2017/6/9 第4回銀河進化研究会@大阪大学

銀河系中心部に発見された高速度分子雲の起源

慶應義塾大学　竹川俊也

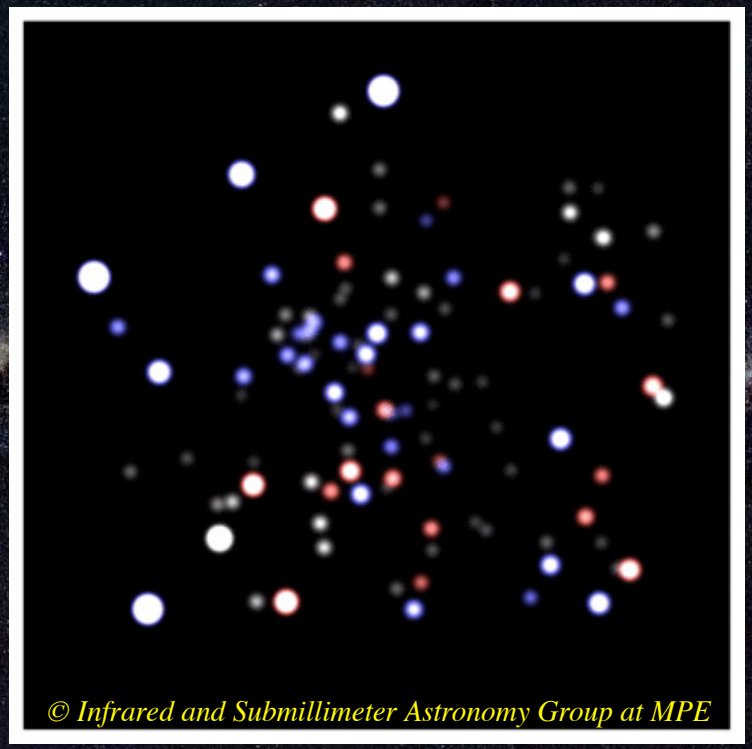
岡 朋治, 野村真理子, 岩田悠平,
徳山碩斗, 辻本志保

Photo by Iwata Y.

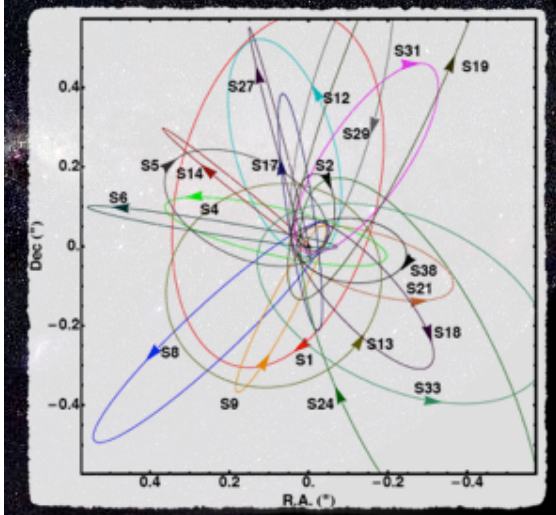
銀河中心核超巨大BHはどうできた？

© NASA, ESA

銀河系中心核
The Galactic Nucleus



Sgr A*
D=8.3 kpc (27000光年)



