

第166回
愛知学院大学モーニングセミナー

「史上初、ブラックホールの撮影に成功!!」
～ブラックホールとはなに?～

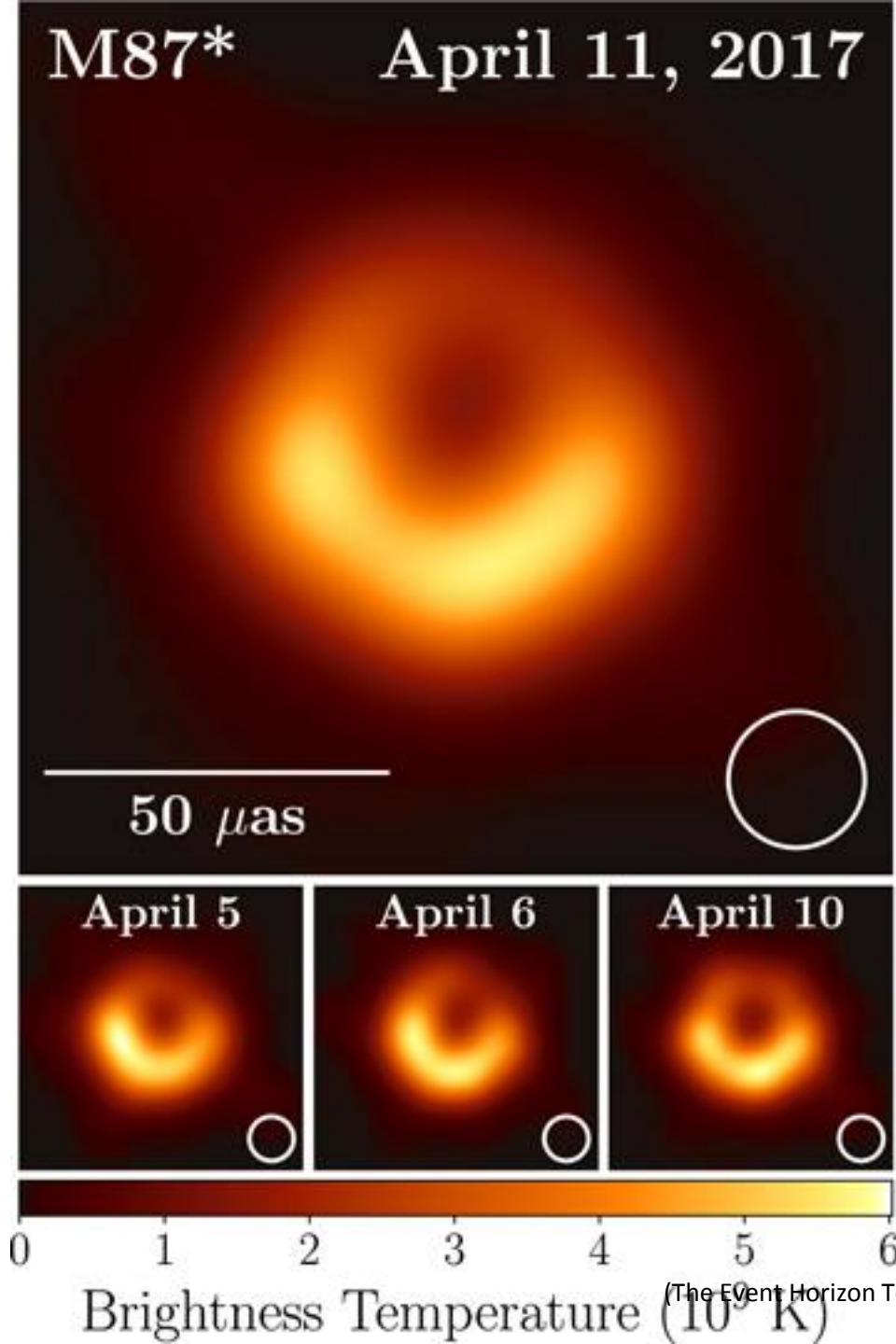
福井 康雄
名古屋大学

2020年1月14日



M87*

April 11, 2017



(The Event Horizon Telescope Collaboration et al. 2019)

時空のゆがみ

その実験的検証

福井 康雄

一般相対論は、質量の存在によって時空が歪むことを予言している。この時空の歪みを実験的に検証することによって、理論の妥当性をチェックすることができる。一般相対論の前提である等価原理の検証とは異なり、時空の歪みの検証は一般相対論そのものの検証という意味を持つ。この種の実験でこれまで試みられたものとしては、次の2つがある。

- 1) 電磁波の屈折。
- 2) レーダーエコーの遅れ。

1) は1920年頃から試みられてきたが、1970年前後以降、著しく測定精度が高められている。また、2) は1960年代に提案されたもので、やはり1970年前後に精度の高い実験が行なわれた。精度の向上は、専ら、電波天文学の観測技術の進歩に負うところが大きい。ここでは、特に最近の検証実験の発展に重点を置いて紹介することにしてしよう。

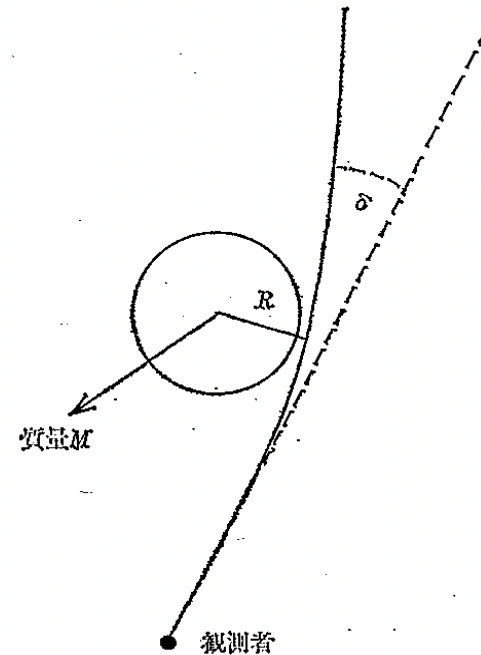


図1 質量 M による電磁波の屈折

ブラックホールは「星の一種」である

ただし、極端に密度が高い

◎「星」とはなにか：自分の重力でまとまっている物質
ガスの圧力と重力がバランス

◎ブラックホールの大きさは質量に比例する
太陽をブラックホールにすると半径は3km
地球をブラックホールにすると半径は1cm
 $3\text{km}=3\times 10^5\text{cm}$ 、太陽質量は地球質量の30万倍

