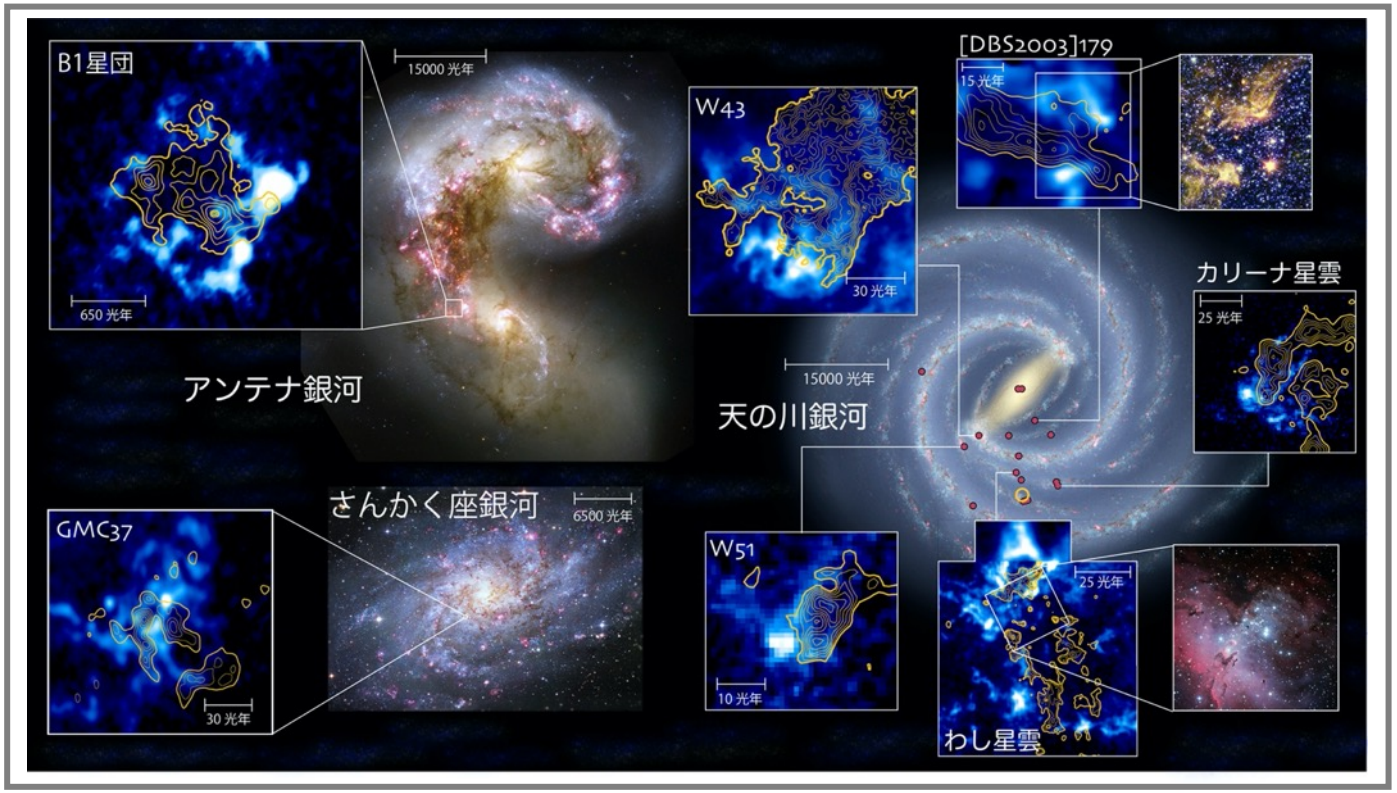
星は一人では生まれない？
ガス雲衝突から始まる星団誕生の理解が進む



（クレジット：名古屋大学, 国立天文台, NASA, JPL-Caltech, R. Hurt (SSC/Caltech), Robert Gendler, Subaru Telescope, ESA, the Hubble Heritage Team (STScI/AURA), Hubble Collaboration, 2MASS）

立原研悟　名古屋大学大学院理学研究科　准教授
西村　淳　大阪府立大学大学院理学研究科　研究員
藤田真司　大阪府立大学大学院理学研究科　研究員

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY
大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY
国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

星は一人では生まれない？ ガス雲衝突から始まる星団誕生の理解が進む

査読付き天文学術雑誌『日本天文学会欧文研究報告 (Publications of the Astronomical Society of Japan)』「特集号:分子雲衝突による星形成 2」に21編の論文が掲載

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY

大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY

国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

星は一人では生まれない？ ガス雲衝突から始まる星団誕生の理解が進む

(credit: ESO)

多くの星は集団で生まれる

巨大な集団の例：球状星団

およそ1000万個の星が
半径100光年の中に密集
中心部での星と星の間の距離はおよそ0.1光年

どのように生まれたのか？

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY
大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY
国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

星は一人では生まれない？ ガス雲衝突から始まる星団誕生の理解が進む

星団（星の集団）とは

- 大小様々ある
- 星の数が1万個以上は巨大星団、100万個以上は球状星団
- 天の川銀河には150個程の球状星団が存在し、どれも誕生からおよそ100億年経っている
- 誕生から数100万年程度の若い星団は、星が数万個以下のものばかり

天文学における長年の謎

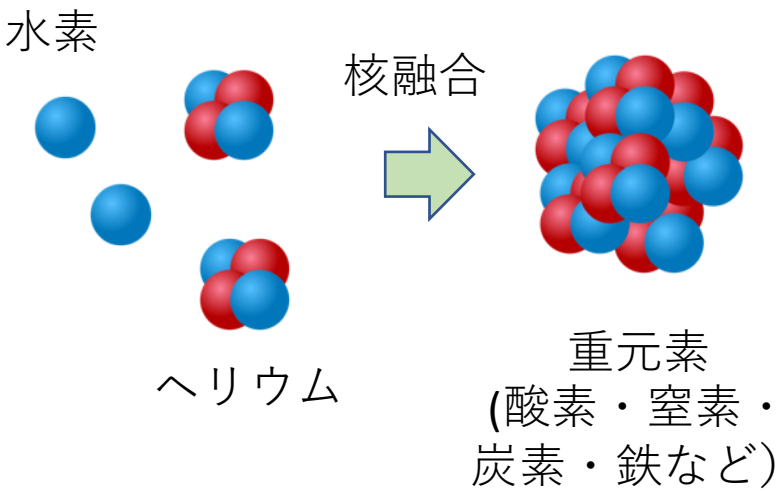
- 天の川銀河では100億年前は球状星団が多数生まれたが、現在は生まれていない
- いくつかの銀河では若い球状星団が存在
- 星団の誕生過程は？

大マゼラン雲で誕生した若い球状星団 R136

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY
大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY
国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

研究の意義：星団が宇宙の物質を進化させた

- 星団には大質量星が含まれる
- 大質量星の内部で作られた重元素が、超新星爆発により宇宙空間に供給される
- 水素とヘリウムしか無かった宇宙に豊富な重元素がもたらされた



惑星や生命は重元素からできている
星団誕生の謎を解明することでそのルーツに迫る

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY
大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY
国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

星は一人では生まれない？ ガス雲衝突から始まる星団誕生の理解が進む

星の誕生

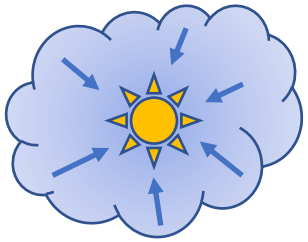
- 希薄なガス雲が材料
- 超新星爆発によってばらまかれた重元素はガス雲に取り込まれる