400万太陽質量の「見えない」質量
= 超大質量ブラックホール

© 2000, Axel Mellinger

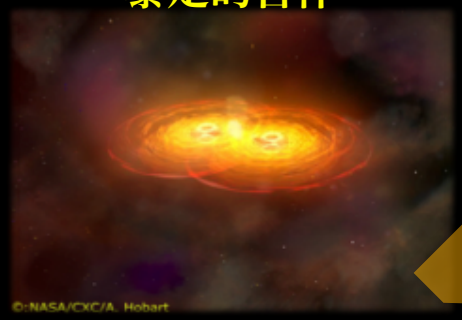
銀河中心核超巨大BHはどうできた？

- 爆発的星形成
  - 高密度巨大星団の形成
- 星同士の暴走的合体
  - 中質量BHの形成
- 中質量BHの合体
  - 超大質量BHの形成・成長

爆発的星形成

高密度巨大星団

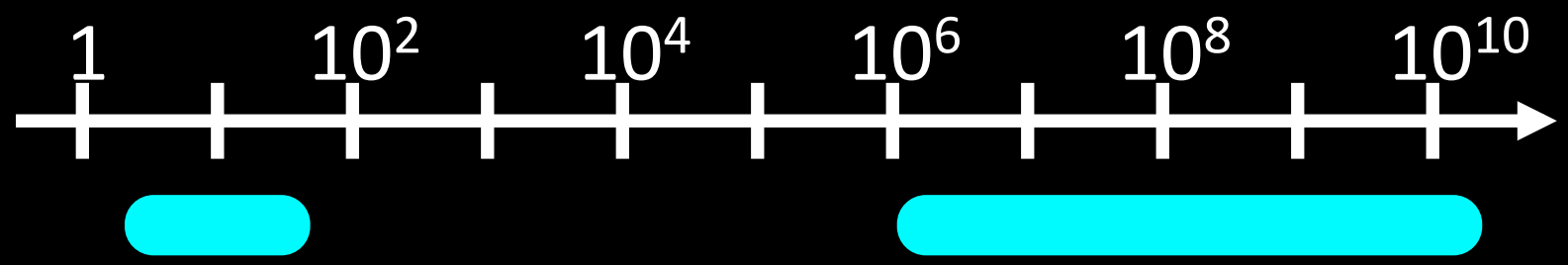
暴走的合体



超大質量ＢＨ

Ebisuzaki et al. 2001

ブラックホール候補天体の質量
Mass of Black Hole Candidates



恒星質量ブラックホール

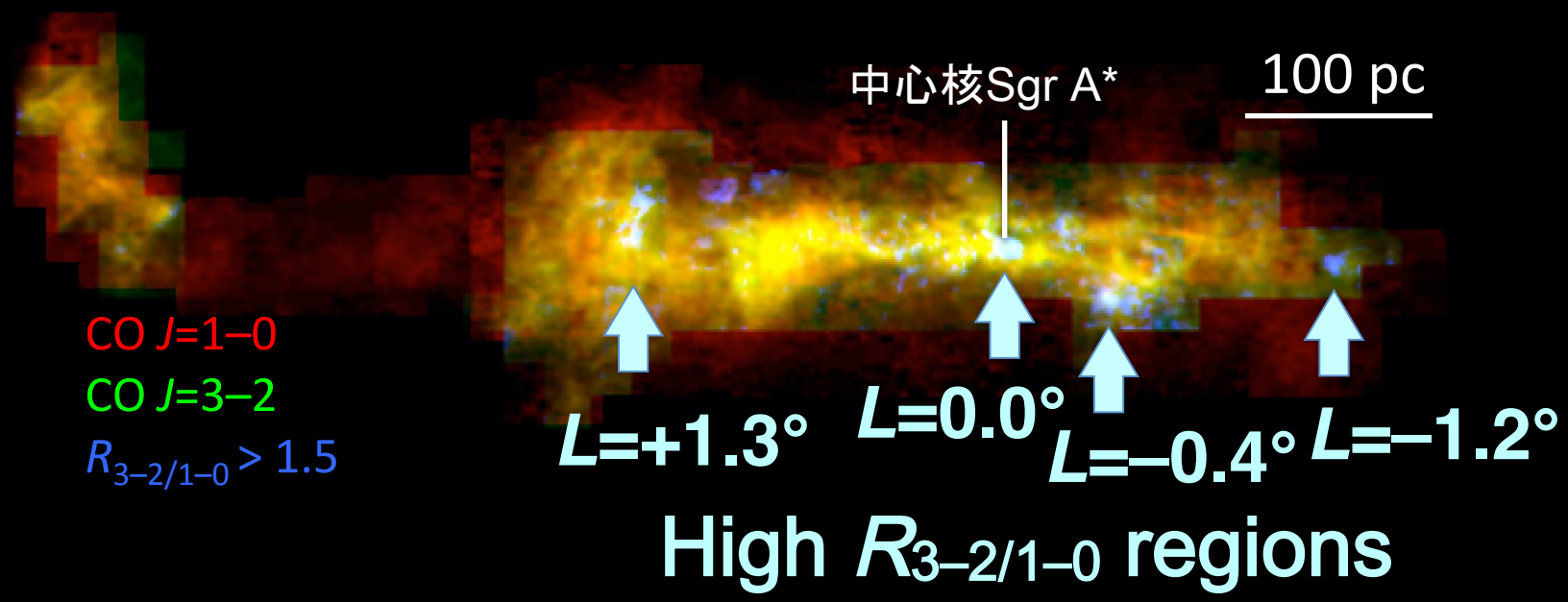
- 銀河(系)円盤部
- 大質量星起源

超大質量ブラックホール

- 銀河中心核
- 起源？

銀河系中心分子層
Central Molecular Zone
銀河系中心部の分子雲の密集領域

Composite CO image of the CMZ (*Oka+ 1998, 2012*)



High $R_{3-2/1-0}$ regions

高温(T_k>50 K) 高密度($n(H_2)$>10^4 cm^{-3})

→何かが起きている…

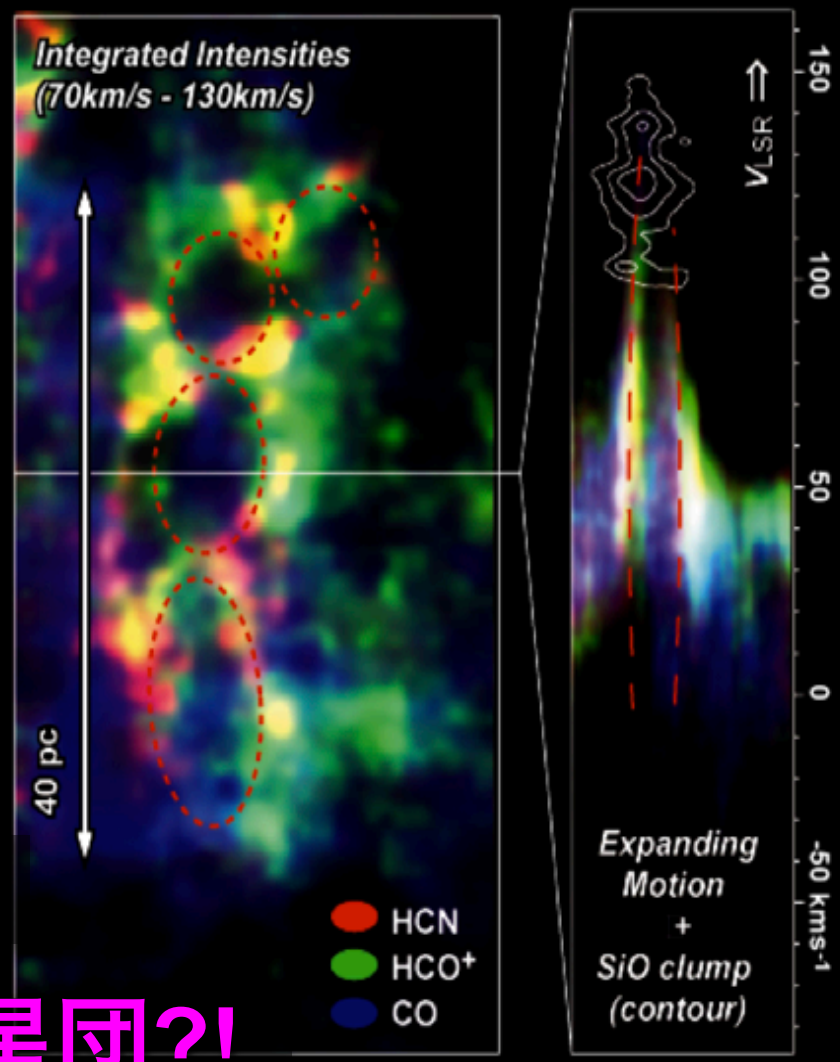
埋もれた大質量星団(？)

L=1.3° complex

- E_{kin} = 2×10^{52} erg
- t_{exp} = 6×10^{4} yr
- 速度端にSiOクランプ
- 他波長対応天体なし
- 超新星頻度= 1–3×10^{-3} yr

→星団質量~10$^{5–6}$ M_{sun}

銀河系内で最も巨大な星団?!



Tanaka+2007

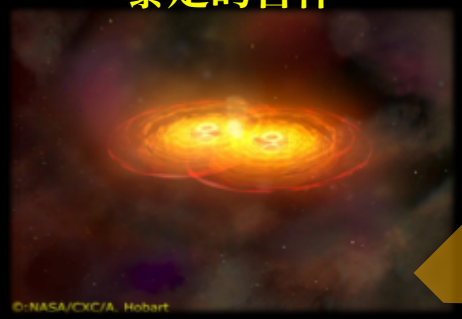
銀河中心核超巨大BHはどうできた？

- 爆発的星形成
  - 高密度巨大星団の形成
- 星同士の暴走的合体
  - 中質量BHの形成
- 中質量BHの合体
  - 超大質量BHの形成・成長

爆発的星形成

高密度巨大星団

暴走的合体



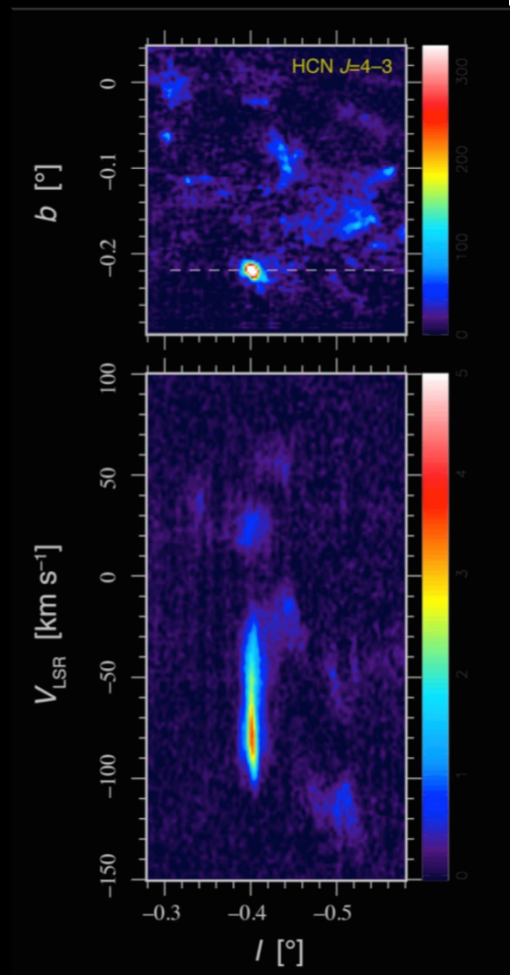
超大質量ＢＨ

Ebisuzaki et al. 2001

高速度コンパクト雲
High Velocity Compact Cloud (HVCC)

