

# ALMA による超新星残骸 W44 超高速成分 Bullet の観測的研究

蒔田 桃子、岡 朋治 (慶應義塾大学)

## 背景

### W44

- わし座方向に位置する超新星残骸
- 太陽系からの距離： $\sim 3$  kpc (Caswell et al. 1975)
- 電波シェルに質量約  $3 \times 10^5 M_{\odot}$  の巨大分子雲が付随 (Seta et al. 1998)
- 超新星爆発が分子雲に供給したエネルギー： $(1-3) \times 10^{50}$  erg (Sashida et al. 2013)

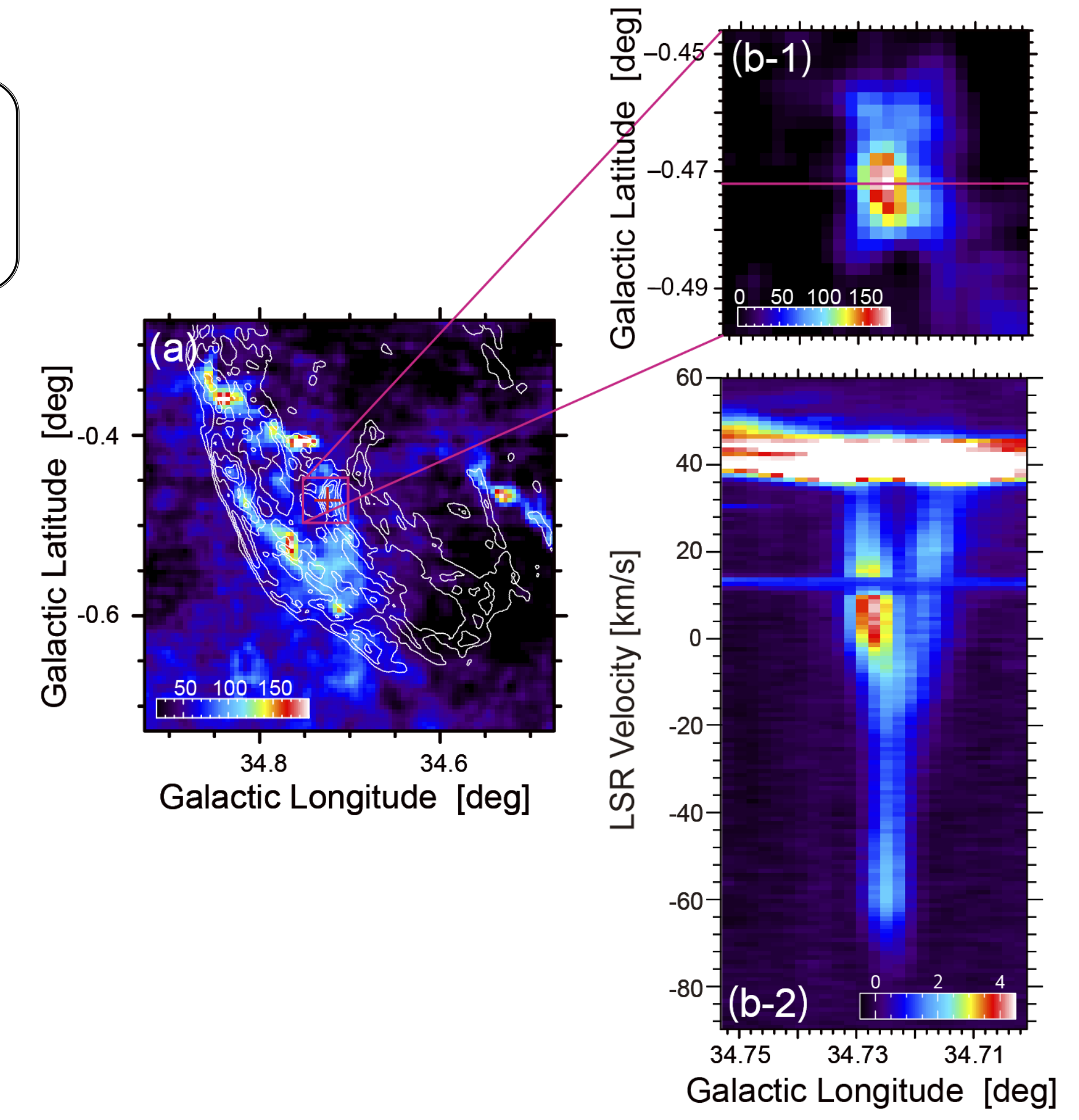
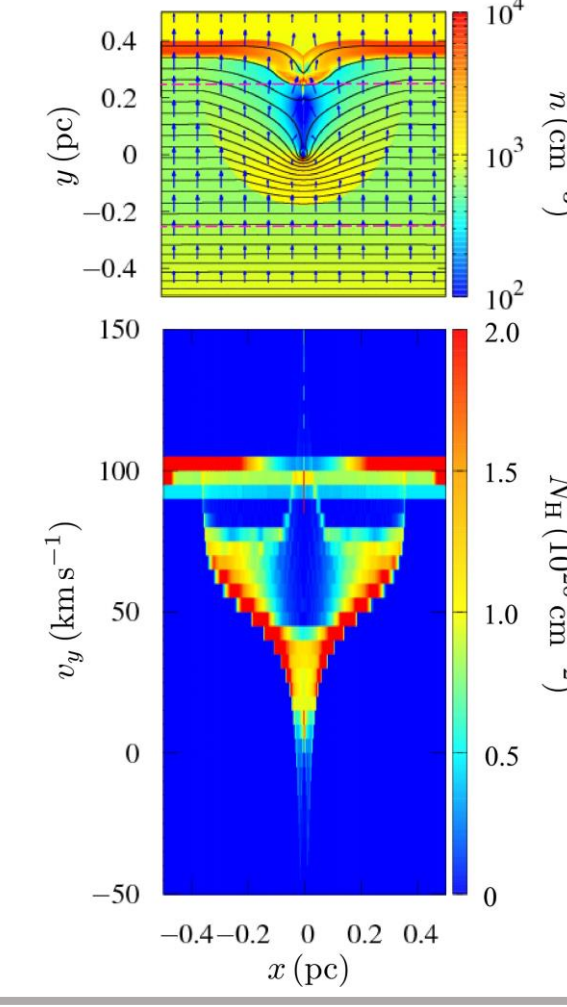
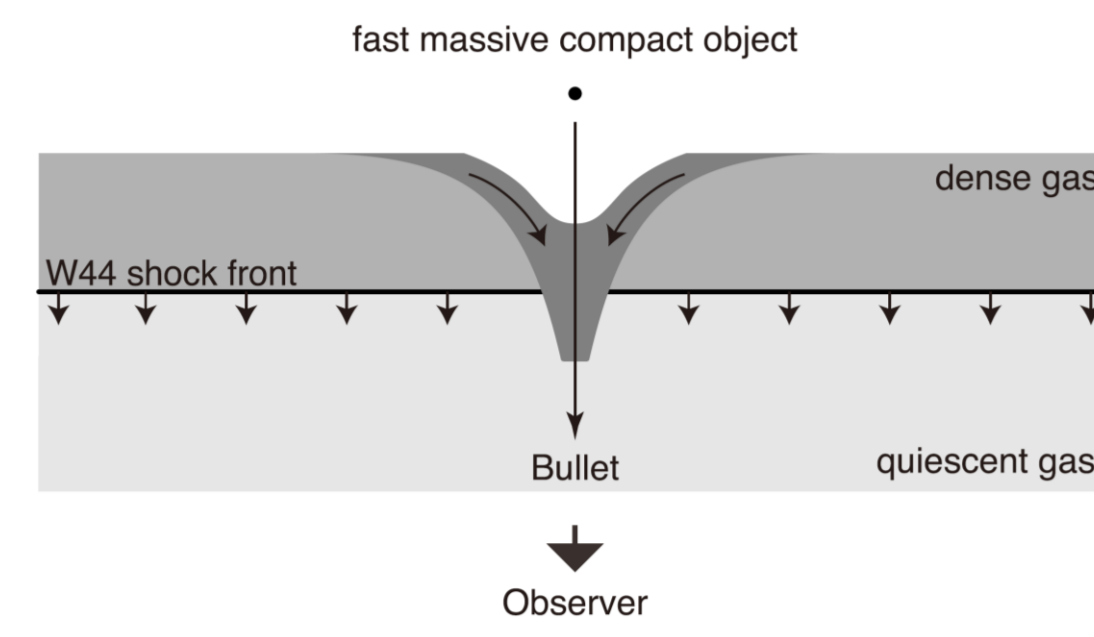
Bullet の領域に与えられる  
エネルギー： $10^{46.3-46.8}$  erg

### Bullet

- W44 に付随する超高速分子雲
  - ・空間的にコンパクト： $0.5 \times 0.8$  pc<sup>2</sup>
  - ・極めて広い速度幅： $\sim 120$  km s<sup>-1</sup>
  - ・運動エネルギー： $10^{48}$  erg
- Y字状の空間速度構造
- 対応天体の不在

### 突入モデルの提唱 (Yamada et al. 2017)

- ・単一の点状重力源が分子ガス高密度層へ突入  
 $\sim 10 M_{\odot}$  の孤立ブラックホール (Nomura et al. 2018)



(a) W44 の CO  $J=3-2$  輝線積分強度図 (Sashida et al. 2013).  
等高線は 1465 MHz 連続波強度分布図 (Jones et al. 1993).  
(b-1) Bullet の CO  $J=3-2$  輝線積分強度図.  
(b-2)  $b = 0.472$  での銀経速度図 (Yamada et al. 2017).

