

Triggering the formation of the supergiant H II region NGC 604 in M33



Kengo TACHIHARA, Pierre GRATIER, Hidetoshi SANO, Kisetsu TSUGE,
Rie E. MIURA, Kazuyuki MURAOKA, and Yasuo FUKUI

2018.10.26 B4 後藤直

Abstract

- H_{II}領域NGC 604の形成過程は、M33のH_I cloudsの衝突で起きた。
- VLAで得られたアーカイブデータの分析から、H_I clouds は、H_{II}領域のサイズより大きい $\sim 700\text{km}$ の範囲で、 $\sim 20\text{km/s}$ で分けられる2つの速度成分から構成されている。
- H_I cloudsは原子ガス質量は、各成分について $6 \times 10^6 M_{\odot}$ および $9 \times 10^6 M_{\odot}$ である。
- H_Iガスの分布の特徴から、巨大分子雲の形成と大規模な星団の形成は、H_I雲が異なる速度で衝突することによって起きたことが示唆される。
- M31とM33とを結ぶガスの橋の特徴から考えると、乱れた原子ガスはおそらくLMCのR136クラスターの形成に類似した2つの銀河の過去の相互作用の結果である。

Introduction

- 銀河の接近によって銀河間の小規模相互作用が銀河の物質を擾動させ、星形成活動を促進すると考えられている。R136は、SMCからLMCに衝突するcolliding H_I flowによる誘発によって形成されている。
- R136と同様にM33-M31 streamと呼ばれるH_I cloudsがディスクに落ちることによって、NGC604の形成が引き起こされている。
- 年齢が3-5 MyrのNGC 604クラスターには、200-400 pcの半径の明るいH α 星雲に関連する200以上のO型星が含まれている。その距離は太陽から794kpcで、NGC 604の恒星の質量は $\sim 4 \times 10^5 M_{\odot}$ である。

Date

Fig.1

上：VLAのM33全体のH_I積分強度図
下：赤緯軸で平均したH_Iデータ

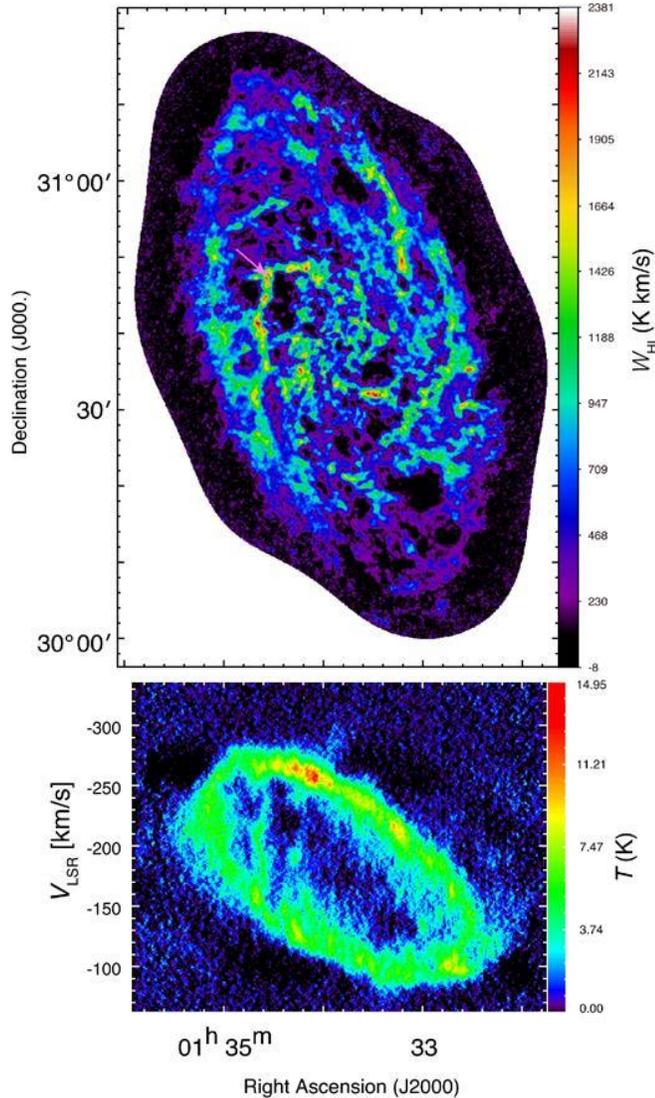
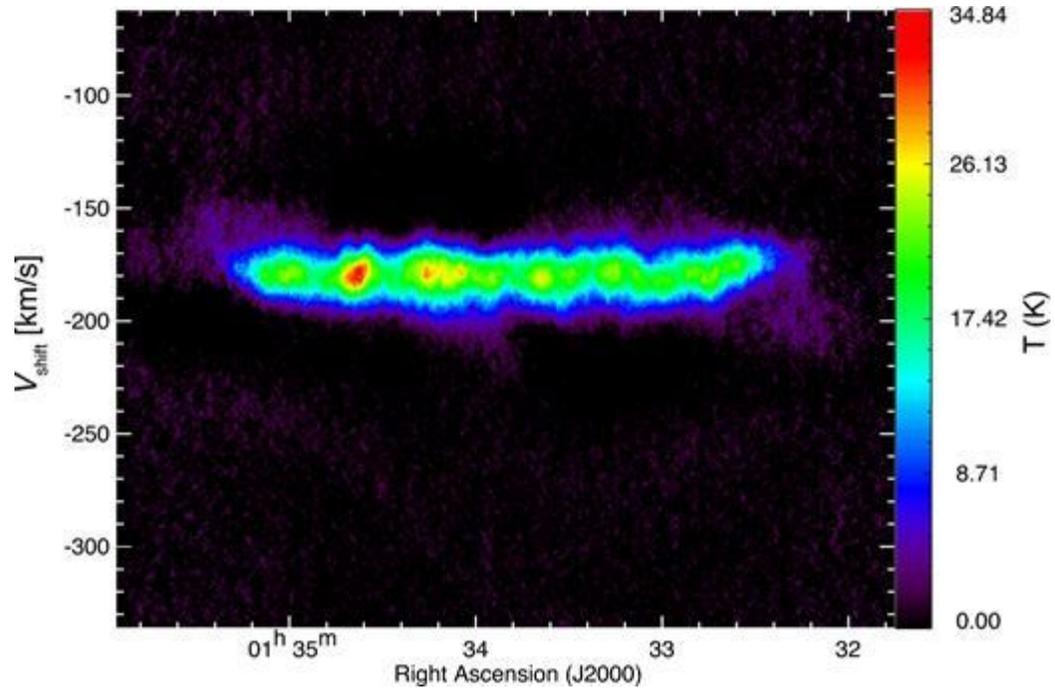