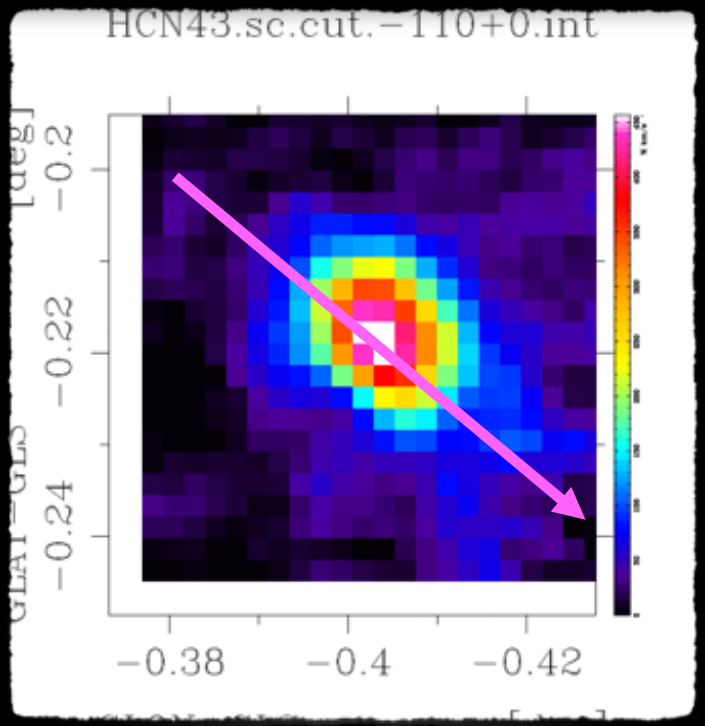
- 速度幅が著しく広い
- 空間構造が乏しい
- 対応天体なし
- 銀河系中心部に多数

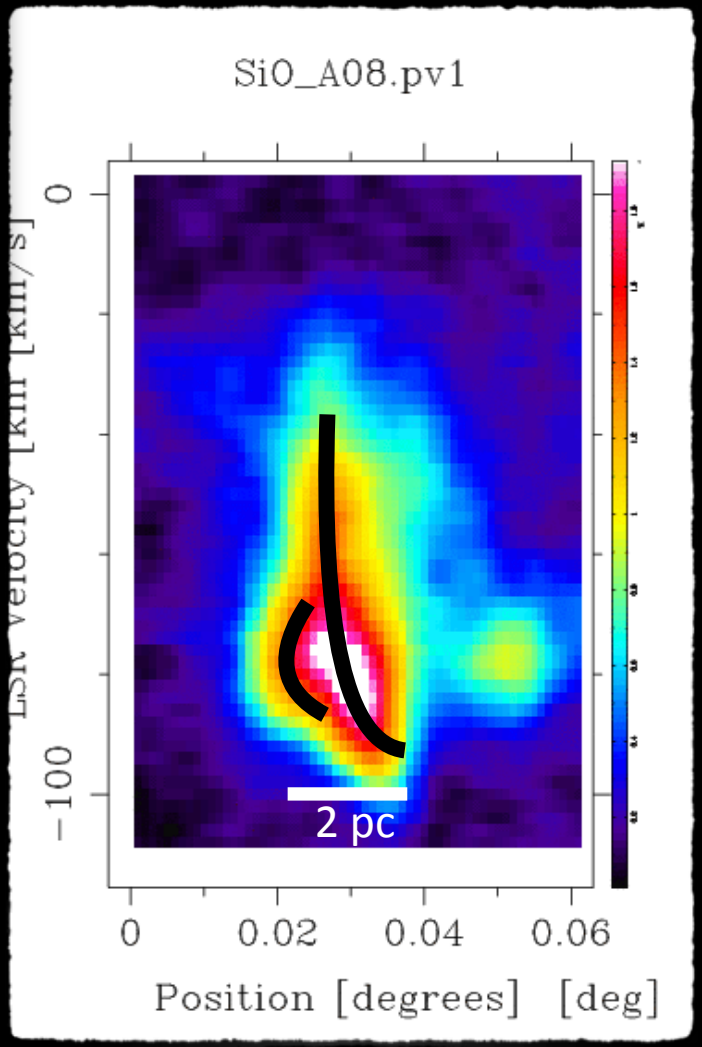
これは一体何？？



Kinematics

- Size ~ 2 pc
- Velocity gradient shift
- Eastern hump

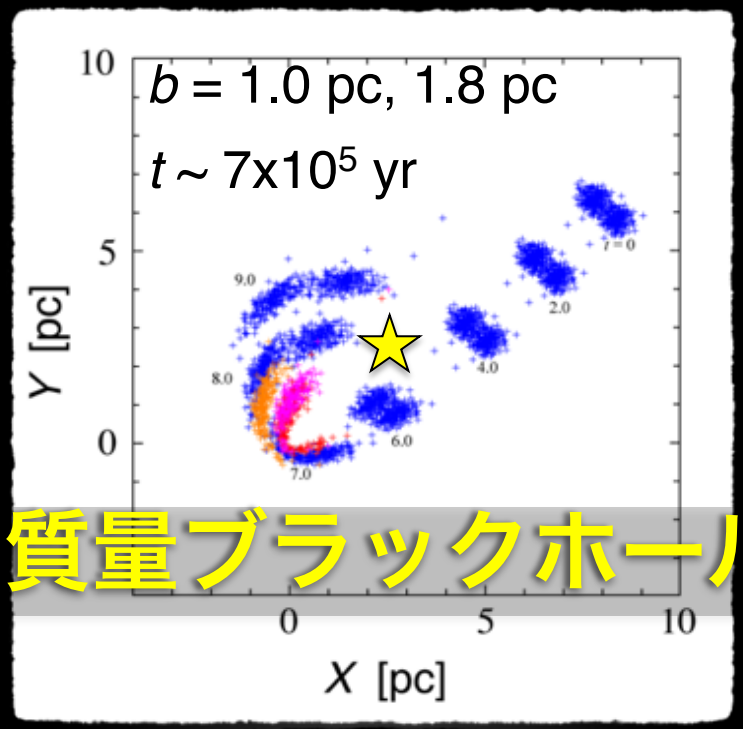




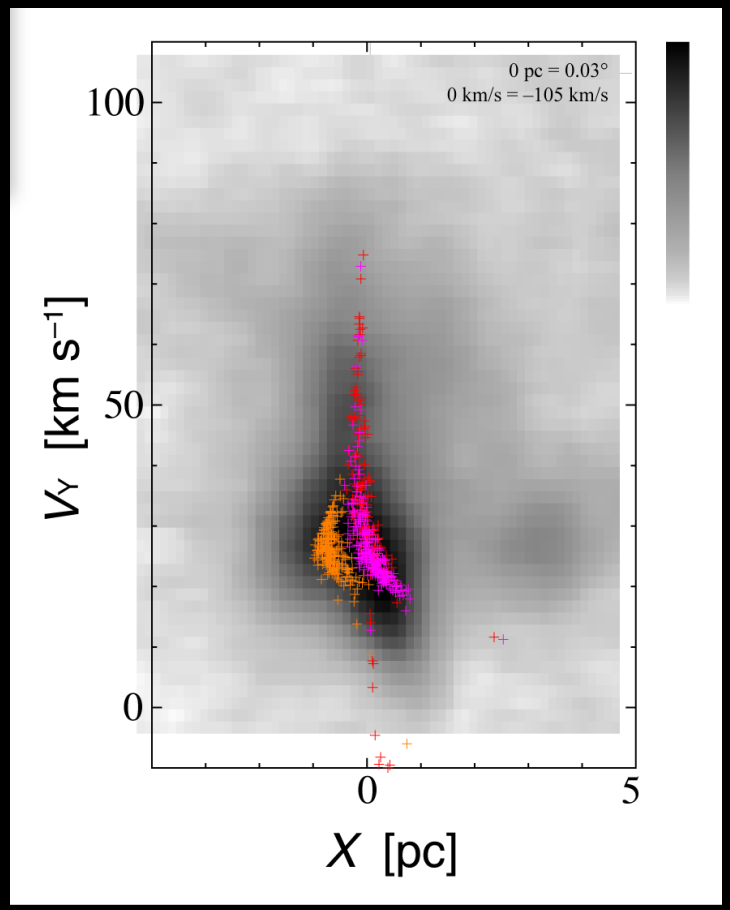
Oka+2016

Gravitational Kick Model

- $M = 10^5\ M_{\rm sun}$
- $V_0 = 10$ km s^{-1}, $D = 10$ pc



中質量ブラックホール?!



