

宇宙科学I (文科生)  
イントロダクション  
土井靖生  
2019/9/27

# この講義の内容

## “天文学”の守備範囲について紹介します。

- “宇宙”全般を扱います
- 対象範囲は非常に広いです
  - すぐ後で一応の定義をします
- 直接行くのが“不可能”な場所を扱います
  - 最近では太陽系内についてはそうでもなくなりつつあります
- 「究極のリモートセンシング」
  - 研究のためにはいわゆる理系の知識(「数学」「物理」「化学」「地学」...)を総動員する必要があります
- 本講義では出来るだけ平易な解説を心掛けます
  - ごく稀に数式が出て来ますが無視して下さい

## 評価 & 履修

- 評価
  - 期末試験の点数に基づき評価します
- 履修
  - 宇宙科学実習 I & II も合わせて履修可能です
    - 実際の観測データを用いた解析実習を行います
  - 【参考】理系向け科目として宇宙科学Iと宇宙科学IIを開講しています
    - 宇宙科学IIは天文学の個別のテーマに絞った講義を行います

## 関連講義リスト

開講	曜限	教室	コード	区分	科目名	担当
A	金2	駒場11号館 1106教室	50971	総合科目 E	宇宙科学 I (文科生)	土井 靖生
A	月1	駒場11号館 1102教室	50016	総合科目 E	宇宙科学 I (理科学)	鈴木 建
A	月5	駒場12号館 1225教室	50216	総合科目 E	宇宙科学 II (理科学)	廣田 朋也
A	木5	駒場5号館 525教室	50889	総合科目 E	惑星地球科学 I (理科学)	小久保 英一郎
A	月5	駒場5号館 524教室	50217	総合科目 E	惑星地球科学 II (文科生)	小河 正基
A	火5	駒場11号館 1102教室	50462	総合科目 E	惑星地球科学 II (理科学)	磯崎 行雄

# 講義資料

# 講義資料の置き場所

ネット上に掲示しています。

<http://akari.c.u-tokyo.ac.jp/~doi/Astronomy/>

## 宇宙科学I(文科生)

土井靖生

- 時間割コード：50971
- 曜限：金曜2限
- 教室：11号館 1106教室
- 対象：1年文科、2年文科

2019 Aセメスター 講義予定 (10/18は休講です。)

「宇宙」とは何か？



# 「宇宙」の定義

「月その他の天体を含む宇宙空間の探査及び利用における国家活動を律する原則に関する条約」  
(宇宙条約)

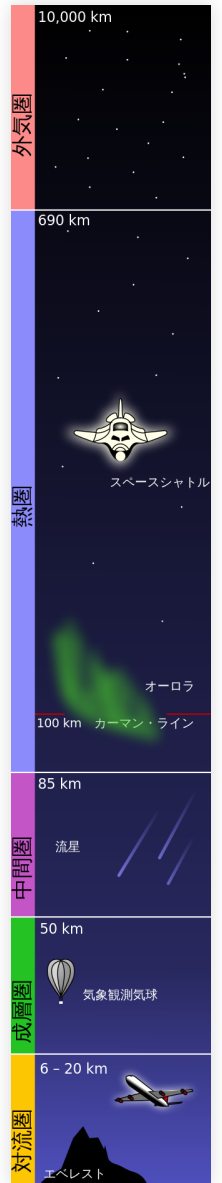
- 第一条：宇宙空間の探査・利用の自由
- 第二条：領有の禁止
- その他平和利用の原則など

“宇宙空間” = 「地球大気の外側」



地球大気の厚さはどれだけか？

- 宇宙空間は概ね“地上100km以上”が定義
  - 領空の上限 (明文化はされていない)

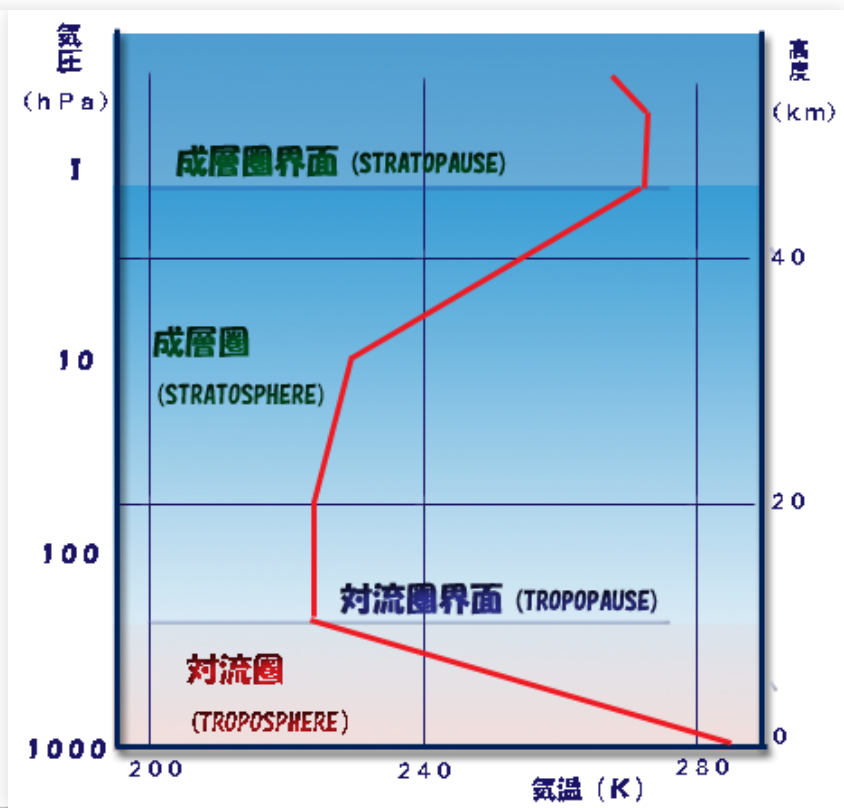


# 地球大気の厚み

- 大気の圧力分布：大気圧＝「頭の上にある空気の重さ」
  - 1気圧の大気の(個数)密度： $2 \times 10^{19}$  [個  $\text{cm}^{-3}$ ]
  - 地球大気は主に8割が窒素分子、2割が酸素分子



(ISAS大気球ホームページより)



(気象庁ホームページより)

# 宇宙空間から見た大気層

宇宙ステーション(高度400km)、オーロラ(高度100km)

Stunning Aurora Borealis from Space in Ultra-High Definition (4K)



NASA

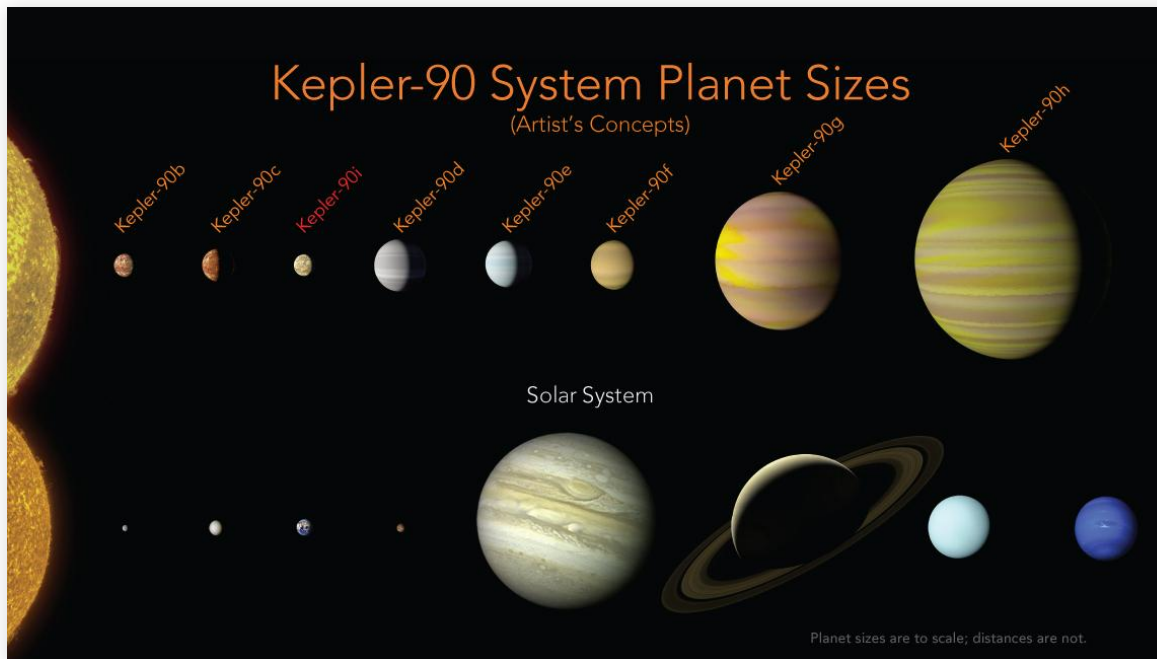
# 「天文学」

## ひと昔前の天文学の守備範囲

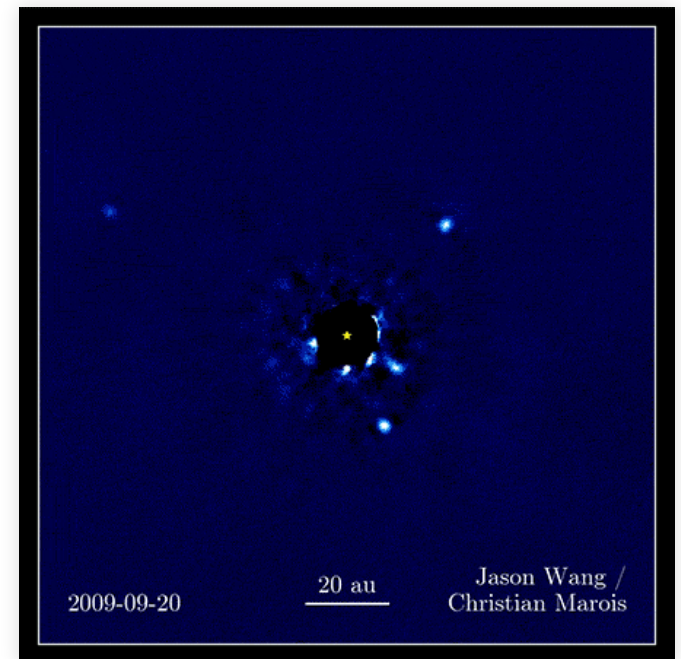
- 宇宙空間に存在するもののうち、惑星以外の全て
- 太陽、星、星間物質、銀河、銀河団、宇宙全体、、、
- 惑星だけは“惑星科学”の守備範囲(だった)

# 太陽系外惑星の発見

- 現在までに5000個以上の系外惑星を検出
  - ほとんどは“間接的”検出だが一部直接観測も
- 系外惑星の大気組成や地形の観測も近い将来可能に
  - 天文学と惑星科学の境界は無くなりつつある
    - 夏学期 惑星地球科学I (理科学; 小宮 剛)
    - 夏学期 惑星地球科学I (文科学; 磯崎 行雄)
    - 冬学期 惑星地球科学I (理科学; 小久保 英一郎)



NASA/Ames Research Center/Wendy Stenzel

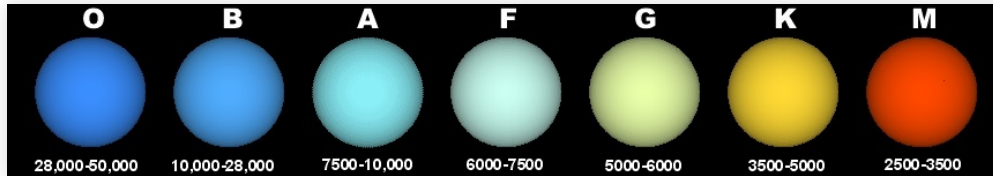


ペガスス座HR8799星(地球からの距離129光年)  
(Credit: Jason Wang and Christian Marois)