Fig.2

NGC604の周りのH_Iのデータの速度チャンネルマップ



M33全体についてVLAによる原子ガスの調査と、野辺山45m望遠鏡・IRAM30m望遠鏡による分子ガスの調査をした。
H_IのmosaicデータはVLAのアーカイブから得た。そしてCASAを用いて解析した。

Results

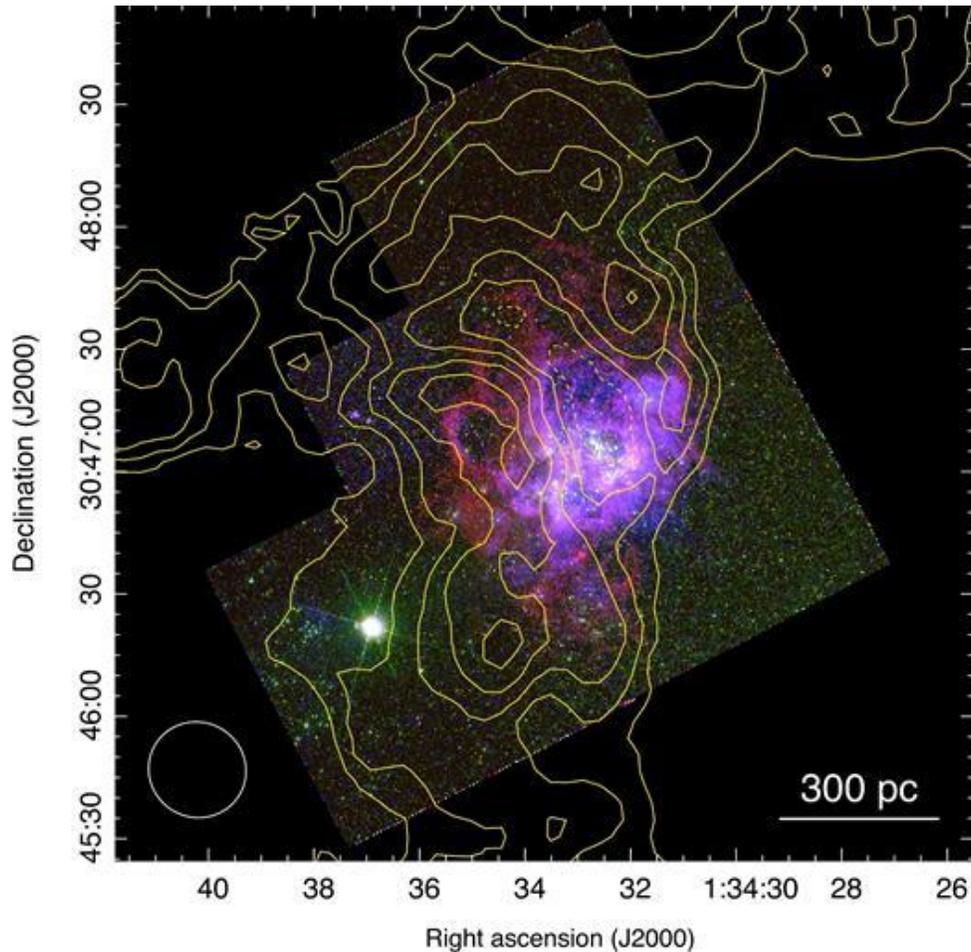


Fig. 3. Composite image of NGC 604 taken with the HST Wide-Field Planetary Camera 2. The red, green, and blue colors represent the images of F673N, F547M, and F502N filter bands, respectively. Overlaid are the contours of the H α line integrated intensity starting from 800 K km s $^{-1}$ with the steps of 300 K km s $^{-1}$. The contours of broken lines denote intensity hollows insides. The open circle in the bottom-left corner illustrates the synthesized beam size of 12 arcsec.