Oka+2016

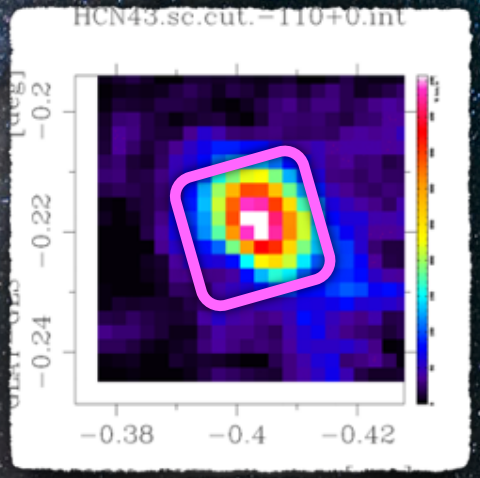
ALMA Band 6 observations

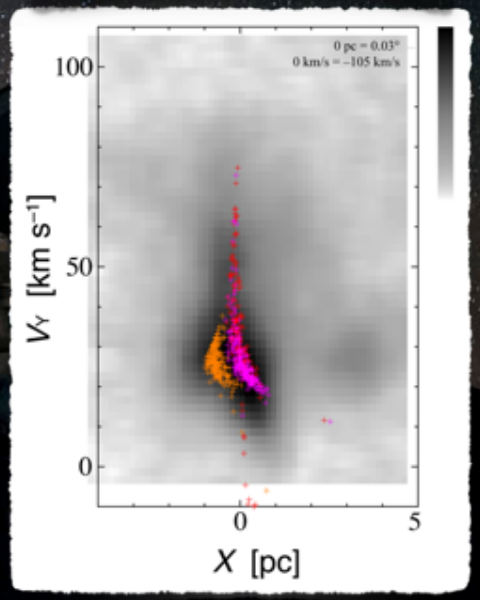
Oka et al., submitted to Nature Astron.

- CO *J*=2–1 : 230.538001 GHz
- HCN *J*=3–2 : 265.886432 GHz

- 12m array + 7m array
- HPBW = 1.7”×1.0”@231 GHz
  = 1.3”×0.5”@266 GHz

- Progress
  - Nov. 2012: Approved Cycle 1 obs.
  - Oct. 2013: Transfer to Cycle 2
  - Dec. 2014: 7m data delivery
  - Apr. 2015: 12m data delivery

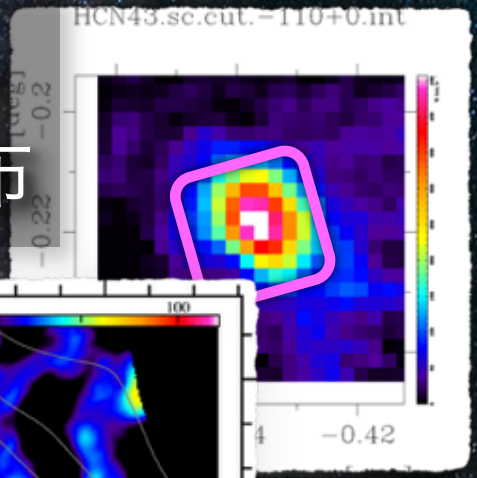


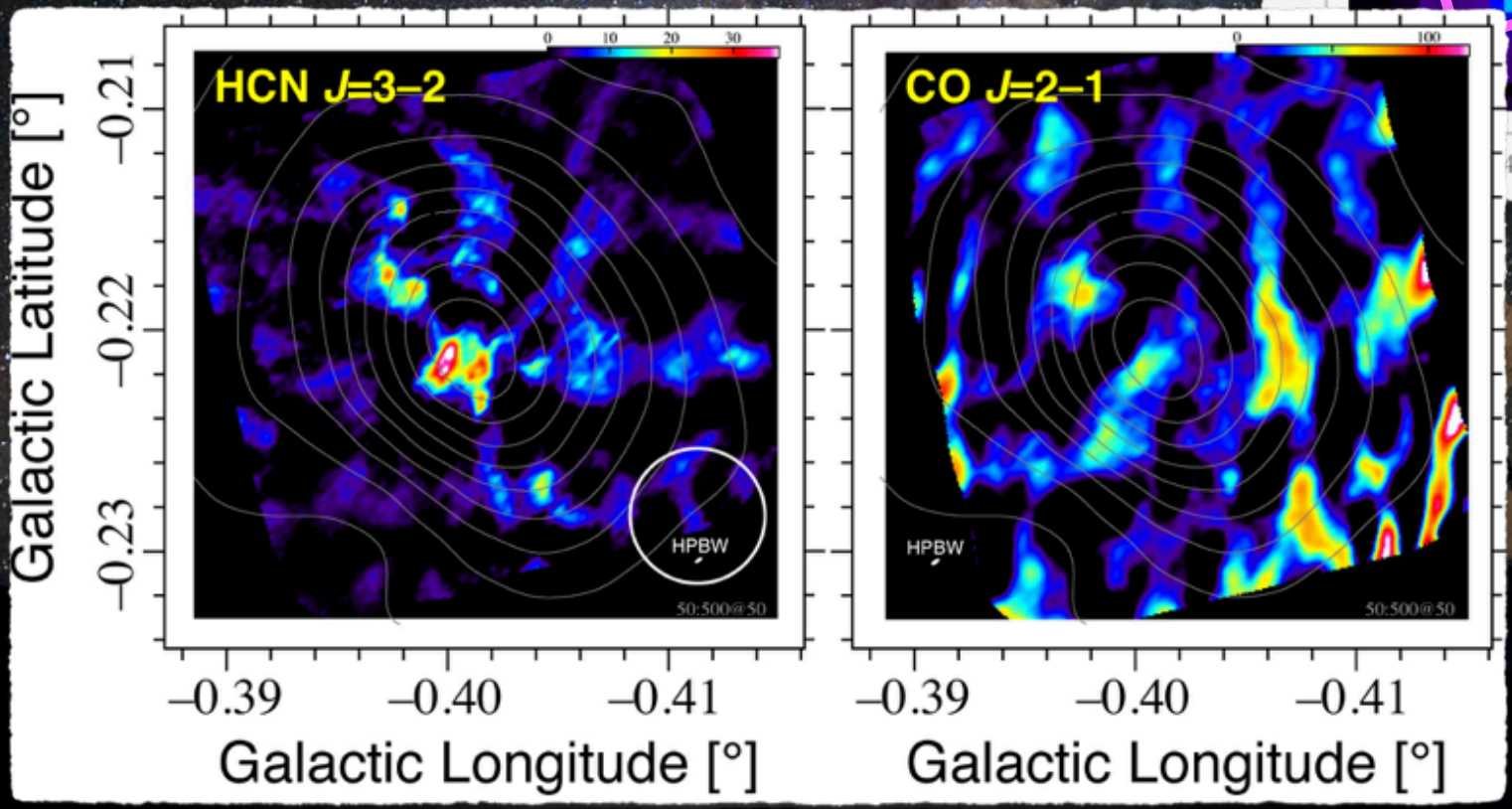


ALMA Band 6 observations

Oka et al., submitted to Nature Astron.

