0.018 | 0.168±0.300±0.132 | 0.014±0.025±0.011 |
| E2 | 0.396±0.264±0.133 | 0.033±0.022±0.011 | 0.588±0.288±0.213 | 0.049±0.024±0.018 | 0.480±0.192±0.132 | 0.040±0.016±0.011 |

Note. — The first- and second-term errors represent 1- σ statistical and registration uncertainties, respectively.

重み付き平均値 $\mu < 0.06$ "/yr

距離の推定

(距離) × (固有運動) = 衝撃波スピード

$$\mu < 0.06 \text{ ''/yr}$$

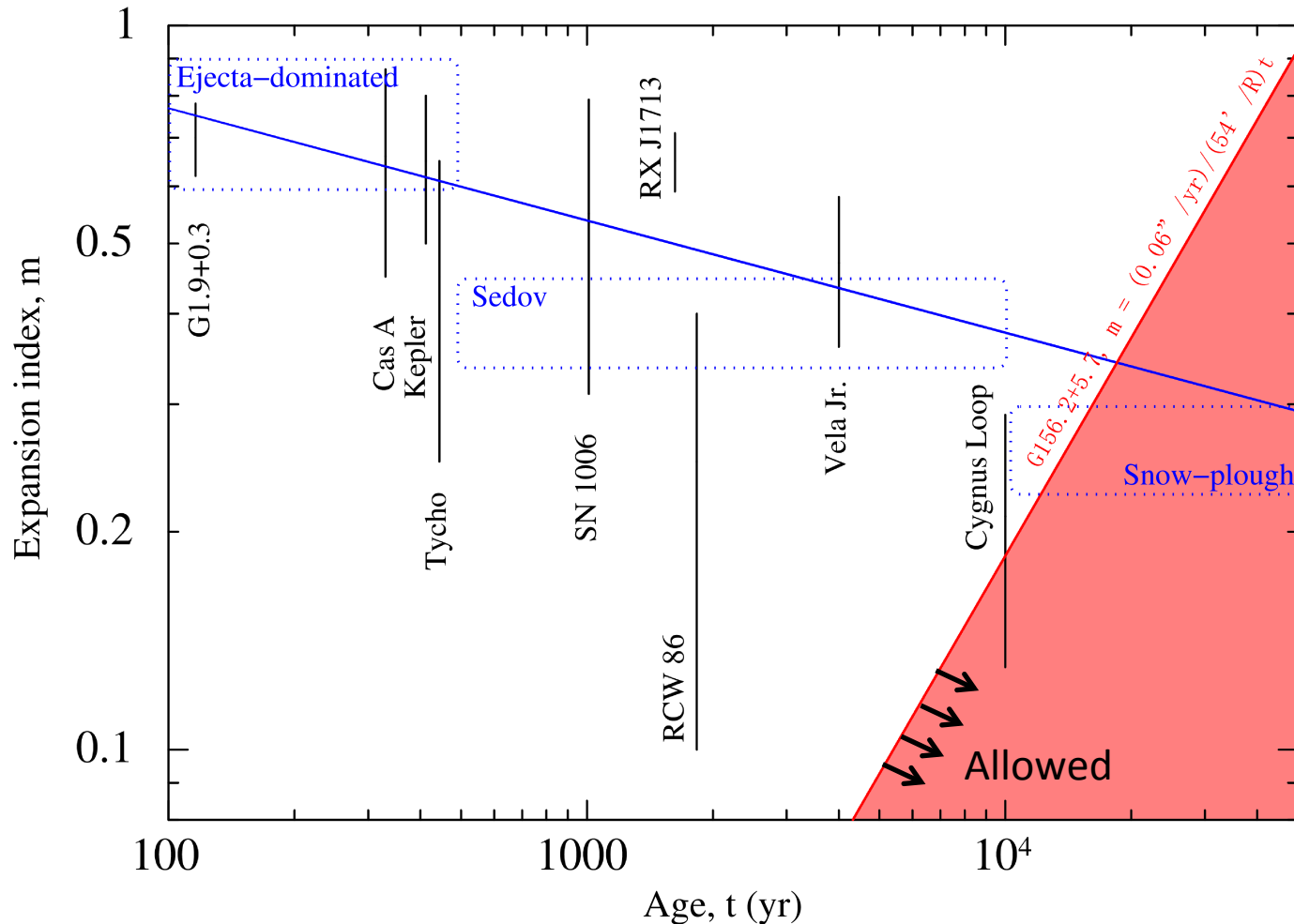
$$T_e = T_{0e} + \frac{1}{2} \frac{3}{16} [m_p f_{eq} + (2 - f_{eq}) m_e] \frac{V_s^2}{k}$$

$$V_s = 500 \left(\frac{T_e}{0.3 \text{ keV}} \right)^{0.5} \left(\frac{f_{eq}}{1} \right)^{0.5} \text{ km s}^{-1}$$

$$D \geq 1.7 \left(\frac{\mu}{0 \text{ ''} .06 \text{ yr}^{-1}} \right)^{-1} \left(\frac{V_{sh}}{500 \text{ km s}^{-1}} \right) \text{ kpc}$$