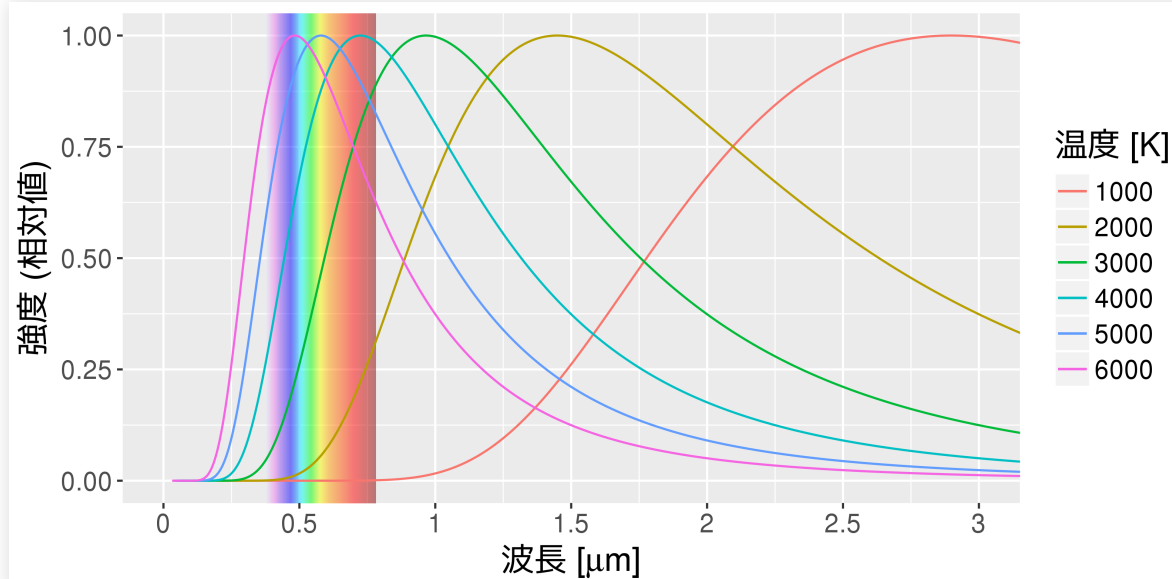
# 太陽・星

# 星の色と内部のエネルギー源

- 星の質量による性質の違い



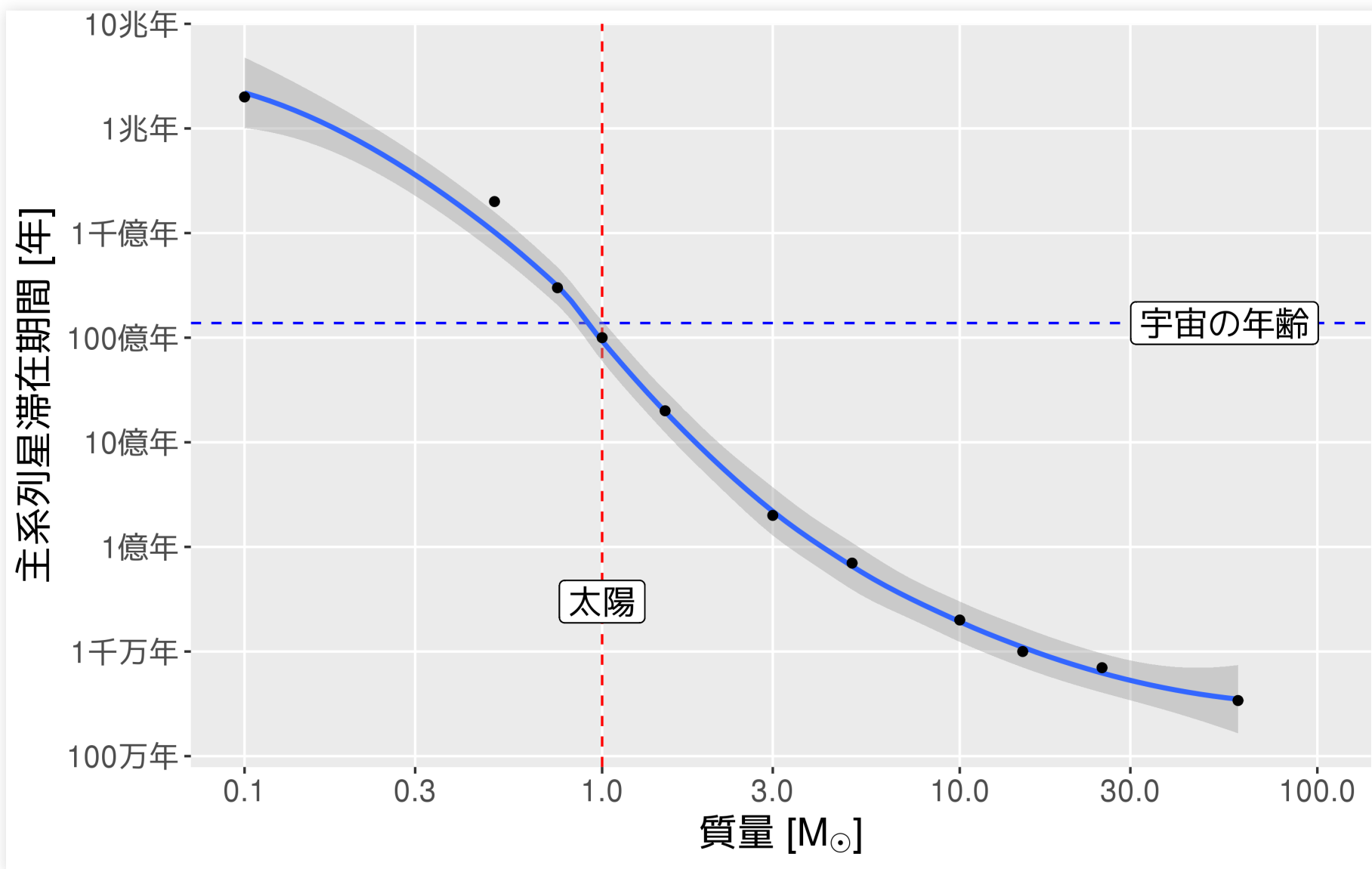
Hanson, Astronomy course at U of Cincinnati



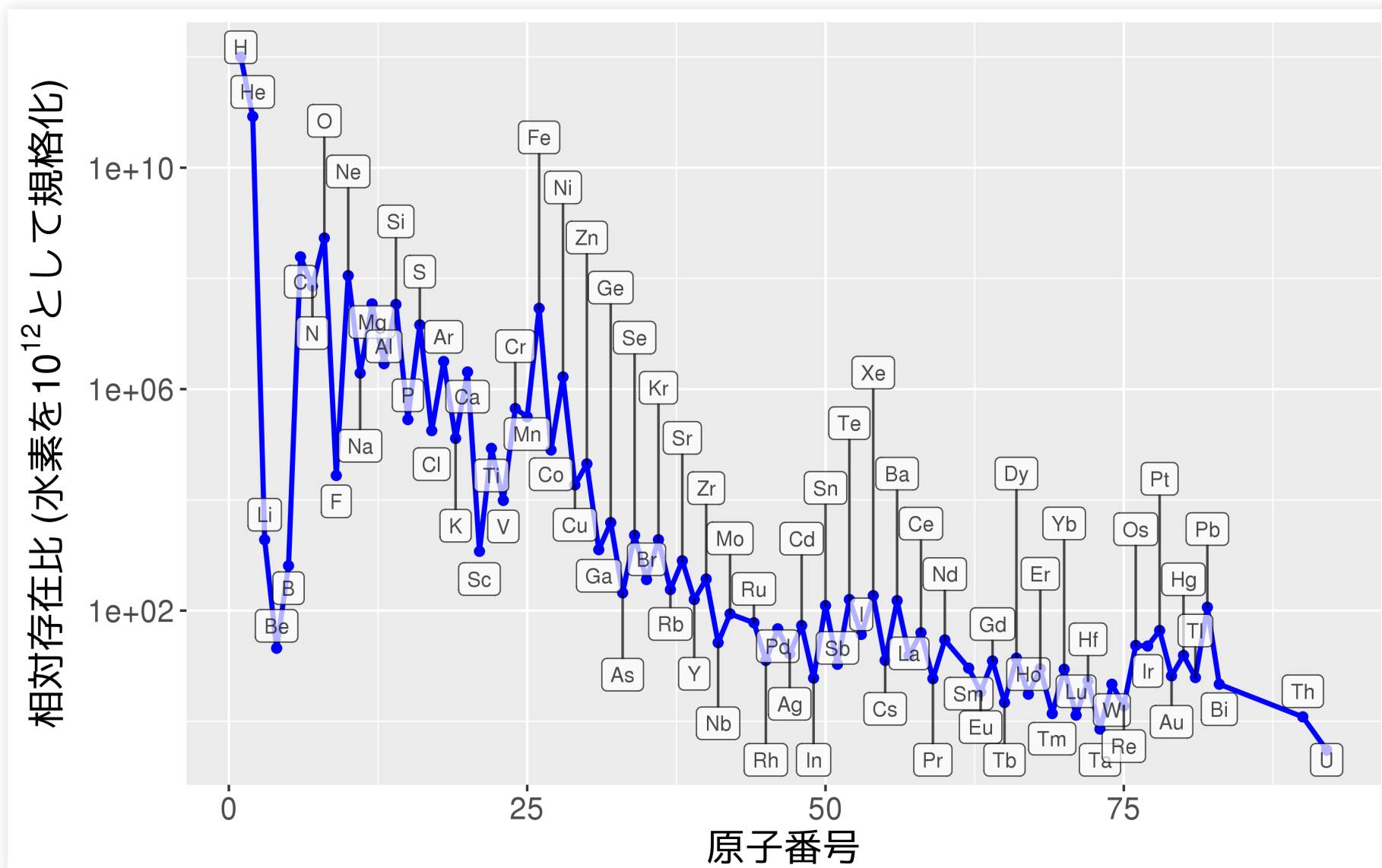
Wikimedia commons



# 星の質量と主系列星としての寿命



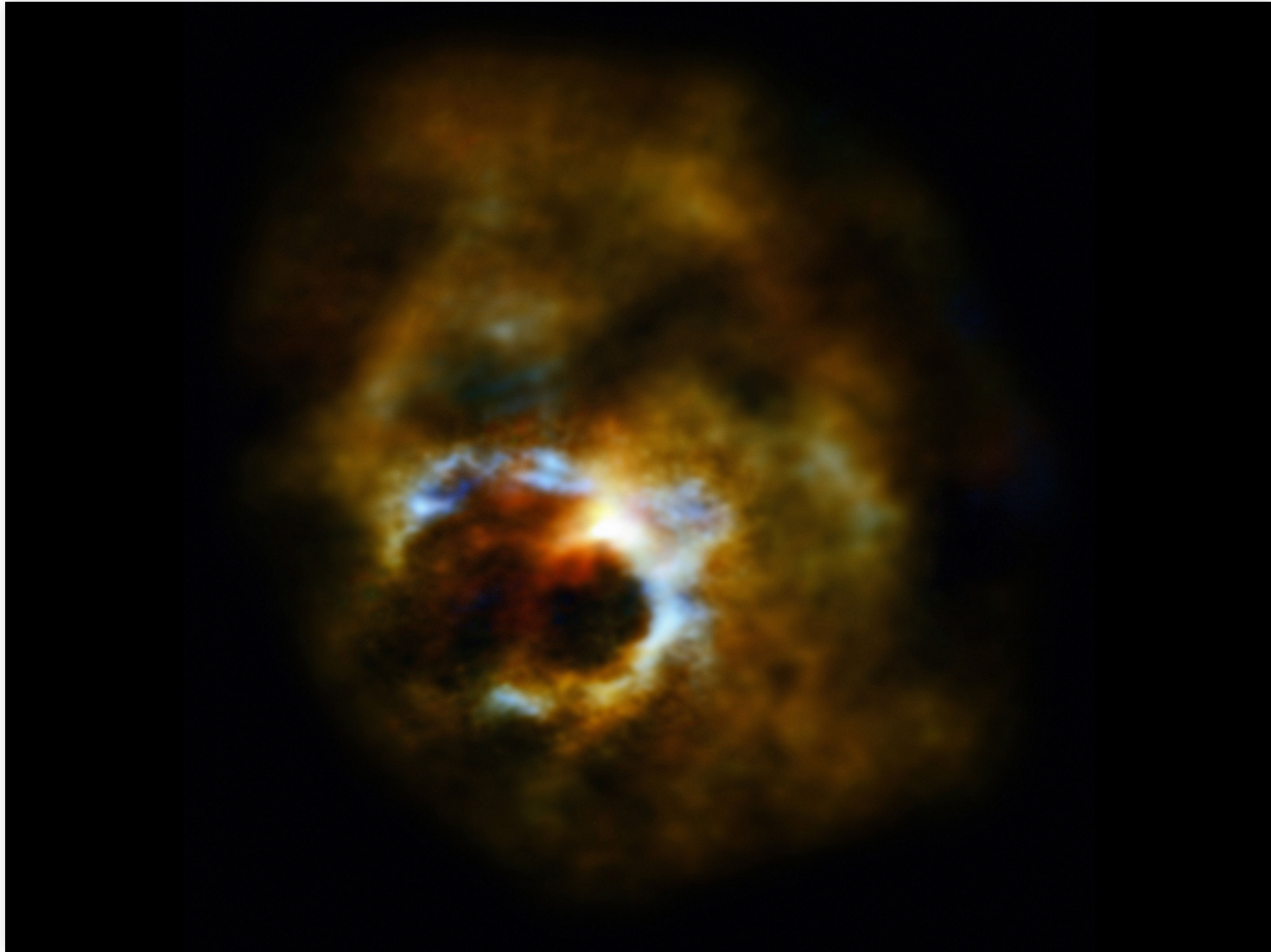
# 宇宙の元素存在比(太陽存在比)



data from Lodders (2010)