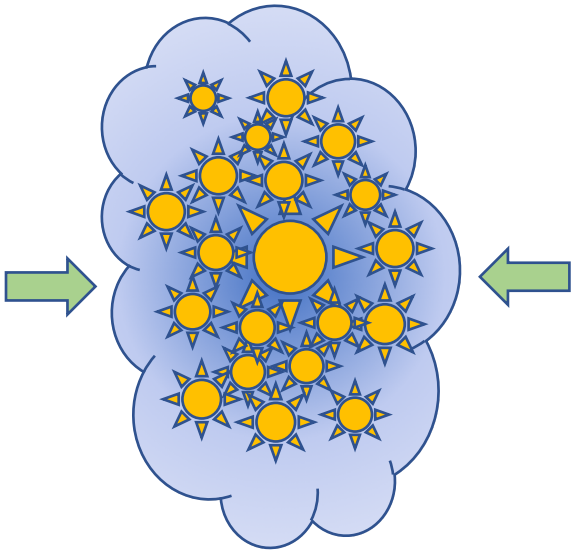
- 大質量星の誕生過程はまだよくわかっていない

  小さな体積の中に短時間で大量のガスを圧縮

  外部からの何らかの圧力が必要

- 小質量星はガス雲が自らの重力で収縮することで誕生



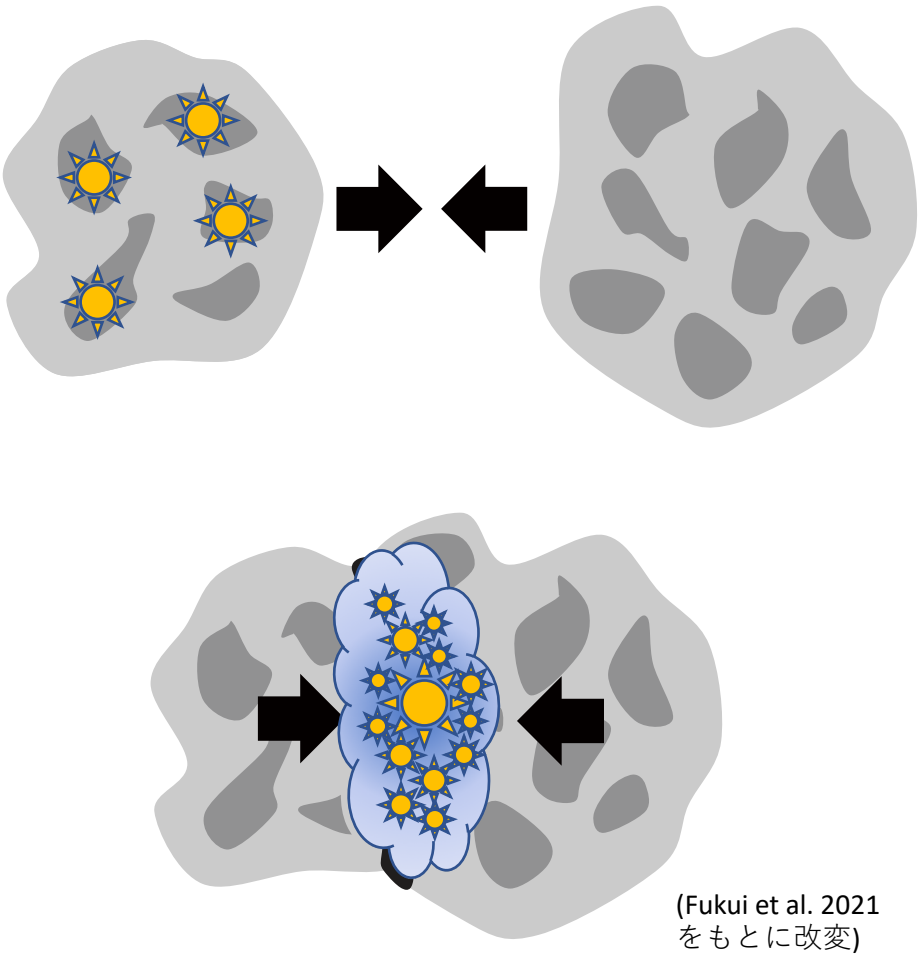


名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY　大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY　国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

星は一人では生まれない？ ガス雲衝突から始まる星団誕生の理解が進む

ガス雲衝突による星団の誕生モデル

- 2つのガス雲が衝突
- 衝突の境界面ではガスが高密度に圧縮
- 高密度ガスの中で星団が誕生



(Fukui et al. 2021 をもとに改変)

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY　大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY　国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

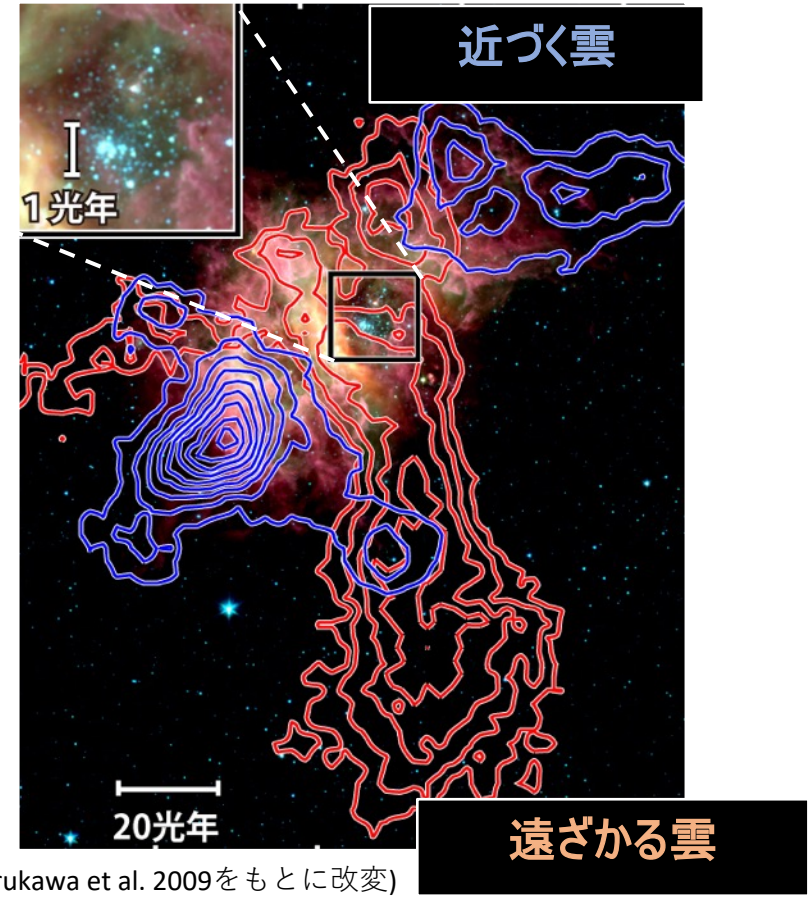
星は一人では生まれない？ ガス雲衝突から始まる星団誕生の理解が進む

これまでの発見

- 天の川銀河では、星団を作ったガス雲衝突の痕跡がいくつか見つかった

本研究で明らかにしたいこと

- ガス雲の衝突は普遍的な現象なのか？
- 星団はその規模によらず、ガス雲衝突により誕生するのか？



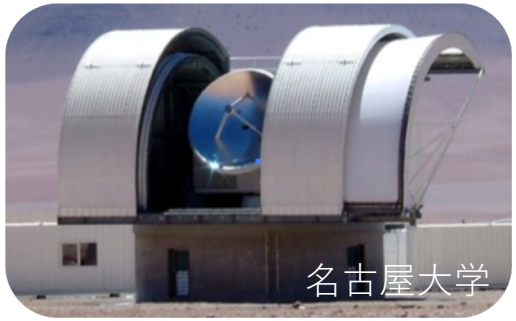
(Furukawa et al. 2009をもとに改変)

天の川銀河で見られる若い星団Westerlund 2と、衝突したガス雲

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY　大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY　国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

用いた電波望遠鏡

小(中)型電波望遠鏡



NANTEN (4m)

大型電波望遠鏡

野辺山宇宙電波望遠鏡 (45m)

電波干渉計

ALMA

分解能 高

視野 広

例えるなら……

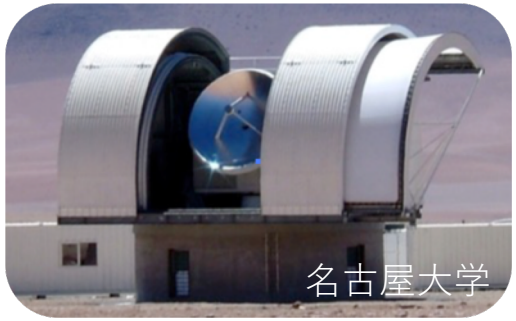
名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY

大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY

国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

用いた電波望遠鏡

小(中)型電波望遠鏡



NANTEN (4m)

大型電波望遠鏡

野辺山宇宙電波望遠鏡 (45m)

電波干渉計

ALMA

適している対象

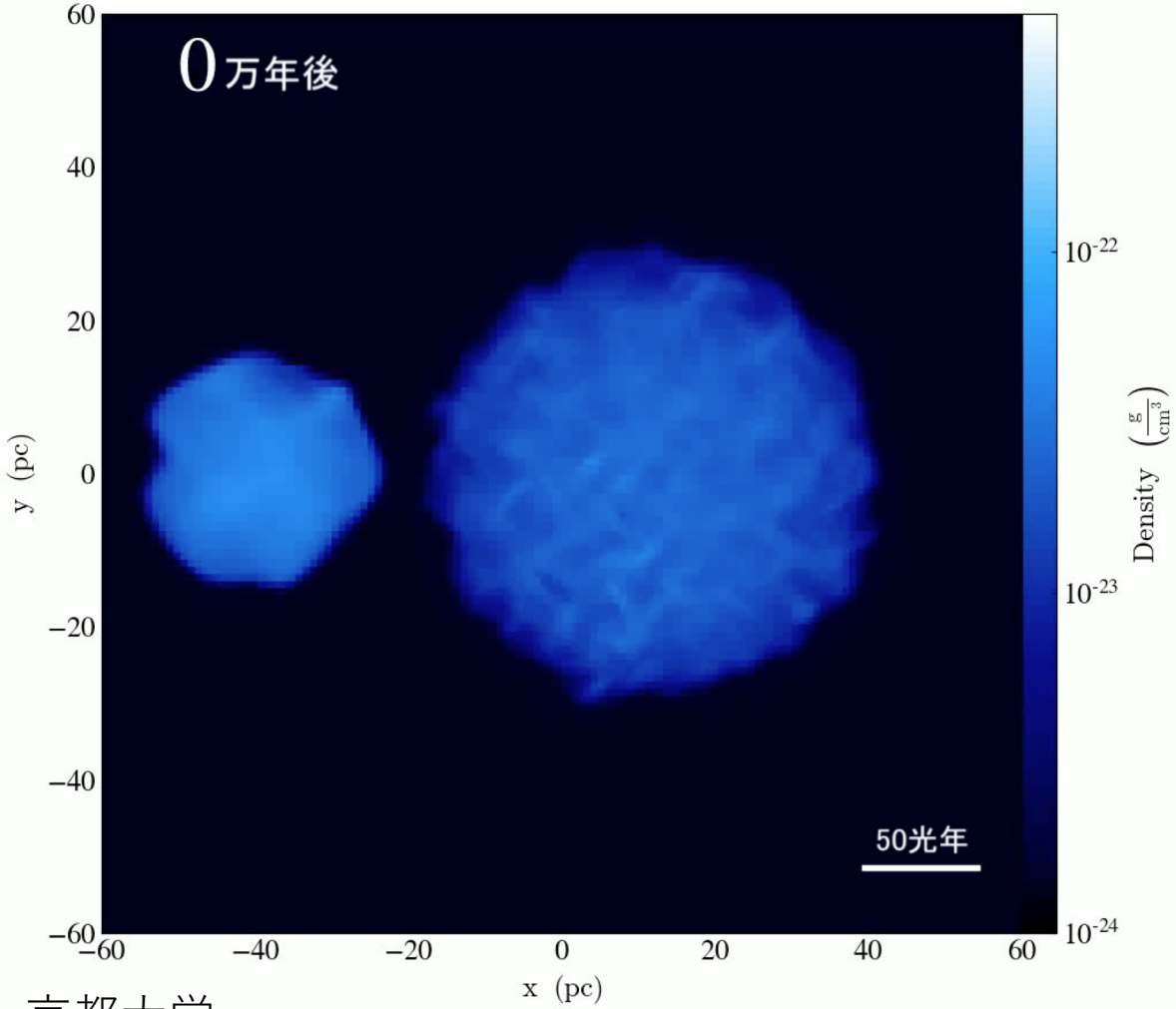
- **近くて**
  見た目が大きな天体
  など

- **遠くて**
  見た目が小さな天体
  など

適切な使い分けが重要

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY　大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY　国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

