

近傍棒渦巻銀河NGC2903におけるGMC進化

GMC evolutions in the nearby barred spiral galaxy NGC2903

生命環境科学域 理学類 物理科学課程 電波天文学研究室 1211305145 山本 美咲 Misaki Yamamoto

Abstract

星の母体となる分子雲の中でも 10^4 太陽質量以上のものを巨大分子雲（Giant Molecular Cloud：GMC）といい、大質量星形成の主要な場となっている。本研究では顕著な棒構造を持つ近傍棒渦巻銀河NGC2903にてGMCに付随する電離水素領域（HII領域）の有無およびそのH α 輝線光度に基づくGMCのType分類を行った。Type分類とはGMCをその進化段階を表す3つのType（Type I：HII領域の付随なし、Type II： $L(\text{H}\alpha) < 10^{37.5} \text{ erg s}^{-1}$ のHII領域が付随、Type III： $L(\text{H}\alpha) \geq 10^{37.5} \text{ erg s}^{-1}$ の特に明るいHII領域が付随）に分類する手法である。さらに、この天体でのGMC進化とGMCの物理量の関係性・棒構造や渦巻腕など異なる銀河環境ごとのGMCの物理的性質の違いについて調べた。その結果、GMCが進化すると、GMCの質量・半径が大きくなるが、速度分散ではあまり大きな違いがないことがわかった。また、異なる銀河環境でのGMC Typeの割合の違いを調べると中心領域ではほぼすべてのGMCがType IIIであること、Bar領域ではType IIIが最も多く分布していること、そしてArm領域に存在するGMCは全体の70%ほどを占めていることなどがわかった。

Introduction

巨大分子雲（GMC）の進化と大質量星の形成

分子雲は星の母体となる星間ガス雲であり、CO輝線を用いることで分子雲の低密度な領域まで観測することが可能である。分子雲の中でも質量が 10^4 太陽質量以上の分子雲を巨大分子雲（Giant Molecular Cloud：GMC）という。GMC内では大質量星（太陽の質量の8倍以上の重い星）を含む星団が形成される。そのためGMCの進化について理解することは大質量星の形成過程やそれを素過程とする銀河進化の解明につながる。大質量星が形成されると、強い紫外線の放射により周りに存在する中性水素ガスは電離される。これにより形成される領域をHII領域（電離水素領域）といい、H α 輝線を用いて観測することができる。

GMCのType分類

GMC進化に関する研究を行う手法の1つにGMCのType分類と呼ばれる手法がある。この方法はGMCをその星形成段階に応じた3つの進化段階（Type）に分類し、GMCの物理量（e.g. 質量、半径、速度分散）とGMC進化の関係性などを研究するというものである。GMCのType分類にはGMCに付随するHII領域と星団の情報を用いて行う方法（Fukui et al. 1999, Yamaguchi et al. 2001, Kawamura et al. 2009）も存在するが、今回はGMCに付随するHII領域の有無およびそのH α 光度に基づく方法（Konishi et al. 2024, Demachi et al. 2024）を用いる。

