

Molecular Loops in the Galactic Center :Evidence for Magnetic Flotation(Fukui et al. 2006)

Eri Furuhashi, Nagoya University <furuhashi@a.phys.nagoya-u.ac.jp>,

Yasuo Fukui, Hiroaki Yamamoto, Motosuji Fujishita, Kazufumi Torii, Natsuko Kudo(名古屋大学), Ryoji Matsumoto(千葉大学)
Satoshi Nozawa(茨城大学), Kunio Takahashi, Mami Machida(国立天文台), Akiko Kawamura, Norikazu Mizuno, Toshikazu Onishi(名古屋大学)

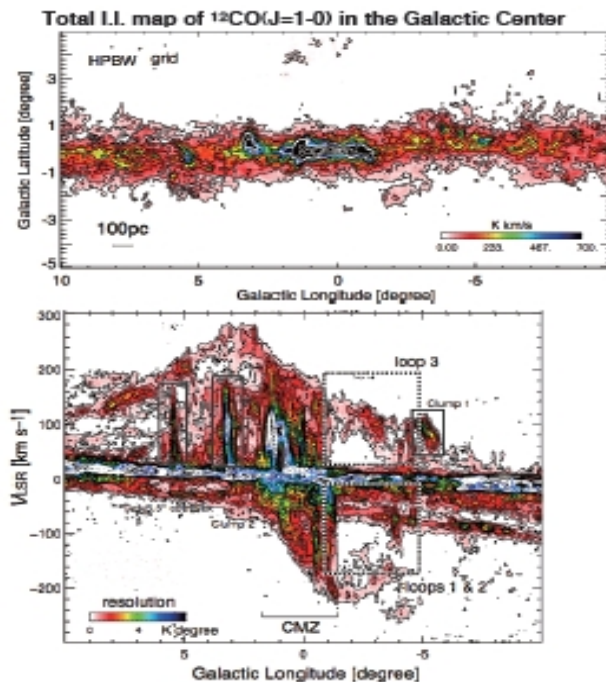
銀河系中心部300pcは"Central Molecular Zone(CMZ)"と呼ばれ、高温で大きな速度分散を持つ分子雲が集中する領域が存在する。この高温・大速度分散の起源は長年の謎である。我々研究チームは銀河系中心部2kpc以内を「なんてん」4m望遠鏡でCO輝線の観測を実施し、詳細な分子ガス分布を一様に明らかにした。結果、中心部から500pcの位置に、高さ300pcに及ぶ2つの分子雲ループを発見した。2つのループの特徴として、ループの根元でのガスの集中と、このガスが100km/sに及ぶ大きな速度分散を示す点が挙げられる。このループの解釈として、スーパーシェルの可能性が示唆されたが、このループの運動エネルギーは単一の超新星爆発による加速では説明出来ない。そこで Fukui et al.(2006)はパーカー不安定性(Parker 1966)による磁気浮上モデルを提案した。ループの形成によって持ち上げられたガスは、銀河系中心部の重力によって、ループに沿って銀河面に落下し、根元に集まる。この際、衝撃波を作ることが予想される。この衝撃波によりガスは大きな速度分散を持ち、加熱される。このモデルは、観測で得られた根元でのガスの集中と大きな速度分散とよく一致する。本研究では、Fukui et al.(2006)を中心に、銀河系中心部での磁気浮上ループ研究をレビューする。