ガス雲衝突の3D流体数値シミュレーション



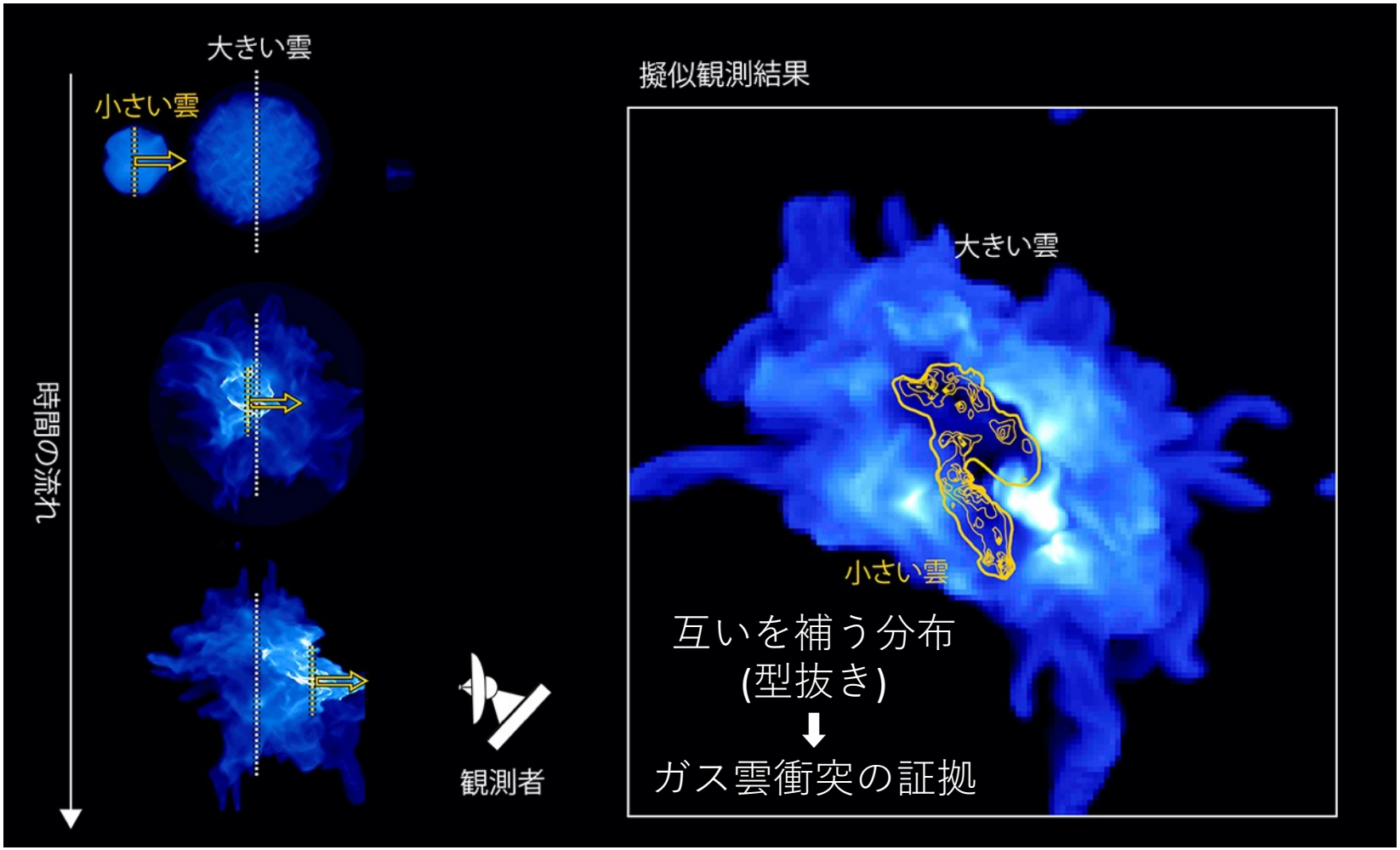
協力: 北海道大学, 京都大学

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY

大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY

国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

ガス雲衝突の3D流体数値シミュレーション



協力: 北海道大学, 京都大学

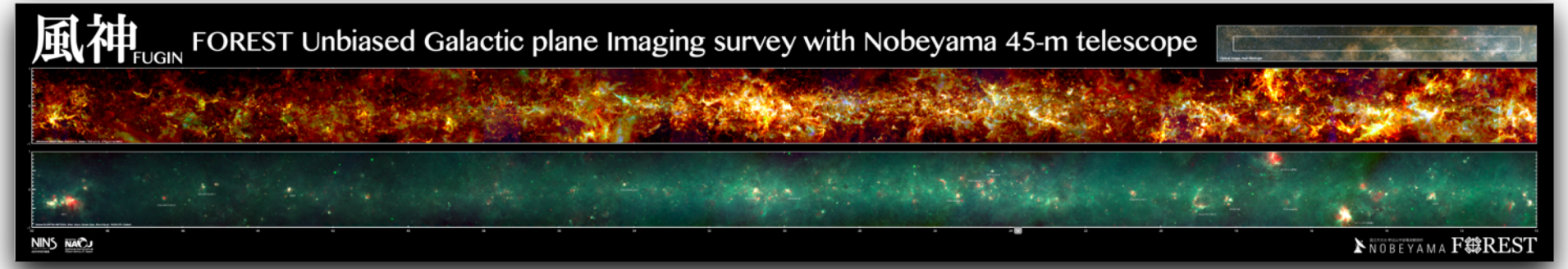
名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY　大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY　国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

星は一人では生まれない？ ガス雲衝突から始まる星団誕生の理解が進む

観測データ

例 : 野辺山45m宇宙電波望遠鏡による天の川銀河の分子ガス掃天観測

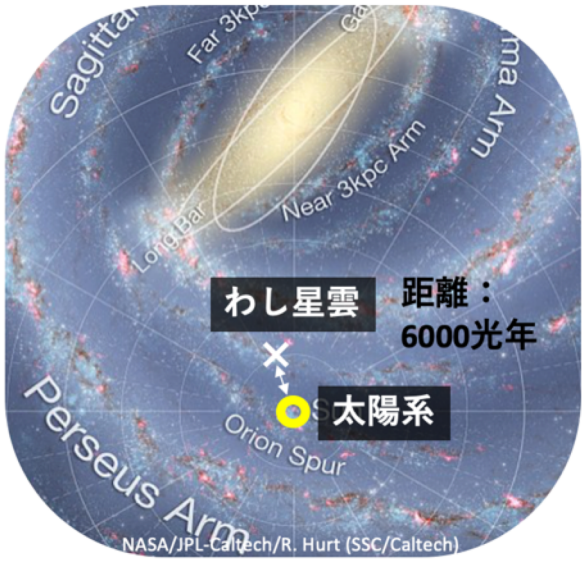
上段: CO分子　下段: 中間赤外線 (Spitzer衛星/NASA)



- 我々が主導してきた国立天文台レガシープロジェクト
- 4年以上に渡る観測
- **高分解能**と**広域**の二つを両立した**ビッグデータ**
- 数百～数千もの星形成領域を含む
  - ➢ 今回の結果を踏まえると、ここに含まれる主要な星形成領域の多くはガス雲衝突によって誘発されたと結論できる

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY　大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY　国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