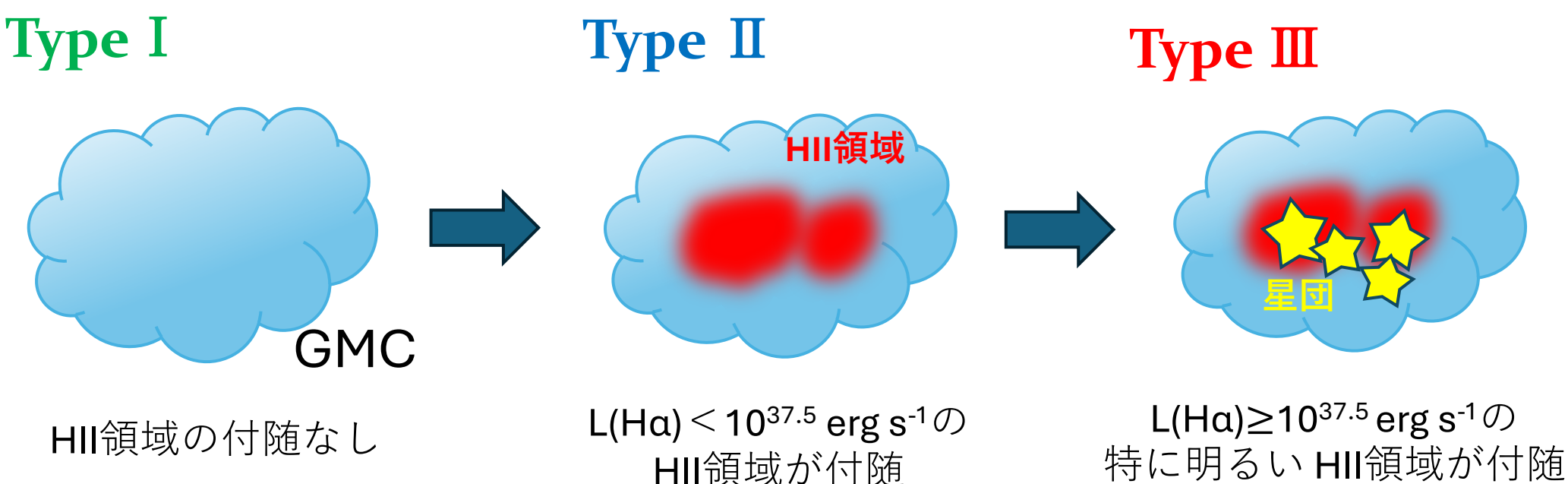


図1：GMCの進化と、対応するType分類

研究目的

H α 光度に基づくGMCのType分類を初めて棒渦巻銀河に適用し、大質量星形成の活発さに応じたGMCの物理的性質の特徴を明らかにして、棒構造や渦巻腕など銀河環境による違い、さらに他の銀河との違いを調べる。

Results

COピーク強度図 & HII領域 / GMC同定結果

ALMAで得られたNGC2903の $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ ピーク強度図（図4）は分子ガスがNGC2903全体に広く分布していることを示している。このCO輝線データからPYCPROPS（Rosolowsky et al. 2021）というアルゴリズムを用いて銀河内に存在する1108個のGMCを同定した（図5）。さらに、大質量星形成が行われている領域を特定するためにastrodendro（Rosolowsky et al. 2008）というアルゴリズムを用いて565個のHII領域を同定した。しかし、銀河中心に関してはHII領域をうまく同定することができなかったため、今回は北側のarm領域に存在する巨大なHII領域のコントアレベルを銀河中心にも適用し、銀河中心のHII領域を決定した。緑で囲んでいる領域がコントアレベルで同定したHII領域である。その結果最終的には銀河全体で563個のHII領域を同定した（図6）。