— 研究背景 —

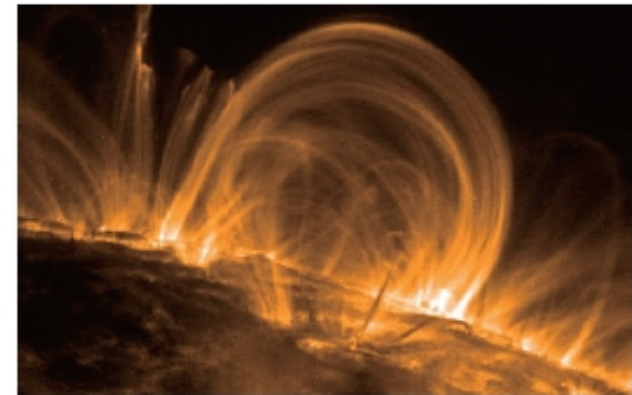
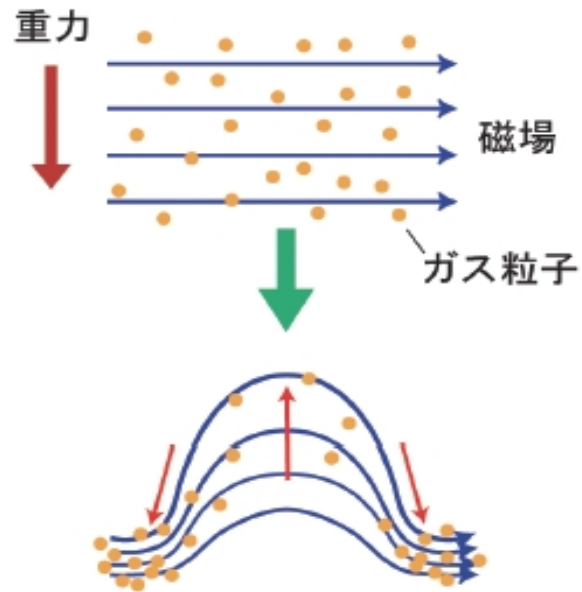
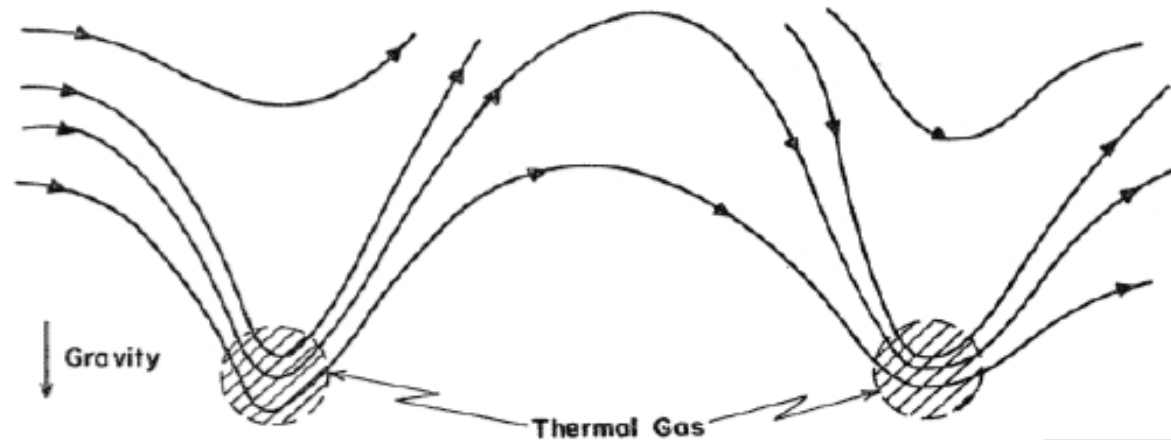
銀河系中心部にはCMZと呼ばれるガスが集中する領域が見られる。その領域の特徴は、総質量は $5 \times 10^6 M_{\odot}$ と多くの分子雲が集まっており、速度分散が30-50km/sと大きいこと、分子ガスの温度が異常に高いこと、そして高密度領域(10^6cm^{-3})であることが知られている。これらの原因は不明であった。我々は今回の発見が銀河系中心部の謎を解く鍵になることを示す。



Telescope: NANTEN 4m telescope
Targets: CO(J=1-0):115GHz
Beam size: 2.6' @ 115GHz
Obs mode: On The Fly
grid spacing: 4'