- 高密度ガス: compact clumps
- 低密度ガス: 空間的に広く分布



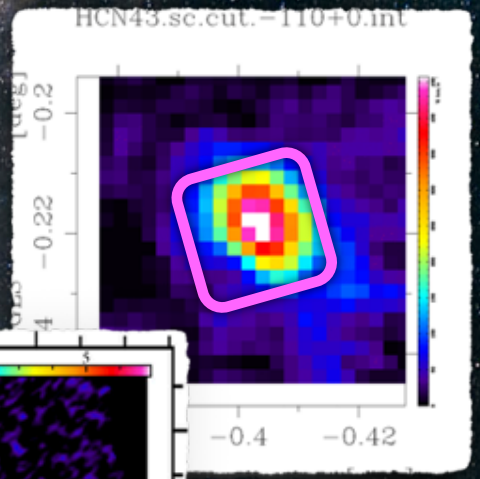


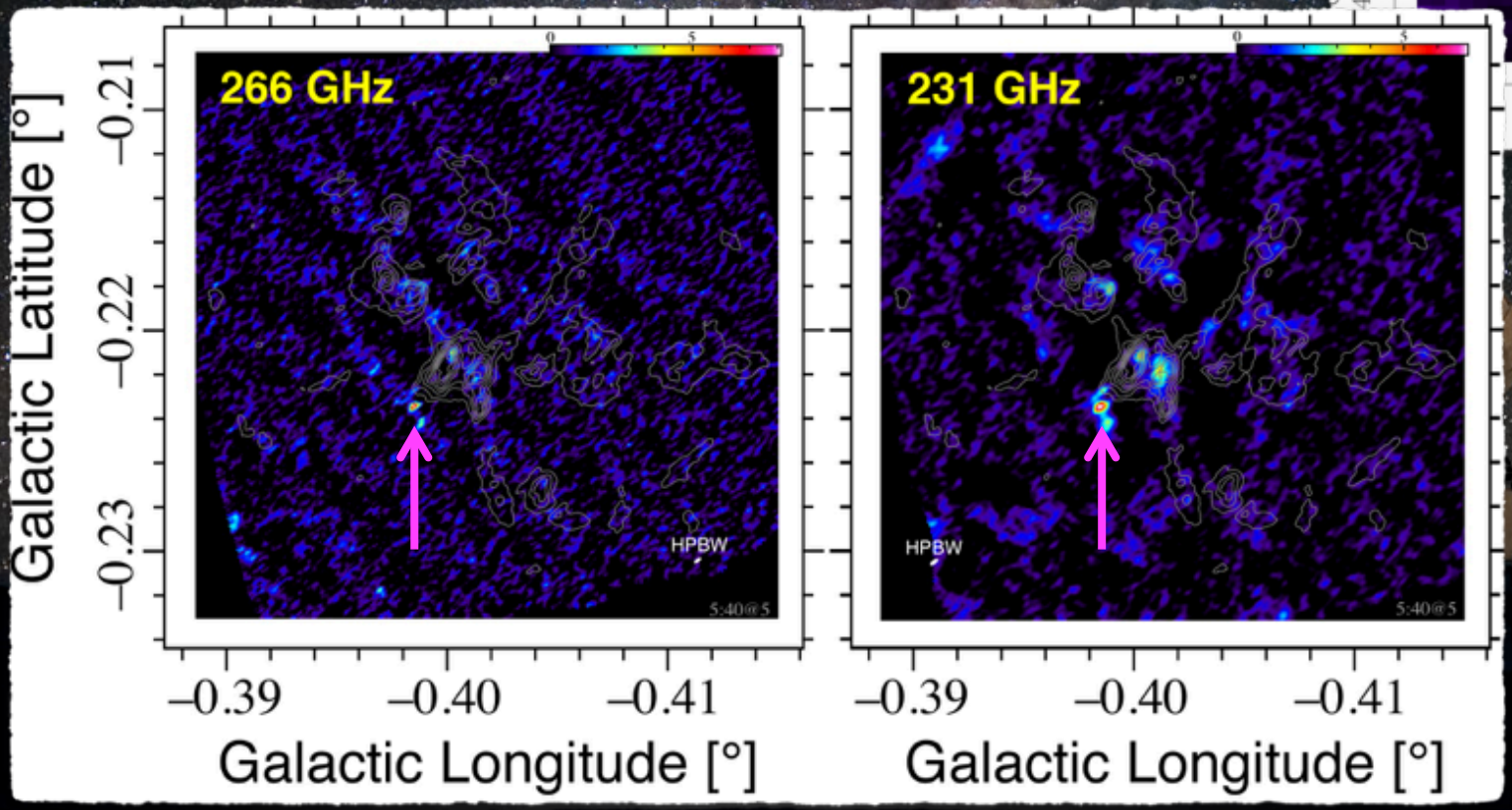
ALMA Band 6 observations

Oka et al., submitted to Nature Astron.

- クランプ近傍に**点状電波源**

  サイズ<$HPBW_{266}$ (=0.06×0.02 pc^2)





Point-like Continuum Source

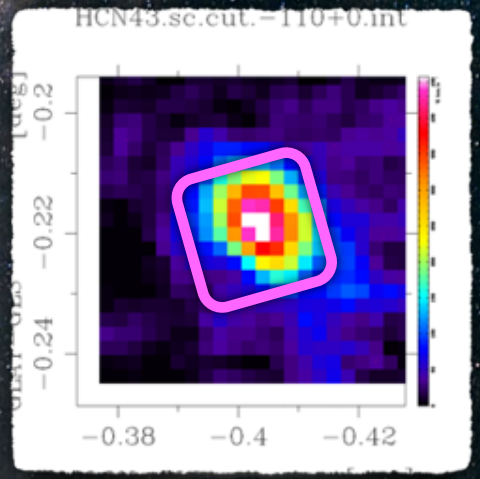
Oka et al., submitted to Nature Astron.

- Flux density

  F_{231G} = 8.2±0.4 mJy

  F_{266G} = 9.7±0.4 mJy　(α = 1.18±0.65)