ハッブル望遠鏡によるNGC604の光学イメージにH α 雲の積分強度 (contour) を重ねたもの。
破線は内部にある強度が弱いくぼみ。

- ・ 星間ガスが強い紫外線によって電離されているくぼみがある。(破線のこと)
- ・ 分子雲は東西と南北に伸びた二つの分子雲で折れ曲がったような形をしている。そして、NGC604のclusterから約700kpc東から伸びる小さな成分を持っている。(Fig.4)

Results

Fig.4

NGC604の周りのH_Iのデータの速度チャンネルマップ

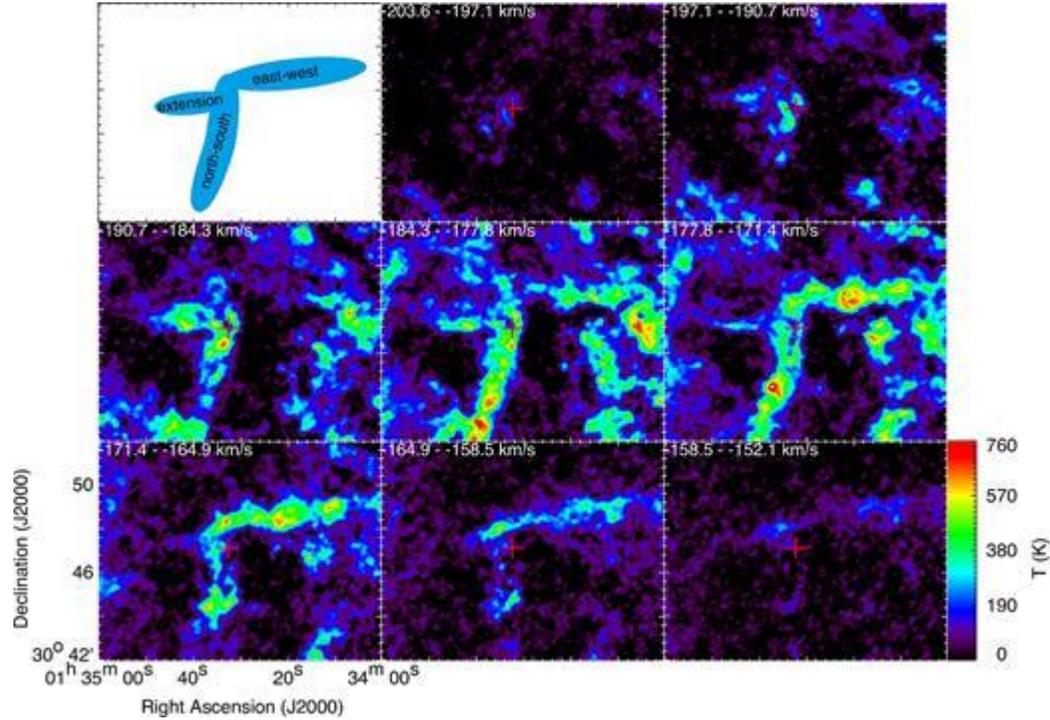
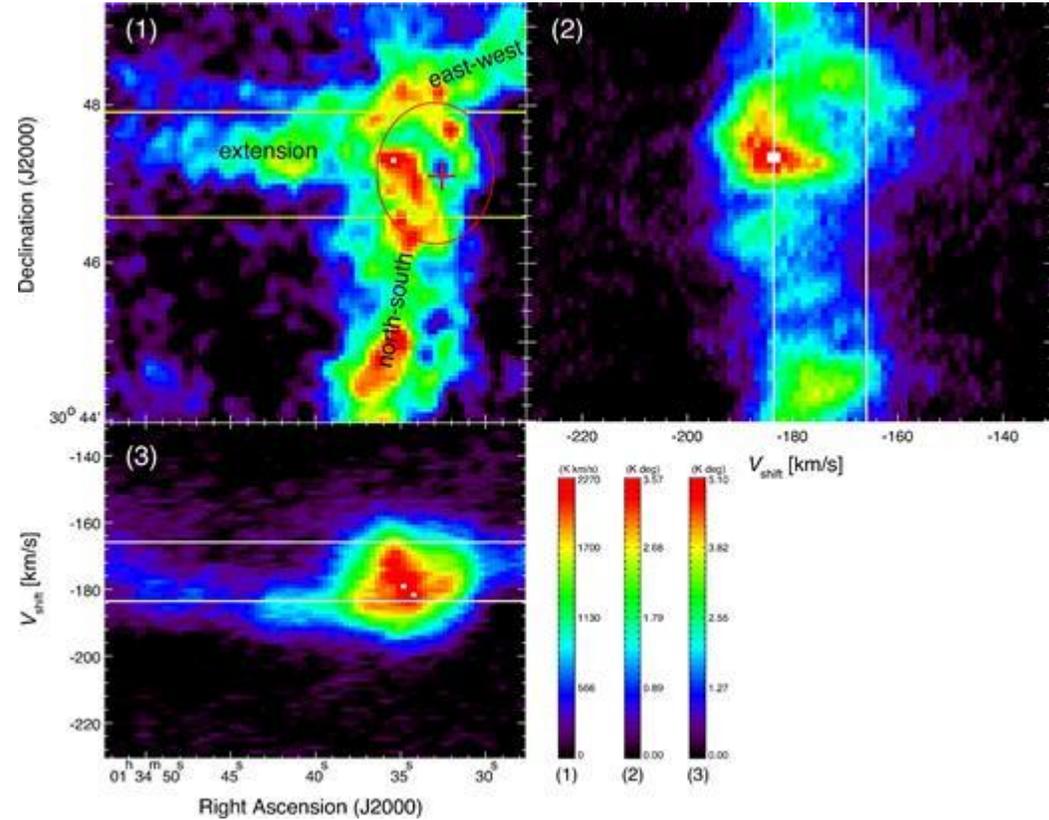


