天体物理学 I

4セメ 火曜3限

田中 雅臣 (東北大学 天文学専攻)

自己紹介

田中 雅臣

愛知県出身 42歳

名古屋市生まれ、知多半島育ち

1998-2001: 愛知県半田高校

2001-2005: 東京大学

2005-2009: 東京大学大学院

2009-2011: 東京大学 Kavli IPMU

2011-2018: 国立天文台

2018- 現在: 東北大学

研究

- 天文学・天体物理学
- 観測・理論 (数値シミュレーション)

- 宇宙における突発的現象の物理
  （超新星爆発や中性子星合体）
- 宇宙における元素の起源



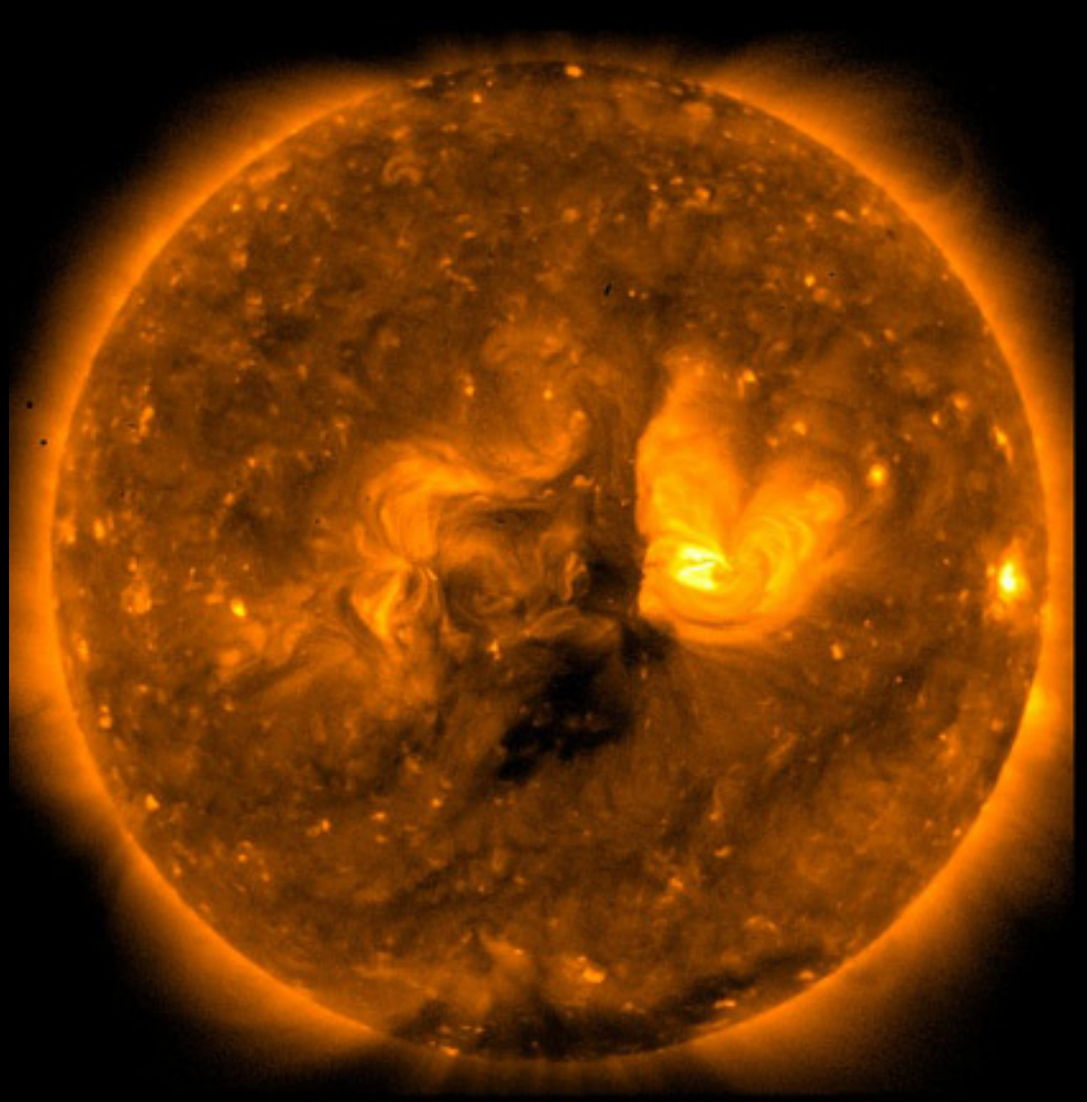
超新星爆発：星の大爆発現象



NASA/HST

この講義の目標

- **物理系全体**
  - これまで勉強してきた物理を宇宙に応用して、
    宇宙の天体や天体現象の物理を大まかにつかむ
  - 物理を使って手の届かないものの性質を
    概算できるようにする
  - これから習う物理とその応用先を先取りして学ぶ
- **天文学コース**
  - 天体物理学の基礎を学ぶ



