

Filamentary Structures of the Galactic Center 50km/s Molecular Cloud with ALMA

上原顕太 (東京大学), 坪井昌人, 北村良実 (ISAS/JAXA),
宮脇亮介 (桜美林大学), 宮崎敦史 (NAOJ/JSF)

1 概要

銀河系中心 50km/s 分子雲は Sagittarius A (Sgr A) 領域で最も目立つ分子雲で, 過去の観測から分子雲衝突による大質量星形成領域の候補として考えられている. 今回, 我々は ALMA cycle1 で 50km/s 分子雲の広範囲, 高分解能の輝線観測を行った. そして, CS($J = 2 - 1$) 輝線のマップから, いくつかのフィラメント状の構造が存在していることを発見した. この様なフィラメント状の構造は Herschel の観測によって銀河系円盤部では普遍的に存在していることが分かっているが, 銀河系中心領域では G0.253+0.016 で 1 例見つかったに過ぎなかった. 我々の観測で, 50km/s 分子雲にフィラメント状構造が見つかったことで, 銀河系中心領域でも分子雲は普遍的にフィラメント状で存在していることが強く示唆された.

2 イントロ

Herschel Space Observatory によるサーベイ観測から, 銀河系円盤部の分子雲は, 星形成の有無などに関係なくフィラメント状の構造を持っていることが発見された [1][2][5]. 一方, 銀河系中心領域では, ALMA の観測から G0.253+0.016 でのみフィラメント状の構造が発見されている [7]. しかし, 銀河系中心領域の分子雲複合体 (Central Molecular Zone[6]) にある分子ガスは, 円盤部に比べて高温 ($\sim 10 - \sim 100\text{K}$), 高密度 ($> \sim 10^3\text{cm}^{-3}$) で広い速度幅 ($\sim 15 - \sim 50\text{km/s}$) を持っており, 円盤部と大きく環境が異なっている. つまり, G0.253+0.016 の 1 例だけでは CMZ にある分子雲が普遍的にフィラメント状の構造を持っているかどうか分からない. そのため, 我々は銀河系中心 Sgr A 領域の 50km/s 分子雲の高分解能の観測を行った. 50km/s 分子雲は Sgr A* から $\sim 3'$ 程離れたところにあり, Sgr A 領域で最も目立つ分子雲で compact H II region を含んでいる [3][4]. そして, 大質量星形成が起きている領域として知られている [11]. 野辺山 45m 望遠鏡や野辺山ミリ波干渉計による CS($J = 1 - 0$) 輝線の観測 [8][10] から 37 個の分子雲コアを同定したが [9], 分解能が十分でなかったため, フィラメント状の構造にまで分解されていなかった. そこで, 我々は ALMA を用いて 50km/s 分子雲の観測を行った. 今回はその観測結果について述べていく.

3 観測

ALMA cycle1 で 50km/s 分子雲全体をカバーする領域 ($l, b = (-0.02^\circ, -0.07^\circ)$) を中心とした $330'' \times 330''$ のモザイク観測を行った (2012.1.00080.S, PI M.Tsuboi). 周波数帯は ALMA band3 ($\sim 85 - 100\text{GHz}$) で, CS($J = 2 - 1$), SiO($J = 2 - 1$), $\text{H}^{13}\text{CO}^+(J = 1 - 0)$, CH_3OH , $\text{H}2\alpha$ などの輝線を含んでいる. 角度分解能は $\sim 1.5'' \times 1.5''$ ($\sim 0.06\text{pc} \times 0.06\text{pc}$) で過去の観測に比べ 10 倍程度向上しており, 速度分解能は $\sim 0.75\text{km/s}$ ($\sim 97.98\text{GHz}$) である. CASA を用いてデータリダクションとイメージングを行なった. 12m array, ACA, TP を用いて観測されたが, 今回は既に配布されている 12m array と ACA のデータを用いている.