◎歴史を見ると：ブラックホールという考えは
20世紀前半に生まれたーオッペンハイマー他
ブラックホールに行く途中に、中性子星

◎ブラックホールの基本は万有引力ー
17世紀に、ガリレオ、ニュートンが確立した

◎地球は太陽に引かれている

軌道半径 1 億キロメートルで引力と遠心力が釣り合う
毎秒30 kmで地球は回転している これが「公転」

◎軌道半径が3kmになると公転速度は光速になる

これがブラックホールの条件

◎ブラックホールはどうやってつくられるのか

星の爆発「超新星爆発」が物質を圧縮する

◎爆発する星は重い星一数が少なく全体の1%以下

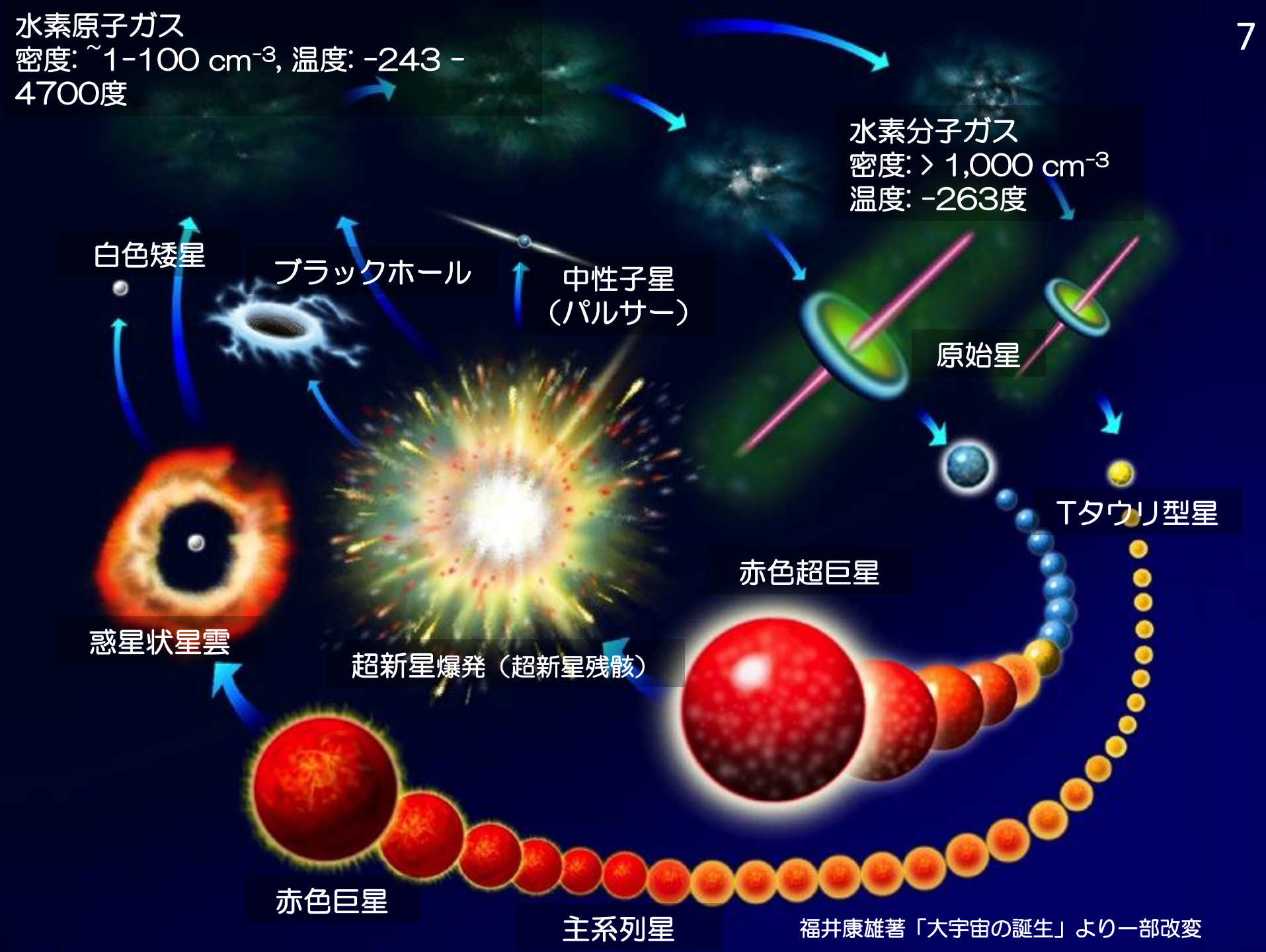
太陽質量の8-30倍は中性子星、
30倍以上の星がブラックホールをつくる