例：太陽

太陽の明るさ

= 4 x 10^{26} J/s (= W) = 4 x 10^{33} erg/s

(C) JAXA/ISAS

x めちゃ明るい ==> 実感できるように概算

日本の一年の消費電力 = 2 x 10^{19} J = 2 x 10^{26} erg

日本が10^{7} 年 = 1000万年かけて使うエネルギーを1秒で放射

太陽はなぜこんなに明るいの？？

=> 物理を使って理解しよう

取り扱う対象

- 太陽系、惑星
- 太陽などの恒星
- 中性子星、ブラックホール
- 星間空間、星の形成
- 銀河
- 銀河団
- …

熱力学

3セメ

統計力学

5,6セメ

力学

1,2セメ

電磁気学

2,3セメ

宇宙物理学

天体物理学

流体力学

4セメ

原子核物理学

7セメ

量子力学

4,5セメ

相対論

4,7セメ

成績のつけ方

- **期末試験 100%**
  - 2026年 1月27日 (火) の予定
  - 自分で作ったA4 用紙1枚(両面)のまとめは持ち込み可
- **レポート**
  - テストの点数に少しだけ加算
    (昨年度の期末試験：加算なしの平均点47点)
  - 理解の助けになる簡単なもの
  - 実際に手を動かして計算してみる練習

講義資料

https://www.astr.tohoku.ac.jp/~masaomi.tanaka/ap2025/

予習・復習

- 板書した式の意味を追う
- 実際の値を入れて計算してみる (実感する)
- 参考書を読む (まだ全部は分からなくてもOK)

質問など

- 講義中にどんどん質問してください
- それ以外：Google Classroomで随時受け付けます
  (TA松林さん+田中)

Section 1.
宇宙のスケール

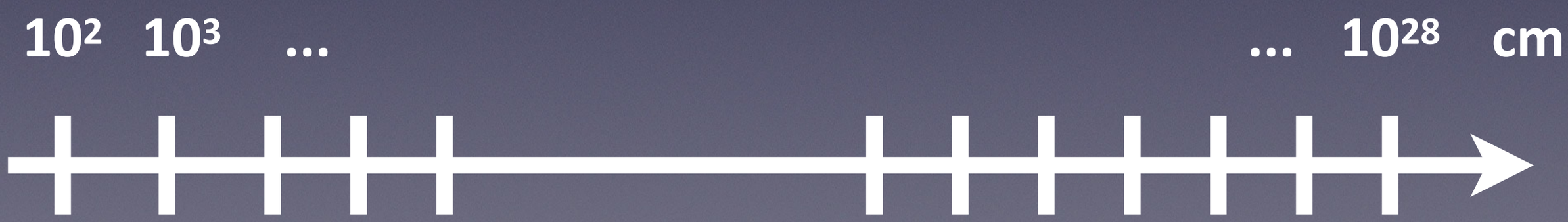
1.1 宇宙のスケール (長さ)

1.2 宇宙のスケール (質量)

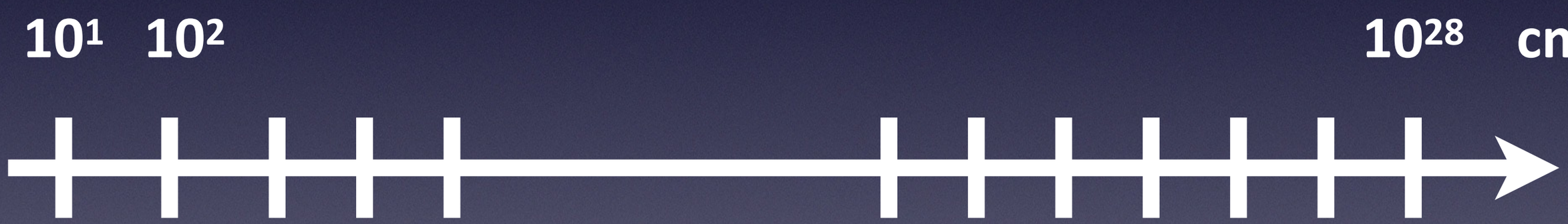
レポート課題 1a

- 様々な宇宙のスケールを調べて、
  宇宙の対数定規を完成させる
- 宇宙の大きさを実感するために、例えて説明してみる
  例: 地球の大きさが1円玉ぐらいだったら、
  太陽は？太陽系は？銀河は？銀河団は？