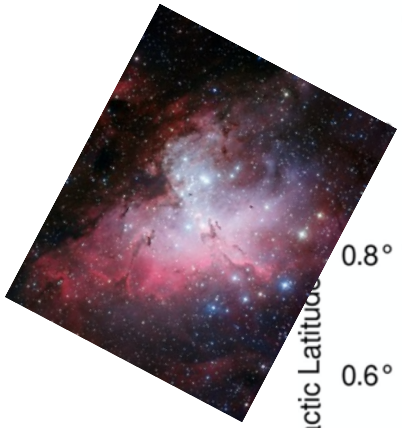
結果のハイライト：わし星雲

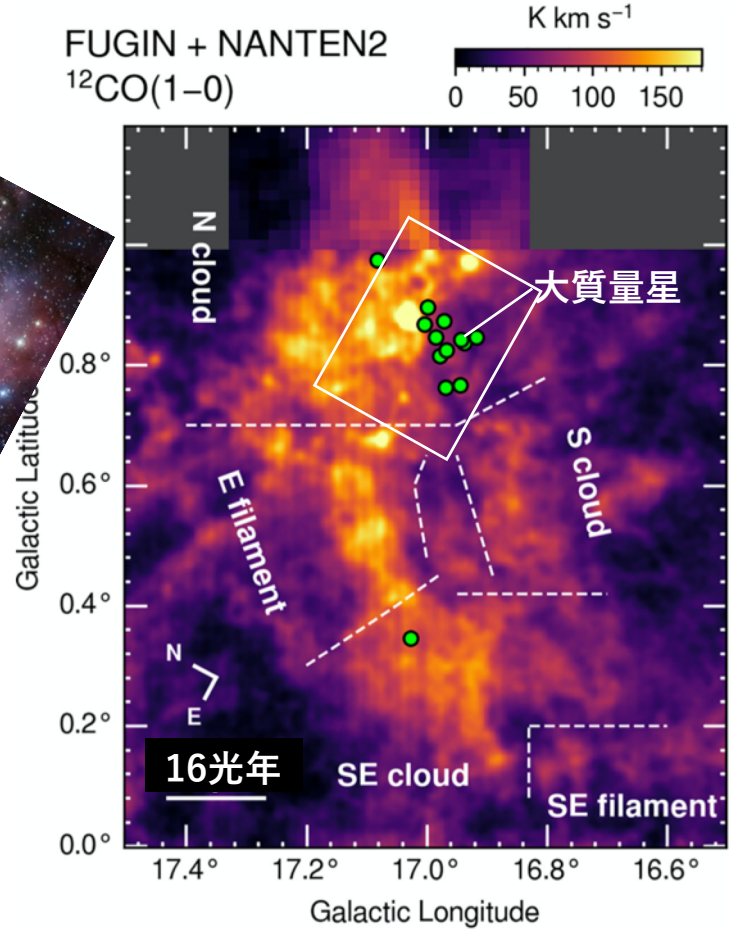


わし星雲

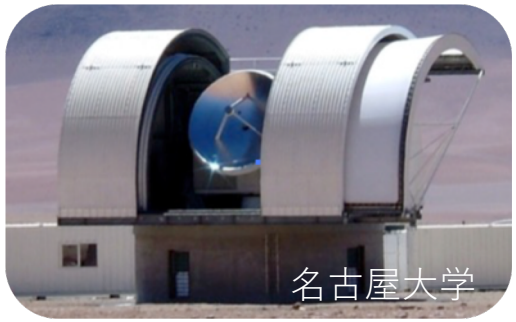
- 太陽系から最も近い生まれたての巨大星団
  - 距離：6000 光年

結果のハイライト：わし星雲

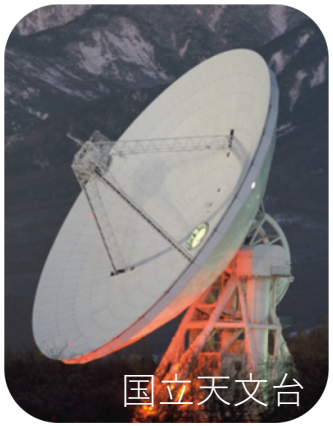




NANTEN2 電波望遠鏡

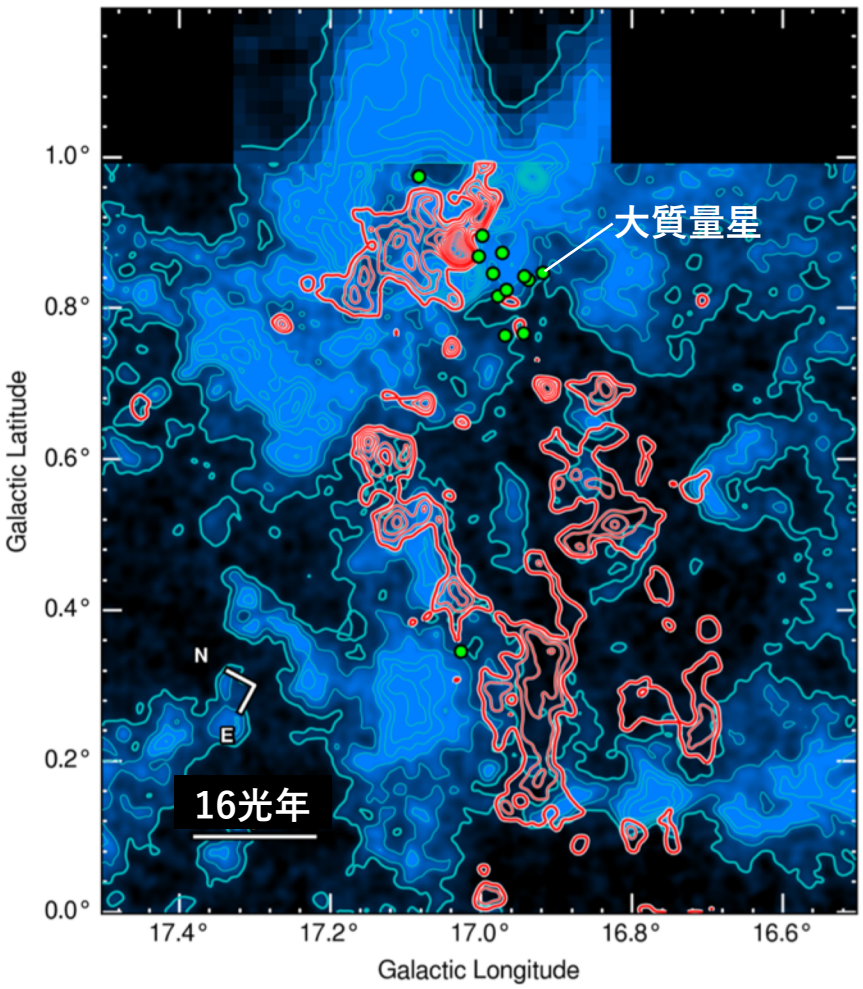


野辺山 45m
電波望遠鏡



- 電波で見た、わし星雲
- ガス雲が見える

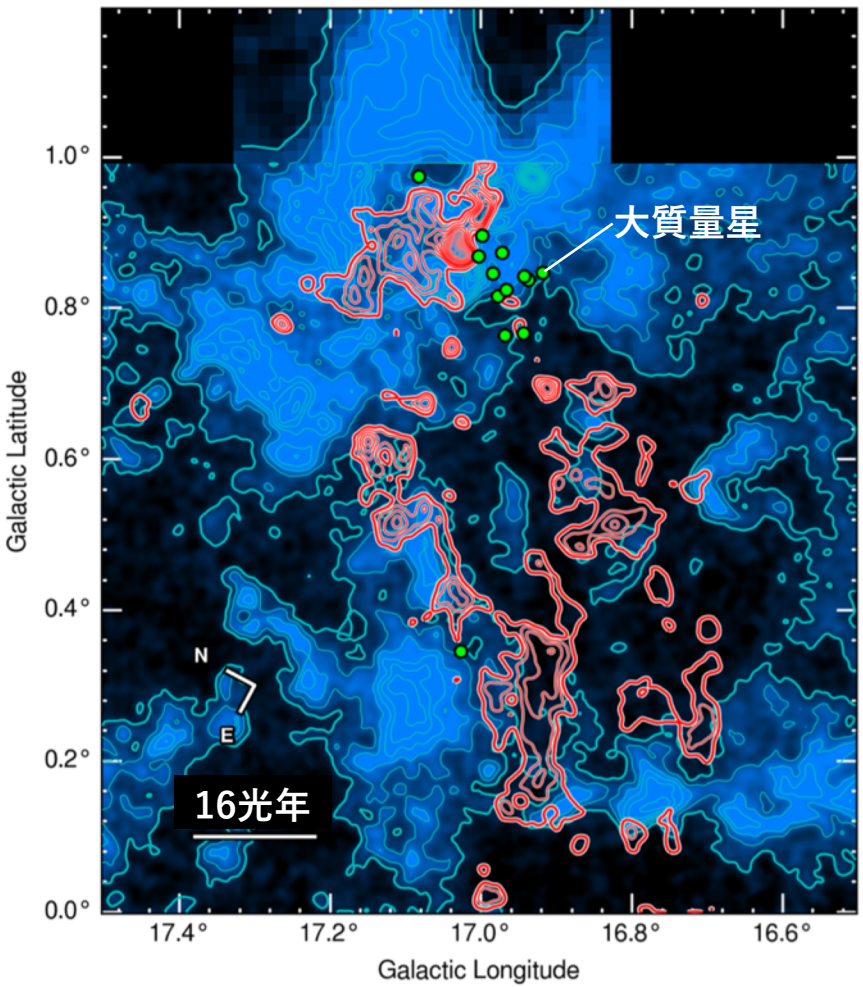
結果のハイライト：わし星雲



- 電波で見ると、
  前後の速さが分かる
  - ドップラー効果
  - スピードガンと同じ

- **赤**：奥へ遠ざかるガス
- **青**：手前へ近づくガス

結果のハイライト：わし星雲

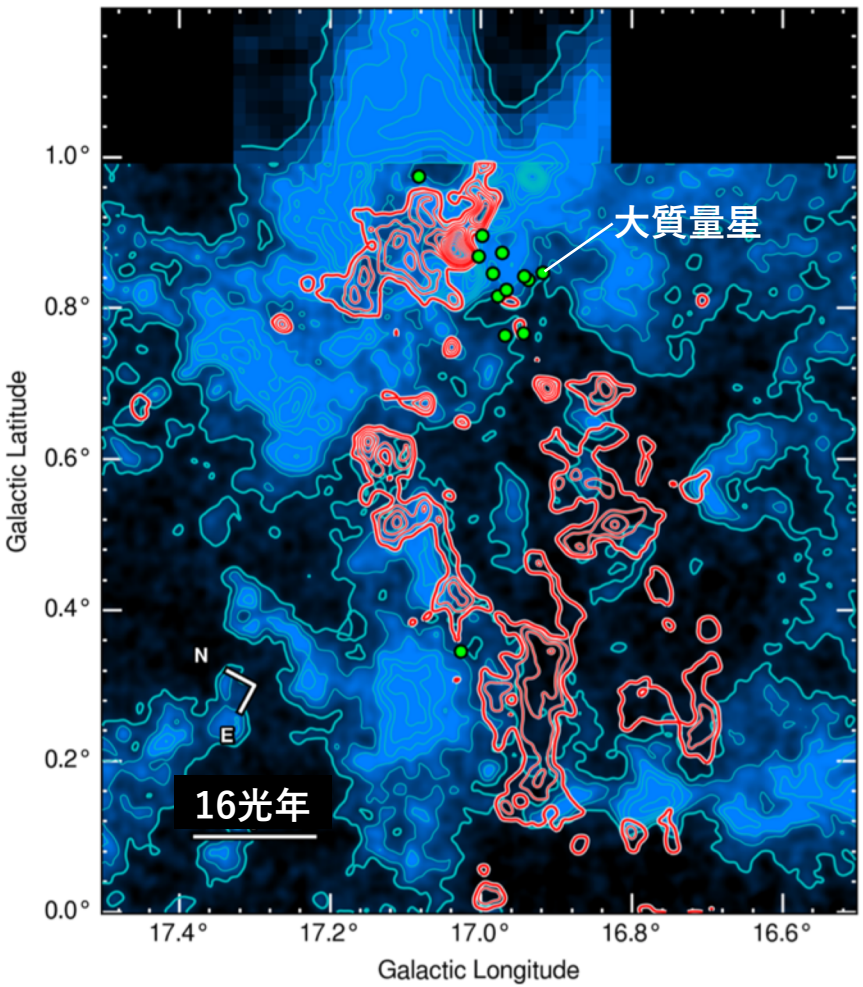


- **赤**：奥へ遠ざかるガス
- **青**：手前へ近づくガス

- 速度の違う2つのガス
- きれいに穴にはまる

- 衝突した可能性アリ
- 星の生まれた場所とも一致している

結果のハイライト：わし星雲



- **赤**：奥へ遠ざかるガス
- **青**：手前へ近づくガス

- ガスの重さ：
  どちらも太陽 2 万個

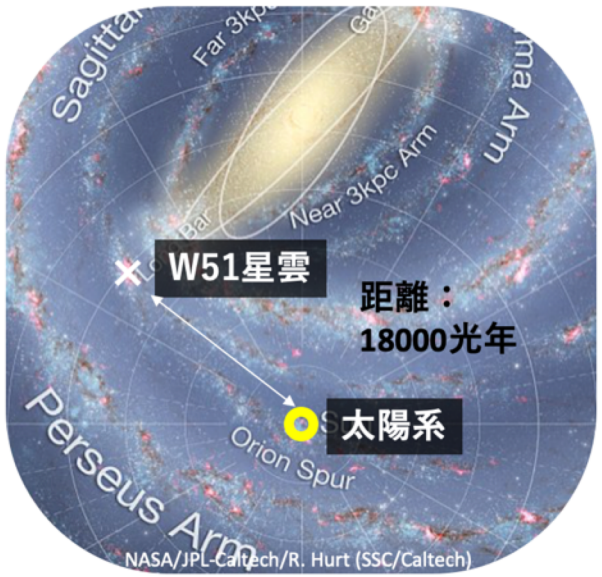