# 星の終末

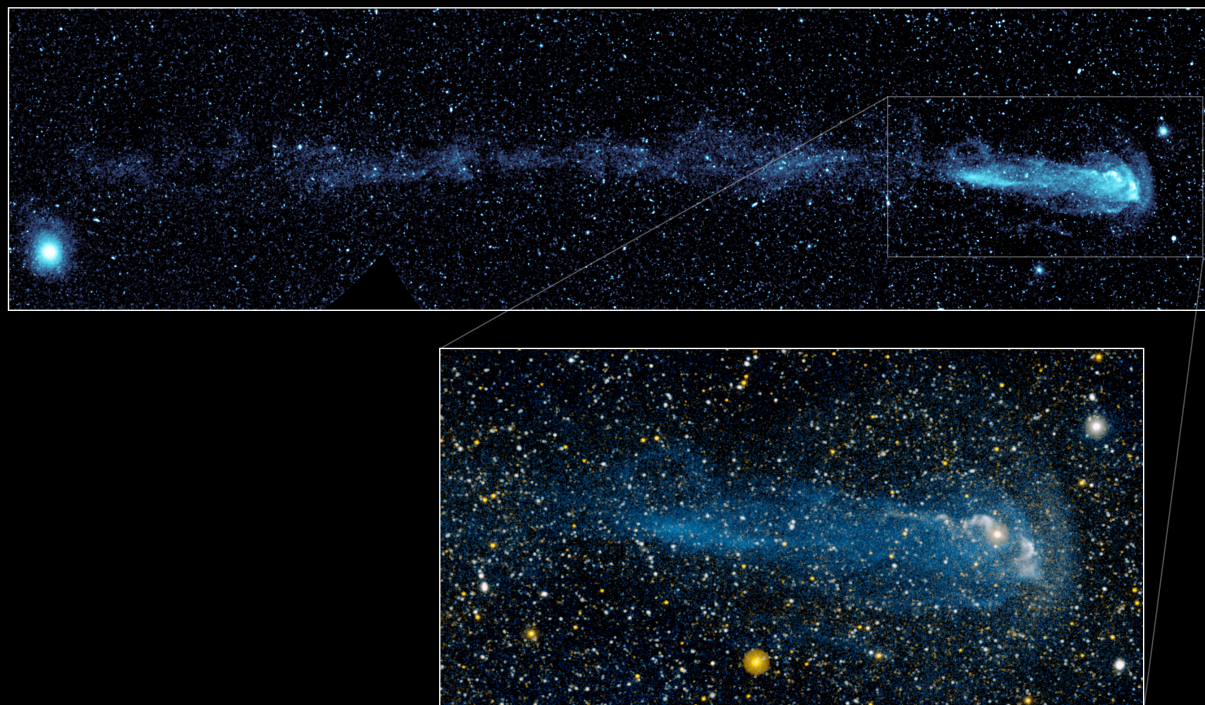
# MiraのALMAによる観測画像



Credit: ESO/S. Ramstedt (Uppsala University, Sweden) & W. Vlemmings (Chalmers University of Technology, Sweden)

# ミラの星風による tail

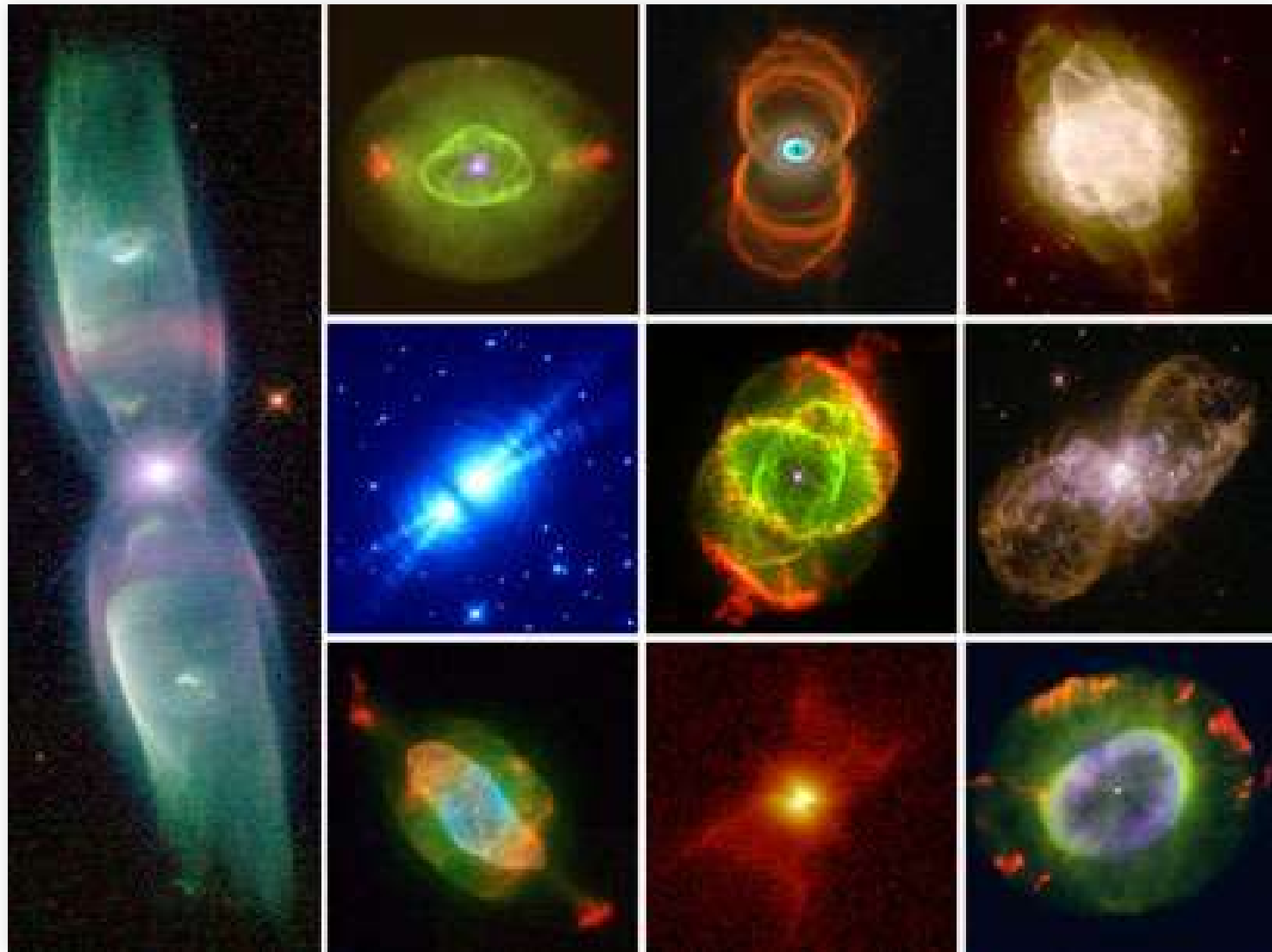
**GALEX** Galaxy Evolution Explorer



Mira's Turbulent Tail

GALEX • NUV • FUV

# 惑星状星雲



A Collection of Planetary Nebulae from the HST

# ベテルギウス(オリオン座の一等星)の終末

Orion - a brief tour



Michael Busse

# 超新星残骸(かに星雲)



このページを [日本語](#)

で表示

[翻訳](#)

[英語では無効にする](#)

オプション ▼

NASA's flagship mission for X-ray astronomy.



- [Home](#)
- [About Chandra](#)
- [Education](#)
- [Field Guide](#)
- [Photo Album](#)
- [Press Room](#)
- [Resources](#)
- [Multimedia](#)
- [Podcasts](#)
- [Blog](#)
- [Research](#)

Images by Date



[2019](#)   [2018](#)   [2017](#)   [2016](#)  
[2015](#)   [2014](#)   [2013](#)   [2012](#)  
[2011](#)   [2010](#)   [2009](#)   [2008](#)  
[2007](#)   [2006](#)   [2005](#)   [2004](#)  
[2003](#)   [2002](#)   [2001](#)   [2000](#)  
[1999](#)

Images by Category



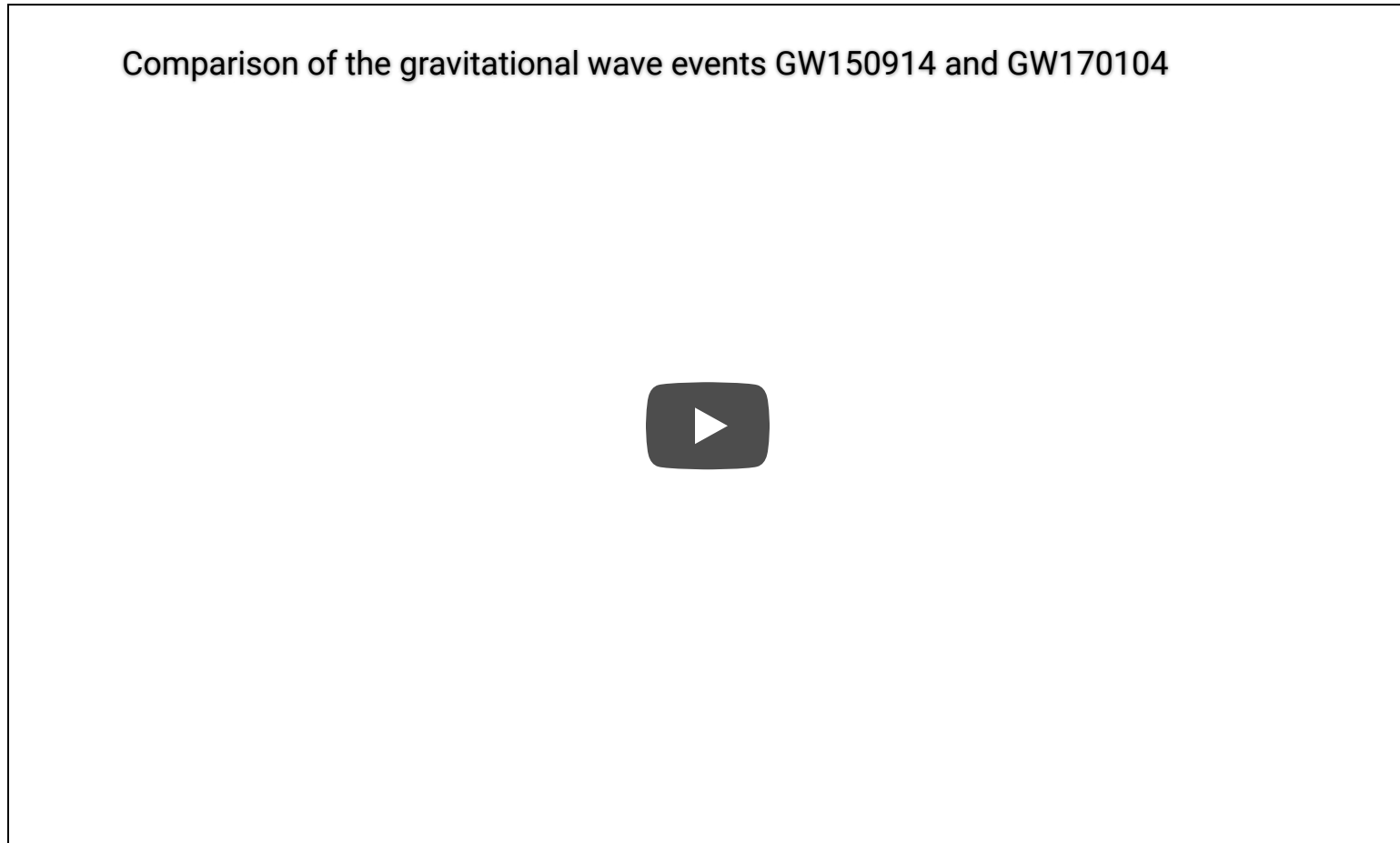
[Solar System](#)  
[Stars](#)  
[White Dwarfs](#)  
[Supernovas](#)  
[Neutron Stars](#)  
[Black Holes](#)  
[Milky Way Galaxy](#)  
[Normal Galaxies](#)  
[Quasars](#)  
[Galaxy Clusters](#)  
[Cosmology/Deep Field](#)



# ブラックホール・重力波

# 重力波の検出

- 2015年9月14日9時50分45秒に重力波を初検出
- 質量**35.4  $M_{\odot}$** と**29.8  $M_{\odot}$** のブラックホールの衝突・合体
- 2017年8月17日12時41分4秒には中性子星合体を初検出



Credit: . Ossokine/A. Buonanno/T. Dietrich (MPI for Gravitational Physics)/R. Haas (NCSA)/SXS project