Fig.5

H_IのPosition-Velocityの図

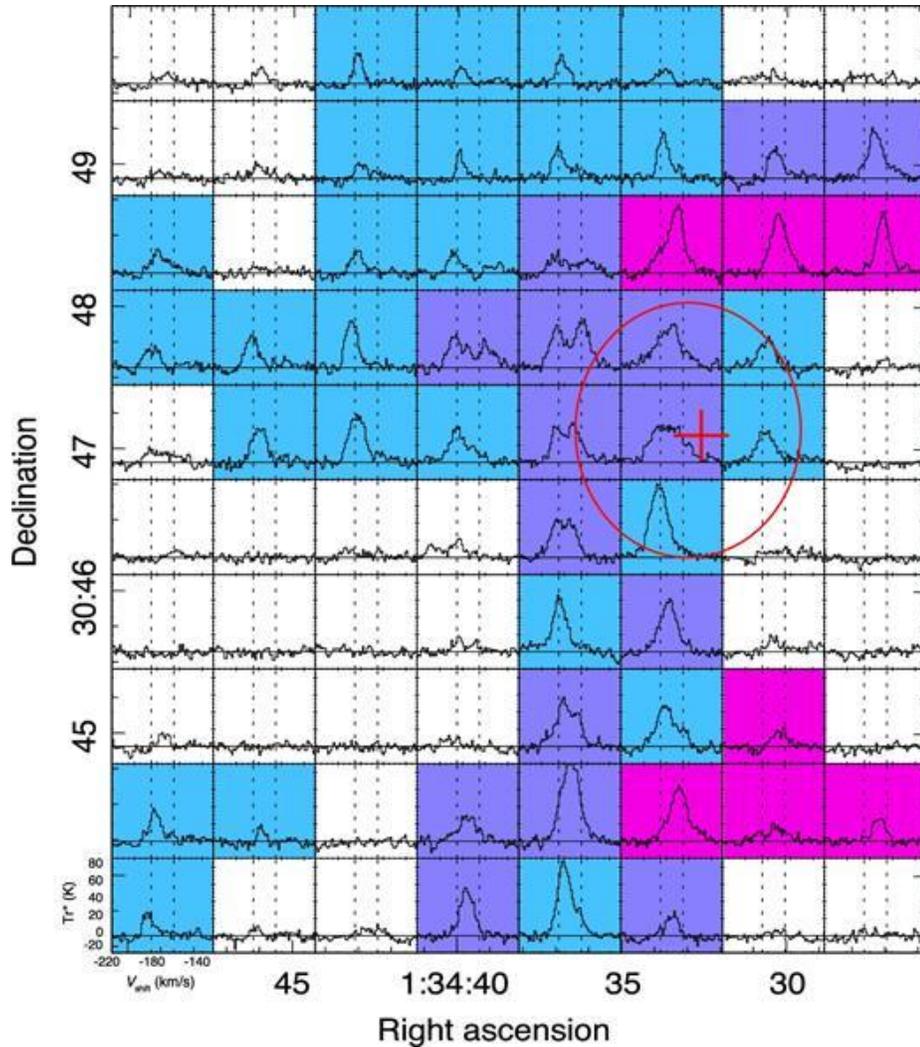


- ・アームに付随する南北と東西にのびる成分は主に速度が $-185\text{km/s} < v < -158\text{km/s}$ で、extensionは $-197\text{km/s} < v < -170\text{km/s}$ でBlue-shiftedしている。
- ・どちらの成分も空間的にも速度的にも複雑な分布をしているので、単純にある速度で分けることは難しい。

Results

Fig.6

青 : Blue-shifted、赤 : Red-shifted、
紫 : Mixed



- ・ おもにBlue-shiftedは185km/s、Red-shiftedは-165km/sだが、全体のいくつかの場所では分子雲が中間の速度や合体したスペクトルなどの複雑な速度分布を持っている。