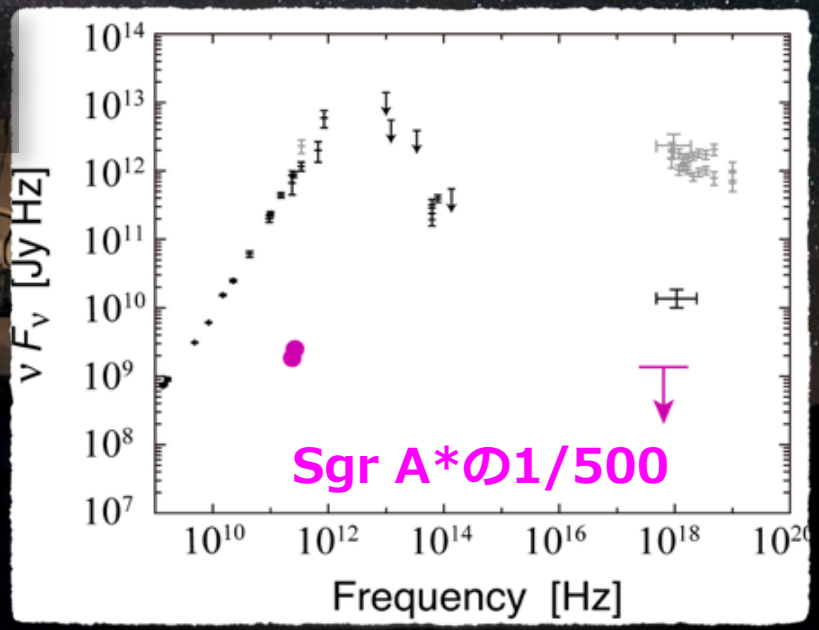
  F_X < 0.95 nJy



BH近傍からの放射？

✗ Protoplanetary disk?
T_d ~ 9 K

✗ Submillimeter Galaxy?
P_{ch} < 0.028 %



Gravitational Kick Model Revisited

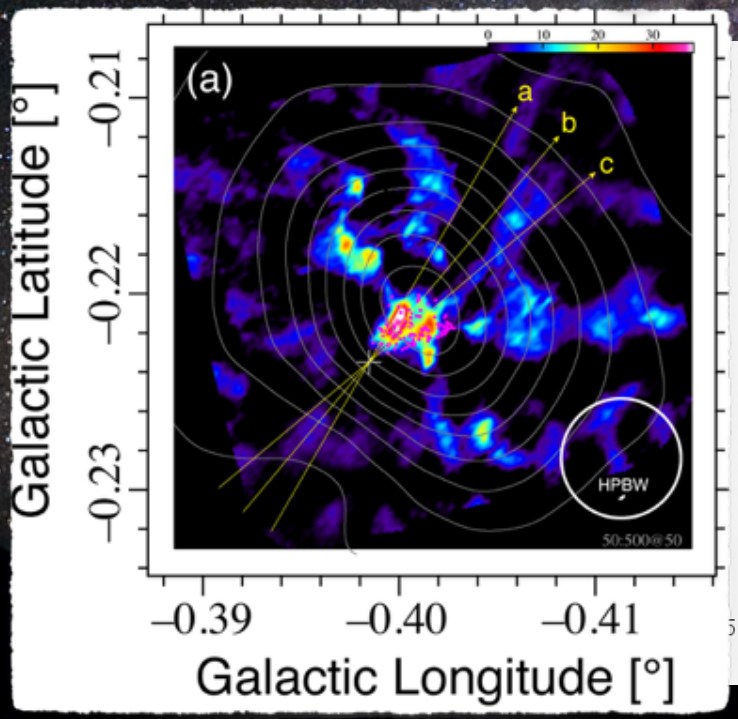
Oka et al., submitted to Nature Astron.

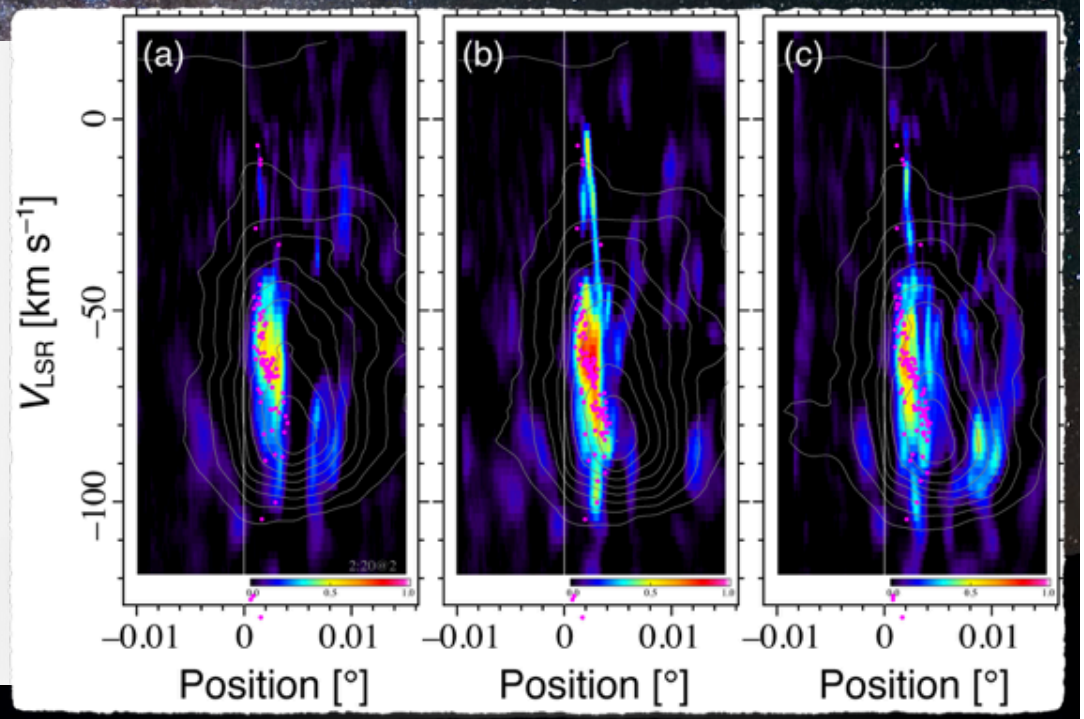
- 点状電波源の位置に $10^5\ M_{sun}$ の点状重力源

ϕ = 45°, P.A. = 41.6°, i = 70°

Minor mergerの名残?

非常に良く再現





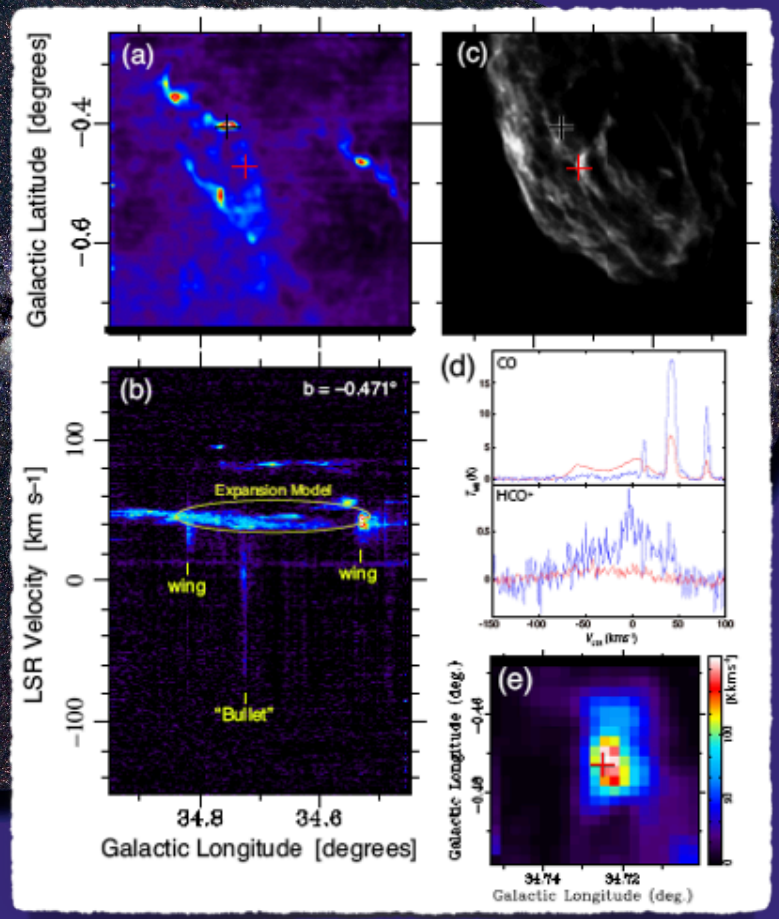
銀河系内のBH候補天体
BH Candidates in the Galaxy

無数の野良BH

理論計算: 10^{8-9}個のBH

(e.g., Caputo+2017)