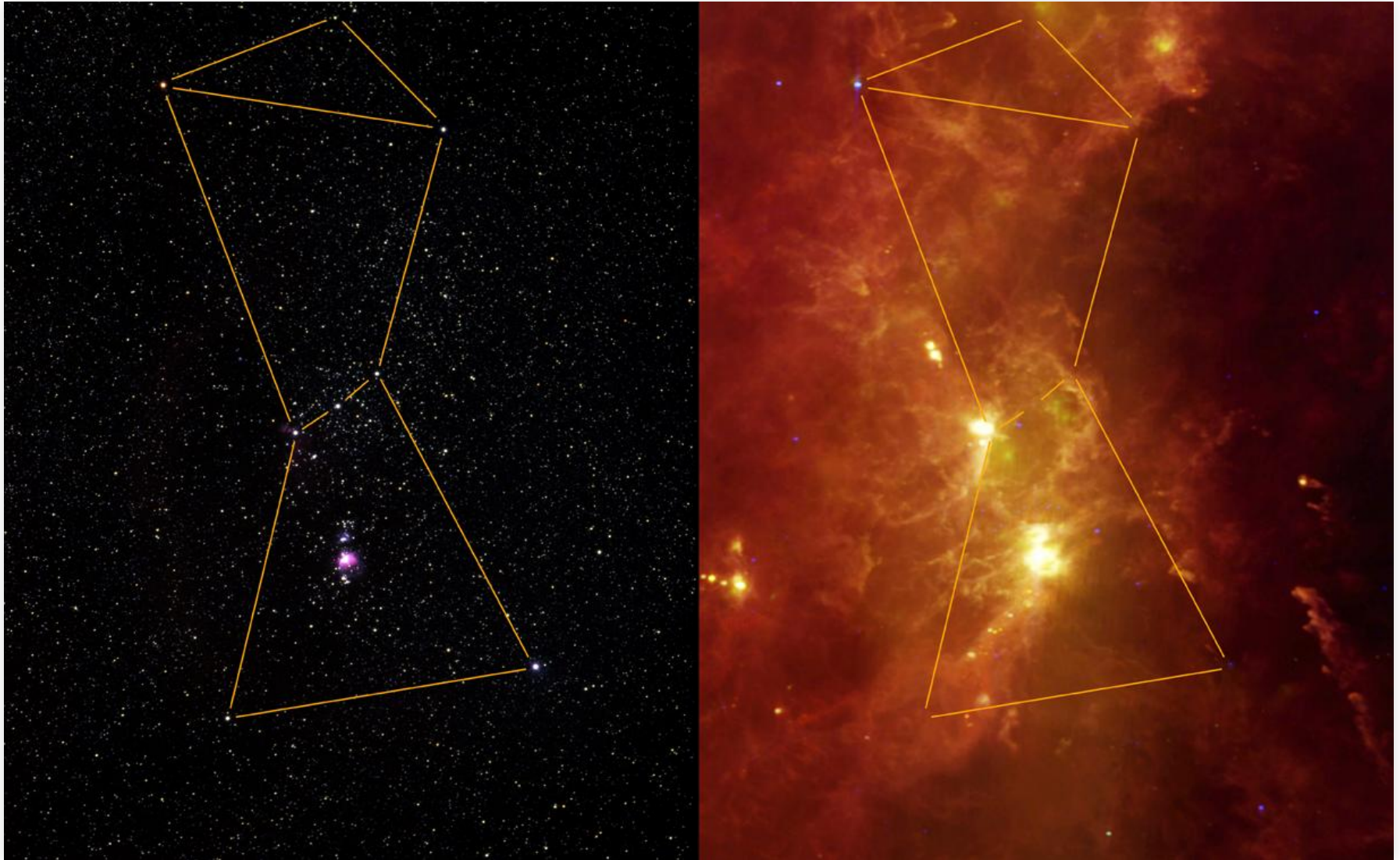
教科書が書き換わってしまいました。

---

2018年大学入試センター試験問題より(朝日新聞サイトより引用)

# 星間物質

# オリオン座(可視光 vs. 赤外線)



国立天文台(可視光画像)、ISAS/JAXA(赤外線画像)

# オリオン座



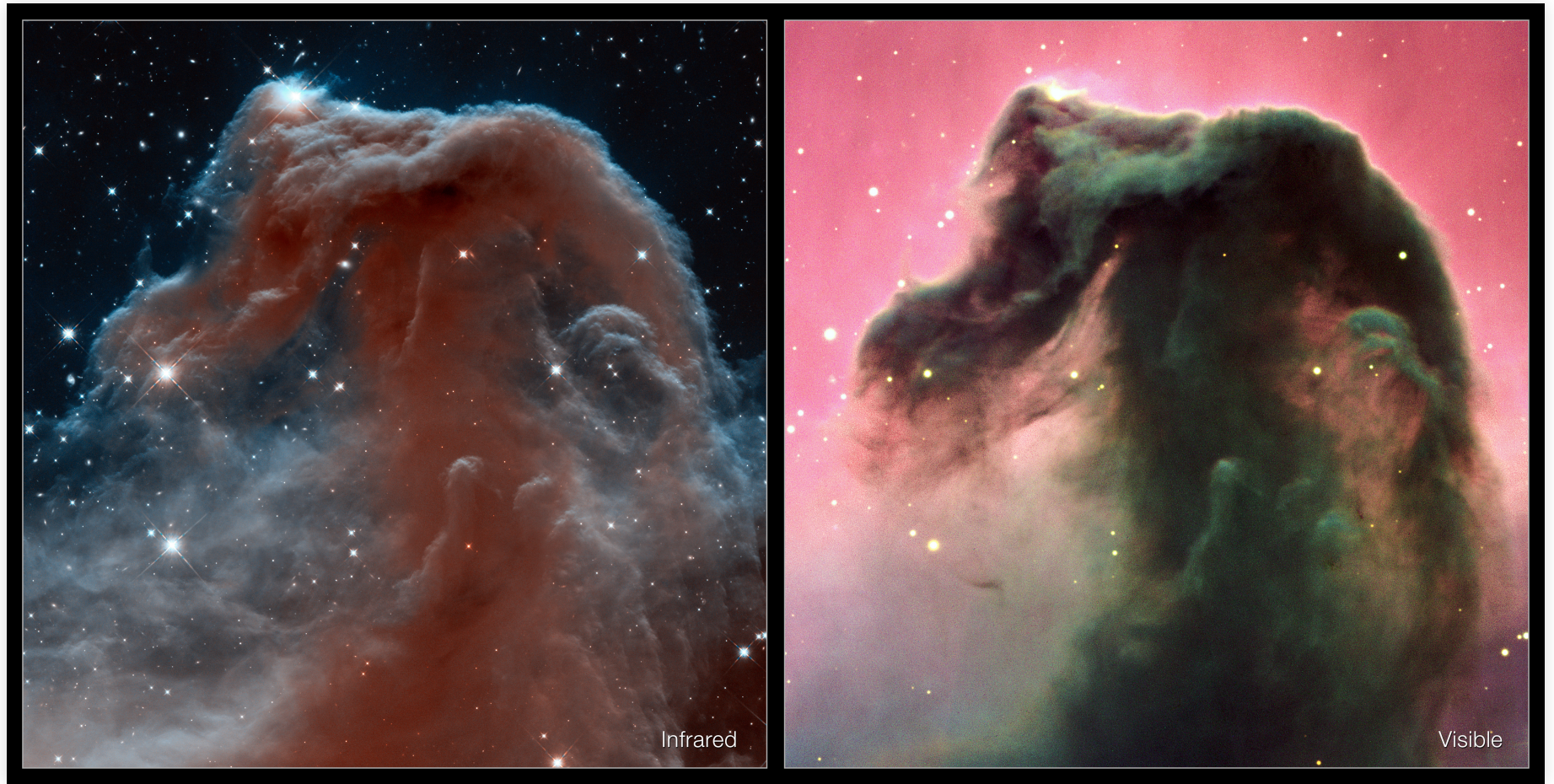
Credit & Copyright: Rogelio Bernal Andreo

# 暗黒星雲



Credit: John Corban & the ESA/ESO/NASA Photoshop FITS Liberator

# 暗黒星雲(可視光 vs. 赤外線)



Credit: NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (AURA/STScI); ESO



# 暗黒星雲(赤外線)



Credit: NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team (AURA/STScI)