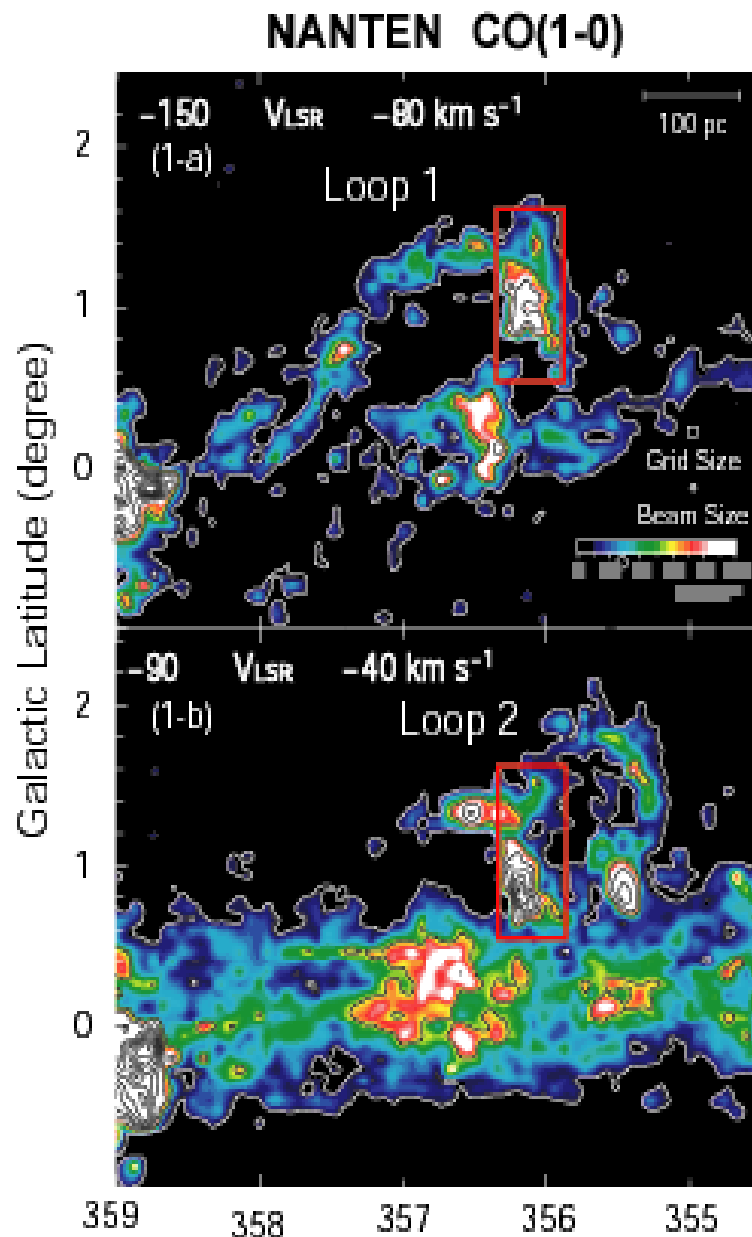
— Parker Instability —



太陽表面 (TRACE:191 Å)

- Parker (1966)
- パーカー不安定性の成長によって、磁場がループ状に浮上し、磁場の浮上とともに周りの粒子も持ち上がる。
- 粒子がdiskに落ちたときに衝撃波を形成する。
- 太陽表面でも同様の現象が確認されている。