野良BHの候補
Candidates for Isolated BHs

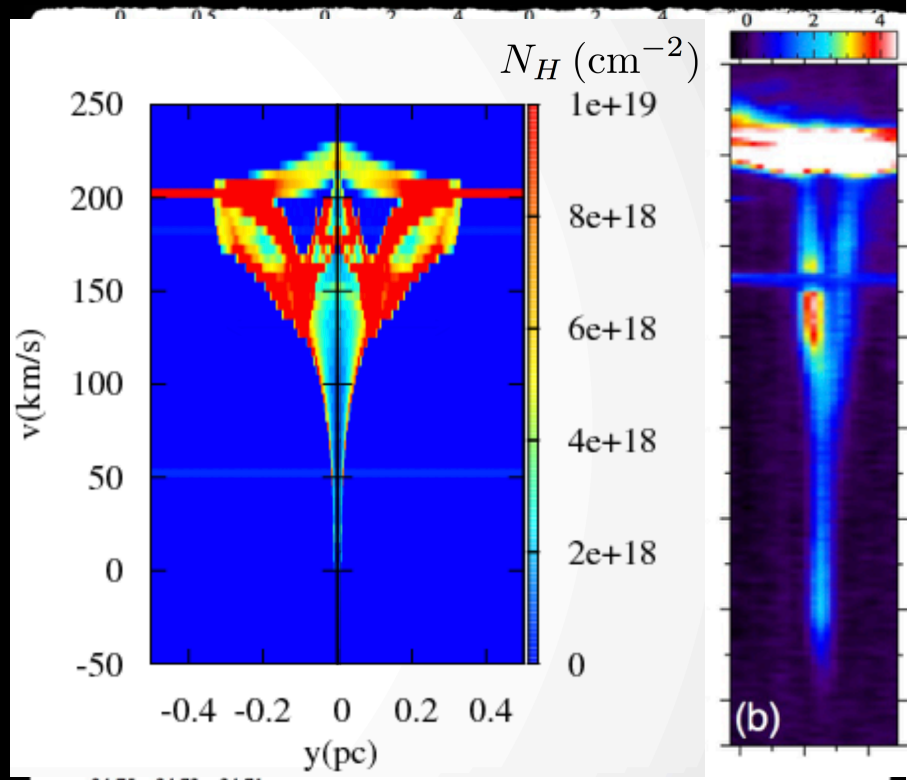


超新星残骸W44

W44超新星残骸中の「弾丸」
Bullet

- 極めて高速度な分子ガス
  - 膨張運動に沿わない
- 膨大な運動エネルギー
  ~10^{48} erg
  - 超新星では賄い切れない

Sashida et al. 2013, ApJ, 774, 10
Yamada et al. 2017, ApJ, 834, L3



$M \geq 30\ M_{sun}$ のBHが
高密度層を高速通過？

磁気流体シミュレーション

Nomura et al., in prep.

銀河系中心核近傍の野良BHの候補

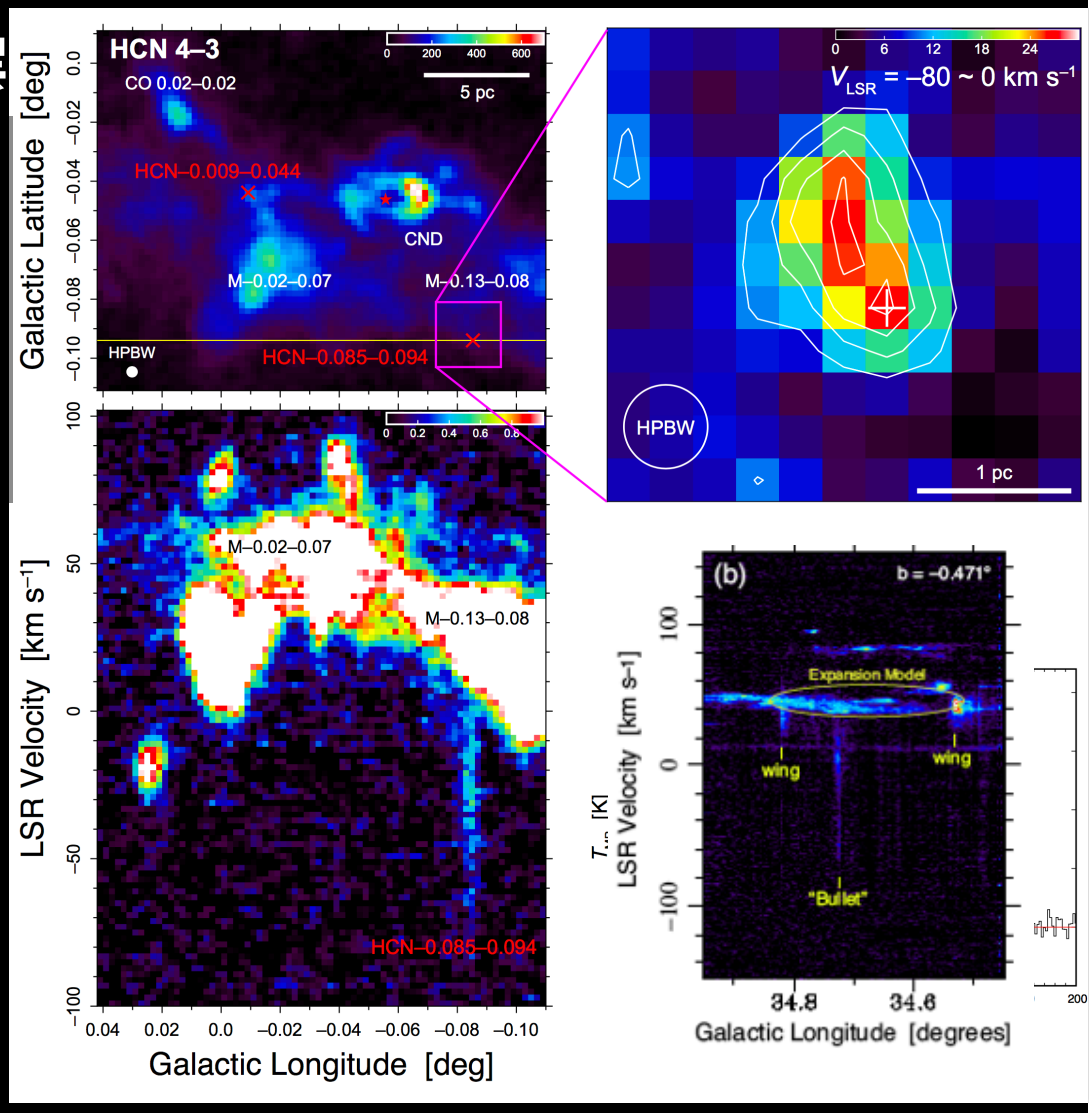
Takekawa et al., submitted to ApJL

小型高速度コンパクト雲

- Size ~1 pc
- ΔV_{FWZI}>100 km/s
- E_{kin} = 6×10^{47} erg
- P_{kin} = 2×10^{36} erg/s

✕Protostellar outflow?
✕SNR?
✕Cloud collision?