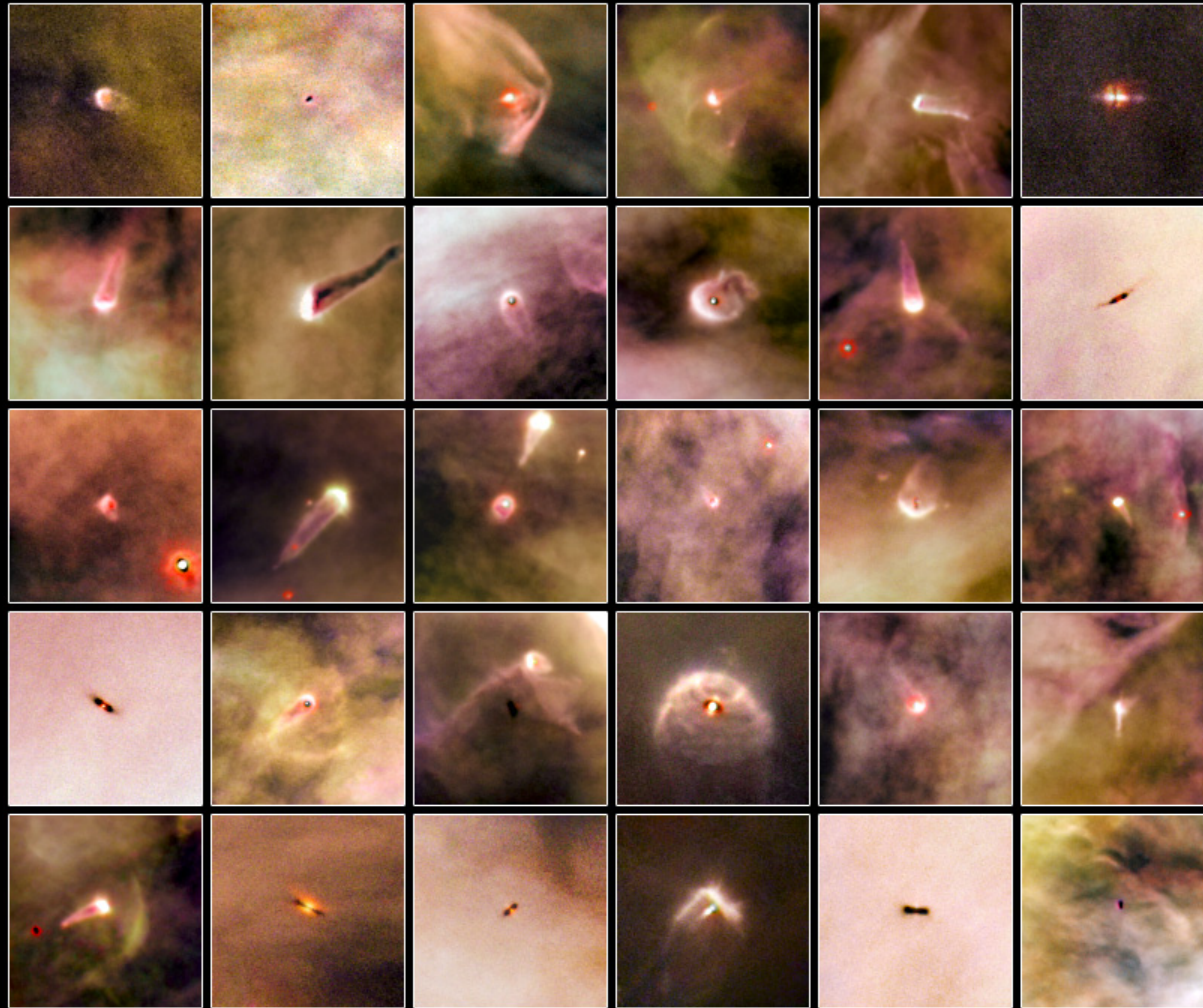
# 星形成・惑星系形成

# オリオン大星雲



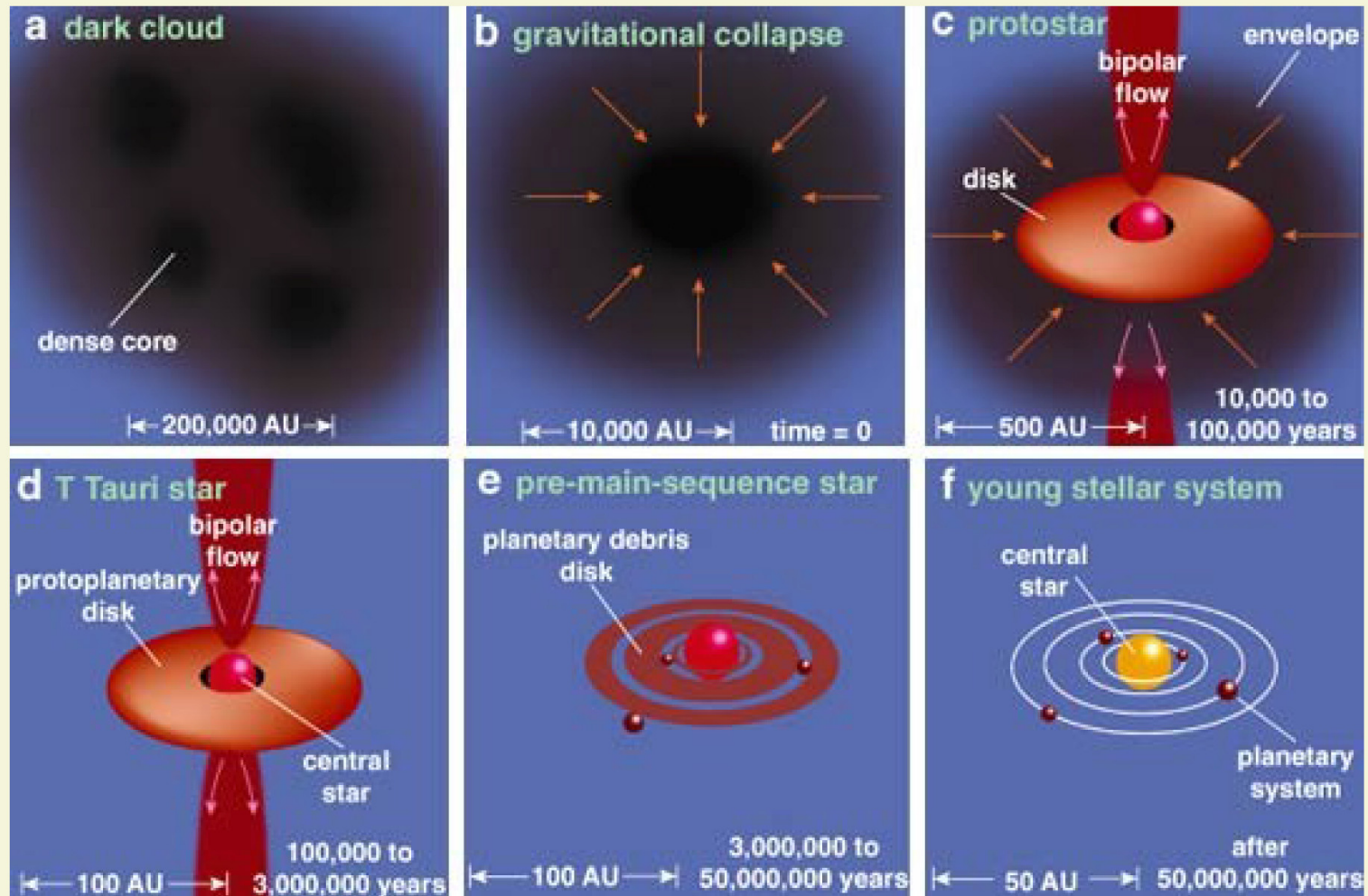
Credit: NASA, ESA, M. Robberto (Space Telescope Science Institute/ESA) and the Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team

# Proplyd atlas



NASA/ESA and L. Ricci (ESO)

# 濃い星間ガス中での星生成



Greene (2001)

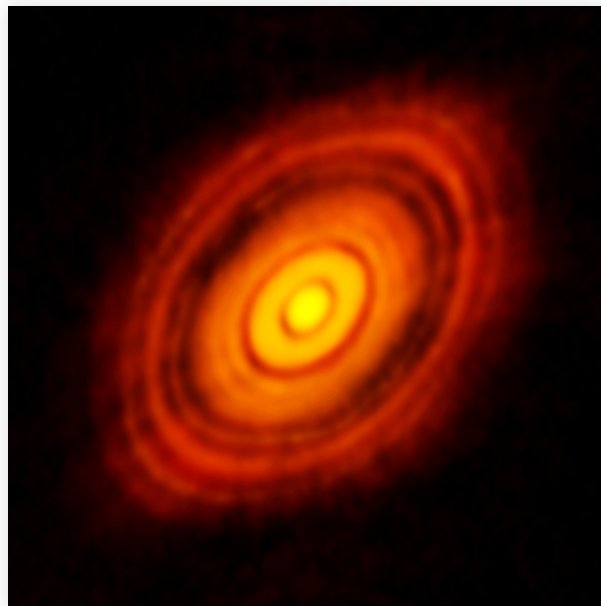
Star formation processes. Credits: Greene 2001

# 原始惑星系円盤

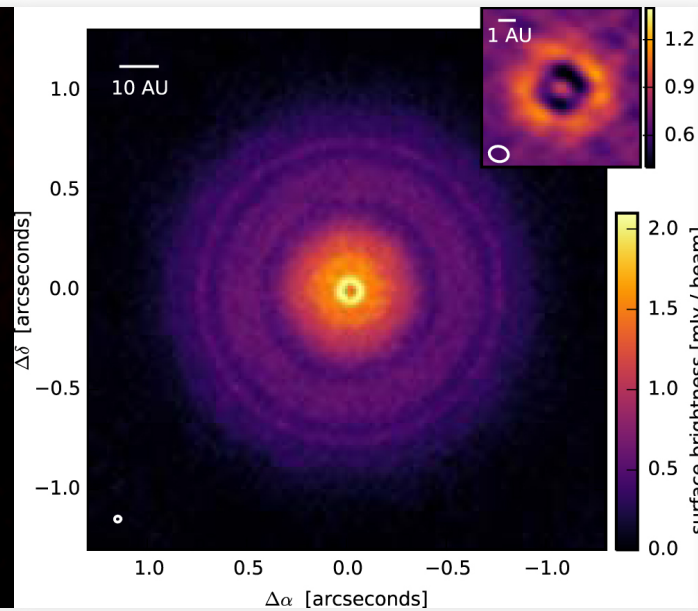
HL Tau

TW Hya

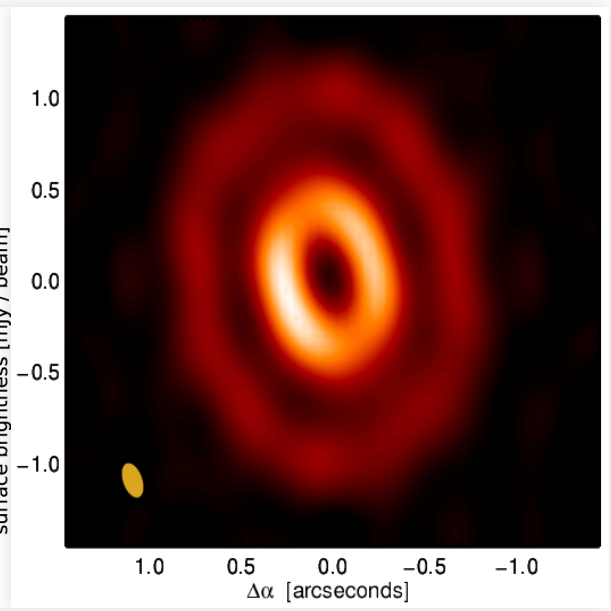
HD97048



ALMA Partnership (2015)



Andrews *et al.* (2016)



van der Plas *et al.* (2017)

# 系外惑星データベース

**exoplanets.org**

Exoplanets  
Data Explorer

Methodology  
and FAQ

Exoplanets  
Links

California  
Planet Survey

Search>

**Table**

**Plots**

**3236**

EOD Planets

Planets with good orbits listed  
in the Exoplanet Orbit  
Database

**26**

Other Planets

Including microlensing and  
imaged planets

**3262**

Total Confirmed  
Planets

**2485**

Unconfirmed Kepler  
Candidates

**5747**

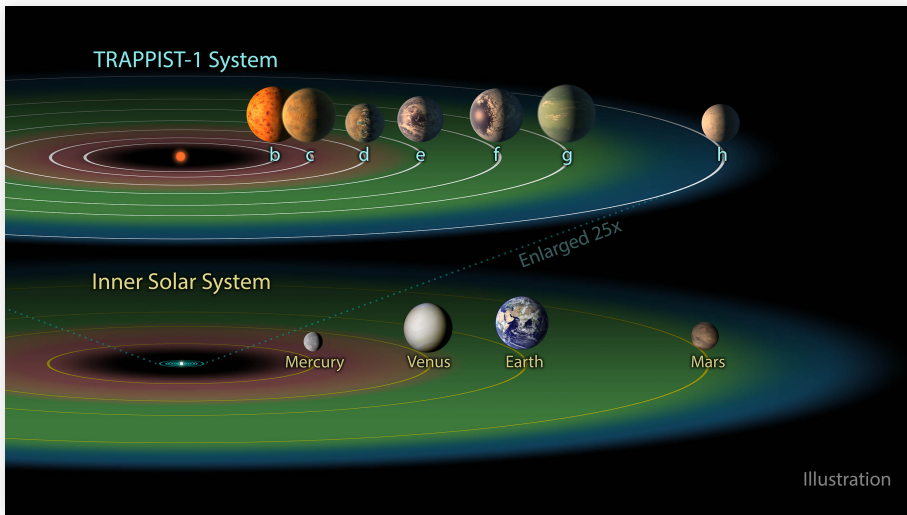
Total Planets

Confirmed planets + Kepler  
Candidates

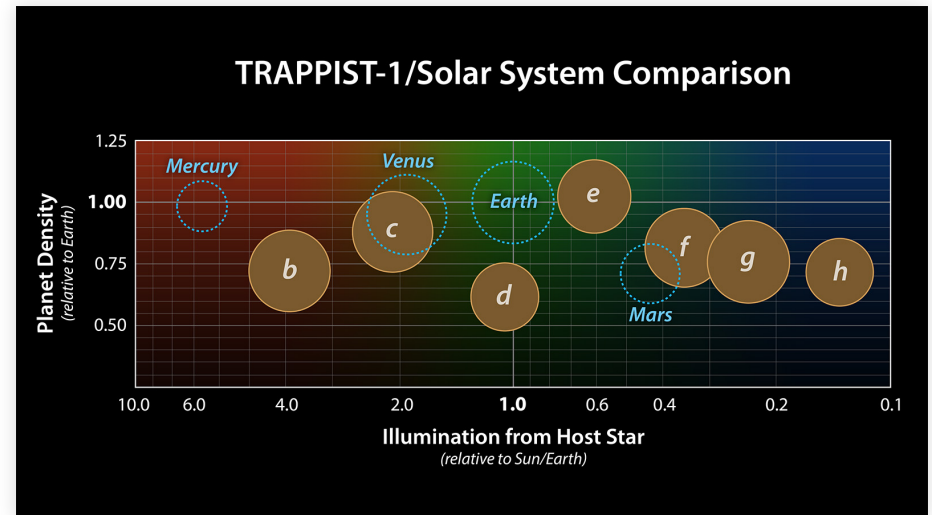
*A note from the maintainer:*  
exoplanets.org

# TRAPPIST-1

- 各惑星に地球の250倍の水が存在



NASA/JPL-Caltech



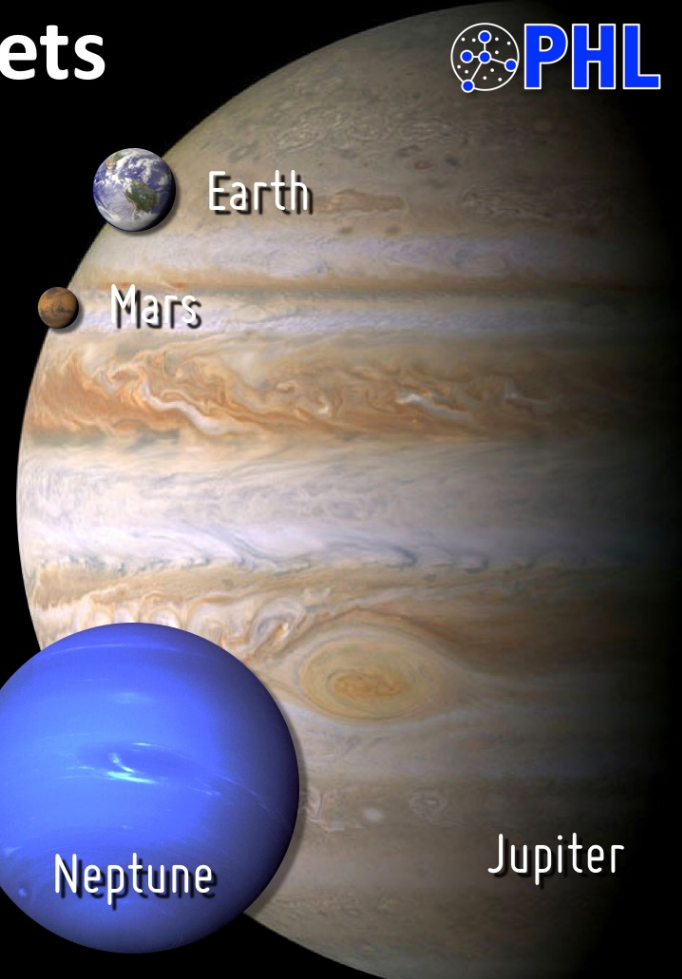
NASA/JPL-Caltech



# Habitable Planets

## Potentially Habitable Exoplanets

Ranked by Distance from Earth (light years)



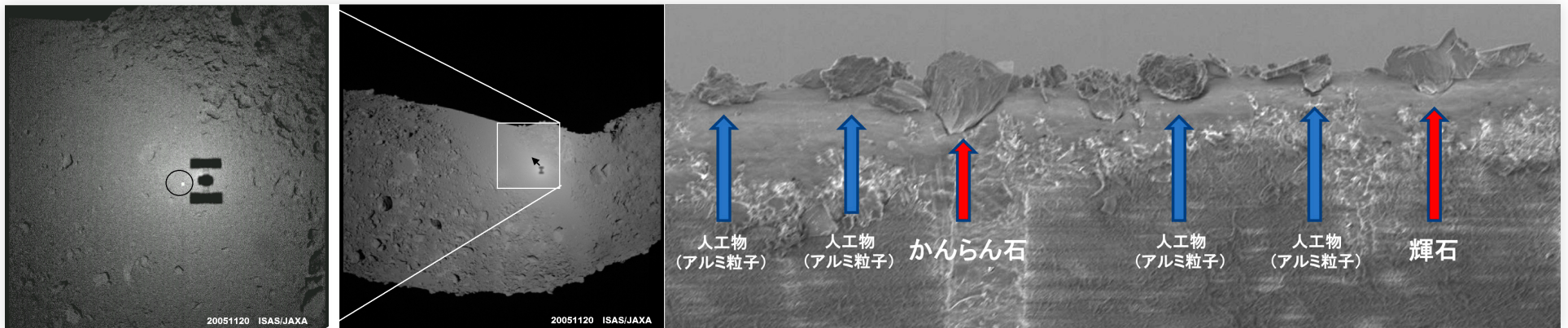
Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. Distance from Earth is between brackets. Planet candidates indicated with asterisks.