* どう計算したかが分かるように書いてください！
* 単位に注意！！



生活のスケール ➡ 宇宙のスケール

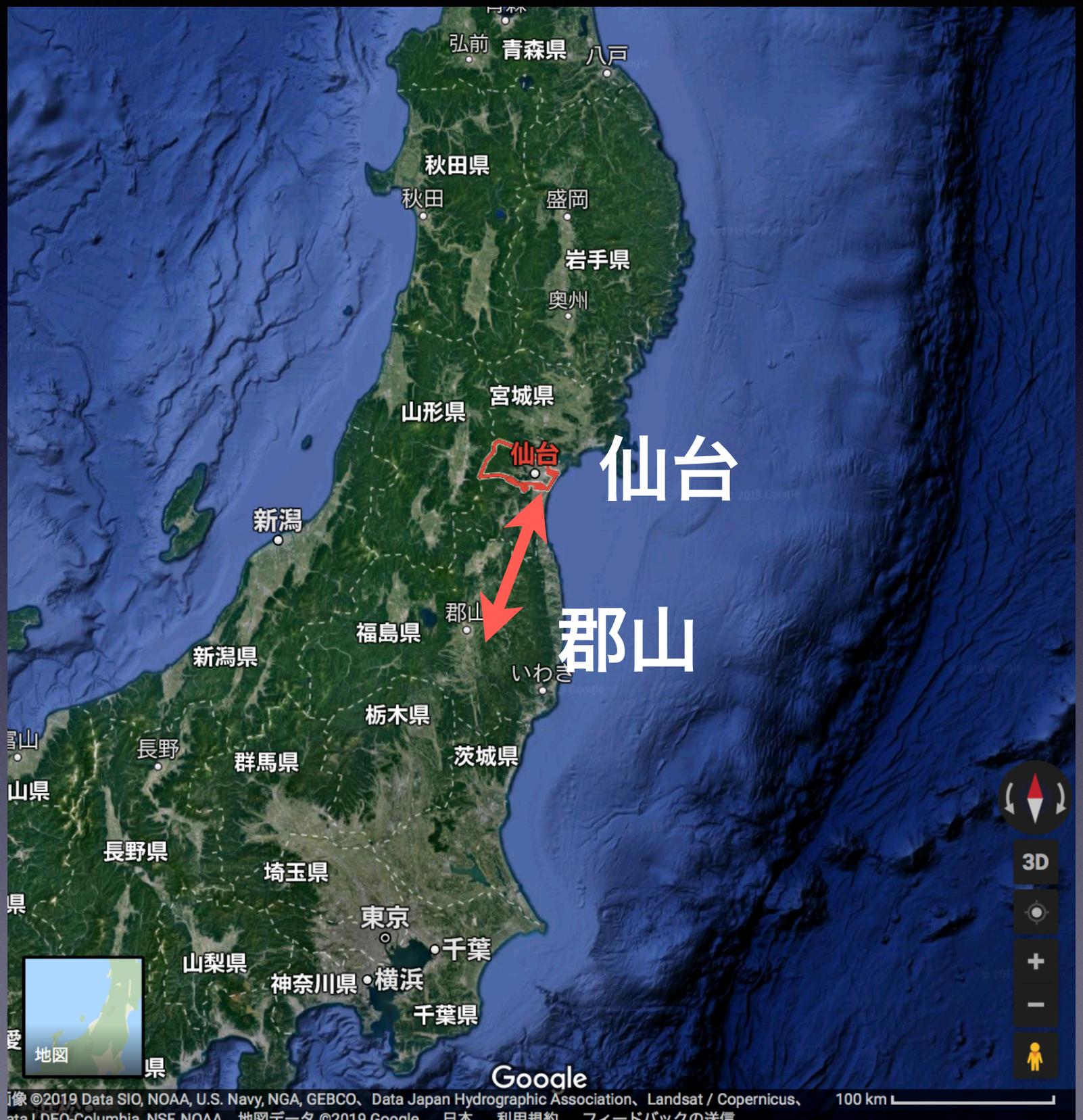


$10\ \mathrm{km} = 10^4\ \mathrm{m} = 10^6\ \mathrm{cm}$

半径
10 km



$100\ km = 10^5\ m = 10^7\ cm$



Google Map