- 衝突の速さ：

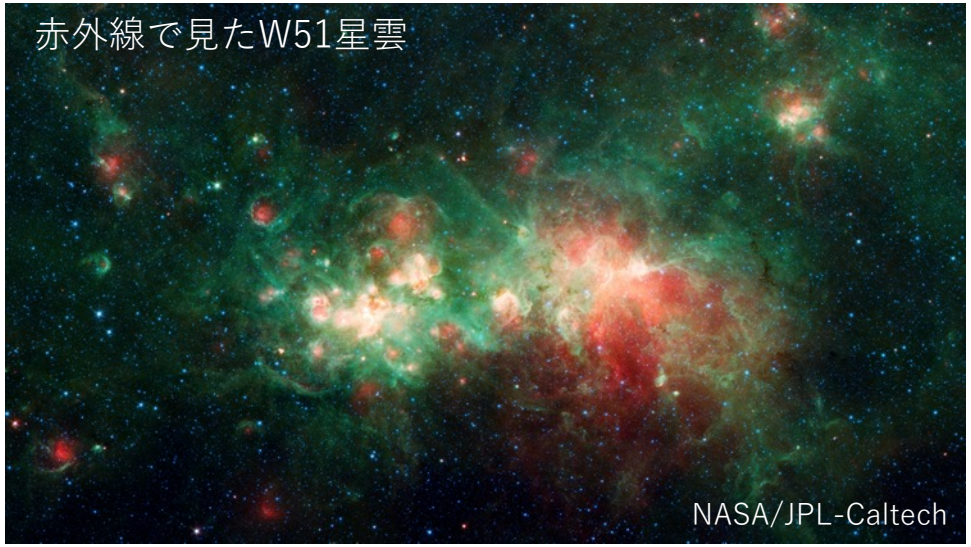
12 km/s = 43000 km/h

宇宙ステーションの軌道速度の 1.6 倍。地球を 60 分で一周する速さ。

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY　大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY　国立天文台 NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

結果のハイライト：W51 星雲

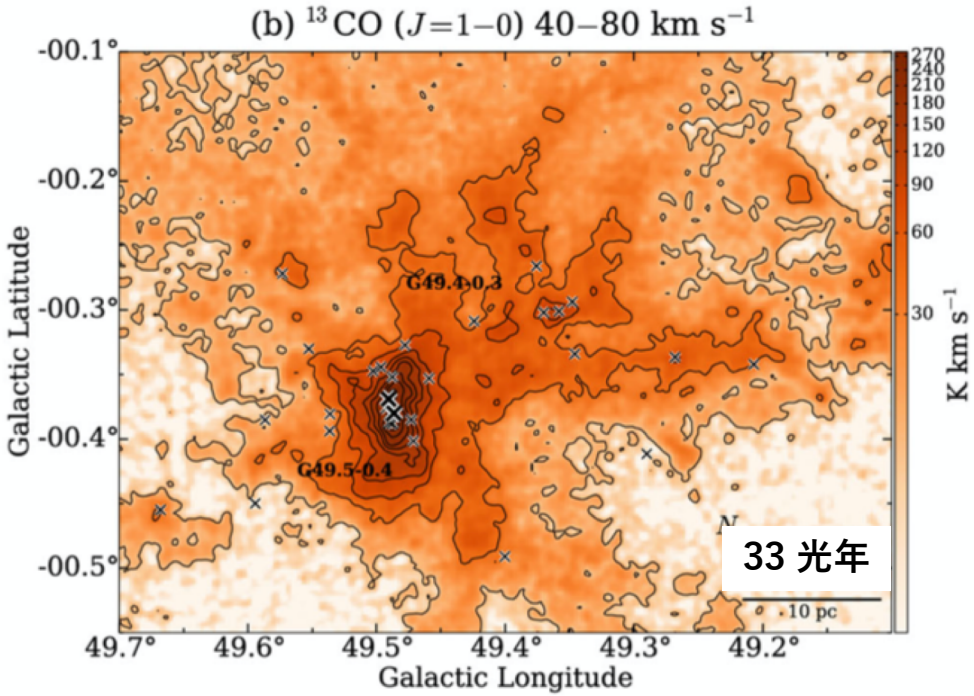




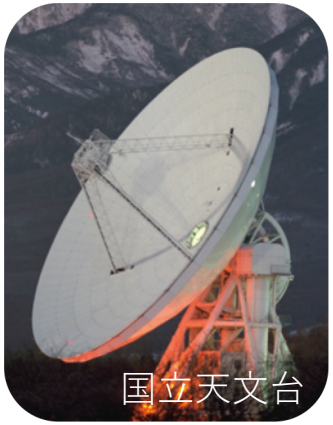
W51星雲

- 天の川銀河最大級の生まれつつある巨大星団
  - わし星雲の 10 倍
- 太陽系からは少し遠い（18000 光年）

結果のハイライト : W51 星雲

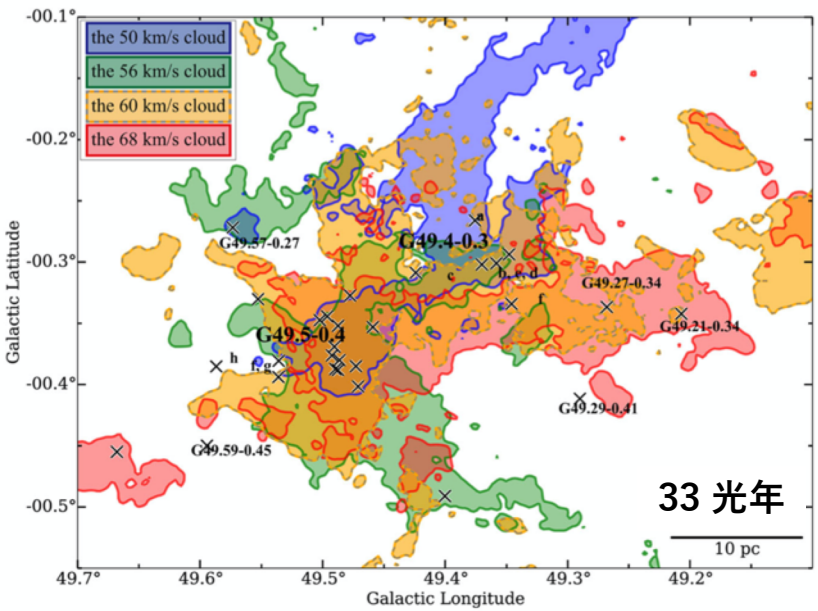


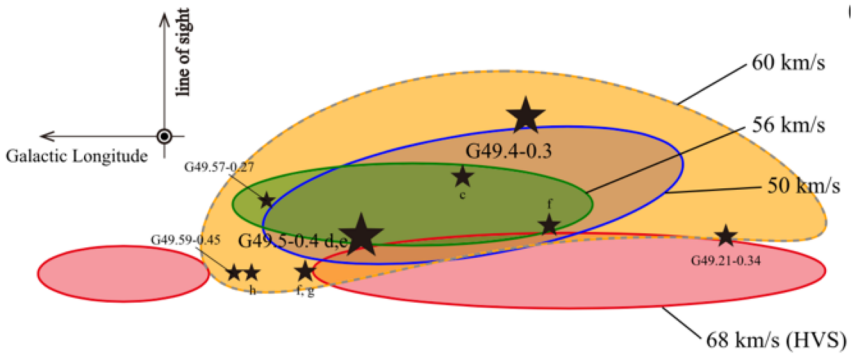
野辺山 45m
電波望遠鏡



- 電波で見た、W51星雲
- ガス雲の量は、わし星雲の5倍

結果のハイライト：W51 星雲

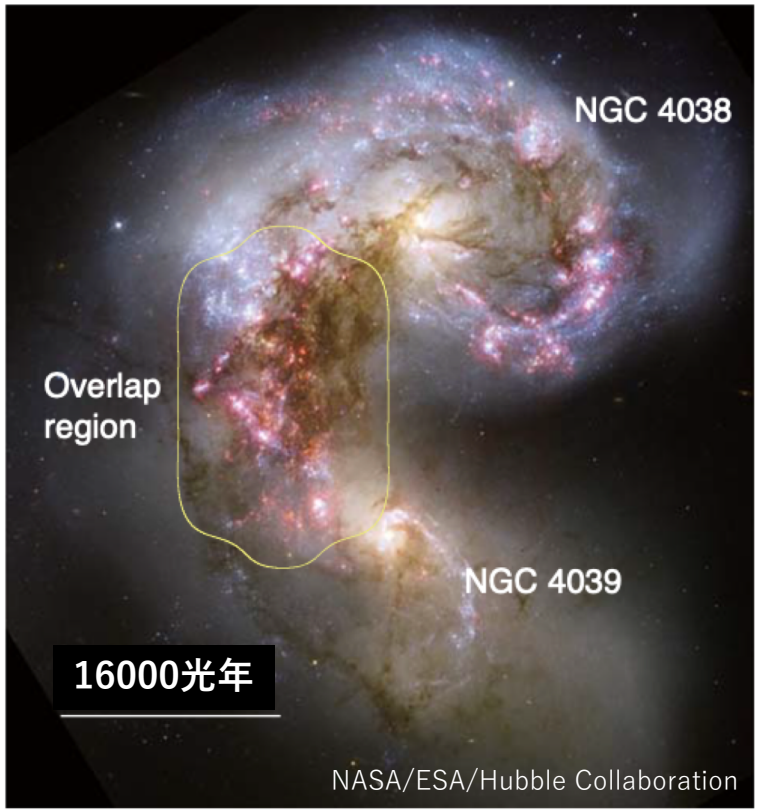




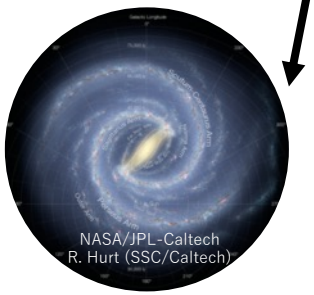
- 衝突速度：わし星雲と同じくらい (~10km/s)
- 4つのガス雲が衝突している