CREDIT: PHL @ UPR Arecibo (phl.upr.edu) Jul 2, 2018

Planetary Habitability Laboratory/University of Puerto Rico at Arecibo

# 小惑星サンプルリターン

- はやぶさ
  - S-type (イトカワ)
  - 2003年打ち上げ
  - 2005年夏小惑星到着
  - 2010年6月13日地球帰還



ISAS/JAXA

## 現在実施中のサンプルリターンミッション

- はやぶさ2
  - C-type (リュウグウ) 2014年12月3日打ち上げ、2018年6月27日到着、2019年出発、2020年末帰還
- OSIRIS REx (Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security, Regolith Explorer)
  - C-type (ベンヌ) 2016年9月8日打ち上げ、2019年10月19日到達、2021年3月21日出発、2023年9月24日帰還

# はやぶさ2

年	月日	事項	状況
2018	6月27日	小惑星到着（高度20km）	済み
2018	7月17日～ 25日	BOX-C運用（7月20日、最低高度約6km）	済み
2018	7月31日～8 月2日	中高度降下運用1（8月1日、最低高度約5km）	済み
2018	8月5日～10 日	重力計測運用（8月7日、最低高度851m）	済み
2018	8月18日～9 月7日	BOX-B運用（高度約20kmでのツアー観測：リュウグウの南極方向および夕方方向の観測）	済み
2018	9月10日～ 12日	タッチダウン1リハーサル1（TD1-R1）（9月12日、最低高度約600m）	済み

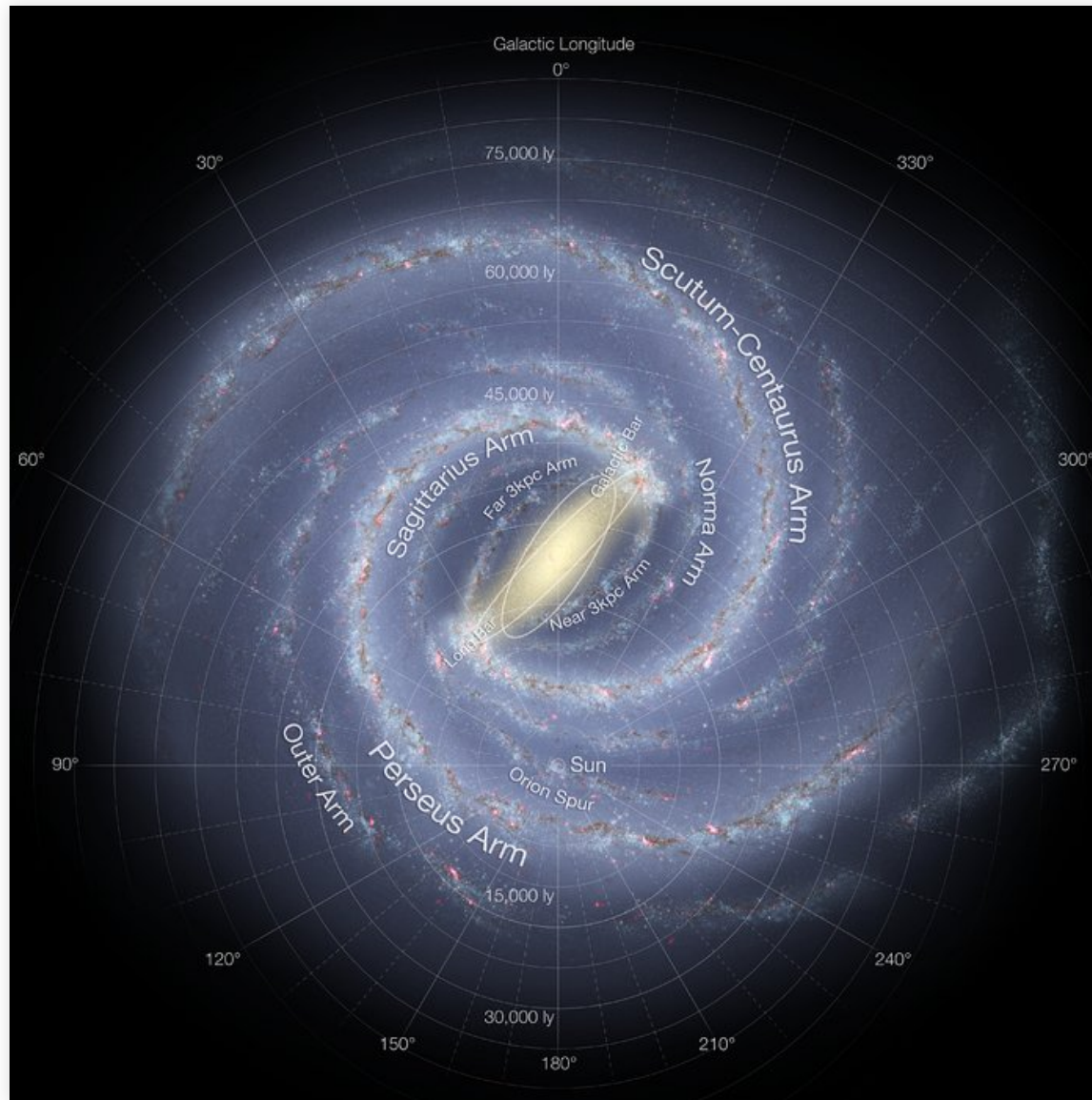
# 我々の銀河系

# 全天の星の分布



Image Credit & Copyright: Nick Risinger (Photopic Sky Survey)

# 銀河系全体図



Credit: NASA/JPL-Caltech/ESO/R. Hurt

# 銀河中心(大質量ブラックホール)

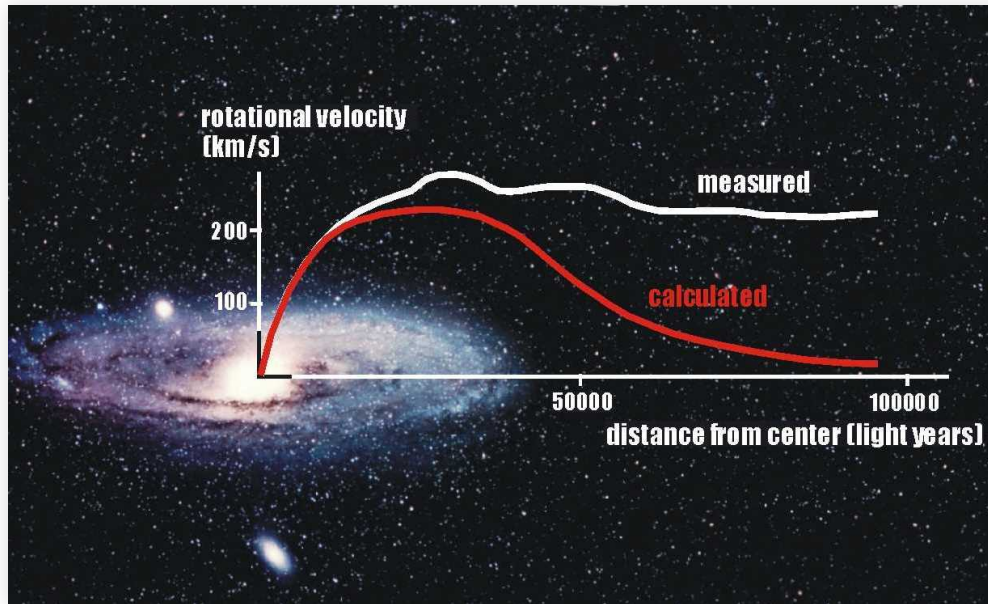
How Far Away Is It - 10 - The Milky Way [go to 4K edition]



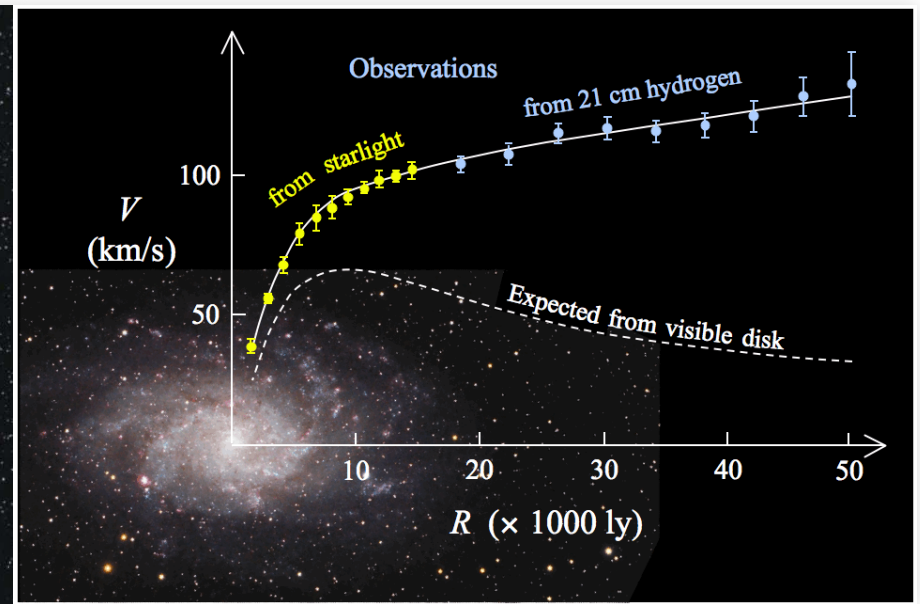
David Butler



# $4 \times 10^6 M_{\odot}$ ## 銀河回転とダークマター



M31 (copyright: imgur)



M33 (copyright: Stefania.deluca via Wikimedia Commons)

# 遠くの銀河

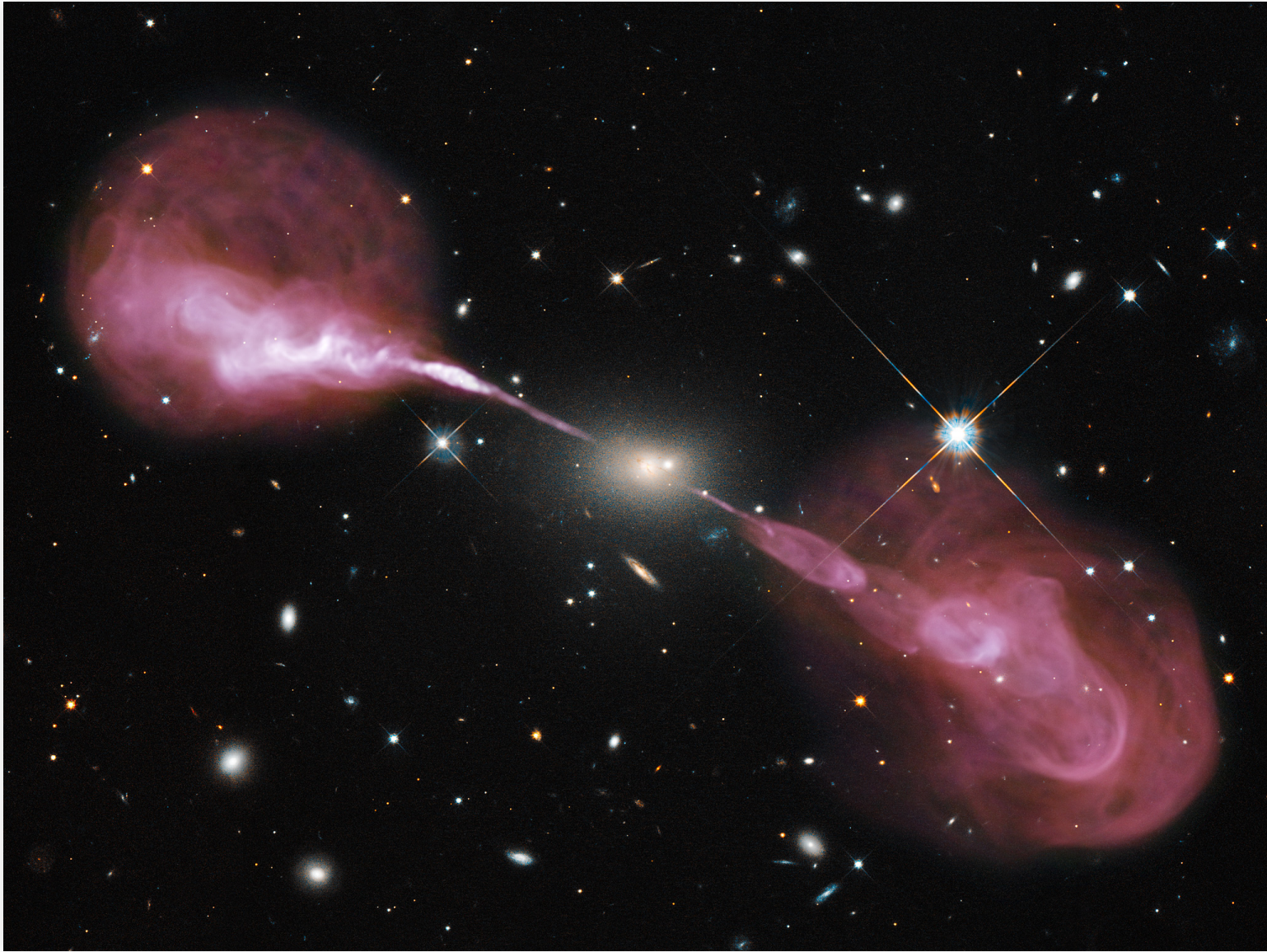
# スターバースト銀河 (M82)



NASA, ESA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

Acknowledgment: J. Gallagher (University of Wisconsin), M. Mountain (STScI) and P. Puxley (NSF).