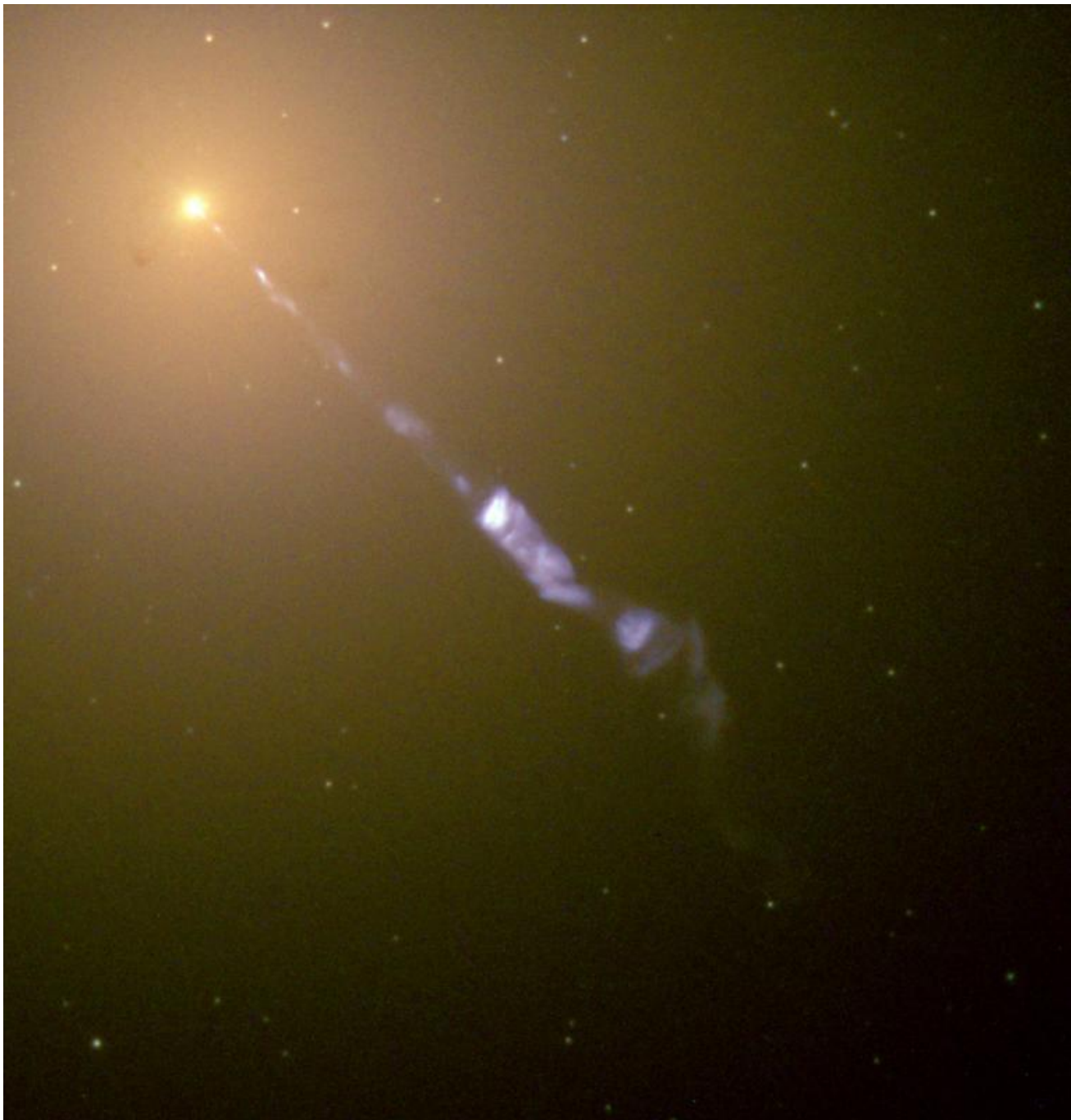
◎「星の一生」を整理しよう

ガスが重力で収縮し、星が生まれる

圧縮の強さで星の質量が決まる

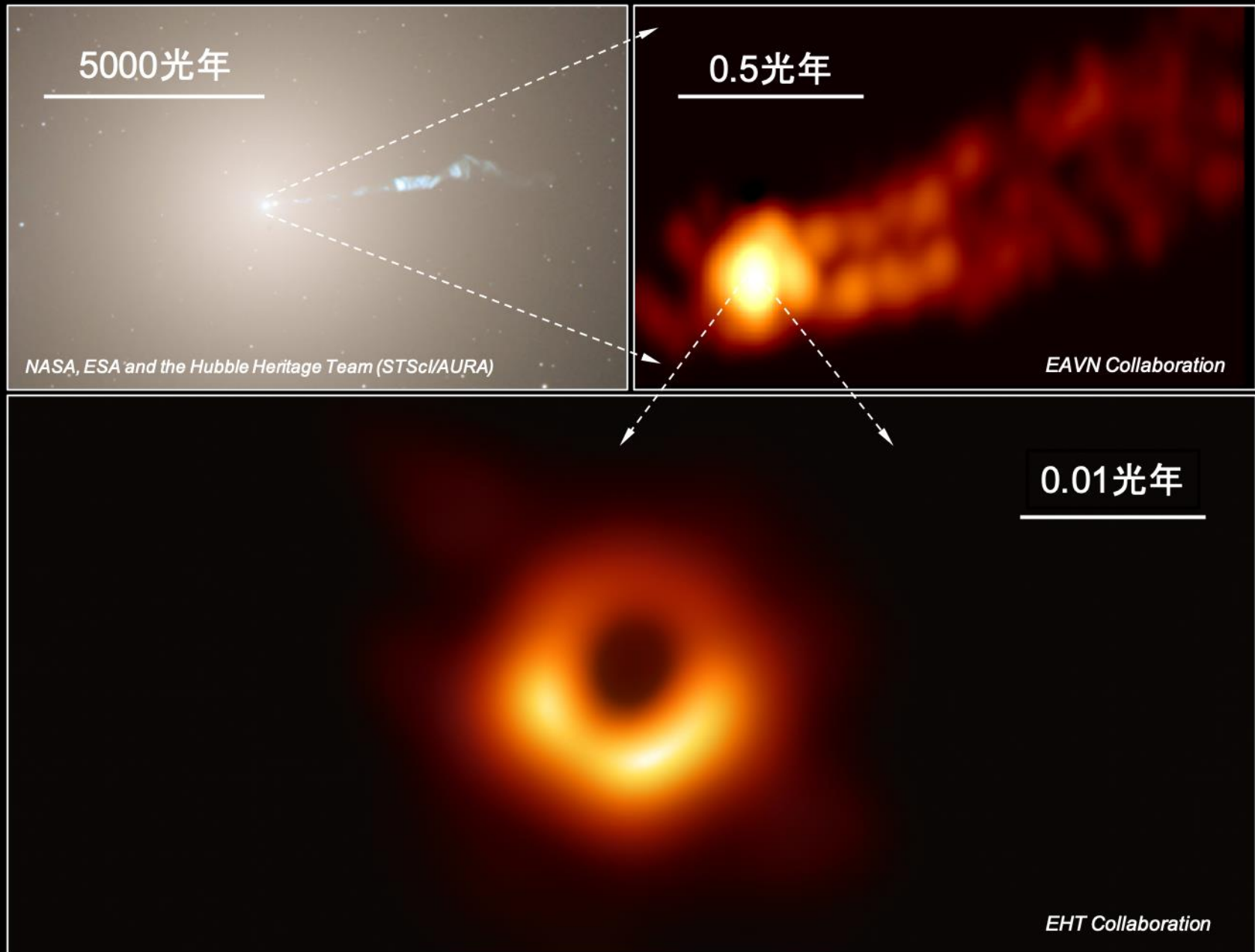
これがブラックホールの誕生率を決める

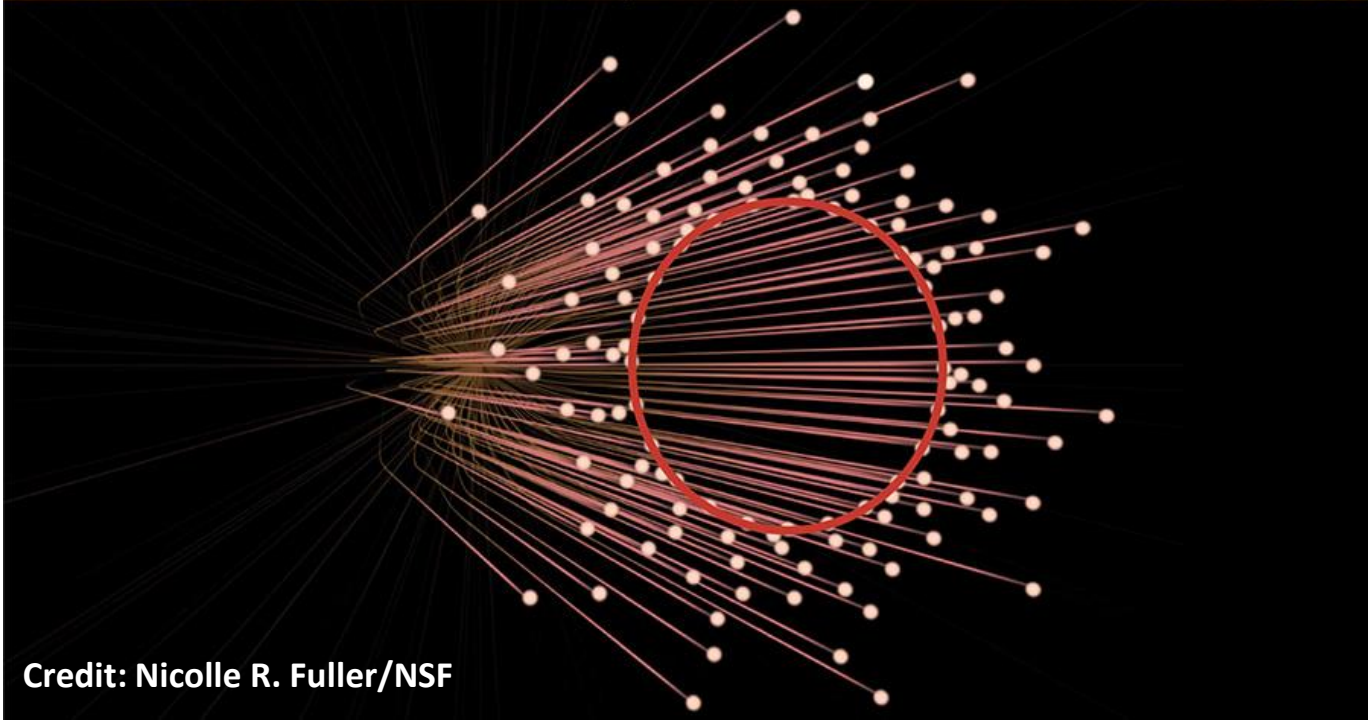
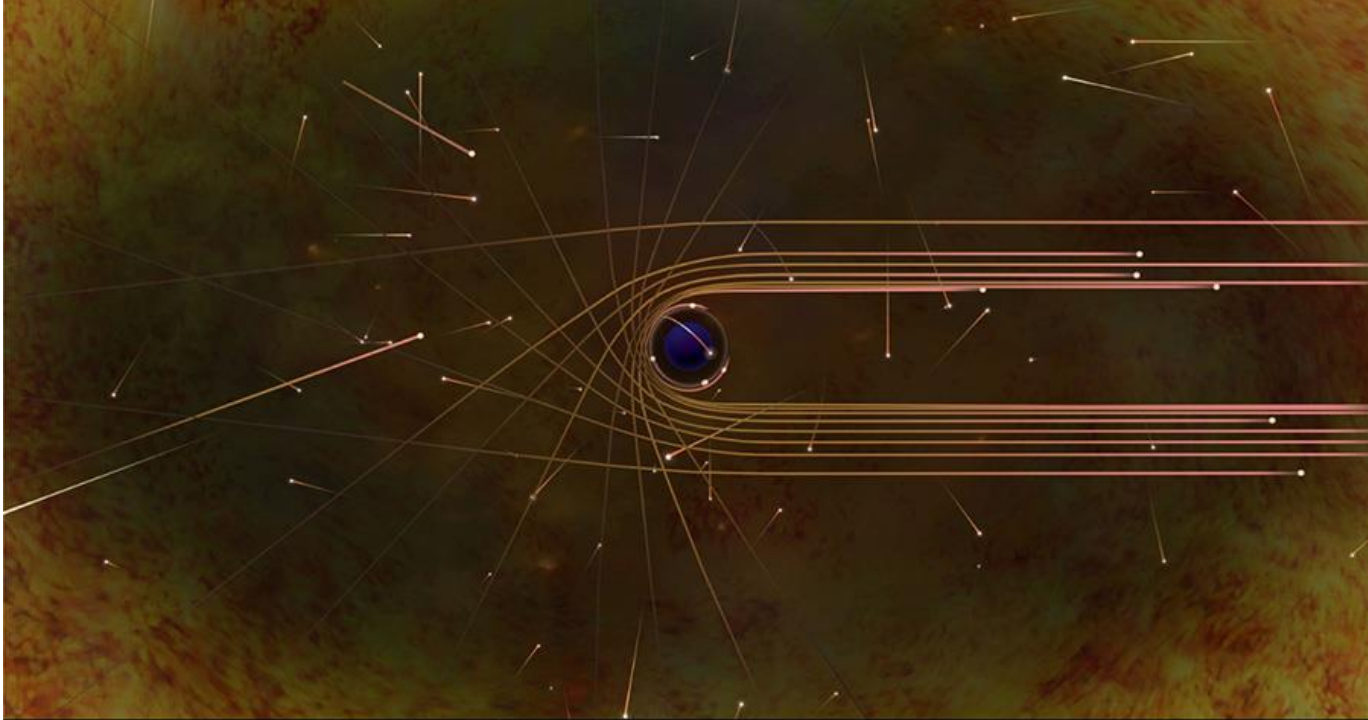




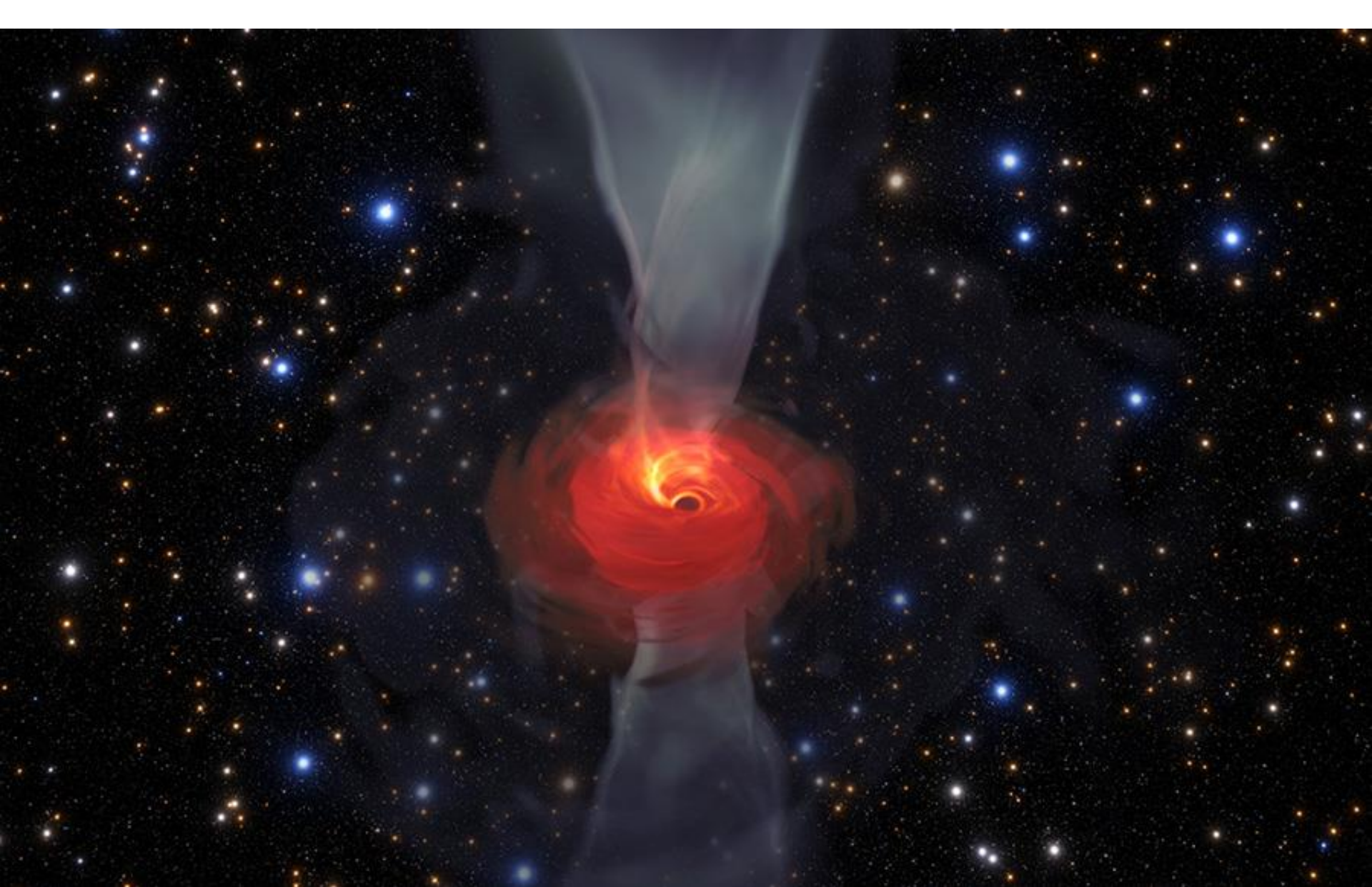
Credits: NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