Bulletと同種の天体?
=BHの突入？



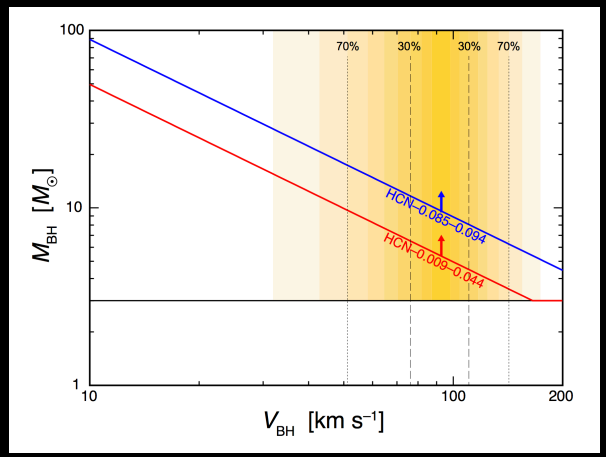
銀河系中心核近傍の野良BHの候補

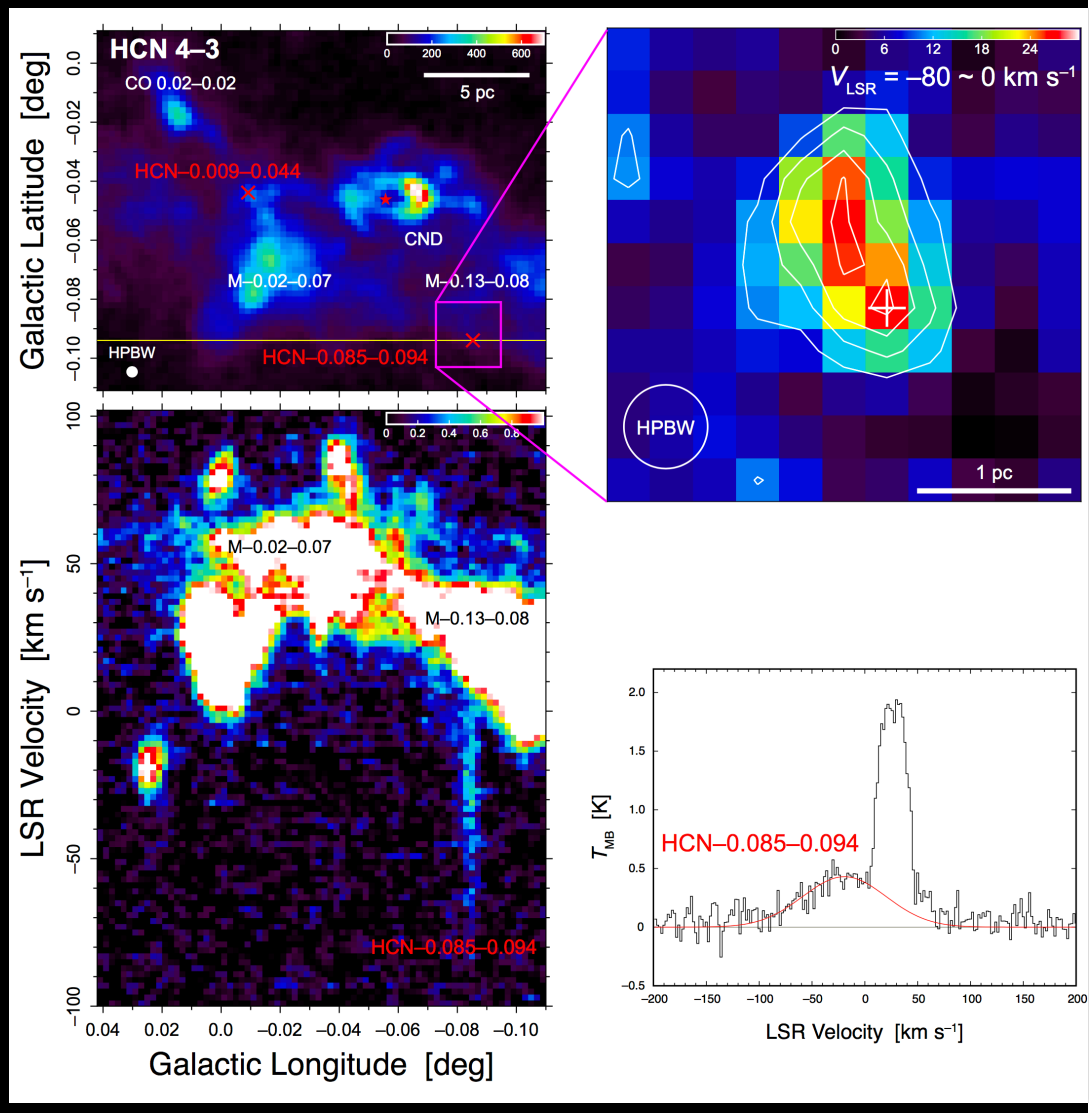
Takekawa et al., submitted to ApJL

飛び交うBHsが
$M_r=3\times10^7\ M_{sun}$, r=10 pc
でvirializeしていると仮定

⇩

突入速度~90 km/s



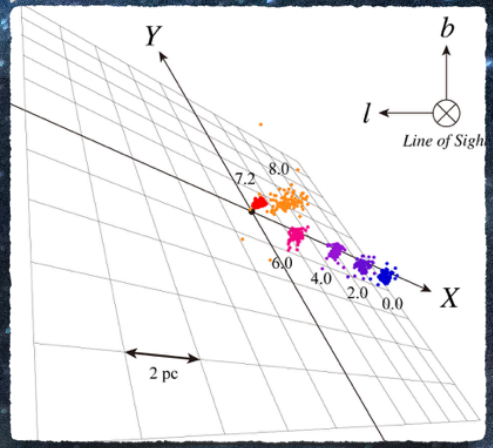


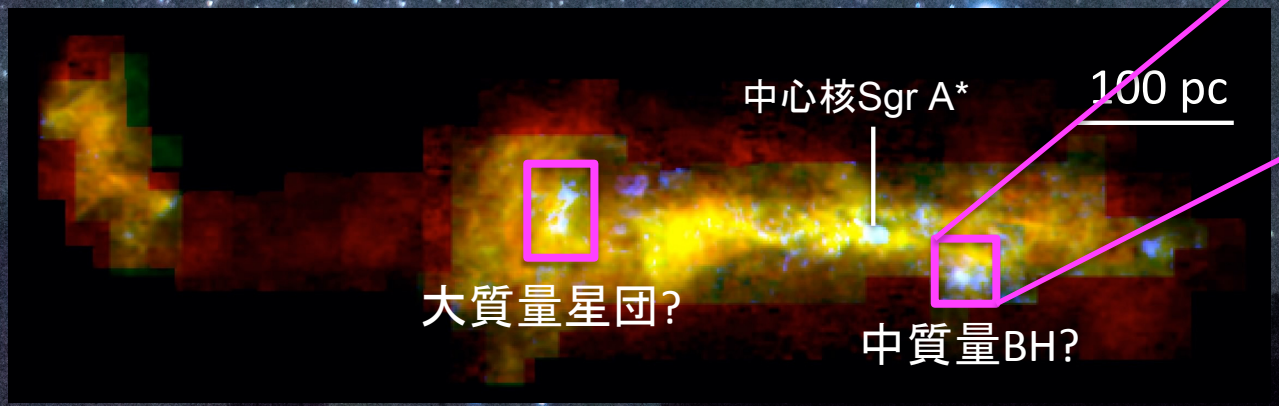
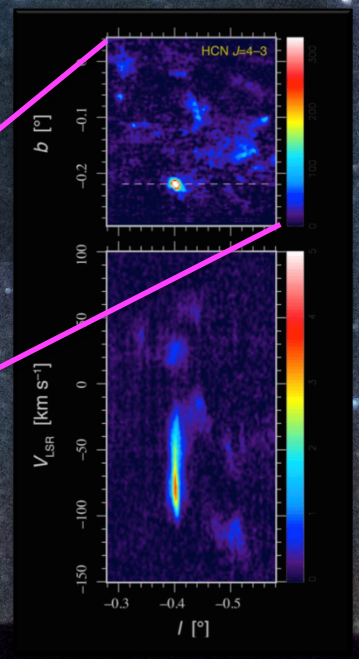
M > ~5 M_{sun} のBHが
高密度分子雲を通過？

まとめ

高速度分子雲

- 埋もれた大質量星団
- 点状重力源による重力散乱



野良ブラックホール検出の可能性

BH探査の新手法