4 結果と考察

CS($J = 2 - 1$) 輝線のチャンネルマップの一部を図 3 に示す. 速度範囲は 5–45km/s で速度幅は 5km/s である. さらに白のコントラで 86GHz の連続波を示している. この図から, 50km/s 分子雲を詳細な構造にまで分解できたことが分かる. そして, 多くのフィラメント状の構造を確認することが出来る. これは, 銀河系中心領域としては G0.253+0.016 に続き 2 例目であり, 今回の観測結果から, 銀河系中心領域でも分子雲は普遍的にフィラメント状で存在していることが強く示唆される. そして, これらの構造は銀河系円盤部で見つがっているフィラメント状構造 [1][2][5] の見た目と良く似ているため, 大質量星形成領域である Orion A 分子雲との比較を行なった. フィラメントの幅と柱密度を見積もった. その結果を表 1 に示している. 50km/s 分子雲については, まだ単一鏡 (TP) のデータが来ていないので広がった構造が落ちてしまっていると考えられるため, 今回求めた物理量は preliminary な結果であるが, これらの物理量はオーダーでは一致していることが分かった. しかし, 銀河系中心領域と円盤領域では速度幅の違いなど大きく環境が異なっているため, 今後, 磁場などの外的要因との関係について詳しく見ていく必要がある. さらに, SiO($J = 2 - 1$), $H^{13}CO^+$ ($J = 1 - 0$) 輝線でも同様のフィラメント状の構造を確認することが出来る. SiO 輝線は衝撃波領域のトレーサーなので, 衝撃波領域もフィラメント状に分布していることが分かる. さらに, 衝撃波トレーサーとして用いられる SiO と $H^{13}CO^+$ の輝線比から, 特に衝撃波の強い領域はクランプ状で存在していることが分かった.

表 1 50km/s 分子雲と Orion A 分子雲のフィラメントの幅と柱密度である.

天体	width[pc]	column density $N(H_2)$
50km/s 分子雲	~ 0.25	~ 10^{22}
Orion A 分子雲	~ 0.4	~ 10^{21-23}

5 まとめと今後の展望

ALMA cycle1 による 50km/s 分子雲の高分解能の観測からフィラメント状構造が発見された. これは銀河系中心領域では 2 例目であり, 銀河系中心領域でも分子雲は普遍的にフィラメント状で存在していることが強く示唆された. そして, フィラメントの幅と柱密度を見積もったところ, 円盤領域とは環境が大きく異なるにもかかわらず, これらの物理量は一致していることが分かった.

今後は, 単一鏡のデータとの合成を行ない物理量の再見積もりを行なう予定である. さらに, 過去の観測に比べ 10 倍程度分解能が向上し観測領域も広がったため, 多くの分子雲コアの同定が期待される. フィラメントや分子雲コアのデータをもとに, 50km/s 分子雲のコア質量関数の見積もりなどの統計的な議論を行なっていく.

参考文献

- [1] André, P., et al. 2014, Protostars and Planets VI, 27
- [2] André, P., et al. 2010, A&A, 518, L102
- [3] Ekers, R. D., et al. 1983, A&A, 122, 143
- [4] Goss, W. M., et al. 1985, MNRAS, 215, 69P
- [5] Miville-Deschênes, M.-A., et al. 2010, A&A, 518, L104
- [6] Morris, M., & Serabyn, E. 1996, ARA&A, 34, 645
- [7] Rathborne, J. M., et al. 2015, ApJ, 802, 125
- [8] Tsuboi, M., et al. 1999, ApJS, 120, 1
- [9] Tsuboi, M., & Miyazaki, A. 2012, PASJ, 64, 111
- [10] Tsuboi, M., et al. 2009, PASJ, 61, 29
- [11] Tsuboi, M., et al. 2015, PASJ, arXiv:1507.08351