M87





Credit: Nicolle R. Fuller/NSF



Credit: Jordy Davelaar et al./Radboud University/BlackHoleCam

イベント・ホライズン・テレスコープ (EHT)

— 各地の電波望遠鏡をつなぎ、地球サイズの仮想望遠鏡を構成 —

2018年の観測



ALMA  アルマ望遠鏡
チリ・アタカマ砂漠

APEX  APEX
チリ・アタカマ砂漠

30-M  IRAM 30m望遠鏡
スペイン・ピコベレタ

JCMT  ジェームズ・クラーク・マクスウェル望遠鏡
ハワイ・マウナケア

LMT  大型ミリ波望遠鏡
メキシコ・シエラネグラ

SMA  サブミリ波干渉計
ハワイ・マウナケア

SMT  サブミリ波望遠鏡
アリゾナ・グラハム山

SPT  南極点望遠鏡
南極点基地

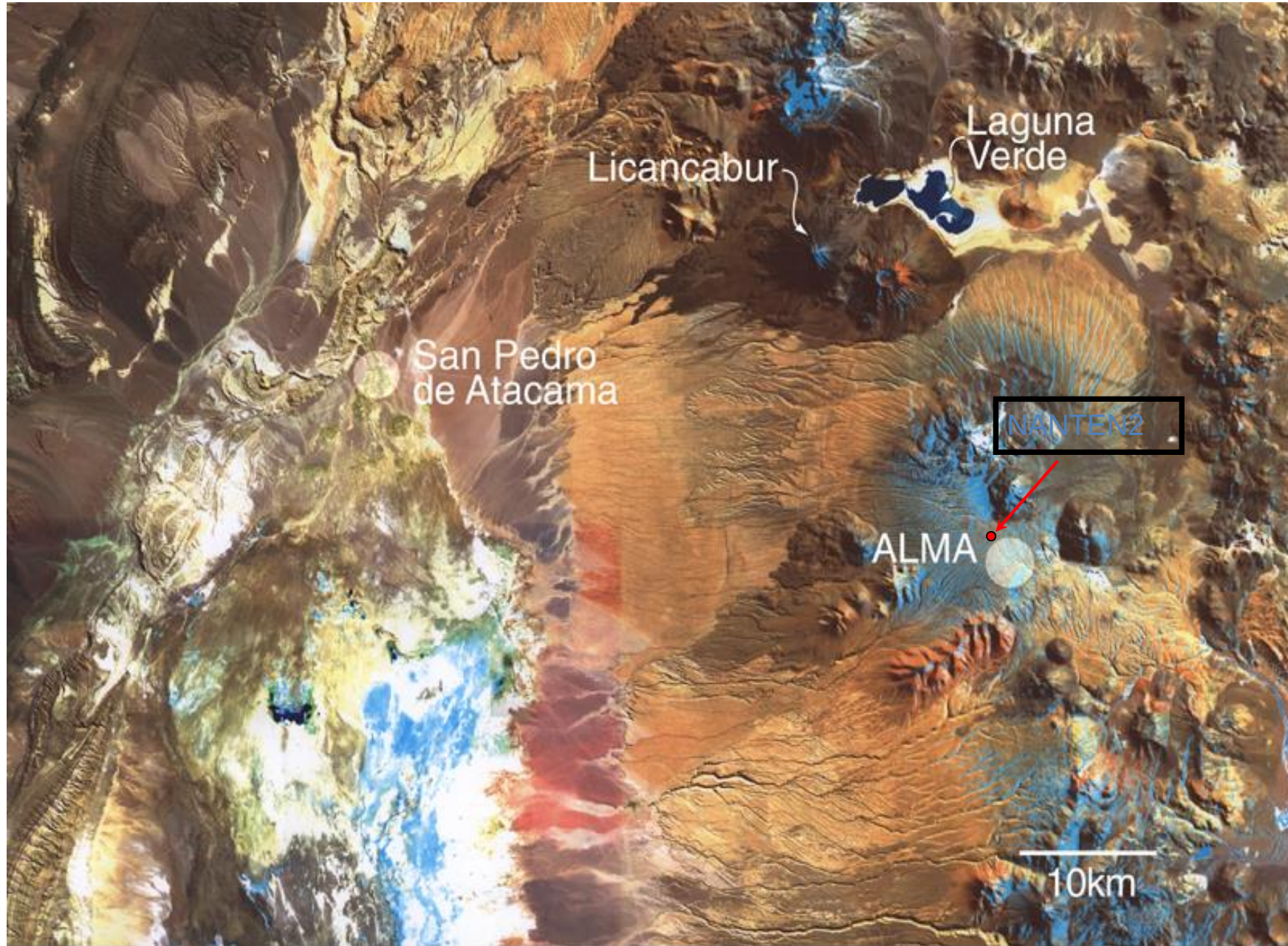
GLT  グリーンランド望遠鏡
デンマーク・グリーンランド チューレ空軍基地

Kitt Peak  キットピーク12m望遠鏡
アリゾナ・キットピーク

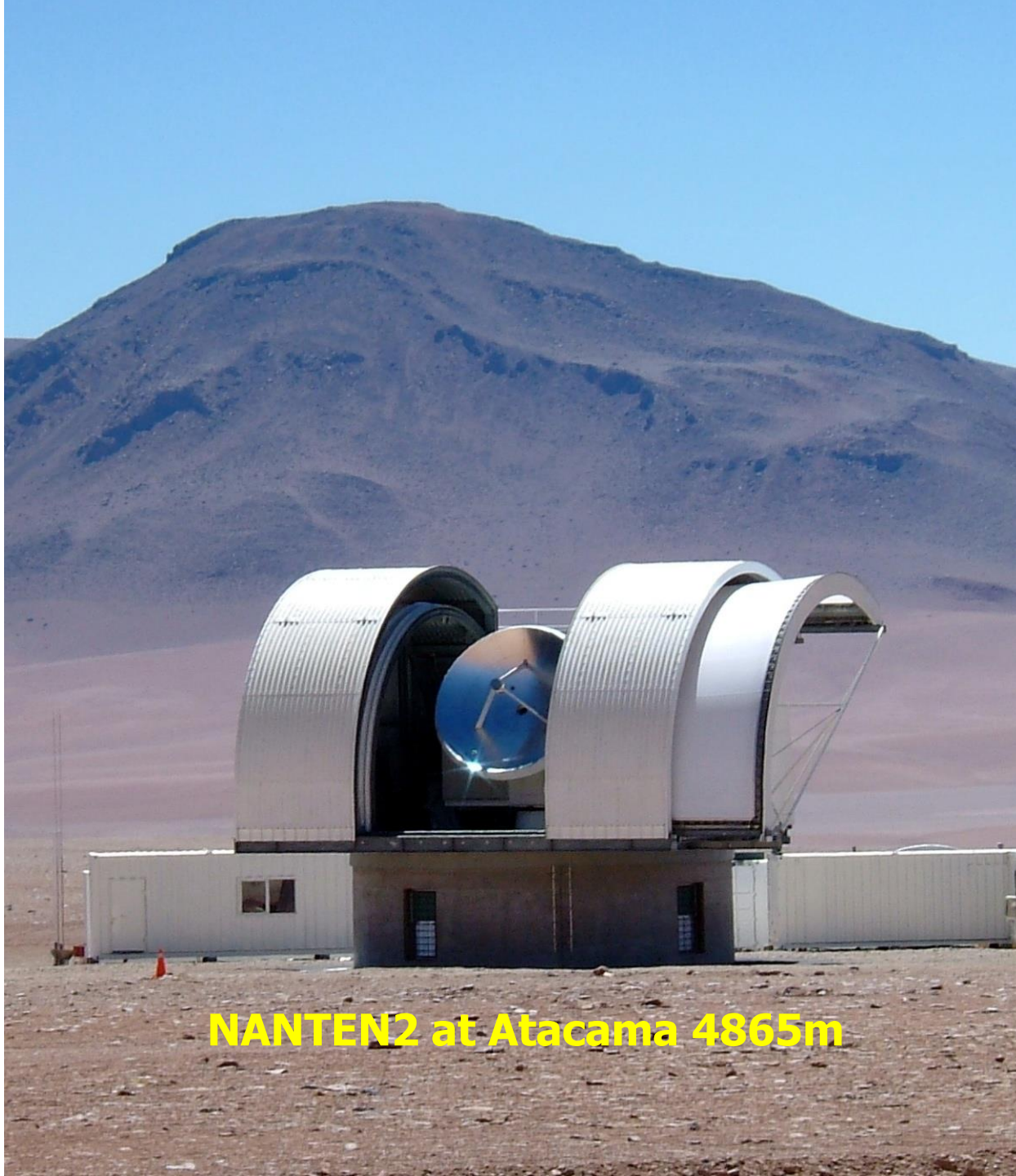
NOEMA  NOEMA観測所
フランス・プラトーデビュール

2020年に参加





Location of the Compact Configuration of ALMA



NANTEN2 at Atacama 4865m

大マゼラン雲 (太陽系から16万光年の距離)

