

CMZ 付近の偏光観測から見えるもの

義川 達人 (京都大学 D2)

2012 年 8 月 9 日

概要

CMZ とは銀河系中心数百 pc の領域のことで、大量の分子ガスや星形成活動などで特徴づけられる。銀河系の中心部分は古い星が支配的な classical bulge だと考えられてきたが、CMZ の存在は旧来の描像と反する。近年の系外銀河の観測では、“若いバルジ”とも言える pseudobulge を持つ銀河が発見されており、CMZ は pseudobulge を反映したものかもしれない。バルジの種類や特徴を研究することは、その銀河の起源や進化を知ることにもつながる。特に銀河系の場合、その距離の近さから、星を一つ一つ分解した詳細な観測を行うことができる。

我々は南アフリカにある IRSF/SIRPOL を用いて、CMZ 境界部分の近赤外偏光観測を行った。偏光観測では、星周円盤からの偏光した散乱光を検出することにより、Young Stellar Object (YSO) を探査することができる。もし銀河系中心に classical bulge と pseudobulge の二つが共存しているなら、YSO の分布に違いが生じることが期待される。現在、取得したデータを解析中で、各視野に対する偏光情報が取得できた (preliminary)。今後、議論を深めていき、銀河中心の構造に対する新たな知見が得られると考えている。

1 序

銀河系中心を観測すると、中心数 kpc の範囲で、古い星が支配的でガスや星形成活動がほとんど無い、バルジと呼ばれる構造が見えてくる。ところが、中心数百 pc には分子ガスが大量に存在し、若い星や星形成活動も見られる領域がある (e.g., Serabyn & Morris, 1996, Nature, 382, 602)。この領域は Central Molecular Zone (CMZ) と呼ばれ、銀河中心の星形成活動を探るための格好のターゲットになっている (ポスター「CMZ 三色合成図」)。最近になって、CMZ における多波長観測や変光星の観測から、CMZ での星形成史は間欠的なものではないかという結果が得られている。(Yusef-Zadeh et al., 2009, ApJ, 702, 178; Matsunaga et al., 2011, Nature, 477, 188)。

この CMZ を銀河中心部の構造として考えたとき、CMZ が pseudobulge と呼ばれるタイプのバルジではないかと考えることができる。近年、系外銀河の観測から、バルジと呼ばれる銀河中心部の星の集まりは 2 つのタイプに大別されることが分かってきた (Kormendy & Kennicutt, 2004, ARA&A, 42, 603)。classical bulge と呼ばれるタイプのバルジは、これまでバルジとして考えられてきたような、(1) 古い星で構成、(2) ガスや星形成活動がほとんど見られない、(3) 構成要素である星の運動は random motion が支配的、(4) 形は楕円体 (Sersic index: $n \sim 4$) などの特徴を持つものである。もう一方は pseudobulge と呼ばれるもので、(1)' 若い星も存在、(2)' ガスや星形成活動が見られる、(3)' 構成要素である星の運動は回転運動が卓越、(4)' 形はディスク状のものが多く (Sersic index: $n < 2$) などの特徴を持つ。classical bulge が merge などによる短期間の星形成によるものだと考えられているのに対し、pseudobulge は銀河ディスクからのガス流入による銀河年齢にわたっての secular evolution によるものだと考えられている。そのため、バルジの種類を調べること

で、その銀河の形成史についても制限をつけることができる。

銀河系は CMZ の存在から pseudobulge の存在が示唆される一方で、過去の観測から classical bulge を保持することも知られている (e.g., Clarkson et al., 2008, ApJ, 684, 1110)。CMZ を観測して pseudobulge の存在を確認できれば、銀河系における二種のバルジの共存を示すことができ、銀河系形成史に対して強い制限を与えることが期待できる。