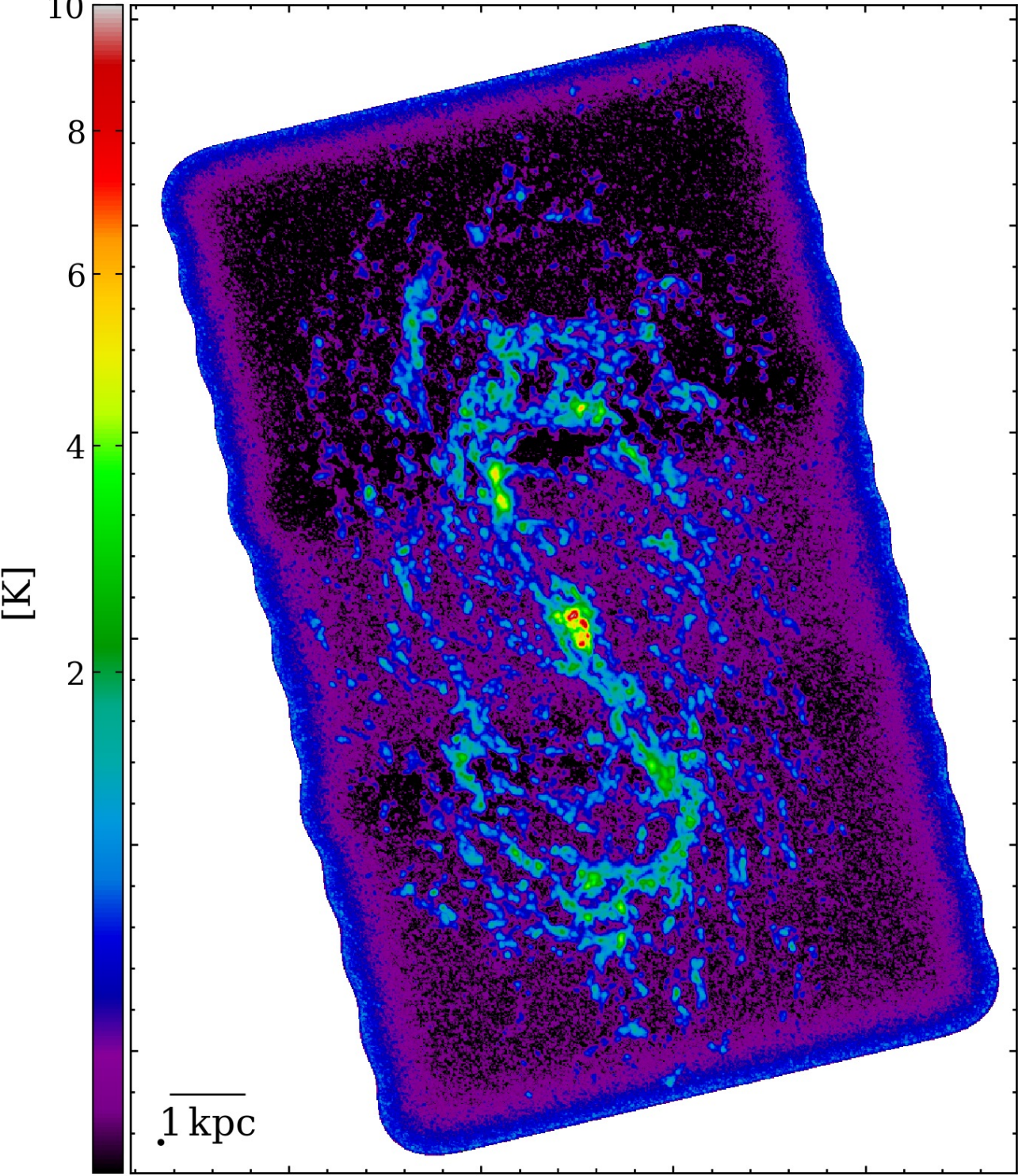


図4： $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ ピーク強度図

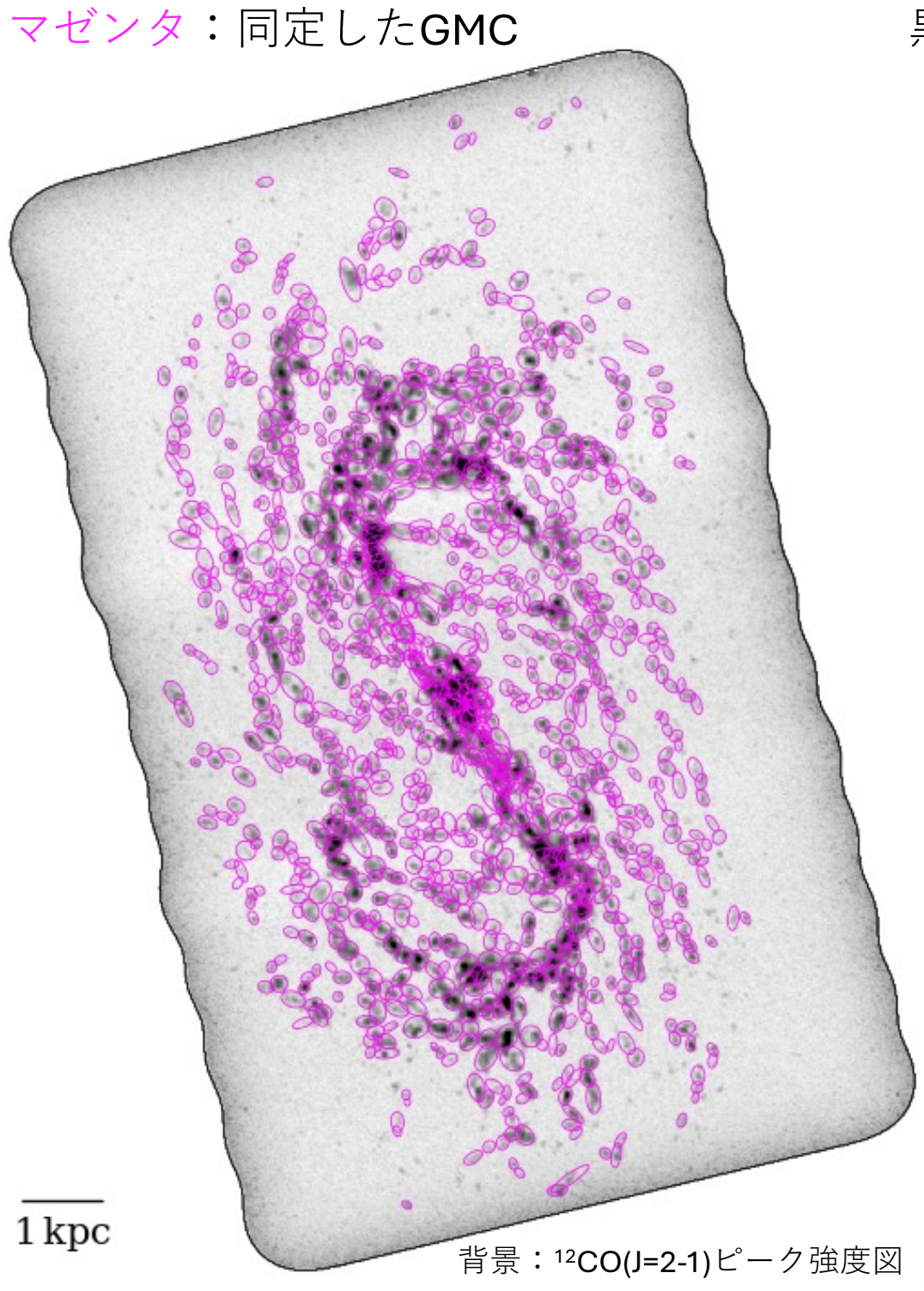


図5：GMCの空間分布

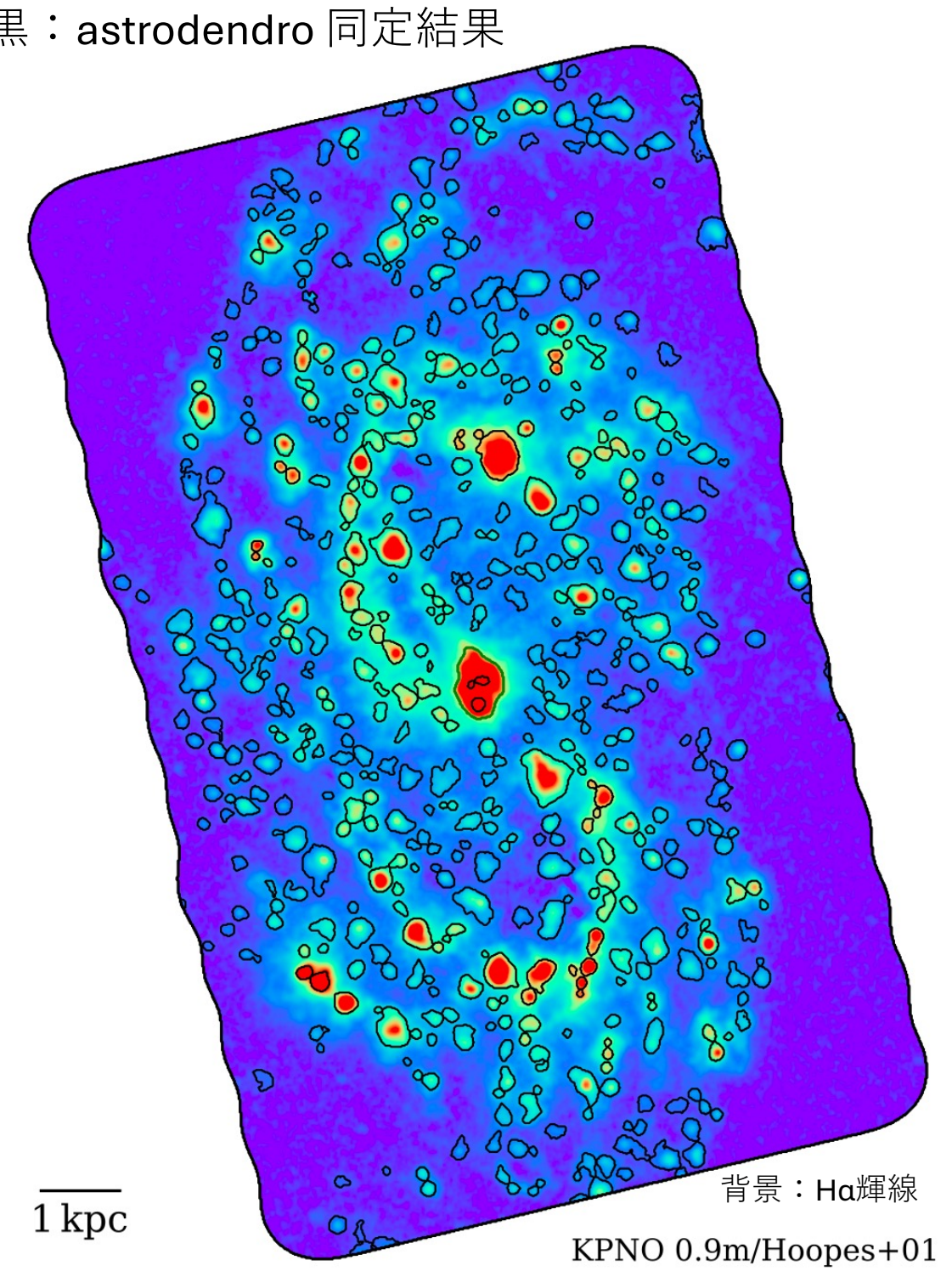


図6：HII領域の空間分布

各TypeのGMCの物理的性質

同定された各GMCに対して質量 $[M_{\text{SUN}}]$ 、半径 $[\text{pc}]$ 、速度分散 $[\text{km/s}]$ をそれぞれ求めた。表2は各Typeの物理量の範囲・中央値、図8は各Typeの物理量ごとの頻度分布を表している。

- GMCが進化していくにつれて、質量・半径が大きくなっている
- 速度分散の中央値はType IとType IIでほぼ違いがない
- 質量について、Type IIIに比べてType IとType IIの違いは小さい

表2：各Typeの物理量の範囲・中央値

	Type I	Type II	Type III
M_{CO} range ($M_{\odot}$)	$4.9 \times 10^4 - 1.3 \times 10^7$	$4.8 \times 10^4 - 1.7 \times 10^7$	$7.9 \times 10^4 - 4.3 \times 10^7$
M_{CO} median ($M_{\odot}$)	4.8×10^5	7.2×10^5	2.0×10^6
Radius range (pc)	12–158	32–179	27–189
Radius median (pc)	77	86	97
σ_v range (km s^{-1})	1.8–15	2.1–17	2.2–18
σ_v median (km s^{-1})	5.2	5.3	6.3