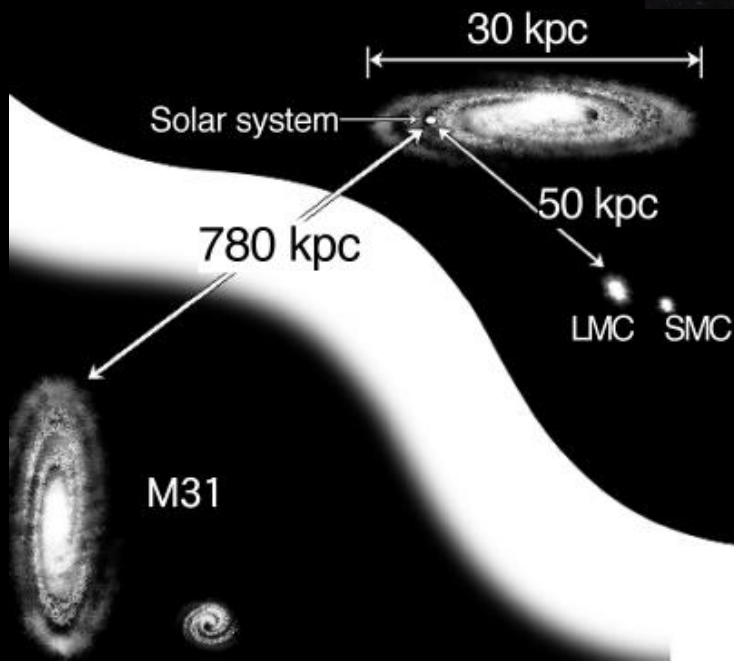
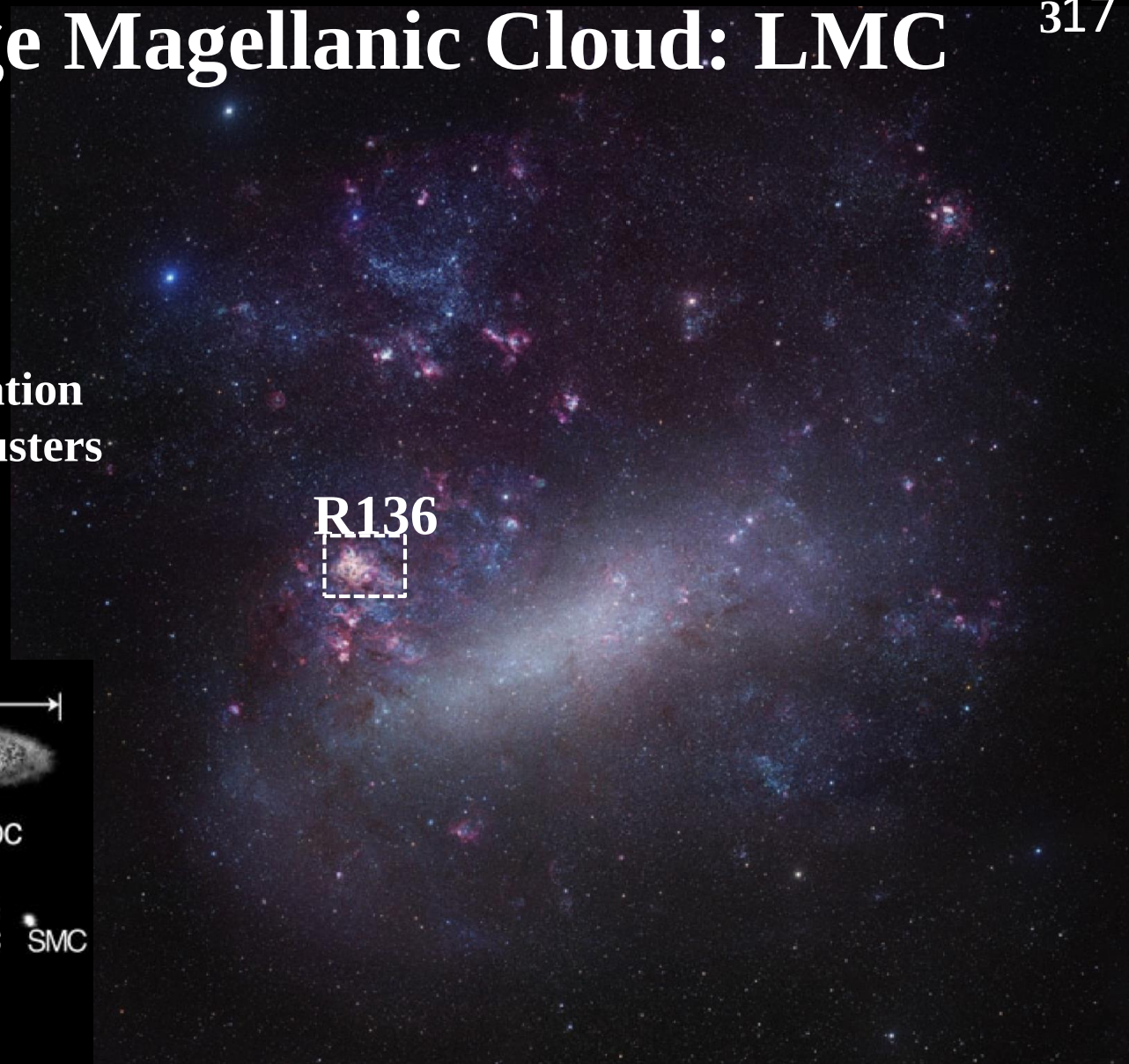


1. 銀河全体を俯瞰して観測することが可能
2. 数ある銀河の中でも太陽系からの距離が近く、詳しく観測可能

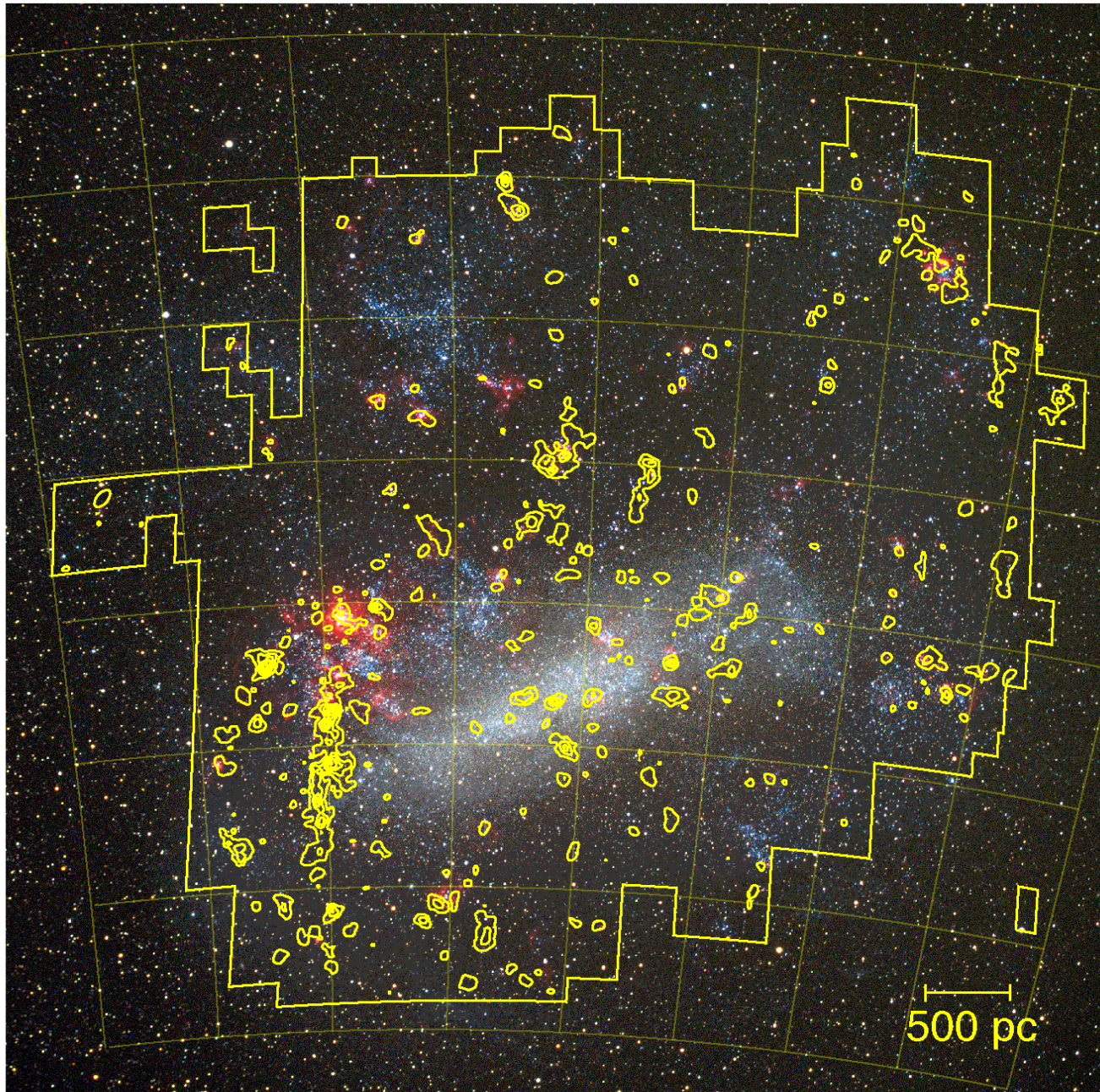
The Large Magellanic Cloud: LMC

317

- **Distance:** ~ 50 kpc
(one of the nearest)
- **Metallicity:** $\sim 1/2 Z_{\odot}$
- **Active star formation**
 - Massive star formation
 - young populous clusters