1,000 km = 10^6 m = 10^8 cm



10,000 km = 10^7 m = 10^9 cm



10,000 km = 10^7 m = 10^9 cm

「かぐや」が捉えた
「満地球の出」



地球の半径＝6,400 km

月の半径＝1,700 km

©JAXA/NHK

10万km = 10^8 m = 10^{10} cm

火星から見た
地球と月

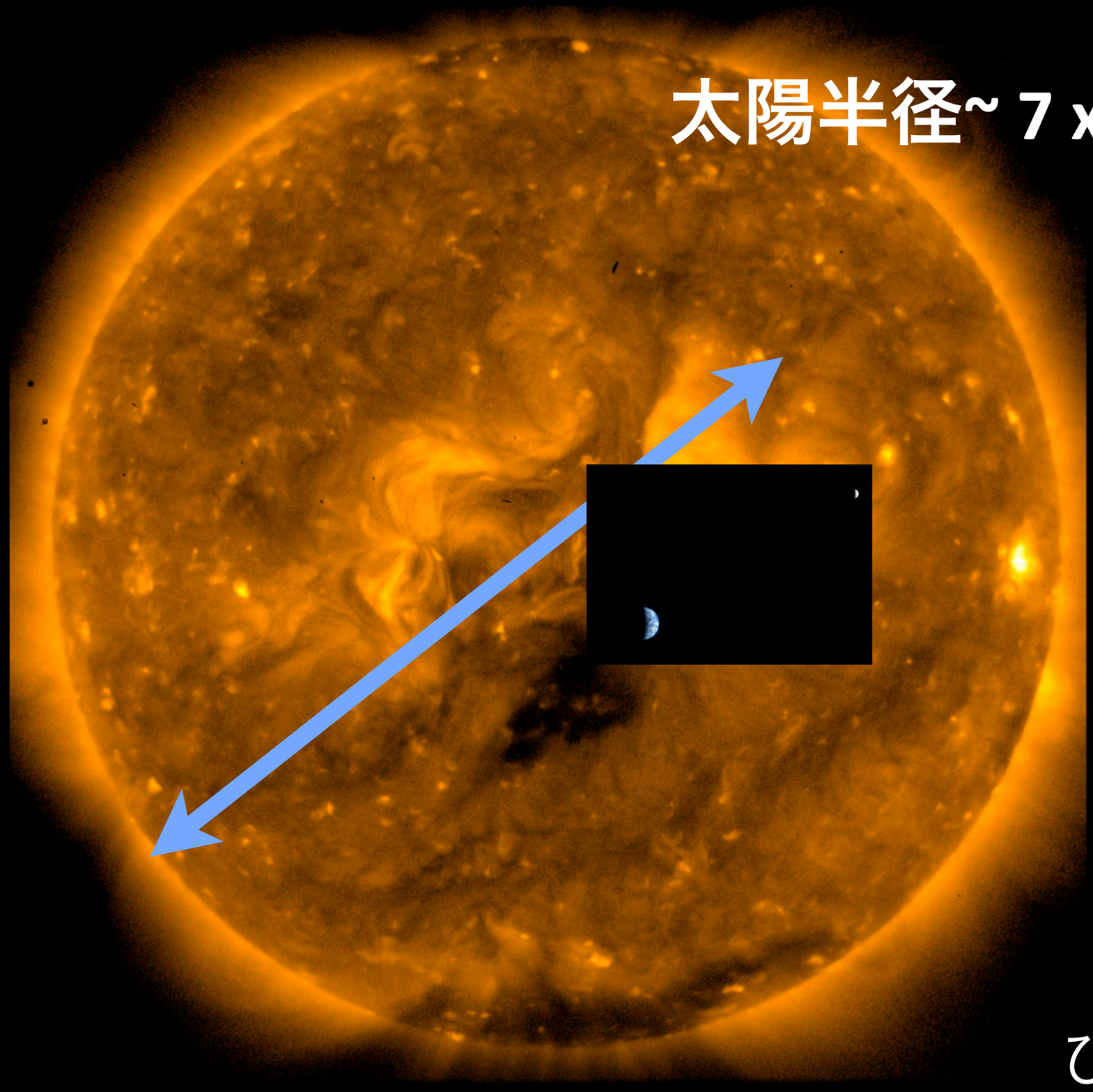