  → 天の川銀河最大級の、巨大な星団が誕生

結果のハイライト：アンテナ銀河



天の川銀河

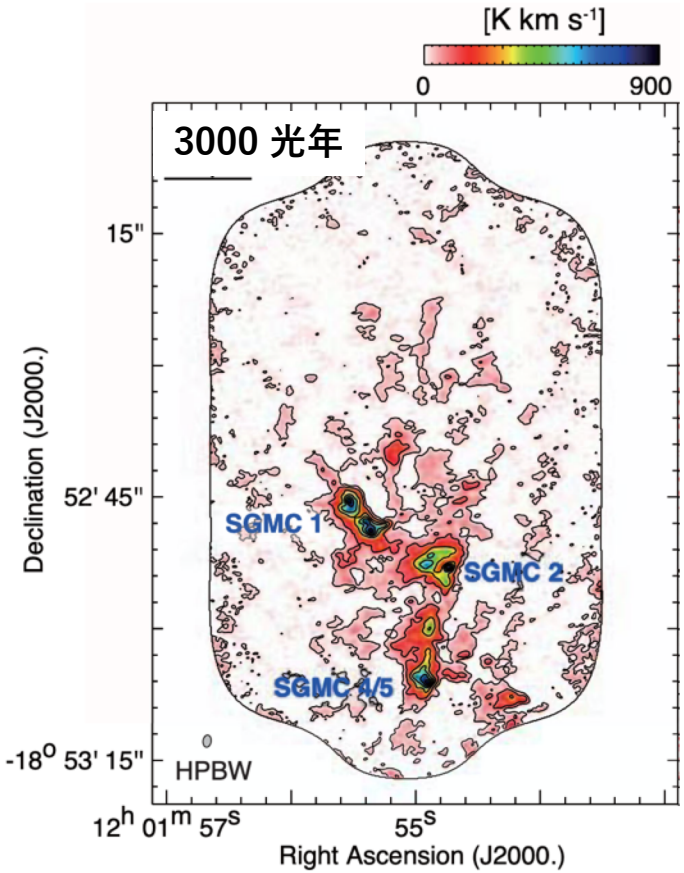


距離：
7000万光年

アンテナ銀河（触角銀河）

- 距離：7000万光年
- 2つの銀河が衝突
- 球状星団が誕生しつつある
  - W51 星雲の 10 倍

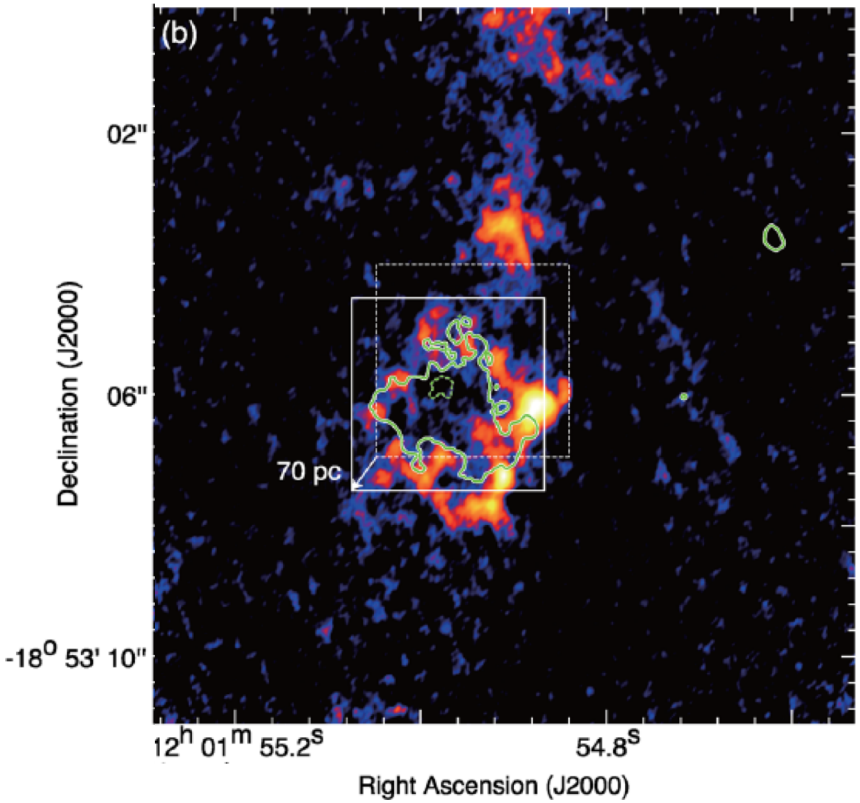
結果のハイライト：アンテナ銀河



ALMA電波干渉計

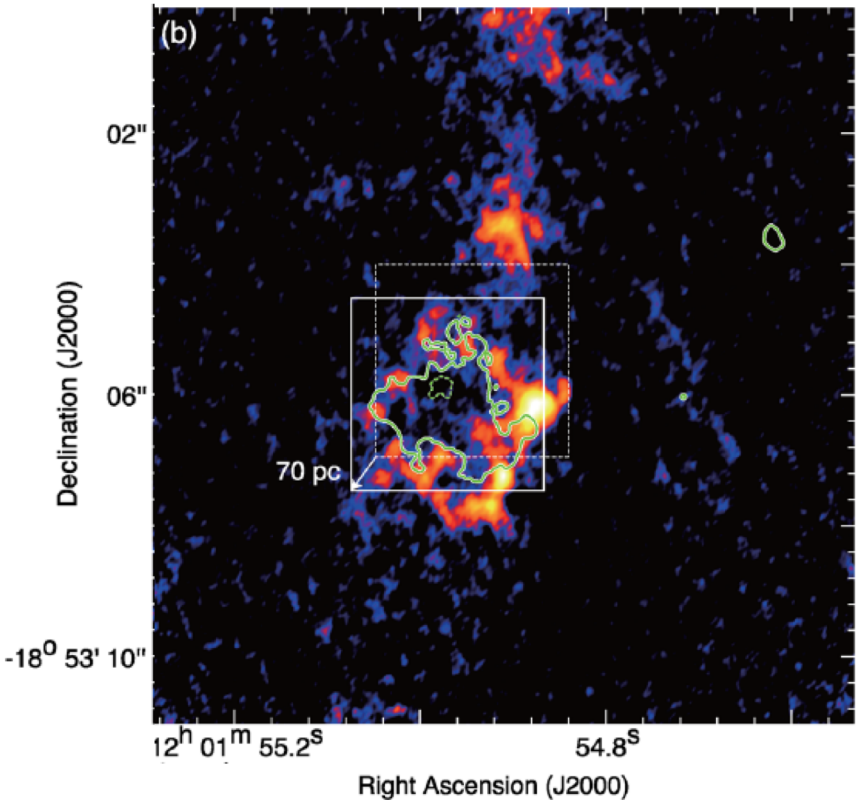
- 電波で見た、アンテナ銀河
- ガス雲の量は、W51星雲の100倍

結果のハイライト：アンテナ銀河



- 非常に規模は大きいが、銀河系と同じガス雲の構造
- ガス雲の衝突が、球状星団をも誕生させた

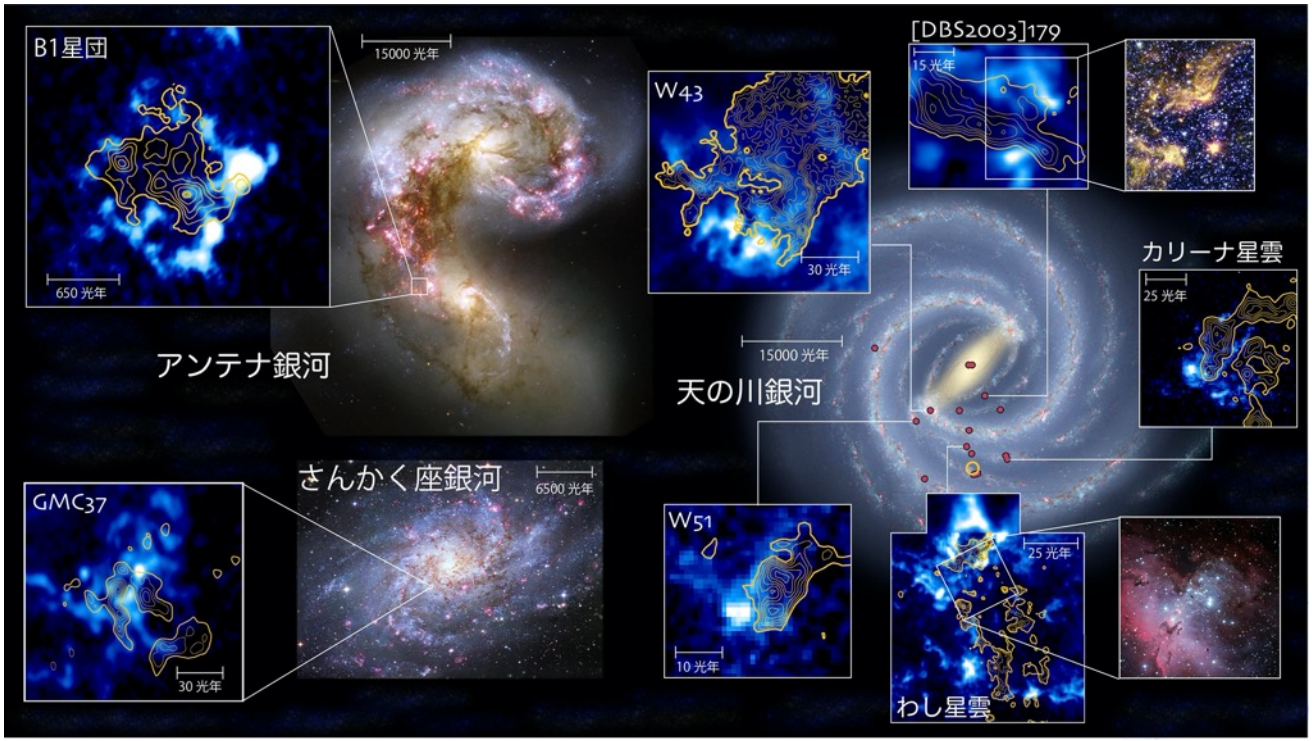
結果のハイライト：アンテナ銀河



- ガスの重さ：
  どちらも太陽5000万個
- 衝突の速さ：
  100 km/s = 36万 km/h
  （天の川銀河系の中の衝突の10倍速い）

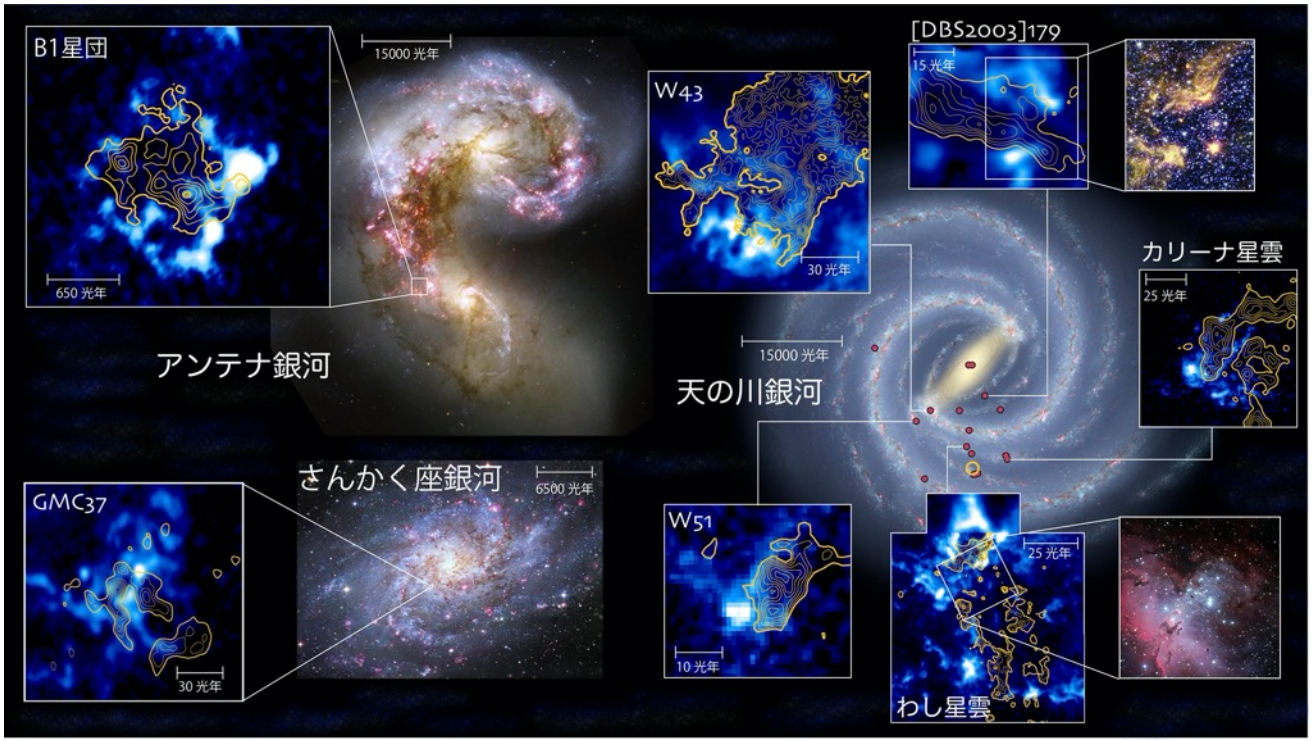
宇宙ステーションの軌道速度の 13 倍。地球を 7 分で一周する速さ。

本研究結果の意義