本研究では、pseudobulge の存在を確認するために、Young Stellar Object (YSO) と呼ばれる若い星の分布を調べている。CMZ の範囲から考えて、二種のバルジは classical bulge を背景に pseudobulge が重なっていると予想される (ポスター「バルジ共存予想図」)。その場合、pseudobulge と classical bulge の境界で YSO の数に大きな変化があると期待される。つまり、より銀河系中心にある pseudobulge 領域から外側の classical bulge 領域に移ったところで、YSO の数は激減する。このような分布の変化を検出することで、銀河系に pseudobulge が存在することを示し、さらには銀河系形成史に迫れればと考えている。

2 観測

観測は南アフリカにある IRSF/SIRPOL を用いて 2010、2011、2012 年の三度にわたって行った。今回の発表では、2010、2011 年のデータに関する preliminary な結果を示している。観測範囲は CMZ の境界付近である銀緯 0° 、銀経 $-0.66^\circ - -1.33^\circ$ 及び $+1.00^\circ - +2.88^\circ$ である (ポスター「観測領域」)。

IRSF/SIRPOL では近赤外 3 バンド (J , H , K_S) の偏光情報を同時に取得することができ、これを YSO の探査に用いる。YSO は星周円盤を持っているため、中心からの光が星周円盤で散乱、あるいは吸収・再放射されることにより、偏光や赤色超過を示すことが知られている (ポスター「YSO 観測概念図」)。偏光については qu 図、赤色超過については JHK_S 二色図を用いて、それぞれ YSO 候補天体を検出することができる。

解析は IRAF/DAOPHOT を用いて、通常の一時的処理の後、aperture 測光を行った。各視野 ($7.7' \times 7.7'$) で計 900 秒の観測を行ったが、confusion limit を緩和するために、100 秒の画像 9 枚に対してそれぞれ測光を行い、その平均値を値、標準偏差をエラーとしている。結果には $m_{K_S} < 14$ のものだけを用いている ($\Delta P < 2\%$)。

3 結果

偏光情報についての結果はしばしば qu 図を用いて表される (ポスター「偏光 qu 図」)。qu 図の横軸、縦軸はそれぞれ Stokes Parameters の Q/I 、 U/I である。Stokes Parameters の定義より、qu 図における原点からの距離が偏光度に対応し、横軸からの角度の $1/2$ が偏光角に対応する。ポスターには $(l, b) = (-1.33^\circ, 0^\circ)$ の K_S バンドにおける qu 図を載せているが、これを見ると、データが原点 (無偏光) から少し離れた位置に集中していることが分かる (ポスター「偏光 qu 図」の contour)。これは銀河系中心方向の星間物質による偏光 (星間偏光) を反映したものである。我々が検出したい YSO からの偏光は天体に intrinsic な偏光なので、qu 図上でデータが集中している場所 (星間偏光) から離れた場所にあるものに相当する。ポスターの qu 図ではそのような離れた点について、データが集中している場所から $2-3\sigma$ で離れているものを青で、 $> 3\sigma$ で離れているものを赤でプロットしている。ここでの σ は、各天体の測光エラーと、データの集中を gaussian でフィッティングした時の分散の根二乗平均である。これらの天体は星間偏光に対して有意に異なった偏光、つまり、天体に intrinsic な偏光をしていることになり、YSO 候補天体と考えられる。

色 (赤色超過) についての結果は二色図を用いて表される (ポスター「色 二色図」)。横軸は H バンドと

K_S バンドの等級差、縦軸は J バンドと H バンドの等級差である。図中左下の曲線はそれぞれ巨星（青）、主系列星（緑）、YSO（黒）の JHK_S 二色図上での分布であり (Bessell & Brett, 1988, PASP, 100, 1134; Meyer et al., 1997, AJ, 114, 288)、紫の点線、黒の点線はそれぞれ主系列星及び YSO の中で最も赤いものが星間赤化した時の上限を表している (Nishiyama et al., 2006, ApJ, 638, 839)。つまり、この図で紫の点線よりも右側に位置するもの（図中赤プロット）は赤色超過を示しており、YSO 候補天体と考えられる。