- ・ 東側ではBlue-shiftedが、西側ではRed-shiftedが多い。

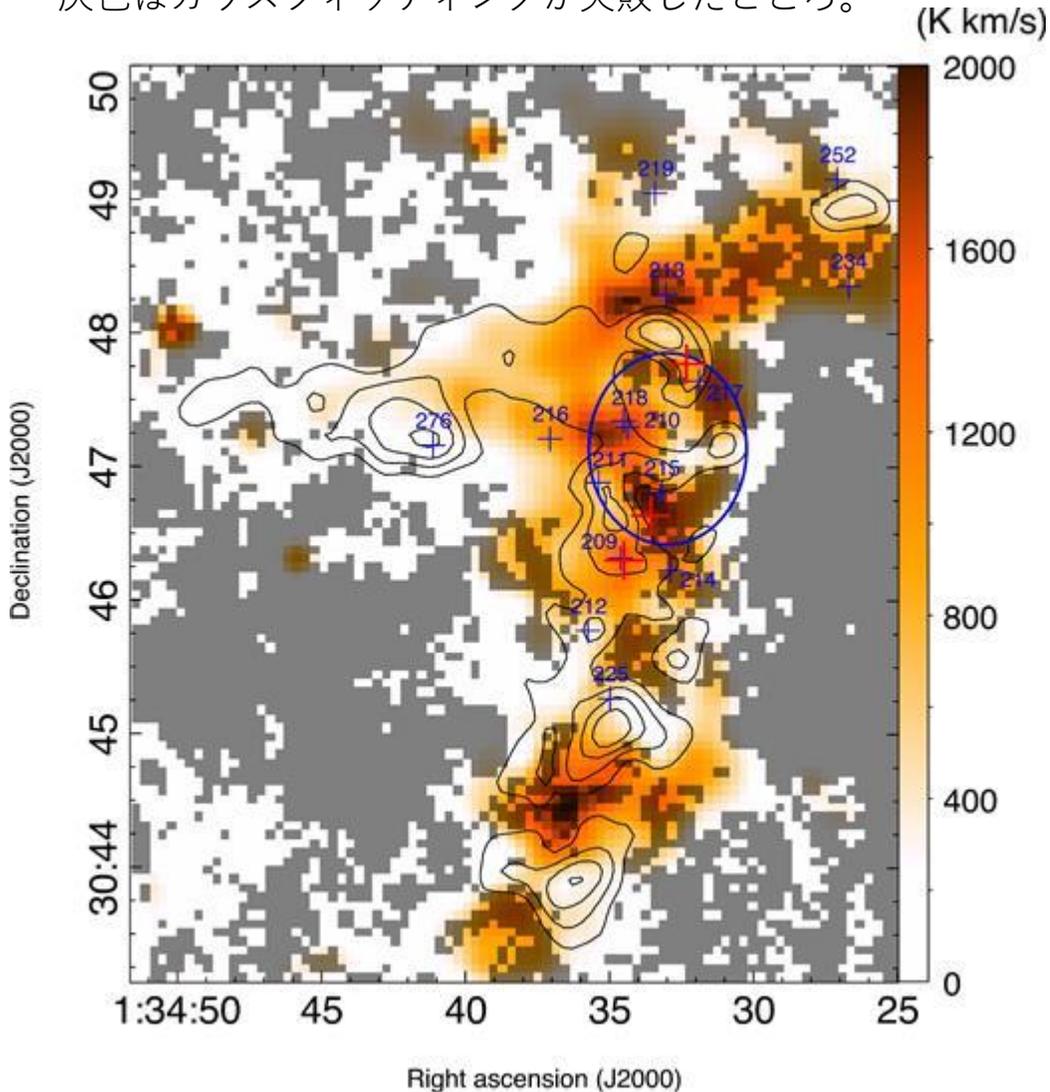
- ・ ダブルピークを持っている成分がある。
→二つの速度成分を持っている。

- ・ 楕円のところは大きな速度分散を持つので、複雑な速度構造は中央のclusterのフィードバックの効果だけでなく、むしろ二つの速度成分の大きなガスの合体が原因だと考えられる。

Results

Fig.7

Red-shiftedのtotalの積分強度の図。contourはBlue-shifted。
灰色はガウスフィッティングが失敗したところ。



- Red-shifted成分は主にアームに沿って分布している。
- 一方、Blue-shifted成分はextensionのエリアからNGC604の近くの領域とアームに沿ったより南側に広がっている。
- NGC604のH_{II}領域の中央のclusterに向かって、どちらの速度成分も少なくなっている。
- 計算から、Blue-shiftedのピークの柱密度はextensionで $2.3 \times 10^{21}/\text{cm}^2$ 、南側で $2.7 \times 10^{21}/\text{cm}^2$ 、原子の全質量は $6 \times 10^6 M_{\odot}$ 。Red-shiftedのピークの柱密度はNGC604のH_{II}領域の境界付近で $3.4 \times 10^{21}/\text{cm}^2$ 、原子の全質量は $9 \times 10^6 M_{\odot}$ であった。