Loop 状分子雲



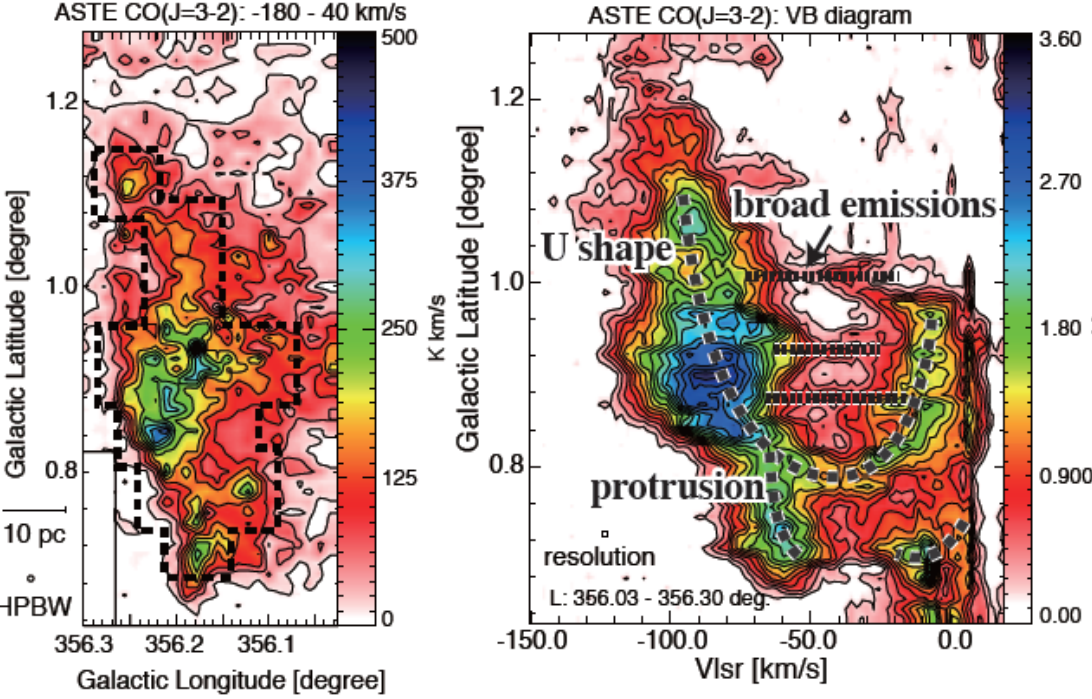
我々はなんてんで得られた銀河面サーベイのデータを速度数km/sごとに詳細な解析をした結果、銀河系中心部に二つのLoop状の分子雲を発見した。それぞれをLoop1、Loop2と名付け、銀緯が0-2°の間で、銀経がそれぞれ $l=356-358^\circ$ 、 $l=355-356^\circ$ に位置している。

また、Loopは銀河系中心部から700pcのところの位置し、高さにしてそれぞれ200pcと300pcであった。速度分散は50-100km/sと非常に大きく、Loop1とLoop2の総質量は、おおよそ $10^6 M_\odot$ と見積もられた。(Torii 2010b)

また、Loopのトータル運動エネルギーは 10^{52} ergであり、これは単一の超新星爆発では説明出来ない。Fukui et al. (2006)では、これをパーカー不安定性による磁気浮上の現象であることを提案した。

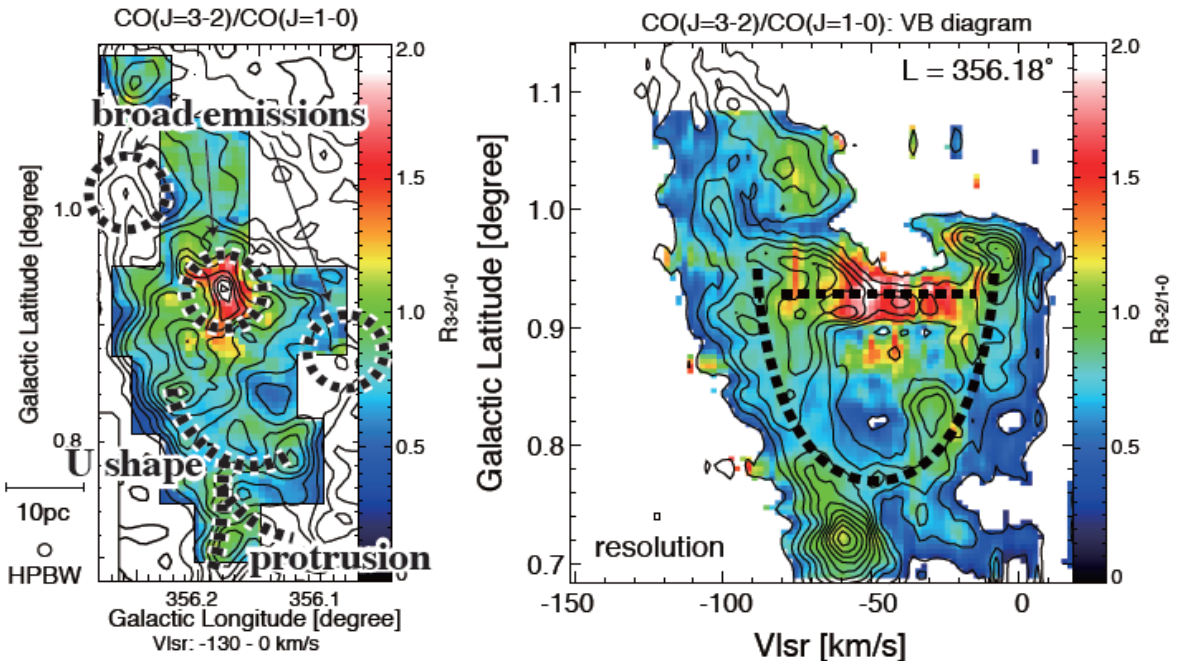
以下の図は左図中のフットポイント(赤い線部分)のASTE10m望遠鏡($J=3-2$)による積分強度図(左)と、Mopra22m望遠鏡($J=1-0$)の強度とASTEの強度を比較した図(右)である。フットポイントでは速度分散が大きいこと、そして温度が高いことが特徴として挙げられる。