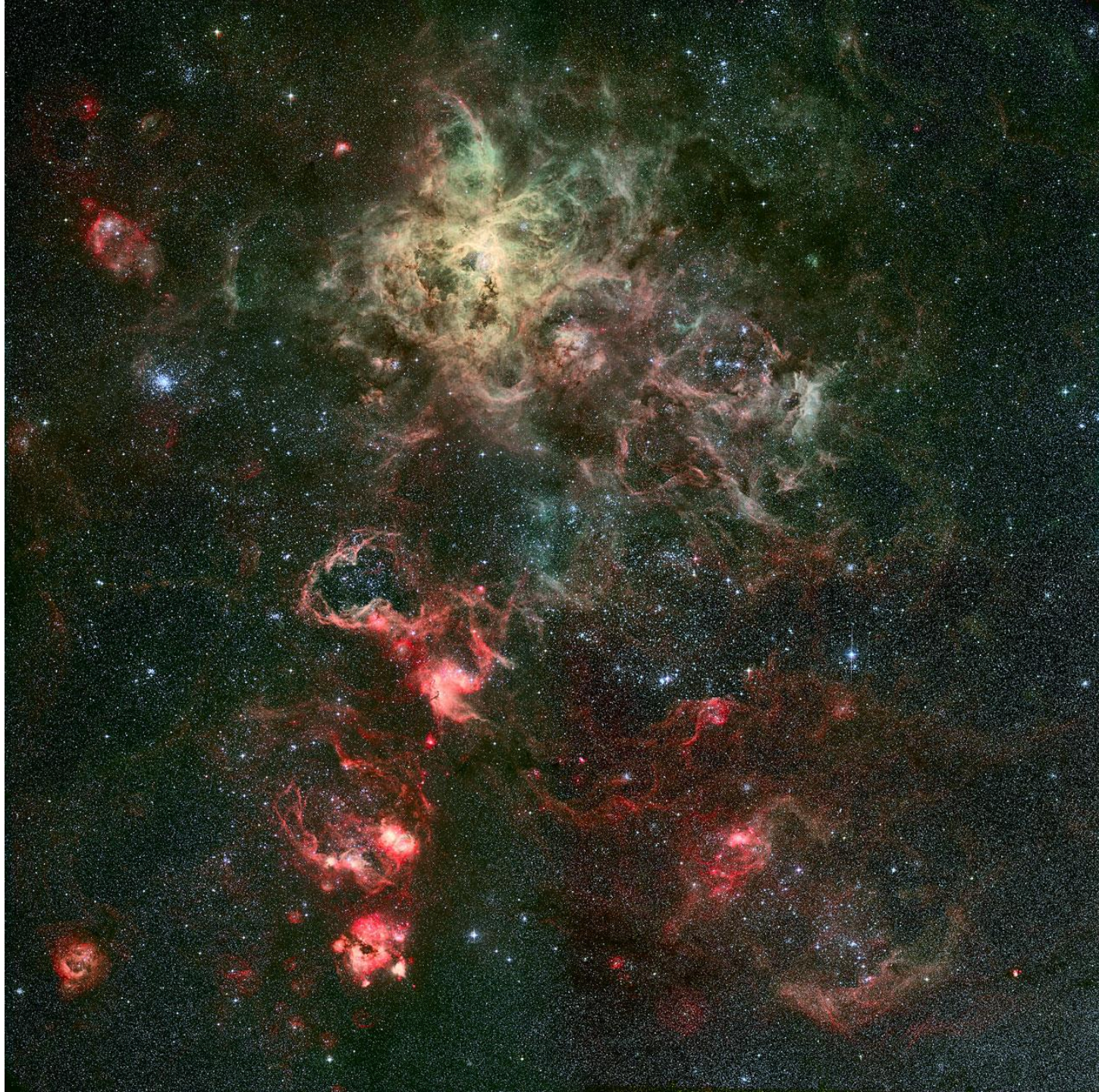


なんてんが観測した分子雲(大マゼラン雲)