太陽の光

地球から月までの**距離**
38万km

NASA: Mars Reconnaissance Orbiter

100万 km = 10^9 m = 10^{11} cm

太陽半径~ 7 x 10^{10} cm

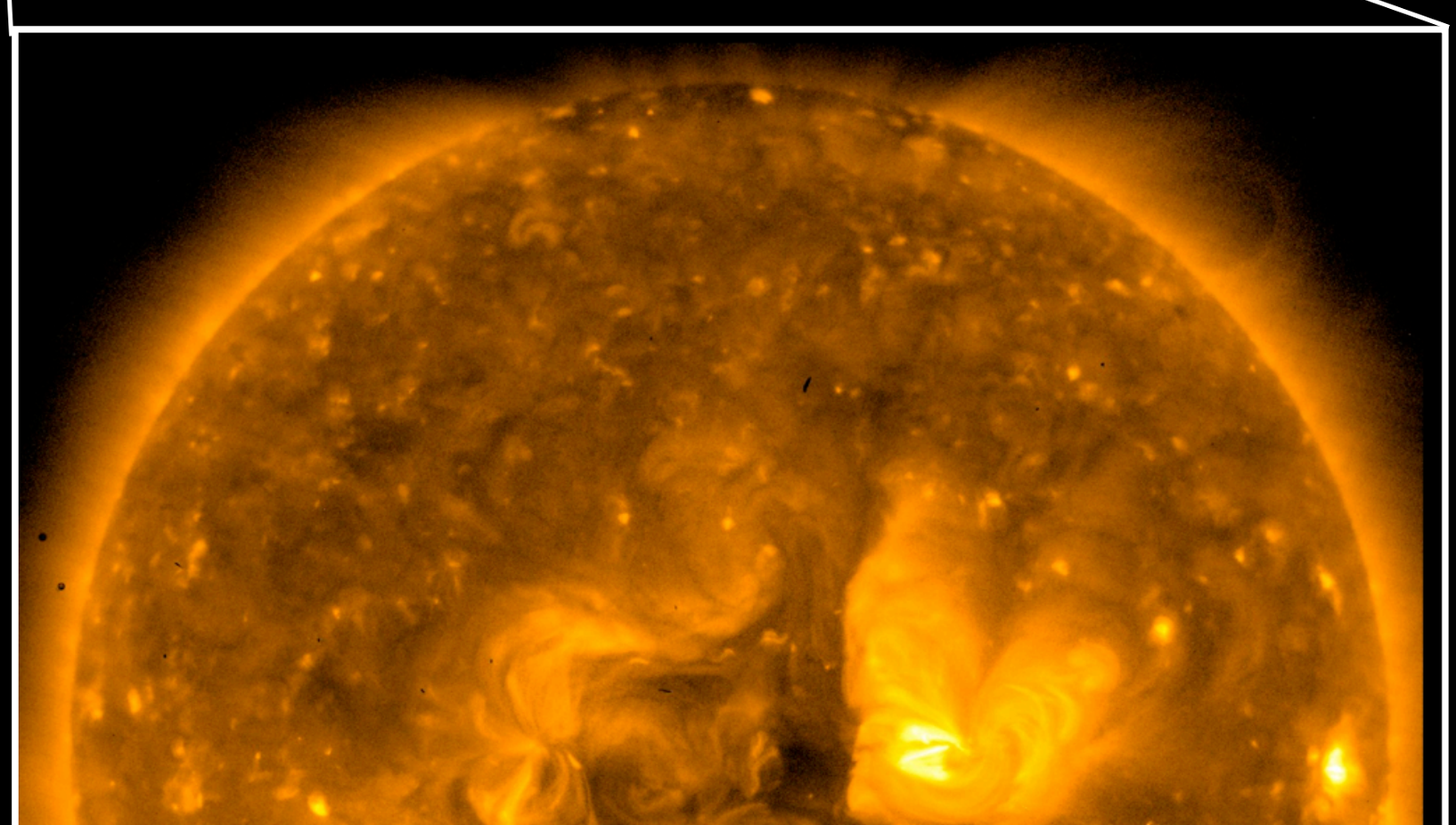


ひので衛星

1000万~1億km (10^{10}-10^{11} m = 10^{12}-10^{13} cm)