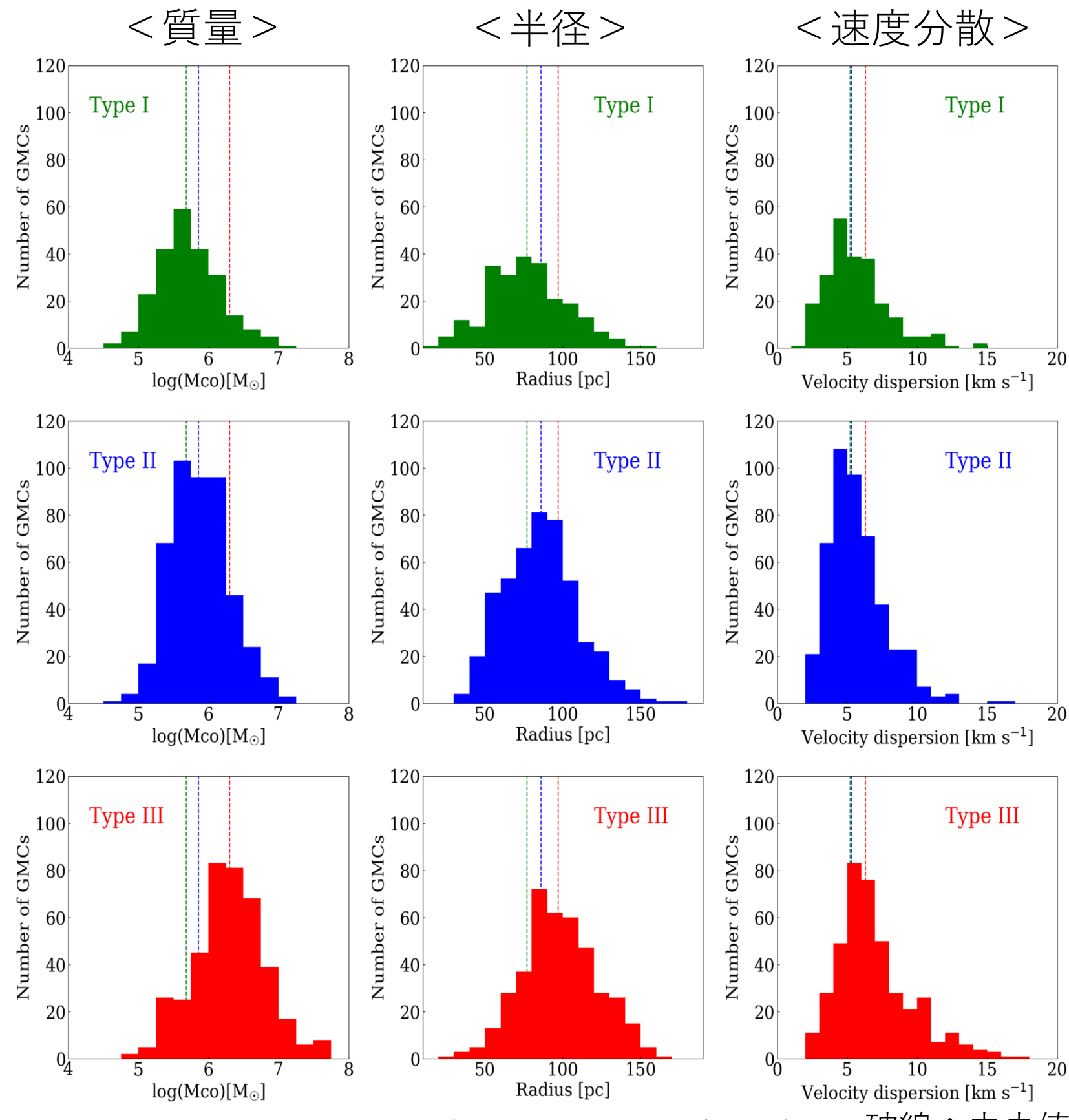


図8：各物理量の頻度分布 破線：中央値

M33 との比較

最近の研究で渦巻銀河M33におけるGMCに付随するHII領域の有無およびそのH α 光度に基づくType分類の結果が報告されている（Konishi et al. 2024）。Type分類の個数の割合について今回のNGC2903における結果とM33の結果を比較する。

渦巻銀河 M33 距離：840kpc



M33 (Konishi et al. 2024)			
Type I	Type II	Type III	Total
113 (19%)	361 (59%)	137 (22%)	611
NGC 2903 (本研究)			
Type I	Type II	Type III	Total
234 (21%)	469 (42%)	406 (37%)	1108

- Type I のGMCが少ないという点で共通している
→どちらの銀河も多くのGMCで大質量星の形成が行われている
- Type IIIの割合がNGC2903の方が高い
→M33よりもNGC2903の方がより多くの大規模な星形成が行われている

Data

観測天体：NGC2903

- 顕著な棒構造を持つ棒渦巻銀河
- 距離：約9.3 Mpc（約3000万光年）
- ガスの量が多く星形成が活発
- H α 輝線の観測がすでに行われている

観測諸元

望遠鏡	ALMA 12m array + ACA (7m array + TP)
観測輝線	$^{12}\text{CO} (J = 2-1)$
空間分解能	~64 pc (~1.4 arcsec)