- CO(J=3-2) distributions -

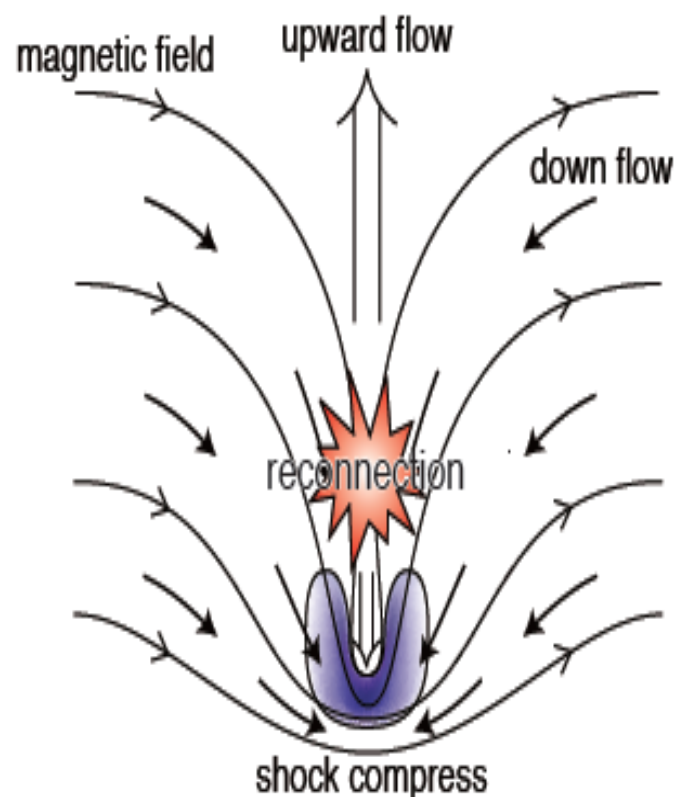


以下の図は左図中のフットポイント(赤い線部分)の
 Aste10m望遠鏡(J=3-2)による積分強度図(左)と、
 Mopra22m望遠鏡(J=1-0)の強度とASTEの強度を比較した図(右)である。フットポイントでは速度分散が大きいこと、そして温度が高いことが特徴として挙げられる。

- CO(J=3-2)/CO(J=1-0) distributions -



- U shape and reconnection -

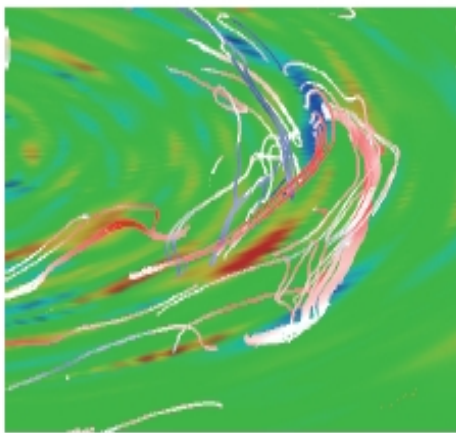
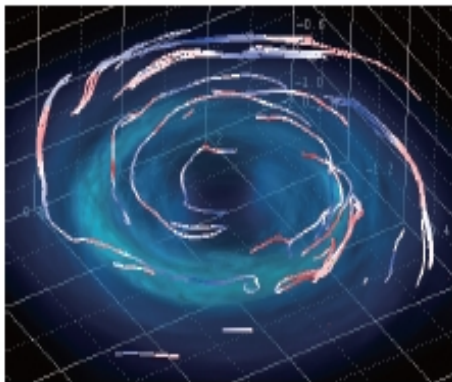