## 目的

- 高分解能での観測によって Bullet の詳細構造を把握
- Yamada et al. (2017) による突入モデルの妥当性を検証

## データ

### アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA)

- 観測輝線：CO  $J=3-2$
- 観測期間：2017年3月23-24日、4月16-17日

世界最高の角分解能  
0.1 arcsec @ 230 GHz

### データ解析手順

1. 干渉計データのイメージング
  - ・輝線成分の抽出
  - ・CLEAN 法によるデコンボリューション
2. 単一鏡データとの結合



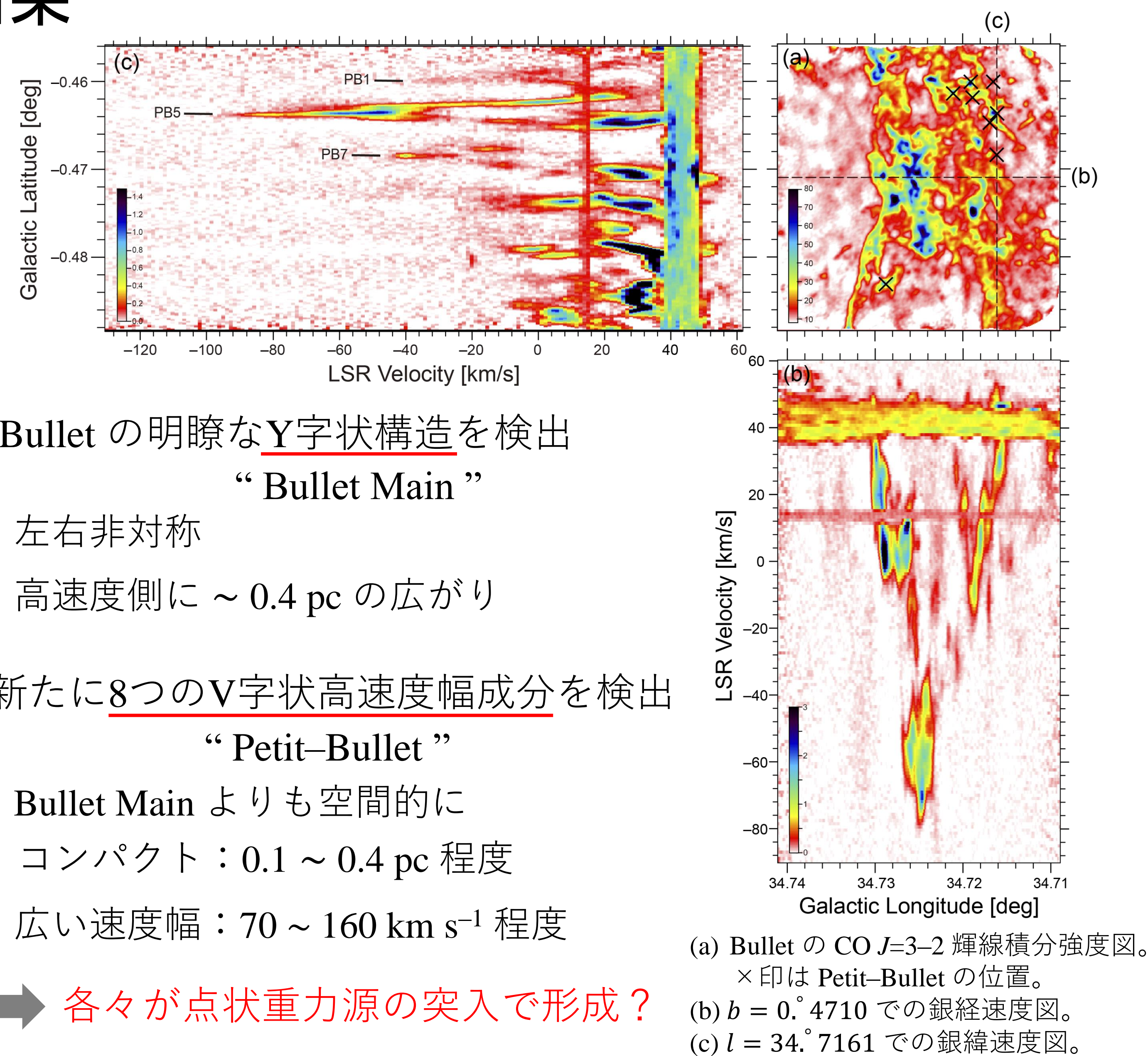
Credit: ALMA (NAOJ/ESO/NRAO)