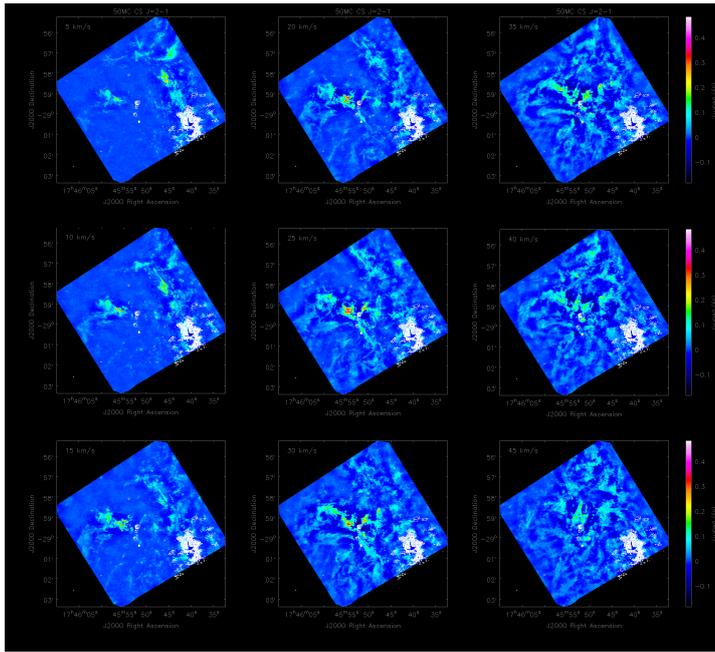


図 1 50km/s 分子雲の CS($J = 2 - 1$) 輝線の 5–45km/s のチャンネルマップである。速度幅は 5km/s で、白のコントアは 86GHz の連続波を表している。

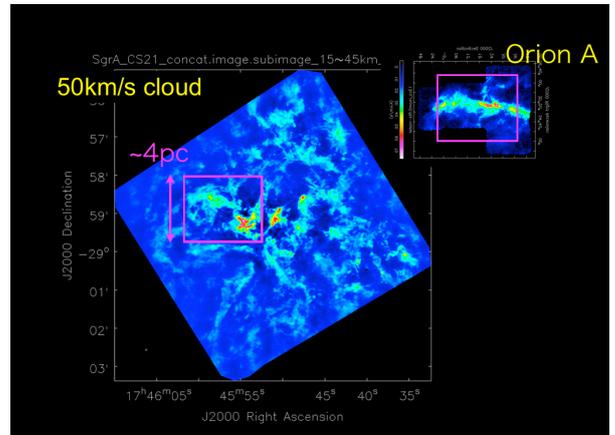


図 2 50km/s 分子雲 (CS($J = 2 - 1$) 輝線) と Orion A 分子雲 ($^{13}\text{CO}(J = 1 - 0)$ 輝線) におけるフィラメント状構造の比較である。直線で囲まれた長方形の領域はともに $\sim 4\text{pc} \times 5\text{pc}$ の範囲を表している。

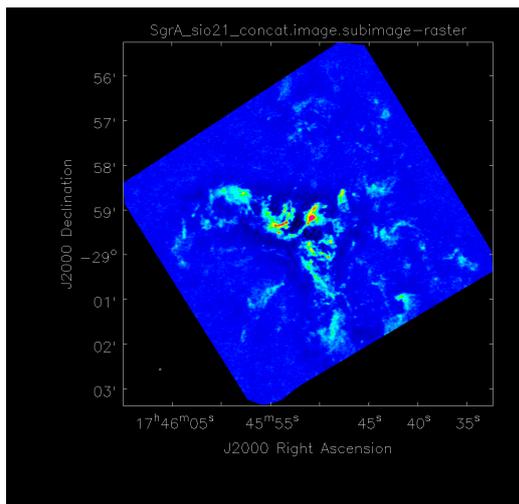


図 3 50km/s 分子雲の SiO($J = 2 - 1$) 輝線の 30km/s のチャンネルのマップである。

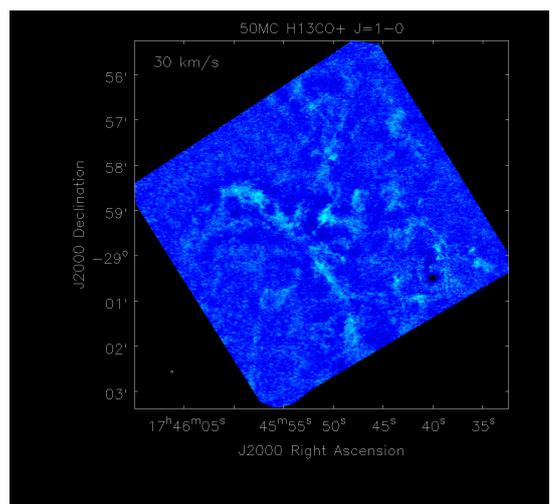


図 4 50km/s 分子雲の $\text{H}^{13}\text{CO}^+(J = 1 - 0)$ 輝線の 30km/s のチャンネルのマップである。