地球から太陽までの距離 = 1天文単位
1億5000万km (約10^{11} m = 10^{13} cm)

太陽の直径
約10^{9} m = 10^{11} cm



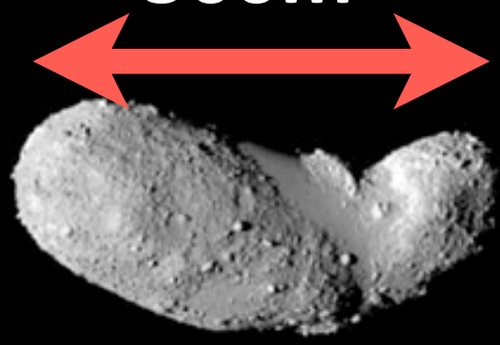
地球の直径
約10^{7} m = 10^{9} cm



10億km = 10^{12} m = 10^{14} cm

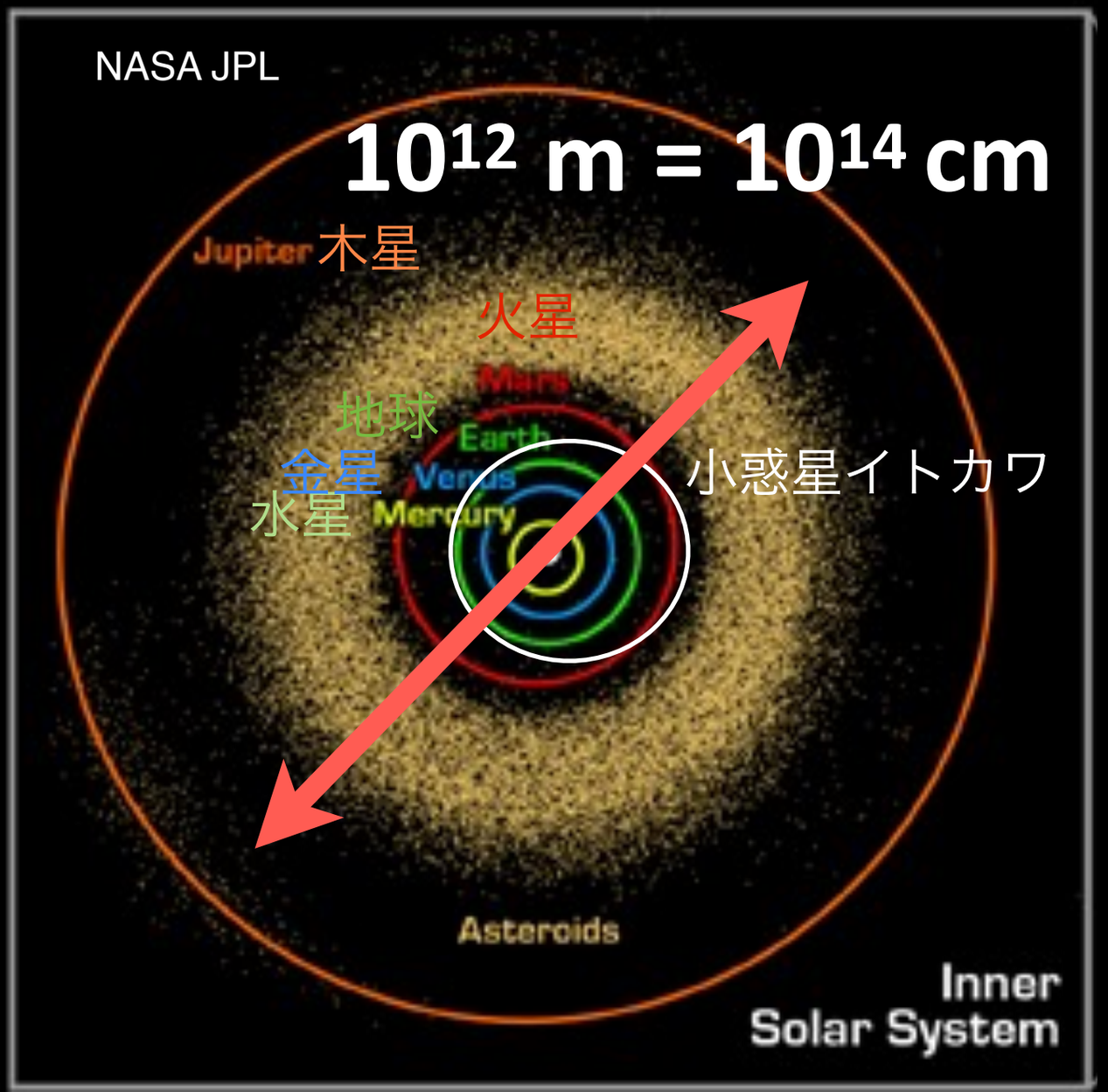


はやぶさ
(総飛行距離 約50億km
= 5 x 10^{12} m = 5 x 10^{14} cm)