# クエーサーからのジェット



Credit: NASA, ESA, S. Baum and C. O'Dea (RIT), R. Perley and W. Cotton (NRAO/AUI/NSF)

and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

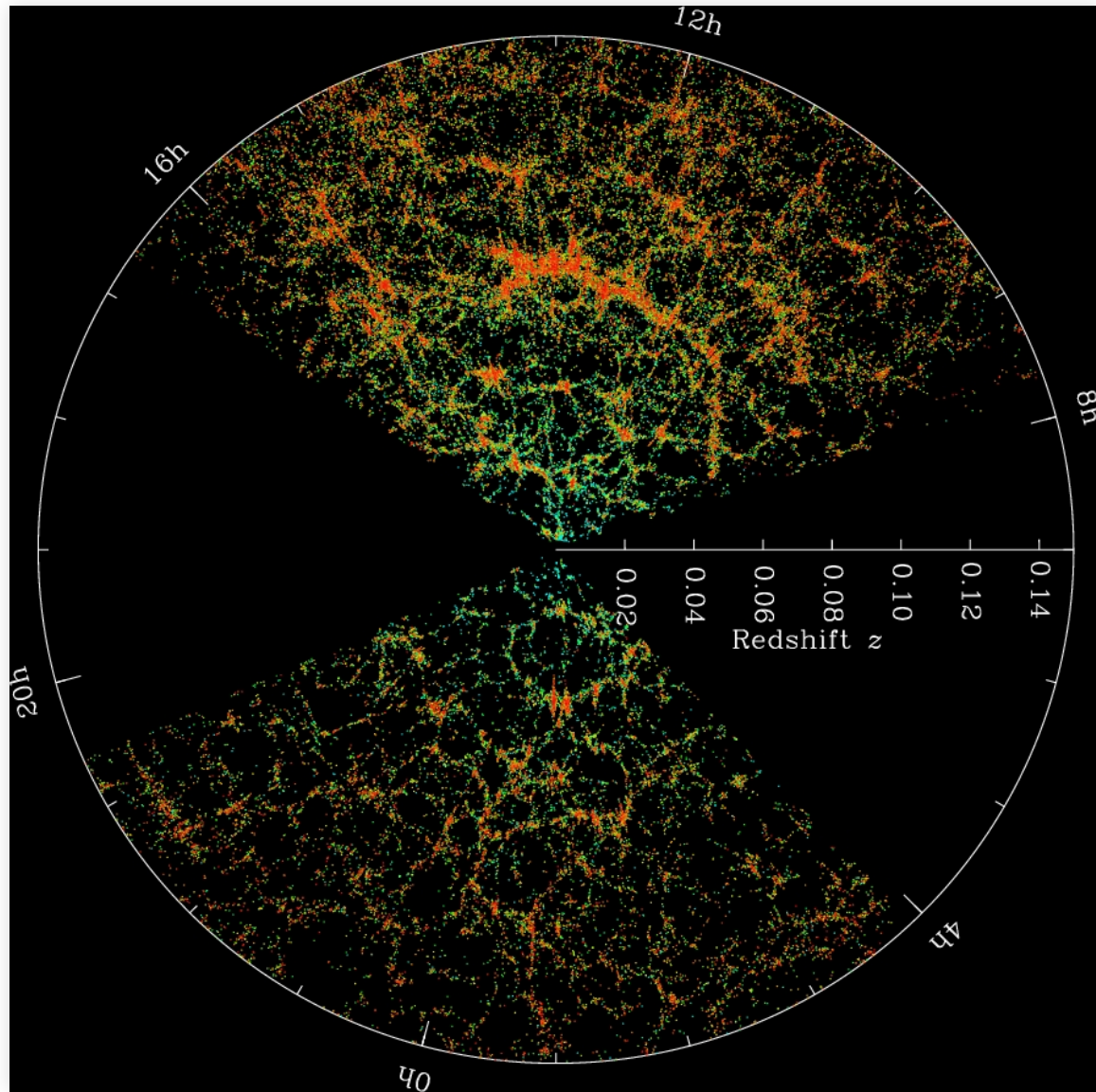
# 銀河の衝突・合体



NASA, ESA, and the Hubble SM4 ERO Team

# 宇宙の大規模構造

# SDSS



the Sloan Digital Sky Survey

# 計算機シミュレーション

Illustris Simulation: Most detailed simulation of our Universe

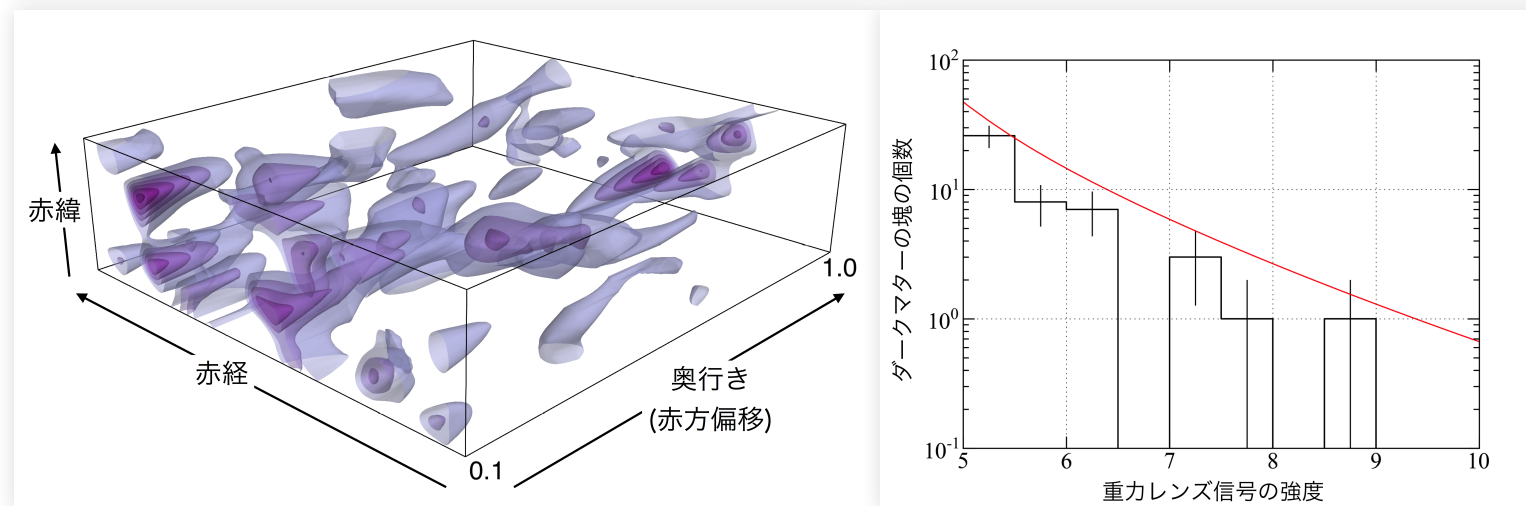
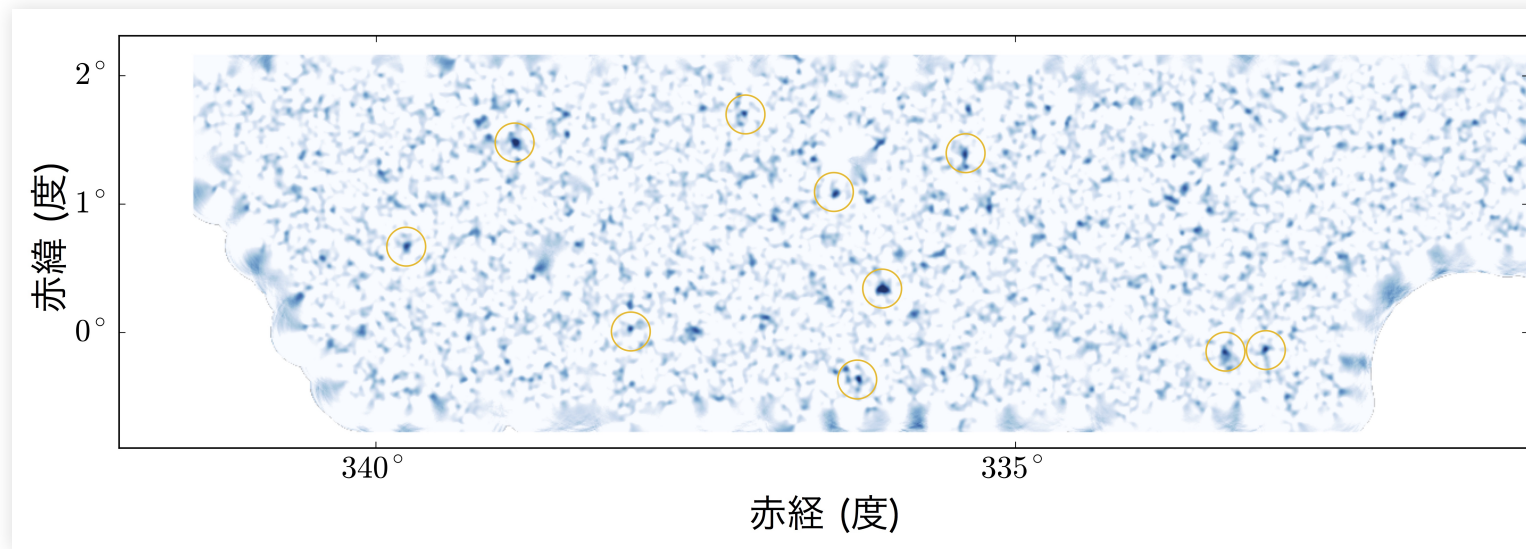


IllustrisVogelsberger *et al.* (2014)