Discussion

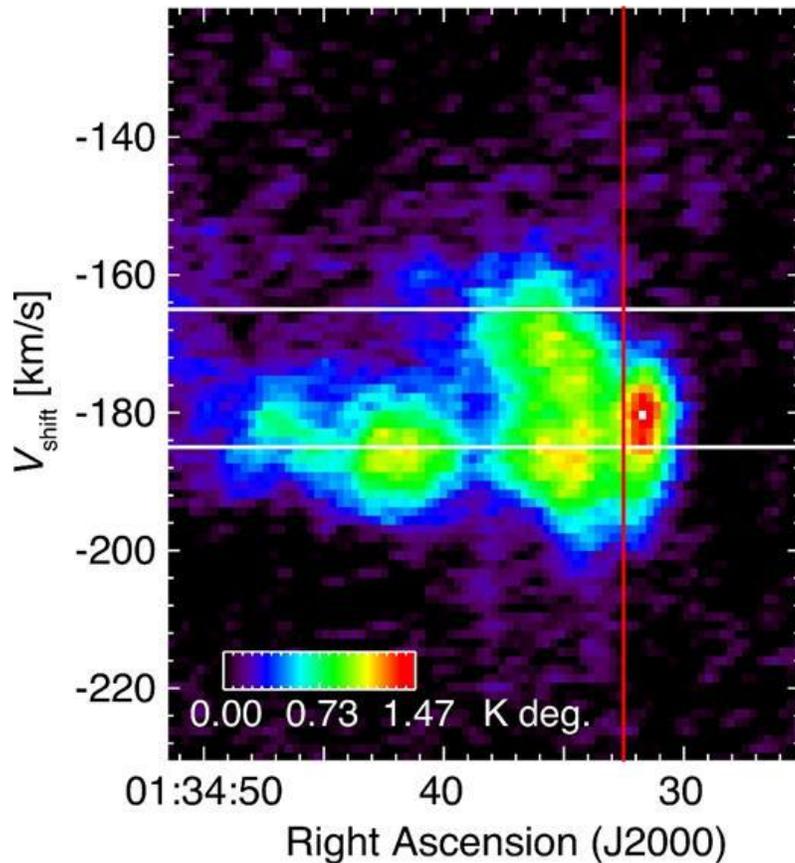


Fig.8

NGC604の周囲のH_Iのcavityとextensionを含む領域のPV図

赤線：H_Iのcavityの中心

白線：blue-shiftとred-shiftの中央値

- ・ H_I cavityに向かって、H_I強度が低下している。これは、NGC 604の紫外線がH_I cloudを電離していることによる。
- ・ しかし、このPV図では、速度場は単純に膨張しているようには見えない。cavityの西側では、H_Iスペクトルは単一ピークに見えるが、東側は多ピークか大きな速度分散を有する。

青と赤にシフトしたH I雲が10 km s⁻¹の速度での拡大運動によるものであるという単純な仮定をすれば、雲の運動エネルギーは 6×10^5 ergにもなると推定される。この数は、clusterの規模から予想される数よりもはるかに大きい。

- ・ NGC604の形成は、LMCのR136の場合と同様に、流入するH_I cloudの衝突によって引き起こされると考えられる。

Discussion

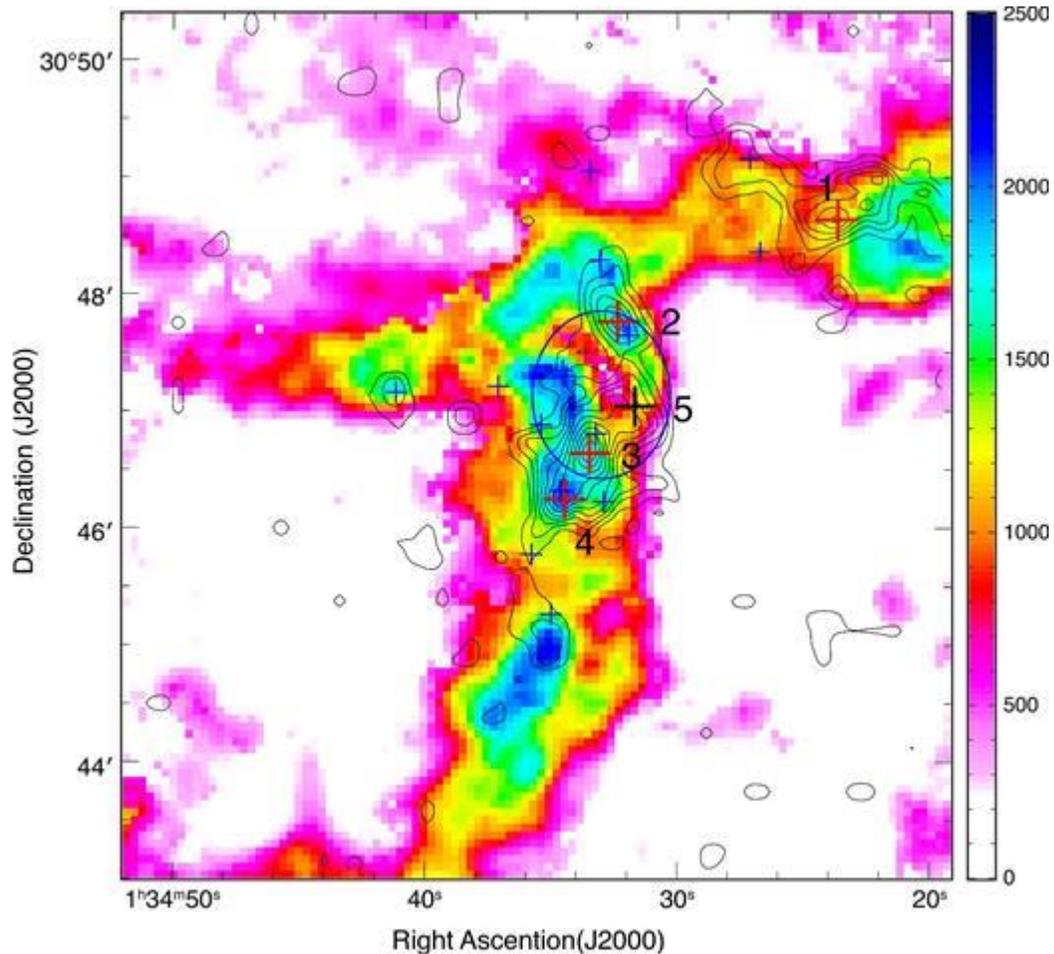


Fig.9

H I の積分強度図

ContourはCO (J=1-0)の積分強度

- ・ NGC604のH_I領域の周りのCO (J=1-0)は2,3,4でピークになっている。

- ・ J=2-1のピーク (青の+) は
2,3では2-1のピーク (GMC215、217) のほうが2,3よりclusterに近く、
4では2-1のピーク (GMC209) が4とほぼ一致している。