年齢の推定

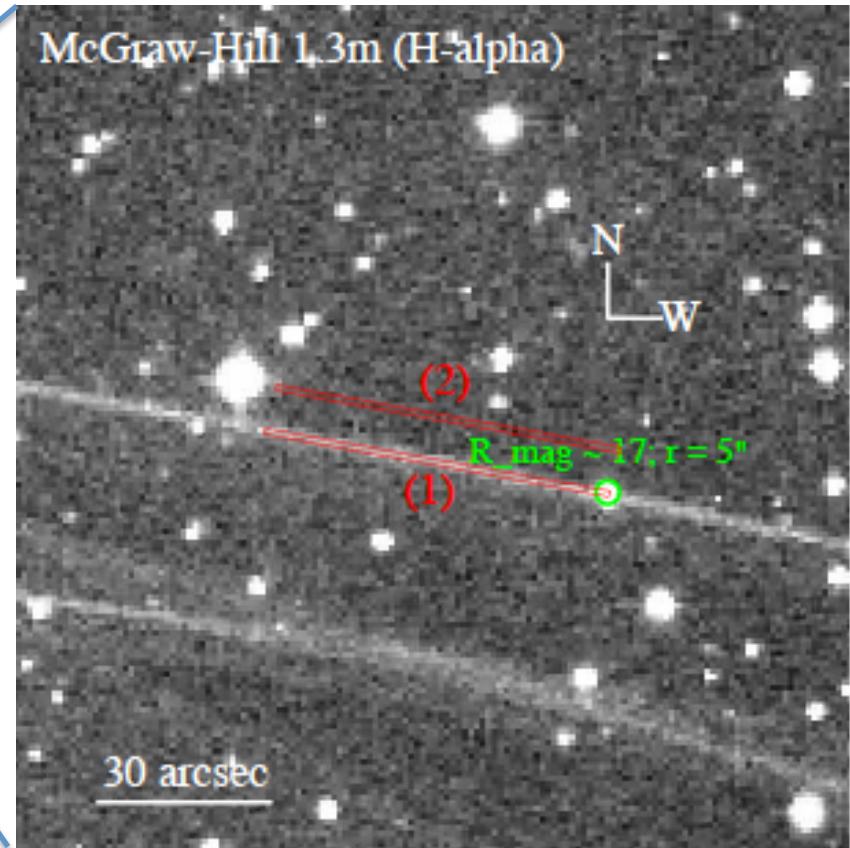
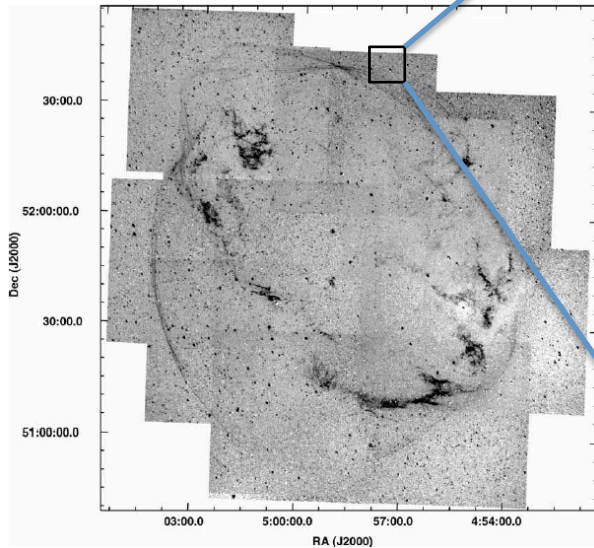
$$R \propto t^m; \quad m = d(\log R)/d(\log t) = (dR/dt)/(R/t) = \mu/R t$$



→ 年齢は数万年と類推できる

次の一手

Subaru HDS による高分散分光観測
H α broad 成分を検出し、その幅から
陽子温度を測定する。ひいては正確
な衝撃波速度を導出する。



S16B サービス枠で Rank-A 採択!

THE FIRST HIGH-RESOLUTION H α SPECTROSCOPY OF THE G156.2+5.7 SNR

S. Katsuda, M. Tanaka, & T. Morokuma

Abstract: G156.2+5.7 was recently identified as a member of a rare class of supernova remnants exhibiting Balmer-dominated H α filaments. We propose to perform the first high-resolution spectroscopy of the Balmer-dominated filament with the Subaru's HDS. This observation will allow us to detect a broad H α component, for the first time. The broad component's width will enable us to estimate the shock speed, which combined with the proper motion of the filament, will determine the debated distance to G156.2+5.7.

まとめ

- 銀河系内の超新星残骸G156.2+5.7を、KWFC (with filters H α & I-band)で2015-2016に観測した。
- 2004年にMcDonald Observatoryで取得された H α 画像(Gerardy & Fesen 2007)と比較し、北端と東端のnonradiative filamentsの固有運動に厳しい上限値を与えた： $\mu < 0.06''/\text{yr}$
- 固有運動と衝撃波速度を組み合わせ、距離 $D > 1.7 \text{ kpc}$ と導出した。
- 膨張指数を複数の超新星残骸と比較し、年齢 $t \sim \text{数万年}$ と類推した。

解析手順メモ

1. Bias subtraction
2. Overscan subtraction
3. Flat correction
4. WCS 情報入力
5. Sky subtraction (256x256 領域ごと)
6. Chip ごとにスタック
7. I-band subtraction
8. シャープなH α フィラメントの radial profile 作成
9. 2004年の profile と比較し、固有運動を測定