1. ガス雲衝突の痕跡がたくさん見つかった

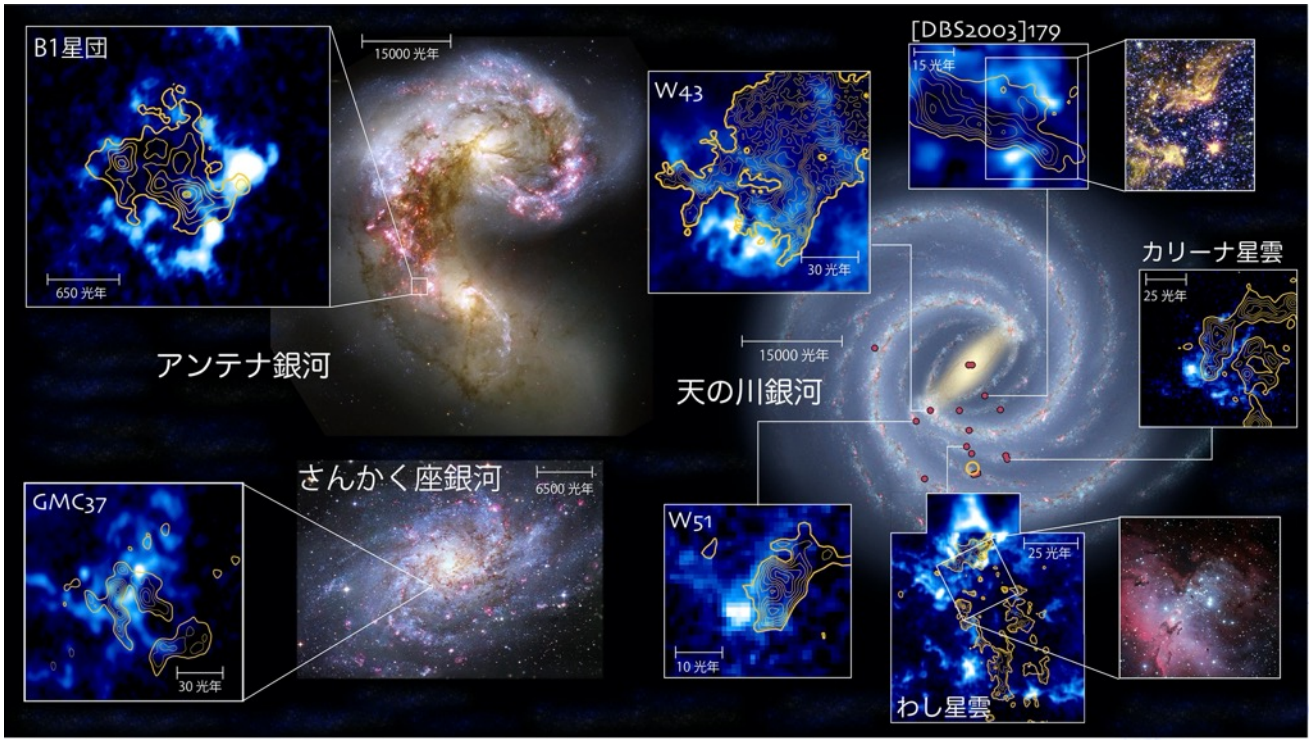
本研究結果の意義



1. ガス雲衝突の痕跡がたくさん見つかった

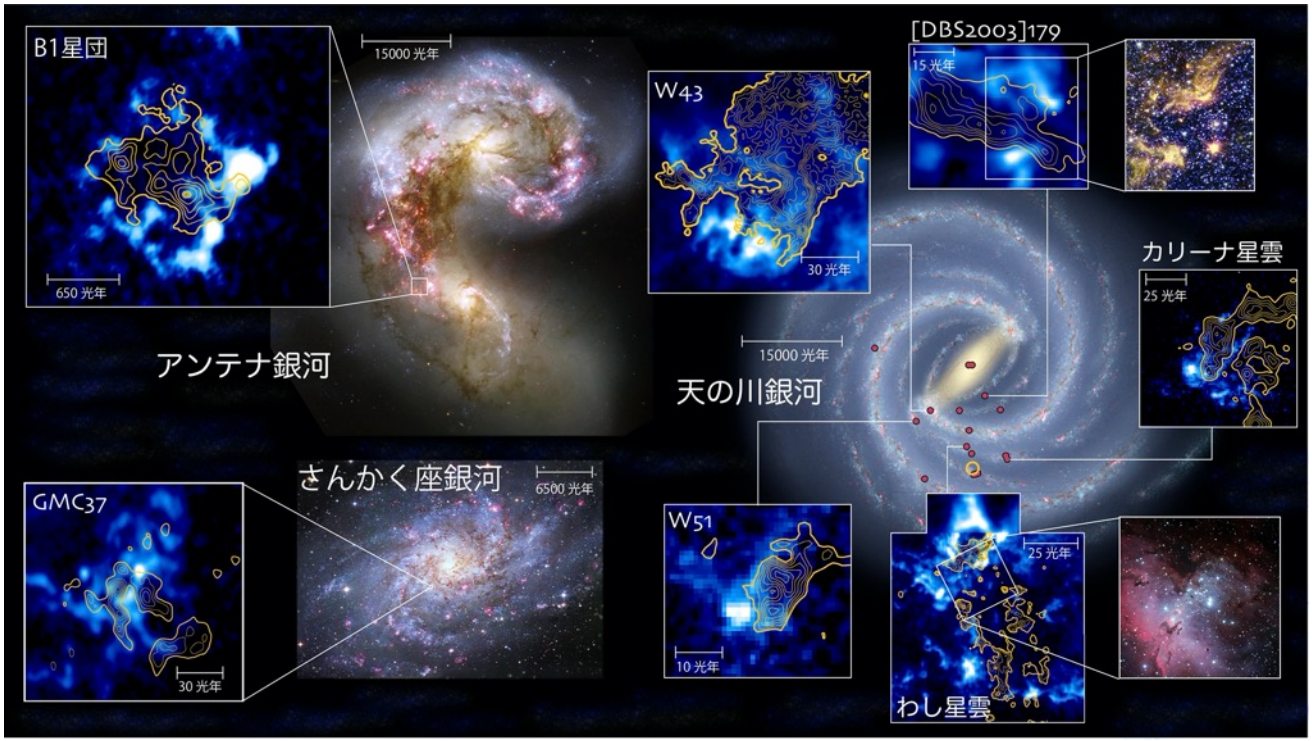
ガス雲の衝突が、星団誕生に
不可欠な要因である可能性が高まった

本研究結果の意義



2. 巨大星団だけでなく、球状星団も

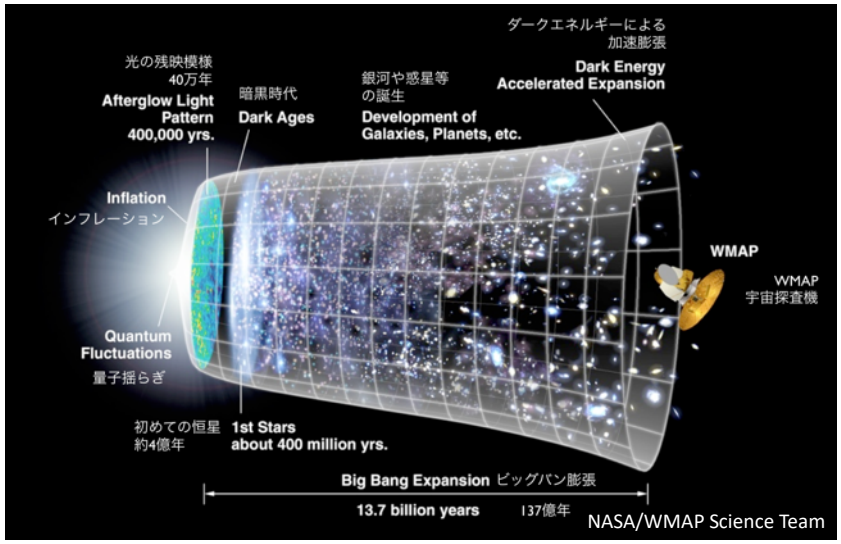
本研究結果の意義



2. 巨大星団だけでなく、球状星団も

宇宙の始まりから今に至るまでの進化は、
ガス雲の衝突の仕方で説明できる

本研究結果の意義



宇宙は小さかった：

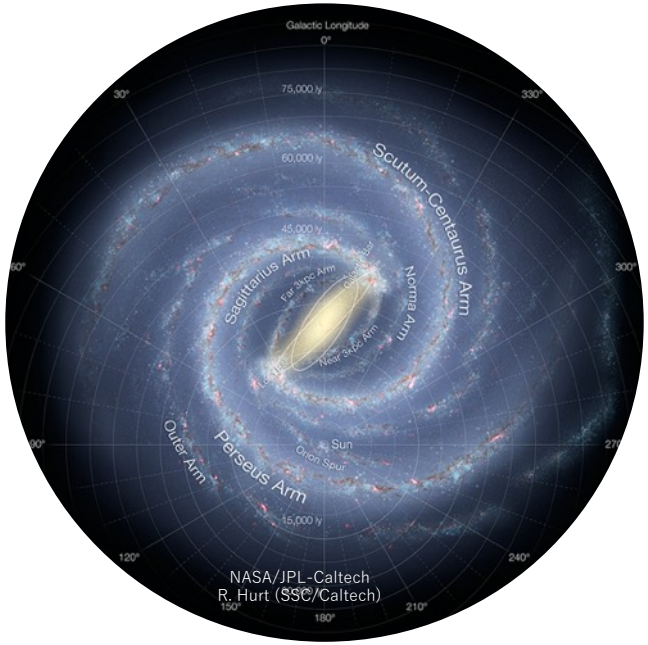
より頻繁に銀河が衝突していた
星団も活発に誕生していた
→ ガス雲の衝突で理解できる

2. 巨大星団だけでなく、球状星団も

宇宙の始まりから今に至るまでの進化は、ガス雲の衝突の仕方で説明できる

本研究結果の意義

天の川銀河

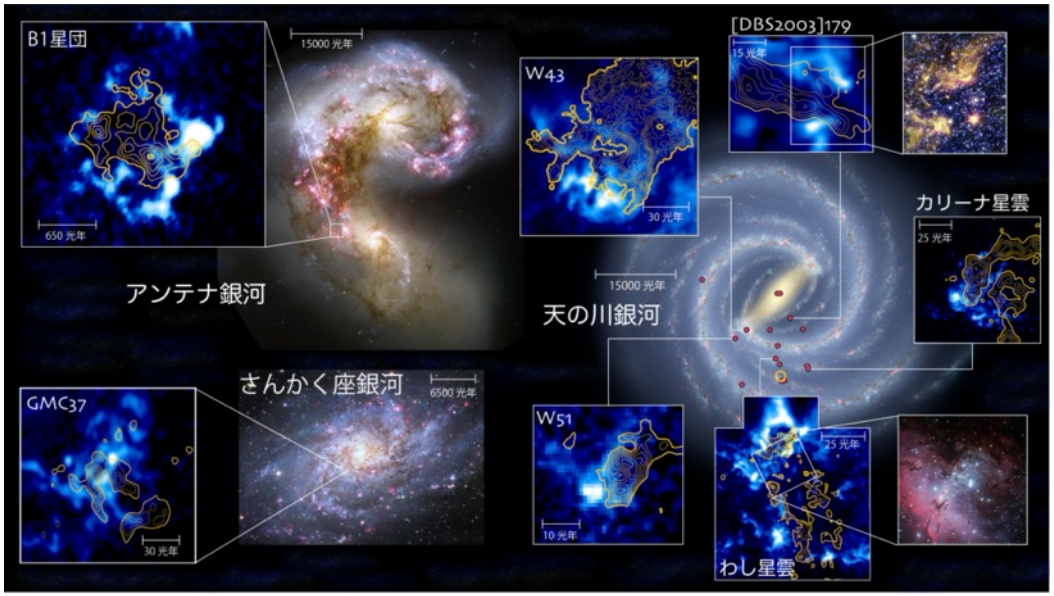


天の川銀河にある
太古の球状星団：
→ 天の川銀河が過去に銀河衝突していた証拠かもしれない

2. 巨大星団だけでなく、球状星団も