- ・ 東西にのびる分子雲は1でピークになっていて、H_Iの強度はCOの分布と相補的に減少している。

Discussion

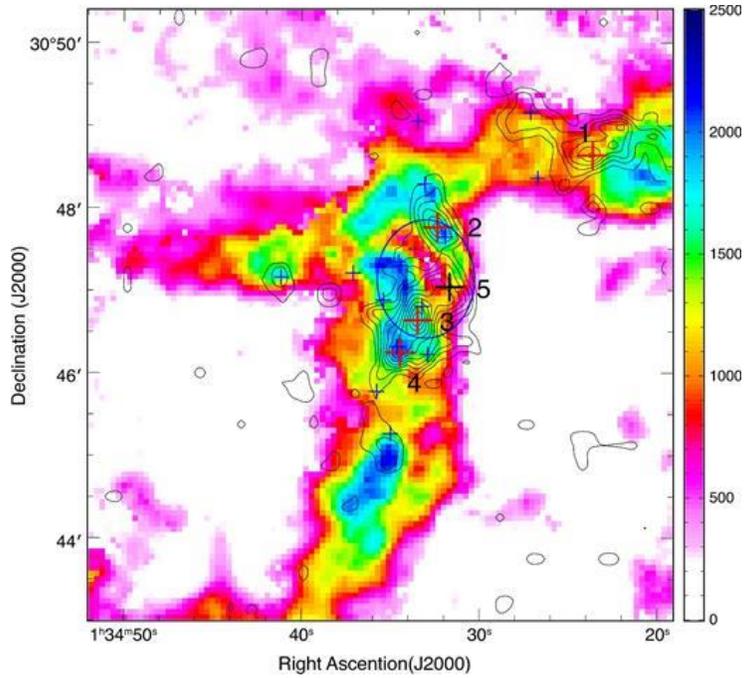


Fig.9

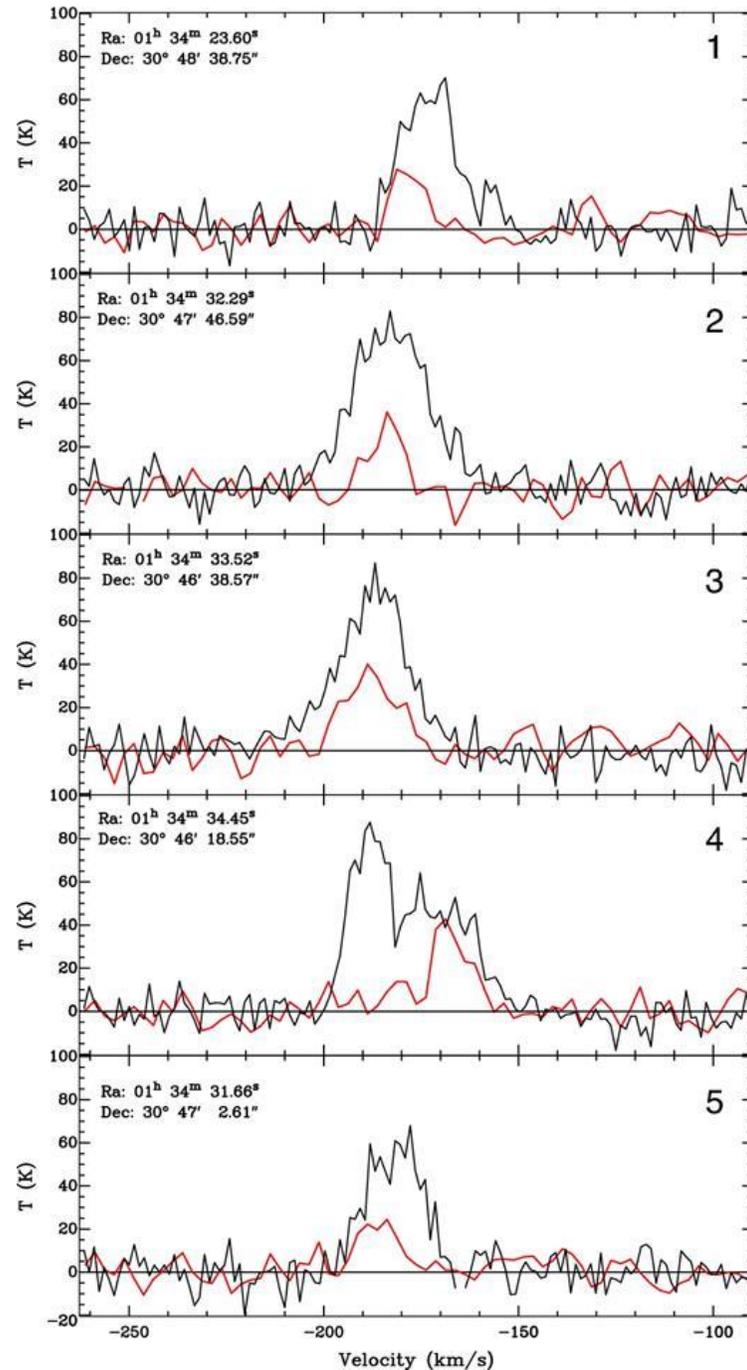


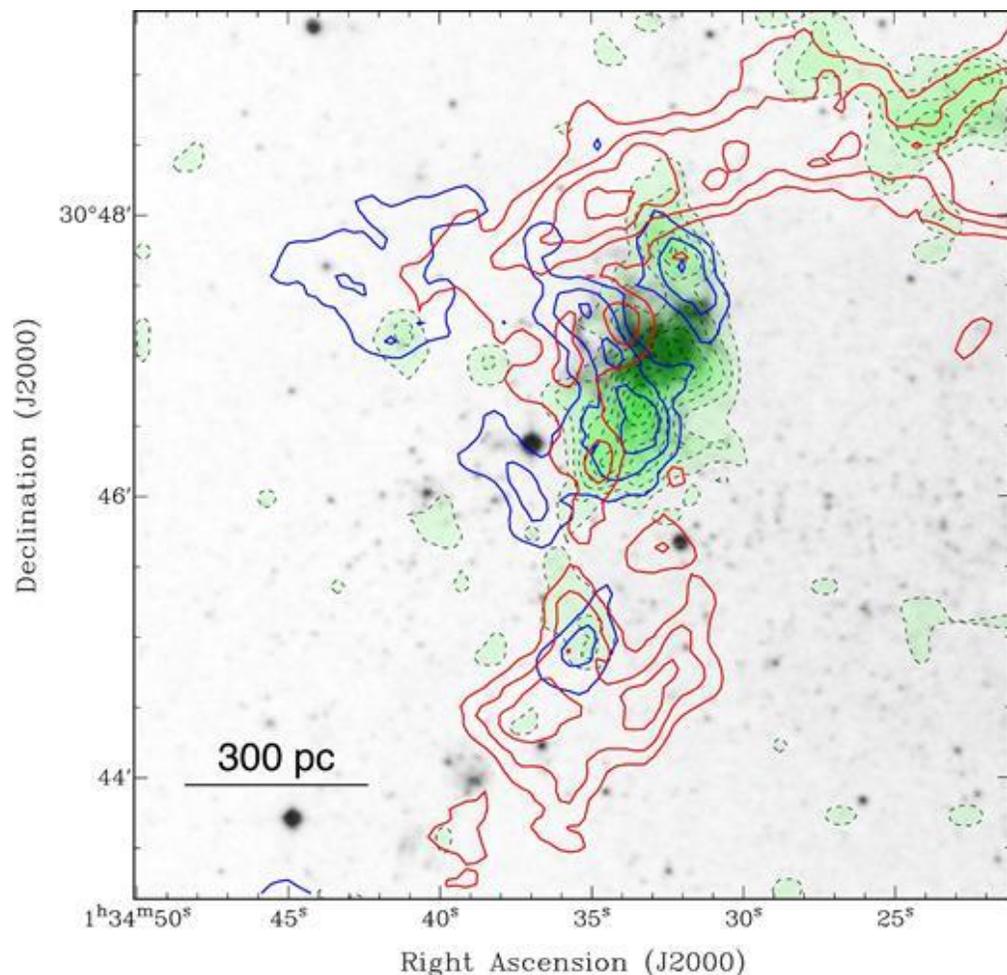
Fig.10

Fif.9の1～5でのH_I (黒)とCO (赤)のスペクトル。COは5倍にスケールされている。

Discussion

Fig.11

青：Blue-shifted、赤：Red-shifted、
緑：CO、灰色：DSSのイメージ



- Blue-shiftedの成分とRed-shiftedの成分が重なっている部分に分子雲がある。

- NGC604のsuper star clusterの形成はM31とM33の二つのH_I cloudが衝突することで起きた。

- H_I cloudの大きさを～600pc、衝突速度を～20km/sと仮定すると、交差する時間は約 3×10^7 年になる。これは密度が十分に高ければ、分子ガスの形成が可能な期間である。

- したがって、H_I cloudの衝突が局所的な星間ガスの分子のかけらの増加と銀河の科学的進化をはやめている。