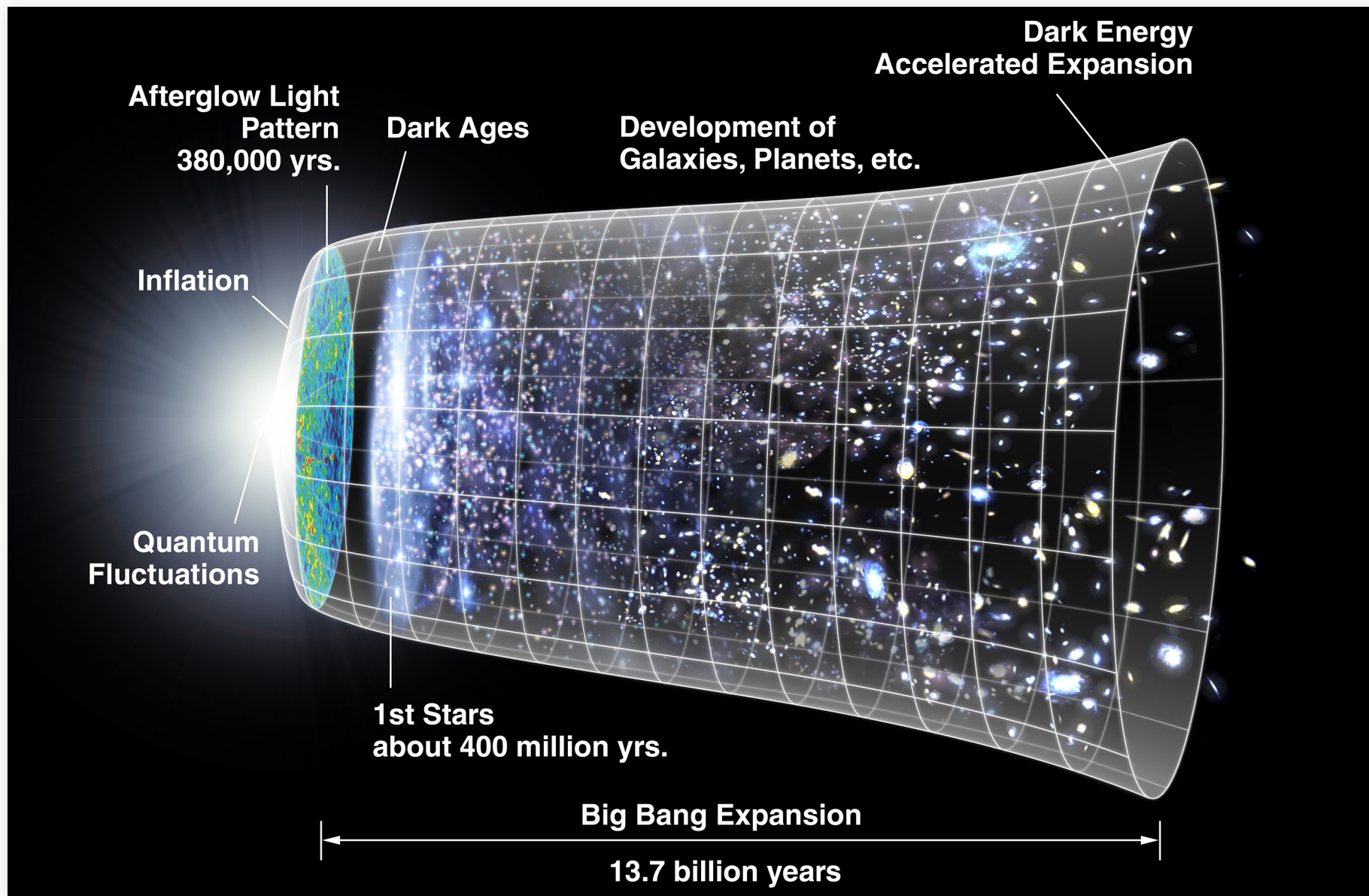
# SUBARU/HSC

- 重力レンズ効果を利用したダークマターの分布図

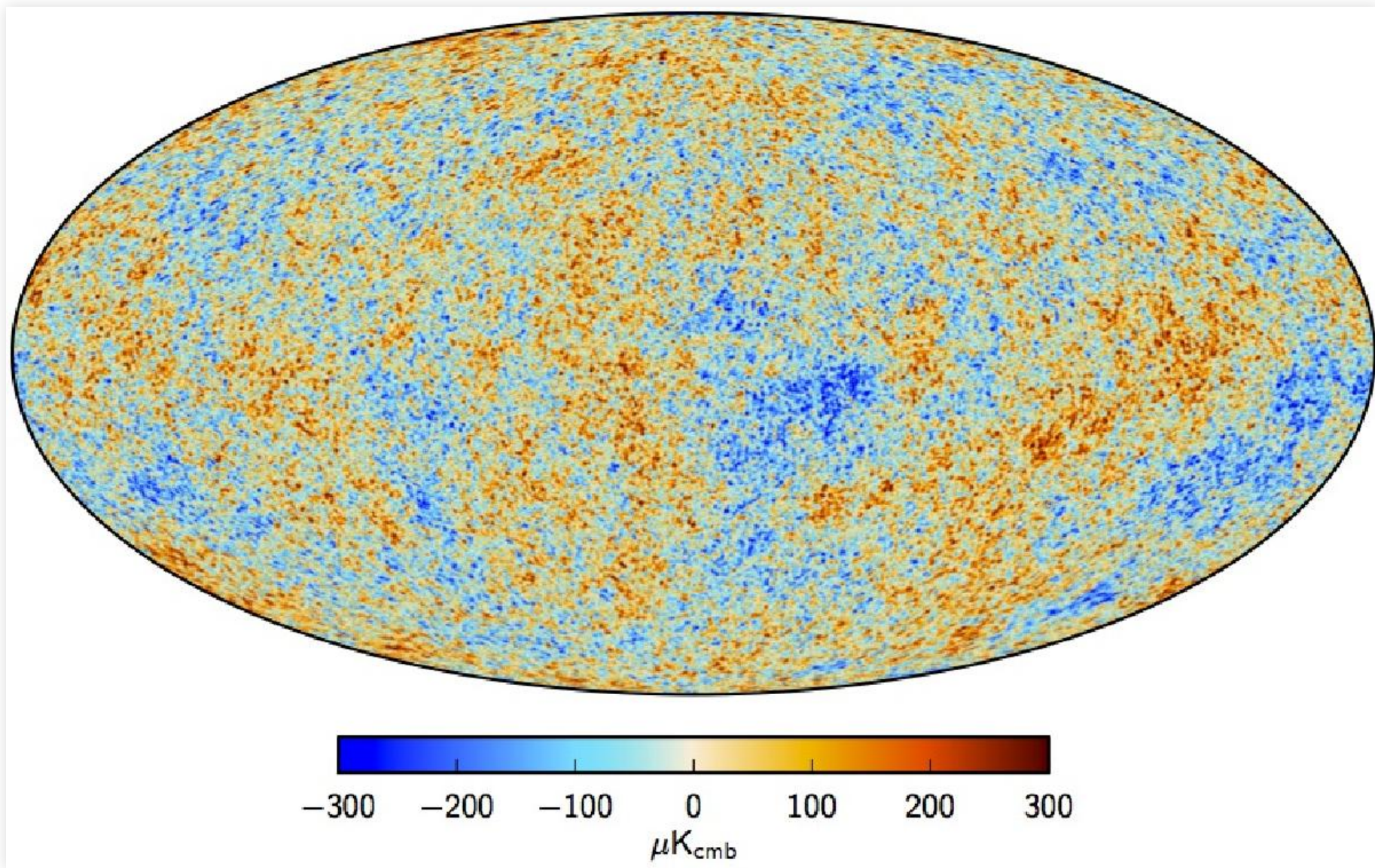


ビツグノバン

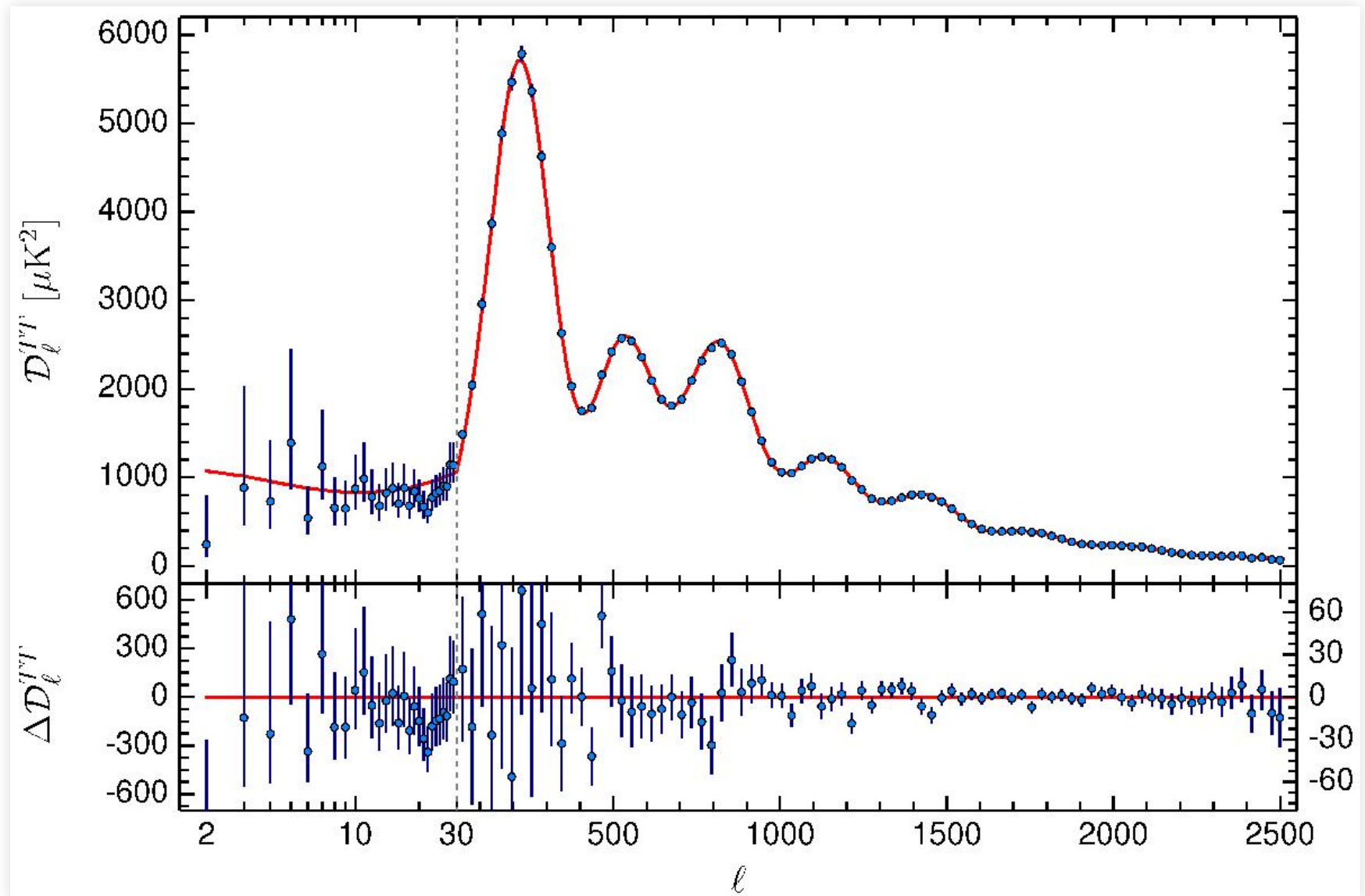
# ビッグバンと宇宙膨張



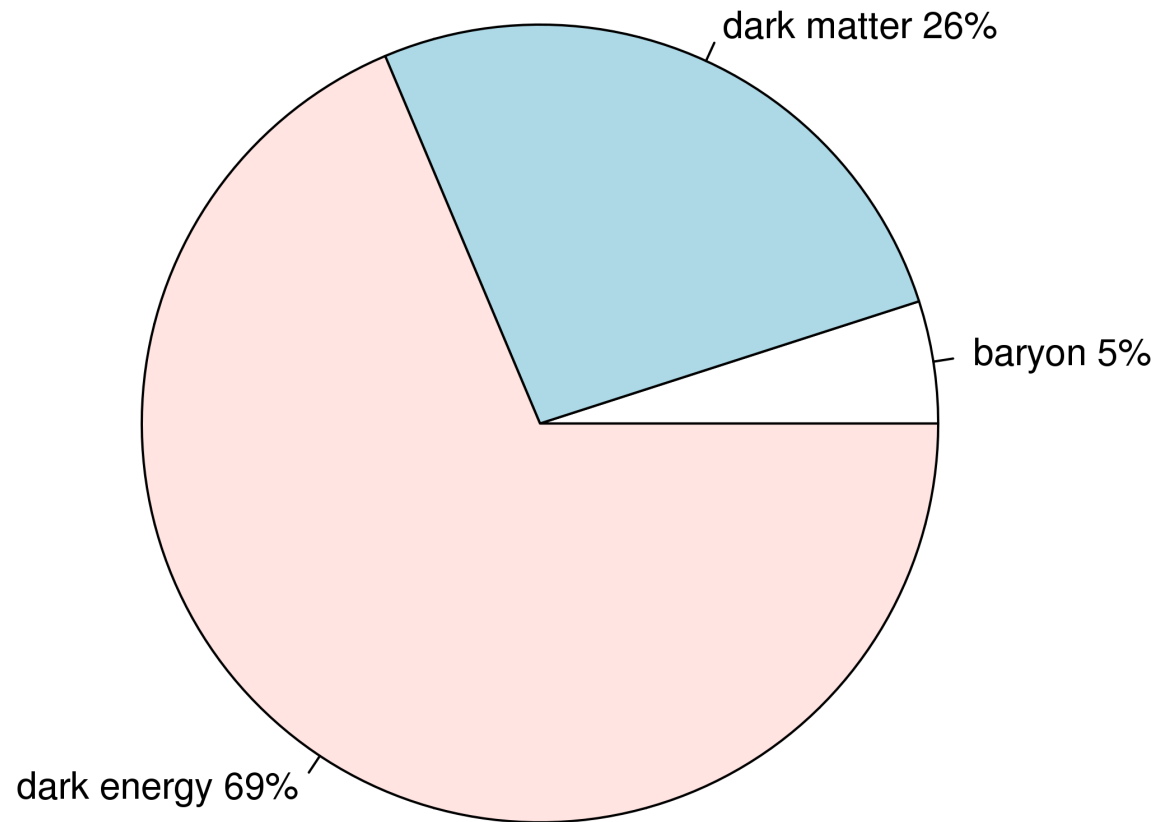
# 宇宙背景放射の揺らぎ



# 宇宙背景放射の揺らぎスペクトル



# 宇宙の質量-エネルギー構成比



Planck Collaboration *et al.* 2016, *A&A*, **594**, A13

# 質問

## 質問対応について

- 質問は授業途中にも随時して下さい。
- 授業終了後個別に聞きに来てくれても良いです。
- 授業時間以外の質問は以下にお願いします。
  - 居室：15号館603B号室
  - eメールアドレス：[doi@ea.c.u-tokyo.ac.jp](mailto:doi@ea.c.u-tokyo.ac.jp)