フットポイントの解析 (Torii 2010a) から、フットポイントでは高い温度 ($\sim 90\text{K}$) と広い線幅があることがわかった。これらは衝撃波の存在を示唆する結果である。

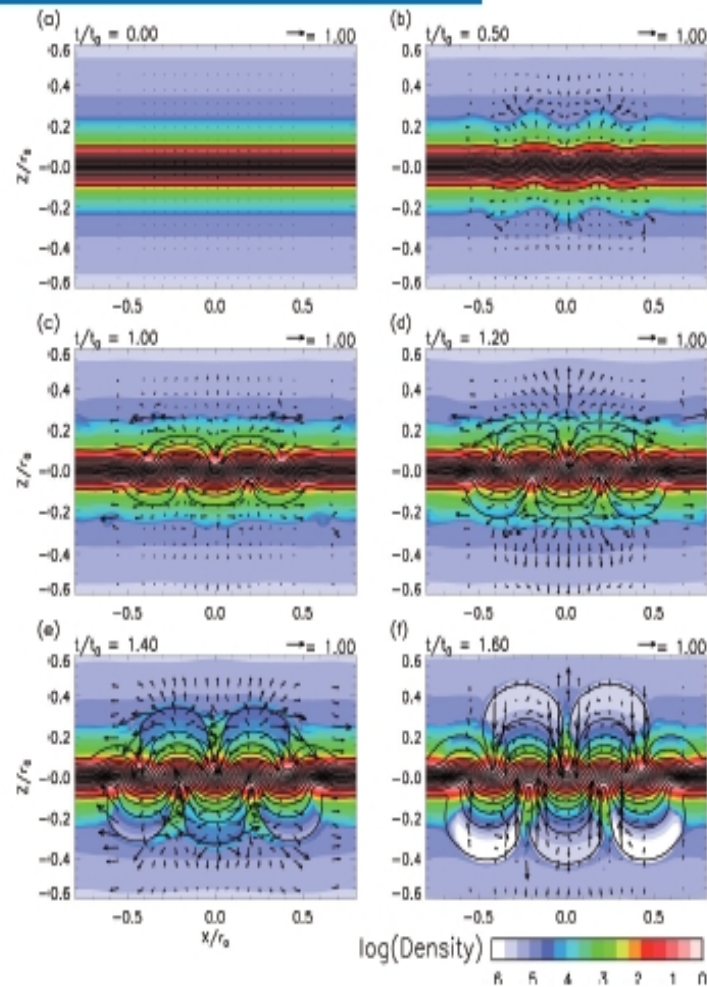
また、特徴としては、2つのLoopの間のフットポイントでU字型の構造が見られることである。これは、2つの隣り合うループからの下降流が根元で合流する時に作られる。(空間、速度の両方でU字型を描く。)

ここでは、磁場が反平行の場所で磁気リコネクション(磁力線再結合)を起こし、熱化と運動エネルギーの放出が起っていると考える。

— 磁気浮上のシミュレーション —



Machida et al.(2009)



左図はMachida et al.(2009)と、Takahashi et al.(2009)によってHMD数値計算された3Dまたは2Dのシミュレーション結果である。これらのシミュレーションにより、銀河面に磁気不安定性によるLoop構造の形成が生じることを確認した。

Takahashi et al.(2009)

REFERENCE

1. Fukui, Y. et al. 2006, Science, 314, 106
2. Torii et al. 2010, accepted to PASJ
3. Parker, E. N. 1966, APJ, 145, 811
4. Torii, K et al. 2010, PASJ, 62, 675
5. Fujishita, M et al. 2009 PASJ, 61
6. Liszt, H. S. 2006, A&A, 447, 533L
7. Machida et al. 2009, PASJ, 61, 441
8. Takahashi et al. 2009, PASJ, in press
9. Oka, T., Hasegawa, T., Sato, F., Tsuboi, M. & Miyazaki, A. 1998, ApJS, 118, 455