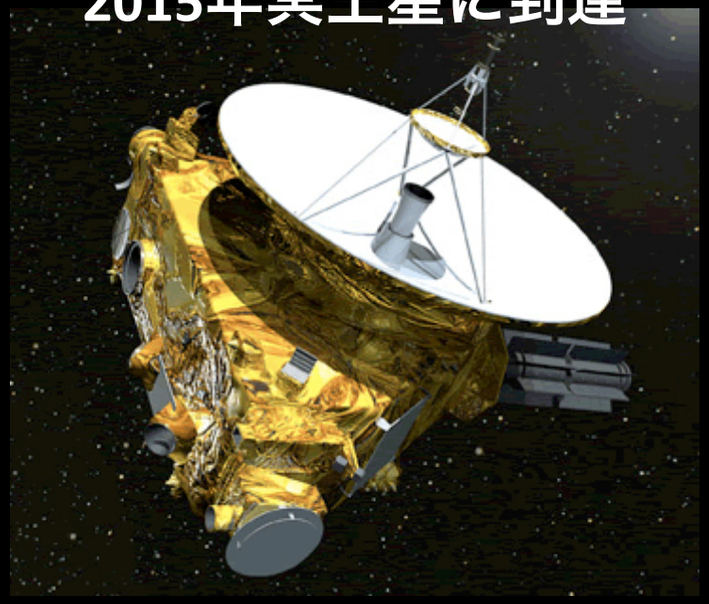
小惑星イトカワ

太陽系の内側



100億km = 10^{13} m = 10^{15}cm

ニューホライズンズ
2015年冥王星に到達



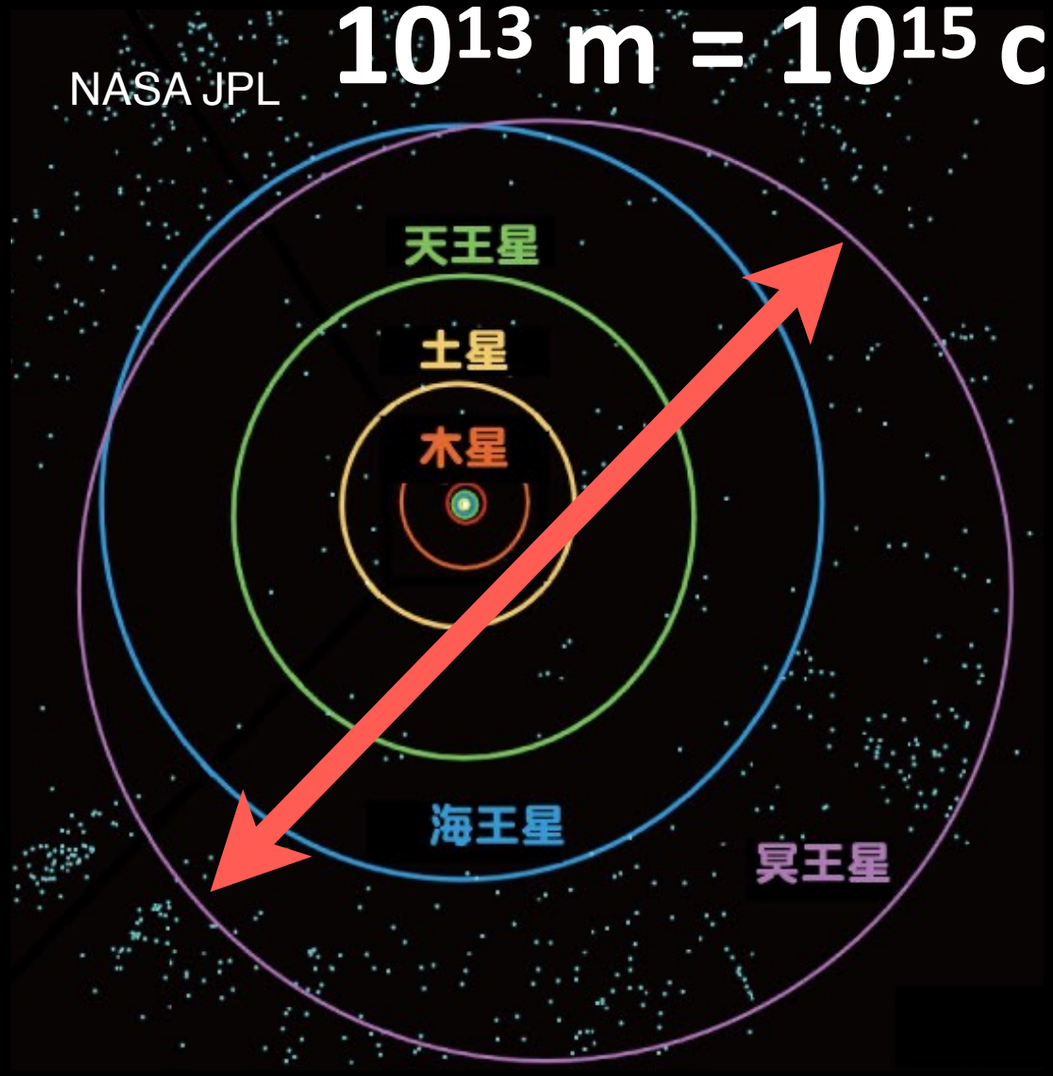