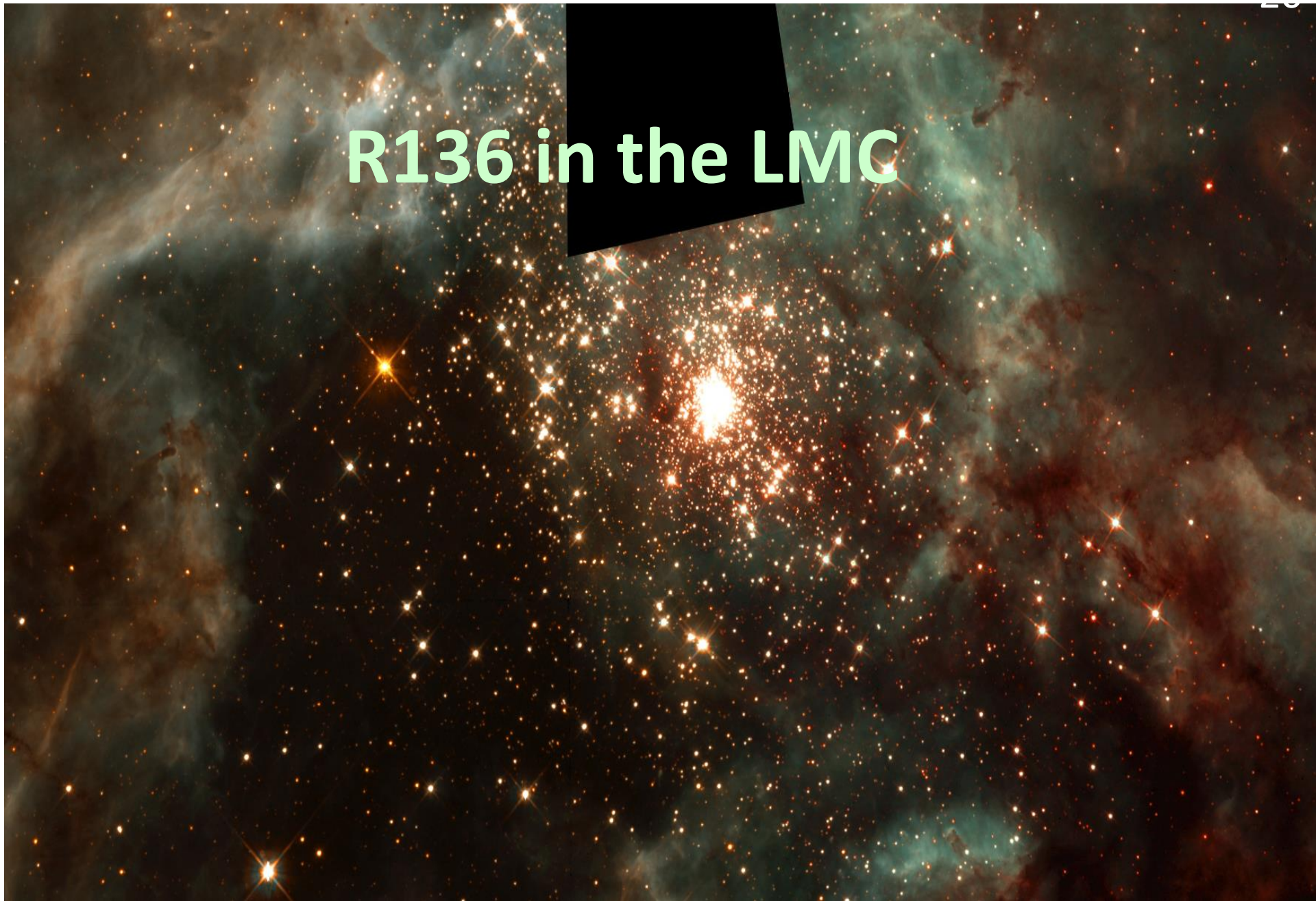


濃いガス
星をつくるもと

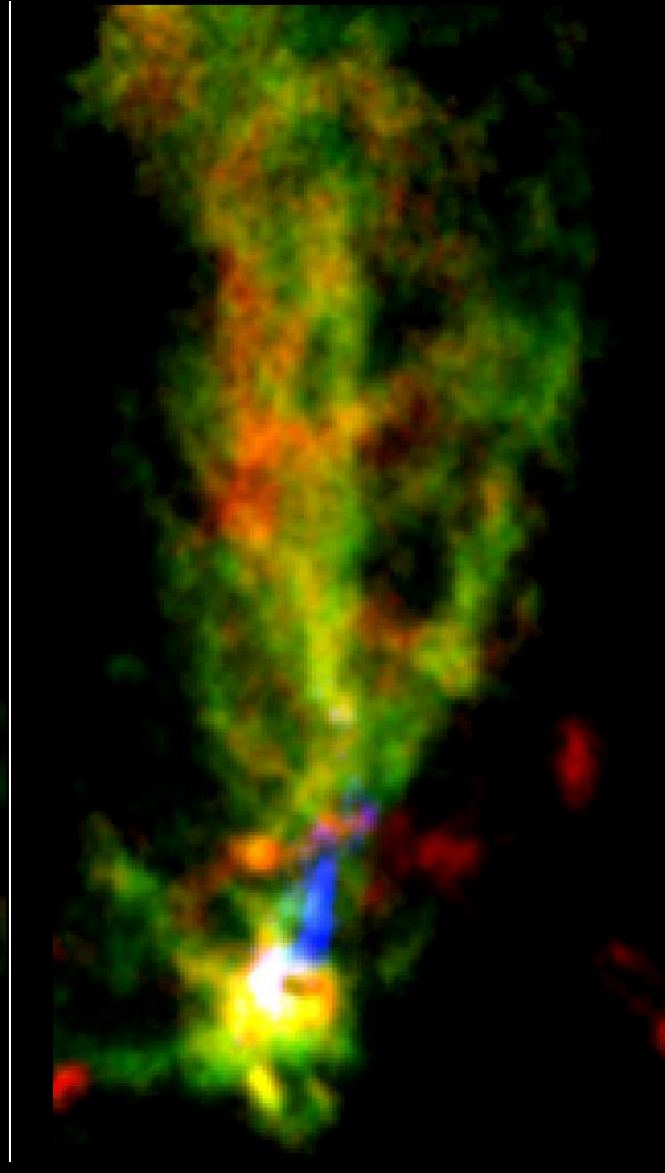
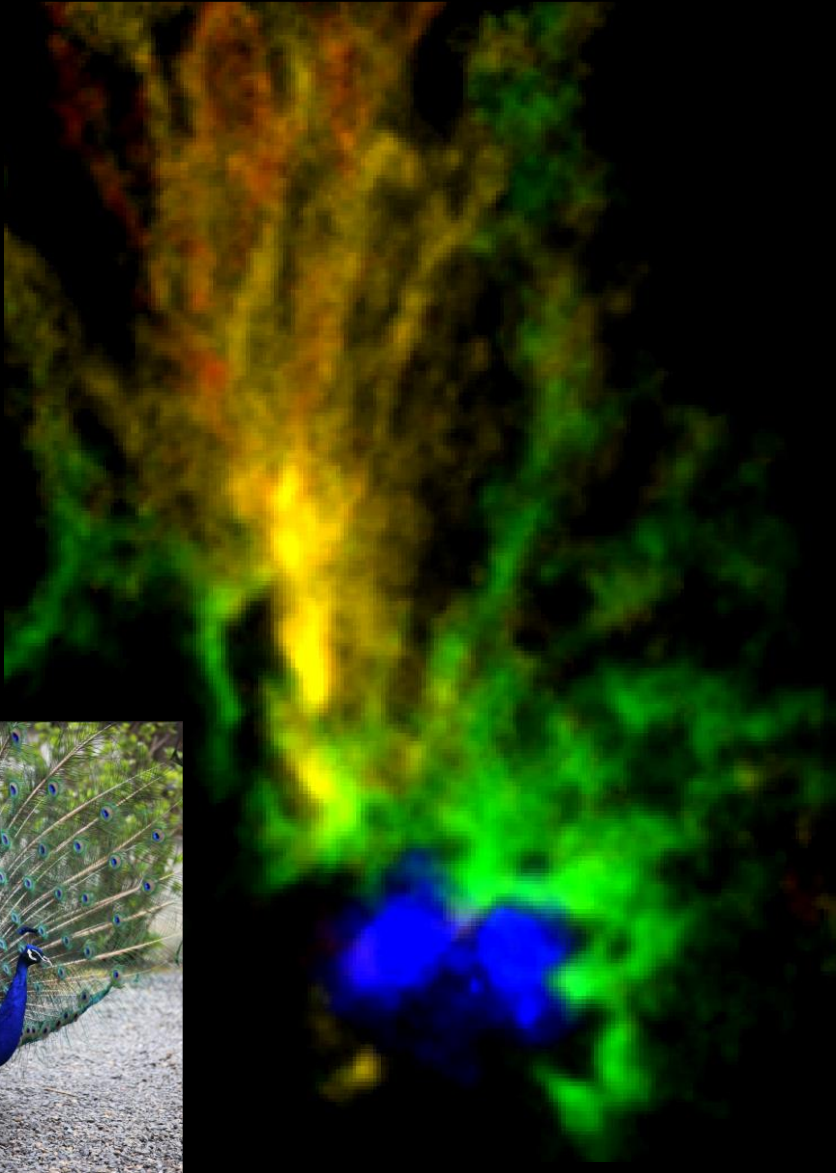
Fukui et al. 2006