宇宙の始まりから今に至るまでの進化は、ガス雲の衝突の仕方で説明できる

本研究結果の意義



ガス雲衝突の痕跡が
たくさん見つかった

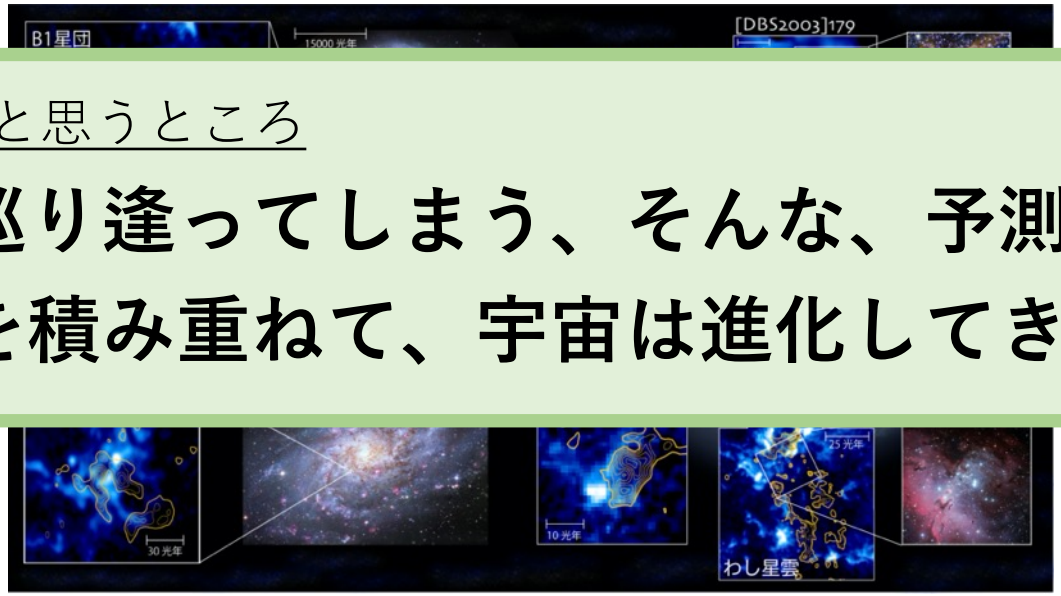
→ 星団誕生に不可欠な要因
である可能性が高まった

巨大星団だけでなく、
球状星団からも発見

→ 宇宙の始まりから今に至る
まで、ガス雲衝突が重要か

名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY
大阪府立大学 OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY
NAOJ National Astronomical Observatory of Japan

本研究結果の意義



西村が面白いと思うところ

たまたま巡り逢ってしまう、そんな、予測できないプロセスを積み重ねて、宇宙は進化してきた

ガス雲衝突の痕跡がたくさん見つかった → **星団誕生に不可欠な要因である可能性が高まった**

巨大星団だけでなく、球状星団からも発見 → **宇宙の始まりから今に至るまで、ガス雲衝突が重要か**

今後

より極める：

- より大規模で、より激しい星団
- さらにより遠く、宇宙誕生直後の星団

より身近に：

- 太陽系はどうやってできた？（小質量星）
- 太陽系から最も近いガス雲衝突は？