このように、qu 図、二色図でそれぞれ YSO 候補天体が見つかったり、前景の星を除いたり、色と二色図両方で YSO 候補天体と言えるもの（偏光と赤色超過の両方を示す天体）があるかというクロスチェックはまだ行っておらず、今後の課題である。

我々が最終的に調べたい YSO の分布についての（非常に）preliminary な結果がポスターの「偏光星の分布」という図である。この図は横軸を銀経、縦軸を K_S バンドで intrinsic な偏光を示した星の分布にとったものである。現段階では、各視野の completeness や偏光星をそのまま YSO 候補天体としていいのかどうかといった議論がまだであるため、この図から議論したり示唆したりできることは何もない。今後はそういった議論を行った上で、この図にエラーバーをつけ、“偏光星”ではなく“YSO 候補天体”とした図を作成したいと考えている。

4 展望

本研究において今後なすべきこととしては、(1) 偏光情報と色情報のすり合わせによる YSO 候補天体の選出及び前景星などの contamination の除去 (2) K_S バンドだけでなく多色の偏光情報を用いた議論（バンドによる偏光度の比や赤色超過と偏光度の比）、(3) 各視野での天体検出の completeness の見積もり及び YSO 候補天体の数に対するエラーバーの見積もり、(4) 未解析データの解析が挙げられる。これらの解析や議論を進めて、銀河系中心における pseudobulge という新たな構造や、そこから導かれる銀河系形成史についての知見を得たいと考えている。

CMZ付近の偏光観測から見えるもの

義川 達人(京都大学 宇宙物理学教室 D2)

CMZとは銀河系中心数百pcの領域のことで、大量の分子ガスや星形成活動などで特徴づけられる。銀河系の中心部分は古い星が支配的なclassical bulgeだと考えられてきたが、CMZの存在は旧来の描像と反する。近年の系外銀河の観測では、“若いバルジ”とも言えるpseudobulgeを持つ銀河が発見されており、CMZはpseudobulgeを反映したものかもしれない。バルジの種類や特徴を研究することは、その銀河の起源や進化を知ることもつながる。特に銀河系の場合、その距離の近さから、星を一つ一つ分解した詳細な観測を行うことができる。我々は南アフリカにあるIRSF/SIRPOLを用いて、CMZ境界部分の近赤外偏光観測を行った。偏光観測では、星周円盤からの偏光した散乱光を検出することにより、Young Stellar Object (YSO) を探索することができる。もし銀河系中心にclassical bulgeとpseudobulgeの二つが共存しているなら、YSOの分布に違いが生じることが期待される。現在、取得したデータを解析中で、各視野に対する偏光情報が取得できた(preliminary)。今後、議論を深めていき、銀河中心の構造に対する新たな知見が得られると考えている。

1. 序

～CMZ～
 CMZ=Central Molecular Zone
 - 銀河系中心400pcの領域を指す
 - 若い星、大量の分子ガス、星形成活動

銀河系中心2kpc=classical bulge
 - 古い星、ガス及び星形成僅か

CMZは銀河中心の星形成領域の雛形?
<http://apod.nasa.gov/apod/ap081110.html>

Sgr A* = 銀河系中心
 2° (~300pc)
 CMZ三色合成図(青:8μm 橙:1.1mm 紫:20cm)

～pseudobulge～
 pseudobulge=“古くない”バルジ
 - 若い星あり、ガスあり、星形成活動も
 - 銀河ディスクからのガス供給による
 長期間(～銀河年齢)にわたっての secular evolutionで形成

classical bulge=“ふつうの”バルジ
 - 古い星、ガス及び星形成僅か
 - 銀河同士の衝突合体により
 短時間で(<<銀河年齢)形成

バルジの種類で銀河形成史を探れる?
 青:Uバンド+Bバンド
 緑:Vバンド
 赤:Iバンド+Ha

リング状に星形成
 NGC4314三色合成図 (Benedict+02)
 ~700pc

～銀河系中心～
 - 中心2kpcのバルジはclassical
 - 中心400pcにはCMZ
 →pseudobulge的

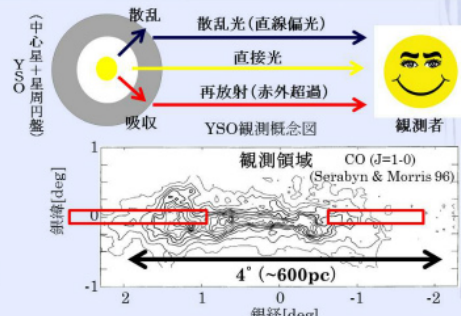
二種のバルジが共存?
 pseudobulge
 Sgr A*
 classical bulge