Bullet の詳細な空間速度構造を描画  
分解能： $1.6'' \times 1.2''$  ( $0.023 \times 0.018$  pc<sup>2</sup>)

## 結果

- Bullet の明瞭なY字状構造を検出  
“Bullet Main”
  - ・左右非対称
  - ・高速度側に  $\sim 0.4$  pc の広がり
- 新たに8つのV字状高速度幅成分を検出  
“Petit-Bullet”
  - ・Bullet Main よりも空間的にコンパクト： $0.1 \sim 0.4$  pc 程度
  - ・広い速度幅： $70 \sim 160$  km s<sup>-1</sup> 程度

➡ 各々が点状重力源の突入で形成？



(a) Bullet の CO  $J=3-2$  輝線積分強度図。  
×印は Petit-Bullet の位置。  
(b)  $b = 0.4710$  での銀経速度図。  
(c)  $l = 34.7161$  での銀緯速度図。

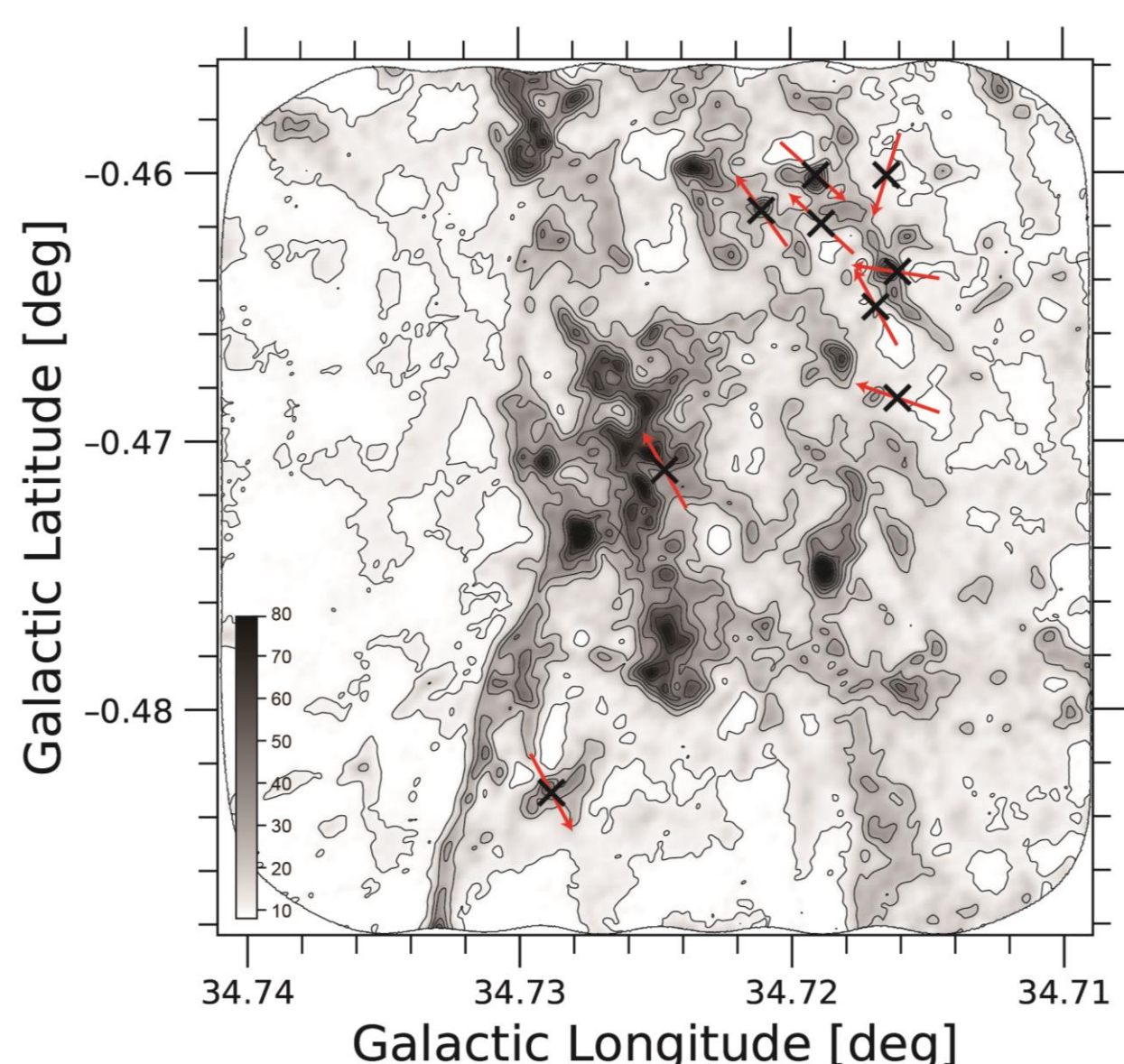
## 議論

### Bullet Main の物理量

Parameters	物理量
サイズ $S$	0.83 pc
質量 $M_{\text{gas}}$	$7.25 M_{\odot}$
運動エネルギー $E_{\text{kin}}$	$10^{47.2}$ erg

### 突入角度の推定

- 低速度・高速度成分の位置のずれから速度ベクトルを求める



形成にかかる時間が一定であると仮定

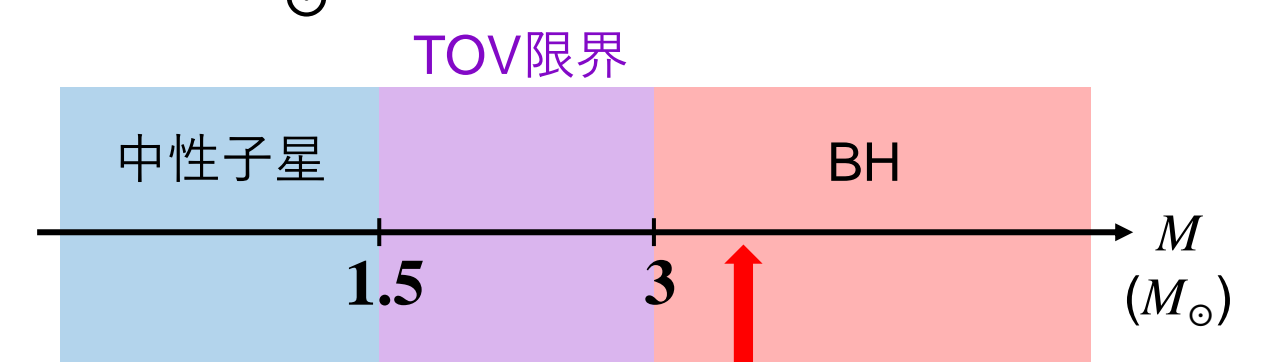
- ・平均速度  
銀経方向  $V_l = 4.8$  km s<sup>-1</sup>  
銀緯方向  $V_b = 2.5$  km s<sup>-1</sup>