図2：ALMA望遠鏡

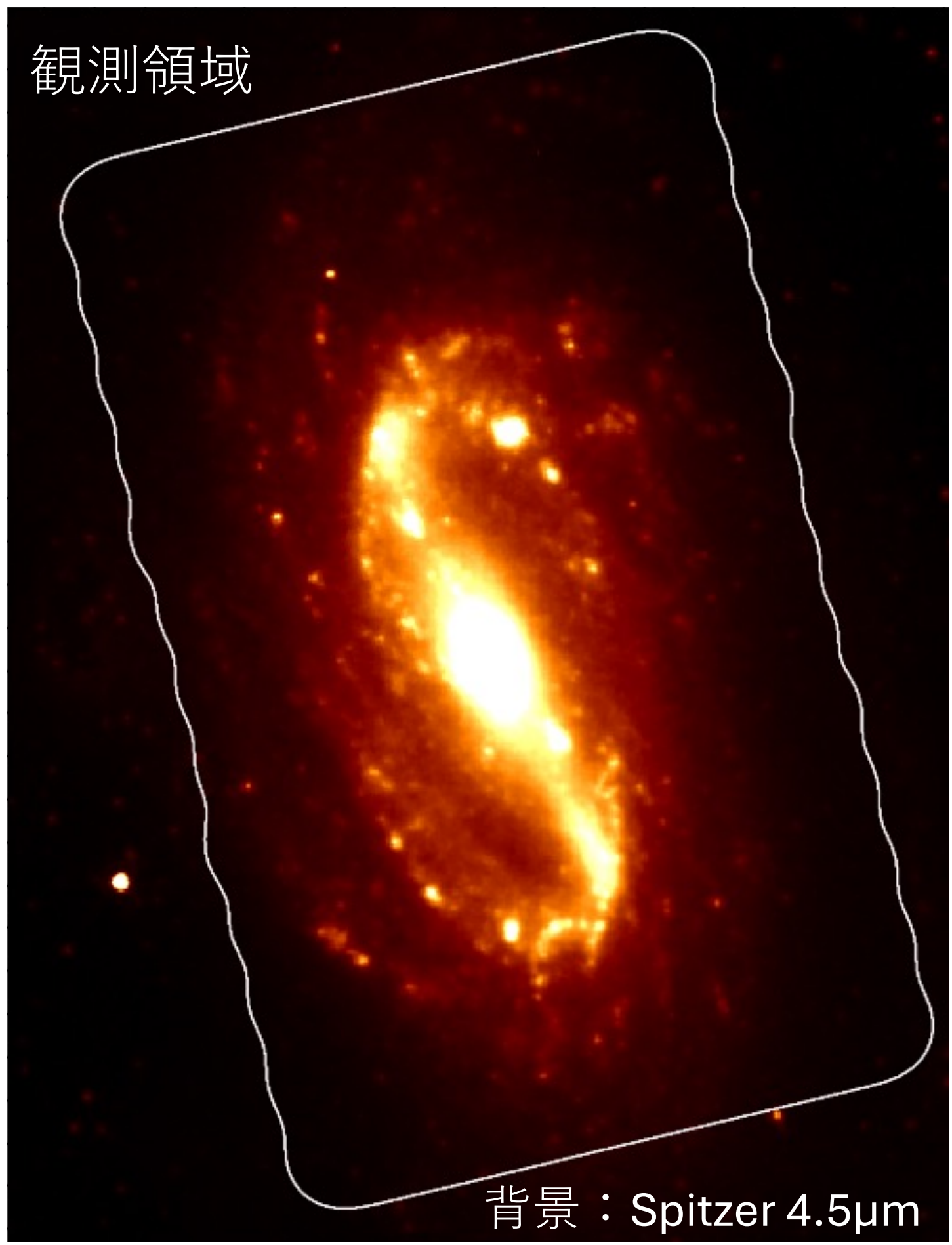


図3：ALMAによる観測領域

H α 光度に基づくType分類

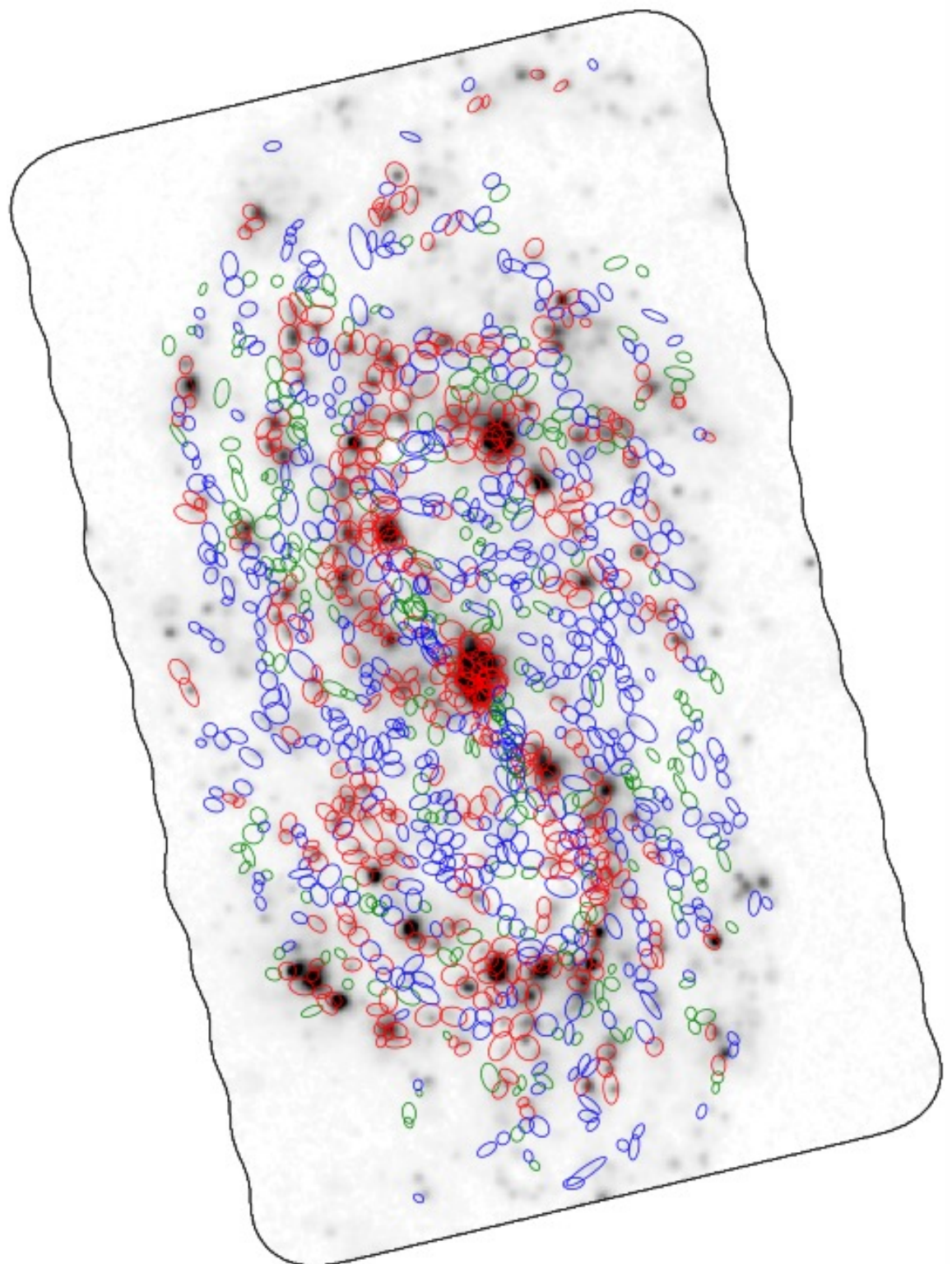


図7：Type分類 結果

GMC、HII領域の同定結果を用いてH α 光度に基づくタイプ分類を行った。表1はGMCの各Typeの個数を示している。銀河全体に分布する約80%のGMCにHII領域が付随しており、大質量星形成が行われていることがわかった。

背景：H α 輝線光度
楕円：GMC

- Type I（HII領域の付随なし）
- Type II（GMCに $L(\text{H}\alpha) < 10^{37.5} \text{ erg s}^{-1}$ のHII領域が付随）
- Type III（GMCに $L(\text{H}\alpha) \geq 10^{37.5} \text{ erg s}^{-1}$ の特に明るいHII領域が付随）