境界で特徴が変化
 →本研究では若い星、特に、
 Young Stellar Object (YSO)に着目
 二種のバルジの共存を示し、
 銀河形成史に迫る!

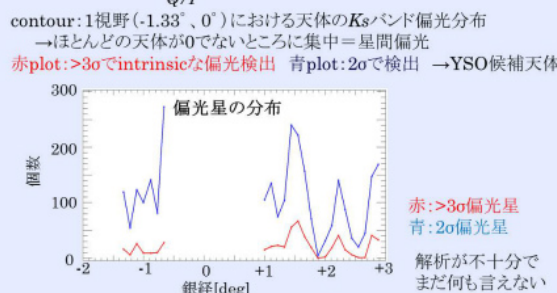
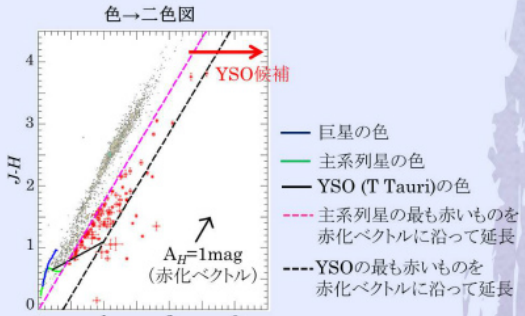
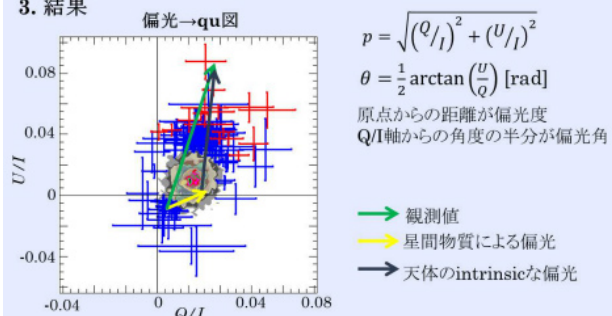
2. 観測、解析

色と偏光観測を用いてCMZでYSO探し(右図参照)
 - YSOは星周円盤のダストによる再放射で赤くなる
 - YSOは星周円盤で光が散乱されて偏光する

観測装置: IRSF/SIRPOL@南アフリカ サザールランド天文台
 - 近赤外線JHKs三色同時&偏光情報(1/2 waveplate + wire grid polarizer)
 - 視野=7.7', pixel scale=0.45"/pix
 期間:2010/09, 2011/08, 2012/07(未解析)
 領域:銀経-0.66°~-1.33° & 1.00°~-2.88°, 銀緯0°(右図参照)
 積分時間:900秒/視野
 解析:SIRPOLパイプライン、IRAF/DAOPHOT(aperture測光)、 $\Delta P < 2\%$ ($m_{Ks} < 14$)
 100秒積分の画像を測光×9→平均値を値、標準偏差をエラー



3. 結果



4. 展望

・偏光情報と色情報のすり合わせ
 (-1.33°, 0°)の場合:
 - 偏光星はJバンドで未検出、 $H-Ks > 2$
 →偏光を示し、かつ赤い=有力なYSO候補天体
 - 赤色超過を示す星のうち偏光を検出できたものは数個
 →色と偏光の相関を調べる必要がある

・多色偏光情報、偏光効率などの議論
 ・各視野でのcompletenessの見積り→「偏光星の分布」図にエラーバー
 ・未解析データの解析