- ・速度分散  
銀経方向  $\sigma_{V_l} = 7.0$  km s<sup>-1</sup>  
銀緯方向  $\sigma_{V_b} = 9.8$  km s<sup>-1</sup>

● Bullet の CO  $J=3-2$  輝線積分強度図。  
×印は Bullet Main、Petit-Bullet の位置。  
赤矢印は低速度側から高速度側へ向かう速度ベクトル (大きさは任意)。

### 突入モデルの修正

- 突入天体について
  - ・Bullet Main と8つの Petit-Bullet を形成  $\Rightarrow$  単一の点状重力源ではない
  - ・銀河円盤の回転に逆行して大きな速度を持つ  $\Rightarrow$  銀河系ハロー天体
- 一部の天体はすでに分子雲を通り抜けた後？
  - ・Bullet Main の高速度側の広がりは、乱流によって拡散したもの  $\Rightarrow$  速度幅  $\Delta V = 120$  km s<sup>-1</sup> より、経過時間は  $3.0 \times 10^3$  yr と推定
- Bullet Main 突入天体の質量  $M_* > 3.5 \sim 4 M_{\odot}$

$$P_{\text{Bullet}} = \Sigma m_{\text{Bullet}} V_{\text{Bullet}} \sim \frac{1}{2} M_{\text{gas}} V_*$$



明らかにTOV限界を超えている ➡ ブラックホール？

### 展望

- Gaia データから Bullet の領域にある恒星の運動を調べる
- Petit-Bullet の高解像度観測
- $\Rightarrow$  修正突入モデルの妥当性を検証