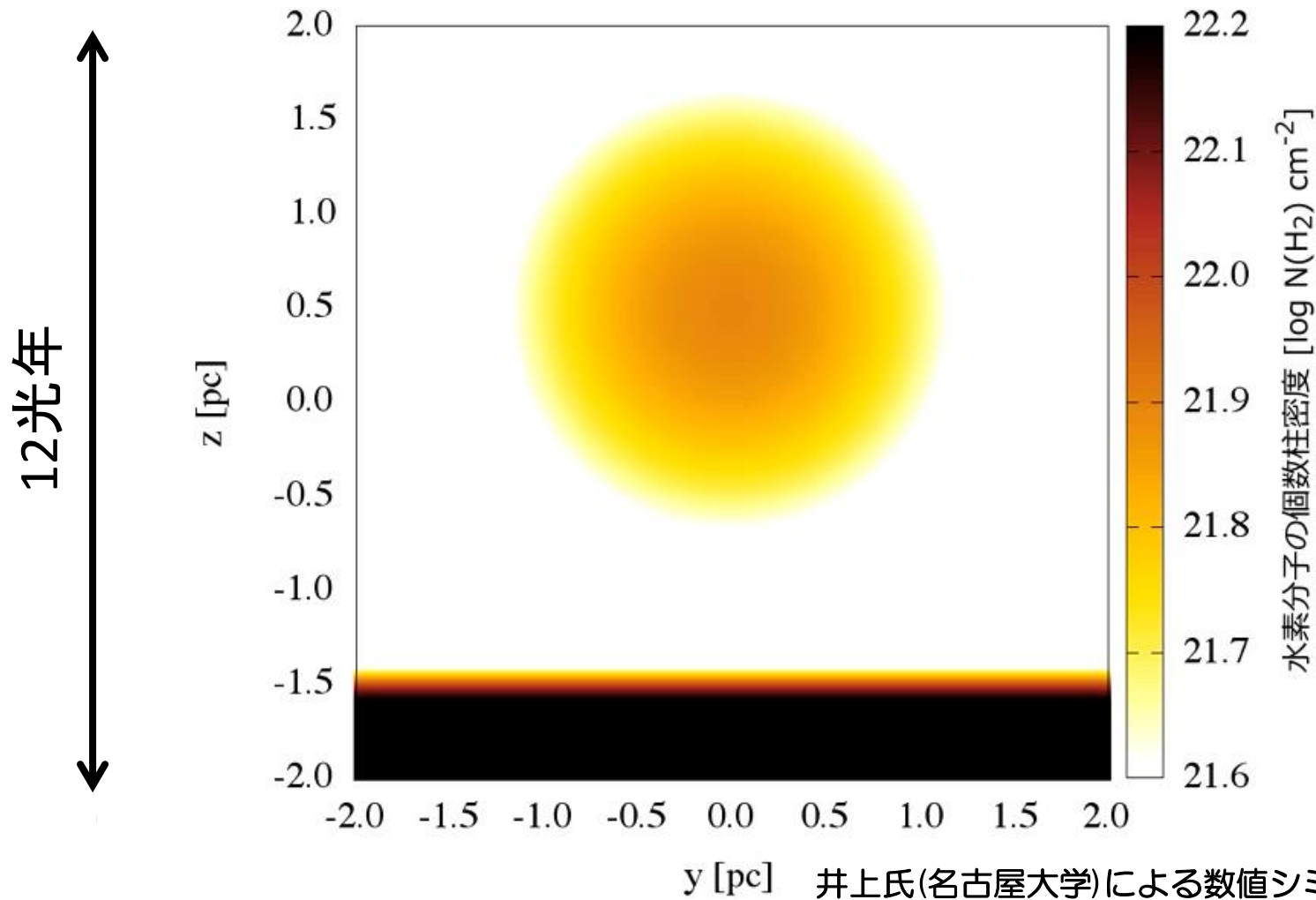
R136 in the LMC



Two Cosmic Peafowls in the Large Magellanic Cloud



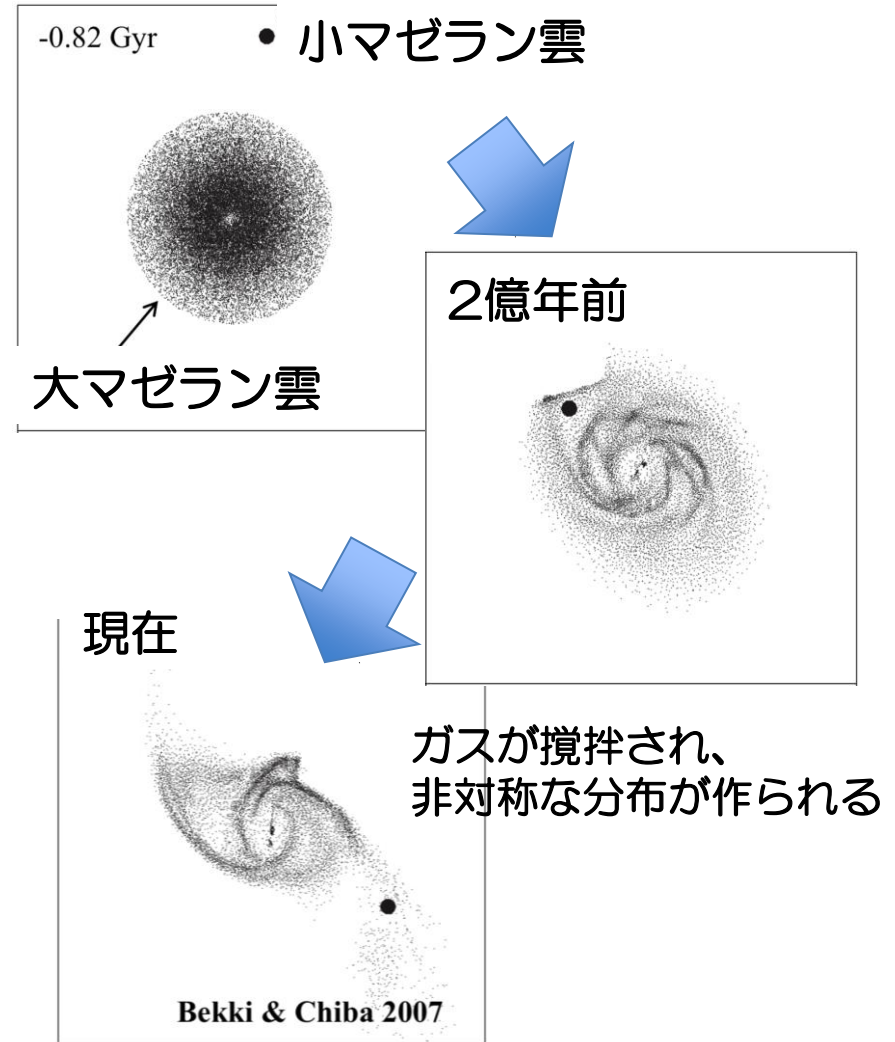
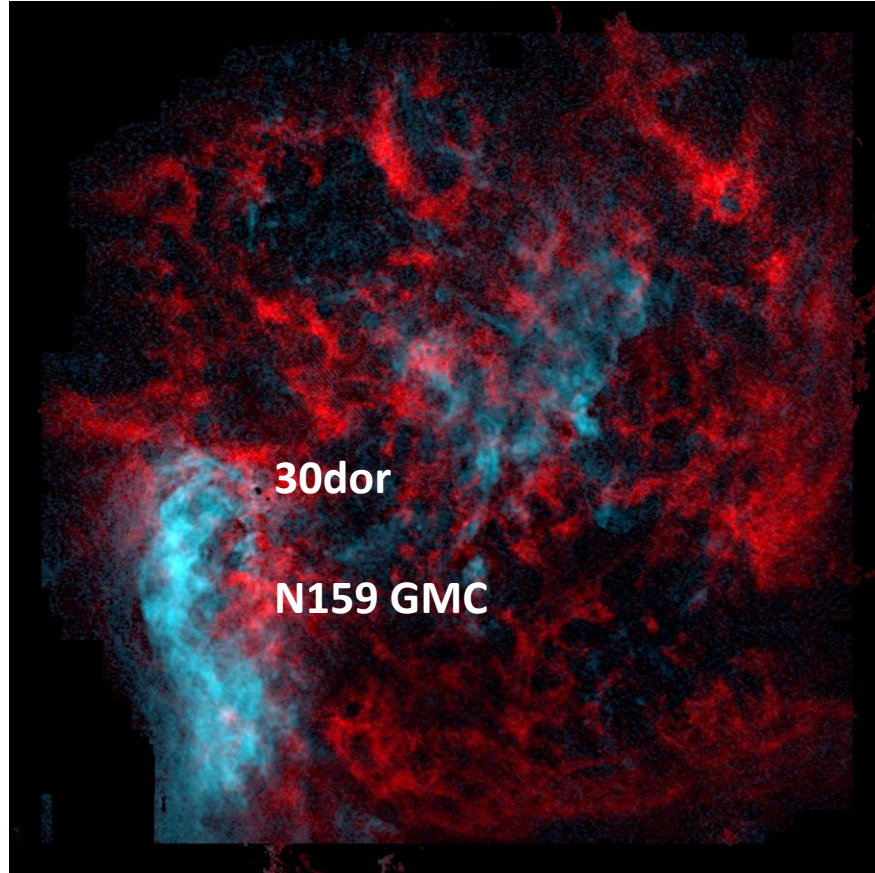
ガス雲衝突によるひも状分子雲 / 巨大星形成



ガス雲衝突後に、**ひも状分子雲が形成**
N159WとE領域両方が同様な**ガス雲衝突をほぼ同時に経験**

約2億年前、小マゼラン雲が近接したことにより、 大マゼラン雲の外から数千光年を超える規模のガスが突入

大マゼラン雲における水素原子ガスの観測



青色: 小マゼランからやってきた水素原子ガス
赤色: 大マゼラン雲にもともとあった水素原子ガス

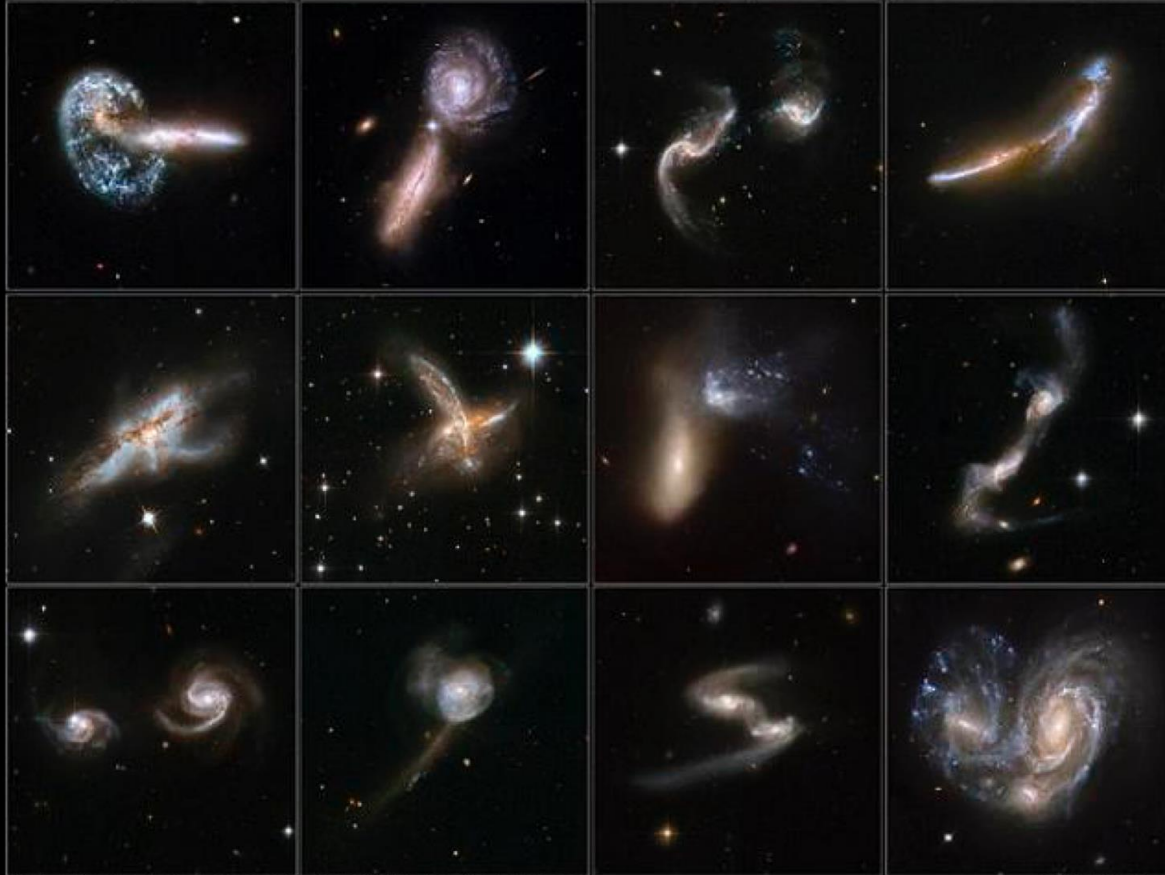
Fukui+17; Tsuge+19

Bekki & Chibaによる数値計算

Galaxy interaction and evolution

Interacting Galaxies

Hubble Space Telescope • ACS/WFC • WFPC2



NASA, ESA, the Hubble Heritage (AURA/STScI)-ESA/Hubble Collaboration, and A. Evans (University of Virginia, Charlottesville/NRAO/Stony Brook University)

STScI-PRC08-16a



Antennae galaxies



the Magellanic system

Galaxy interaction as a paradigm of galaxy evolution
Trigger starburst and formation of massive star clusters