表1：各TypeのGMCの個数

Type I	Type II	Type III	Total
234 (21%)	469 (42%)	405 (37%)	1108

領域ごとのType分類

背景： $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ ピーク強度図

表3：領域ごとのType分類 結果

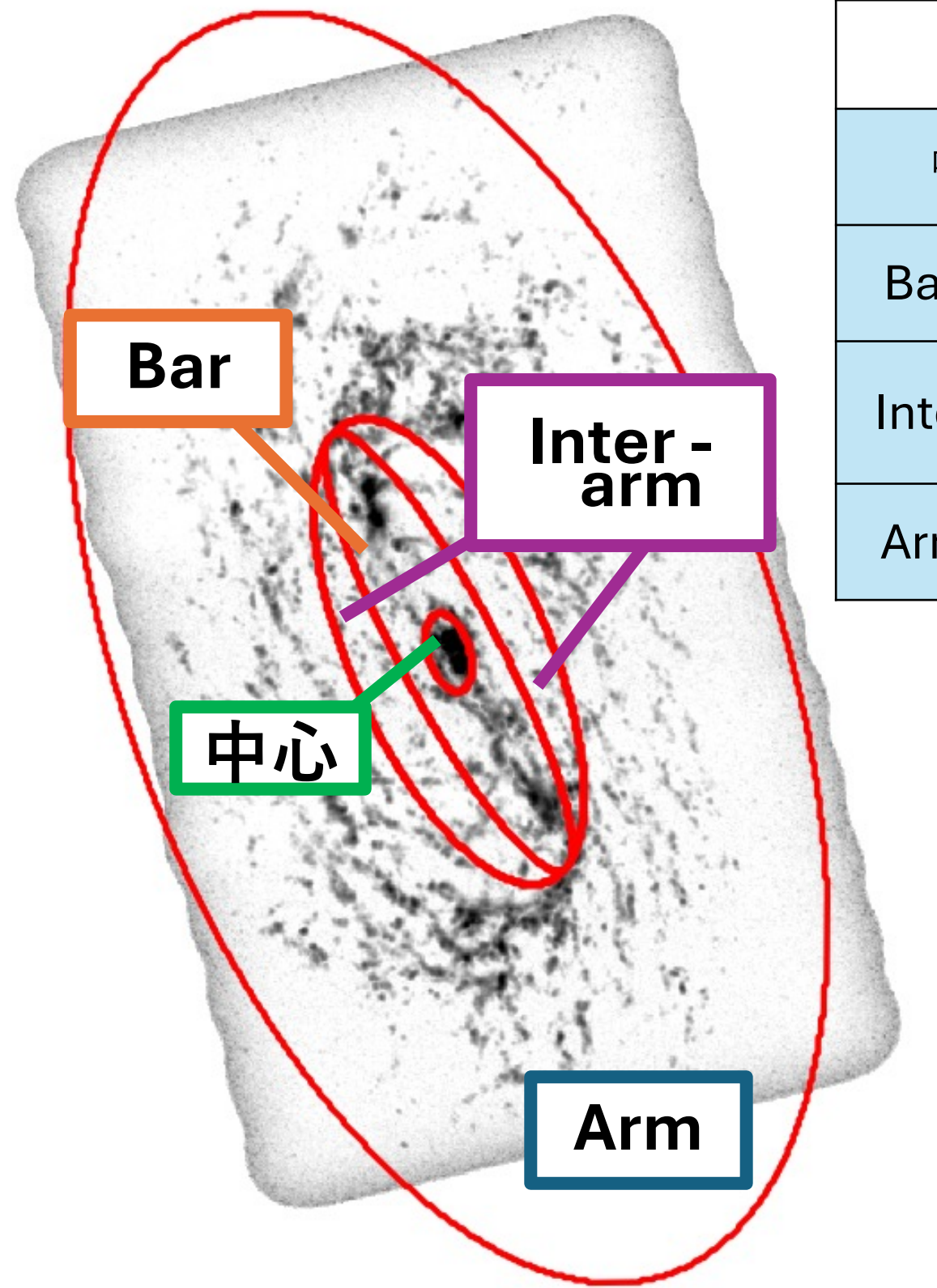


図9：分類した領域

	Type I	Type II	Type III	Total
中心	1 (3%)	1 (3%)	31 (94%)	33
Bar 領域	37 (24%)	51 (33%)	66 (43%)	154
Inter-arm	24 (17%)	70 (50%)	45 (33%)	139
Arm領域	172 (22%)	346 (44%)	261 (34%)	779

図9のように銀河をその構造に応じて4つの領域に分け、領域ごとの各TypeのGMCの分布を調べた。結果を表3に示す。ただし、この4つの領域外に存在する3つのGMCについては除外している。そのため同定されたGMC1108個のうち、1105個を領域ごとに分類している。

- 中心領域はほぼType IIIのGMCしか存在しない
- Bar領域ではType IIIが最も多い
- Inter-armでも大質量星の形成が行われているが、Type IIの割合が多くなっている
- Arm領域のGMCの個数が全体の70%ほどを占めている

Summary & Future works

- I identified GMCs and HII regions by using $^{12}\text{CO}(J=2-1)$ data observed by ALMA telescope and H α emission line by KPNO 0.9m telescope in the barred spiral galaxy NGC2903.
- I apply H α luminosity-based type classification to the identified GMCs. It yields 234 Type I GMCs, 469 Type II GMCs, 406 Type III GMCs.
- Using these identification results, I examined the physical properties of each type GMC. As a result, I found a positive correlation between the GMC evolution and their mass / radius.
- After dividing this galaxy into 4 regions, I checked the number of GMCs and the fraction of each Type in each region. The results show that about 70 % GMCs are located in arm region. Additionally, the fraction of Type III GMCs in bar region is high compared to that in this galaxy.
- Compared to the spiral galaxy M33, the fraction of Type III GMC is higher in NGC 2903, thus more active star formation likely takes places in arm region.
- In the future, I will create frequency distributions of physical quantities (e.g. mass, radius, and velocity dispersion) of each Type GMC in different regions and investigate the variation in the physical properties of GMCs in different galactic environments.

References

- Demachi, F. et al. 2024, PASJ, 76, 1059
- Fukui, Y. et al. 1999, PASJ, 51, 745
- Kawamura, A. et al. 2009, ApJS, 184, 1
- Konishi, A. et al. 2024, PASJ, 76, 1098
- Rosolowsky, E. W. et al. 2008, ApJ, 679, 1338
- Rosolowsky, E. W. et al. 2021, MNRAS, 502, 1218
- Yamaguchi, R. et al. 2001, PASJ, 53, 985