- NGC604のsuper star clusterの形成はM31とM33の二つのH_I cloudが衝突することで起きた。これはNGC595のようなH_I プロファイルでダブルピークをもつような領域でも同様である。

Summary

VLAによって得られたNGC604の周りのH_I領域のarchival dataの再解析と速度構造を調べた結果以下のことが分かった。

- NGC604の周りのH_I領域はdouble-peaked spectralで示される複数の速度成分を持った複雑な構造である。
- 分けられた2つの速度成分は光学的に可視なNGC604のH_{II}領域をはるかに超えて分布し、拡大する速度の特徴が明確ではない。
- 青方・赤方偏移する成分のそれぞれの原子ガス質量はそれぞれ、 $6 \times 10^6 M_{\odot}$ 、 $9 \times 10^6 M_{\odot}$ と見積もることができた。
- COの観測によって同定された分子雲は両方の速度成分のH_I cloudsに付随し、CO cloudsは主に2つの速度のH_I成分の領域をoverlappedするように分布していた。
- これはH_I cloudsが銀河円盤に落ちたことと分子雲衝突が分子雲の形成を誘発したことを示唆している。
- LMCにおけるR136の形成メカニズムが示唆したように、過去の接近から生じたH_Iガスの衝突と銀河間の相互作用は、スーパースタークラスター形成の主な原因である。