ニューホライズンズが
捉えた冥王星の姿



半径
1000 km = 10^{6} m = 10^{8} cm

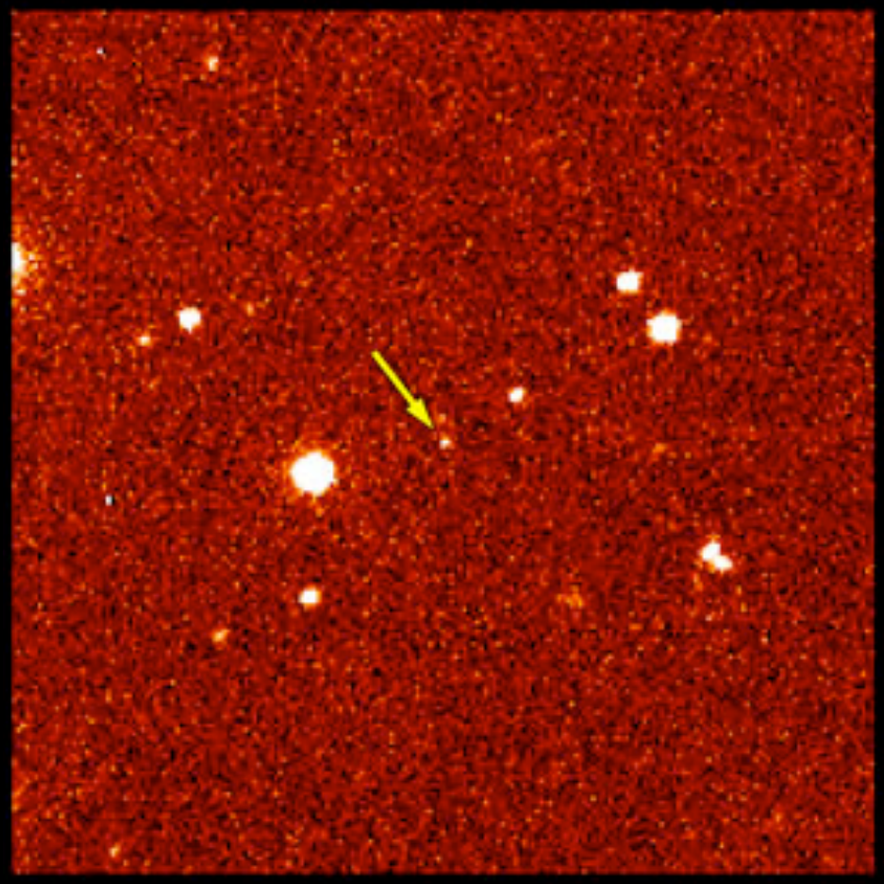
太陽系の外側

10^{13} m = 10^{15} cm

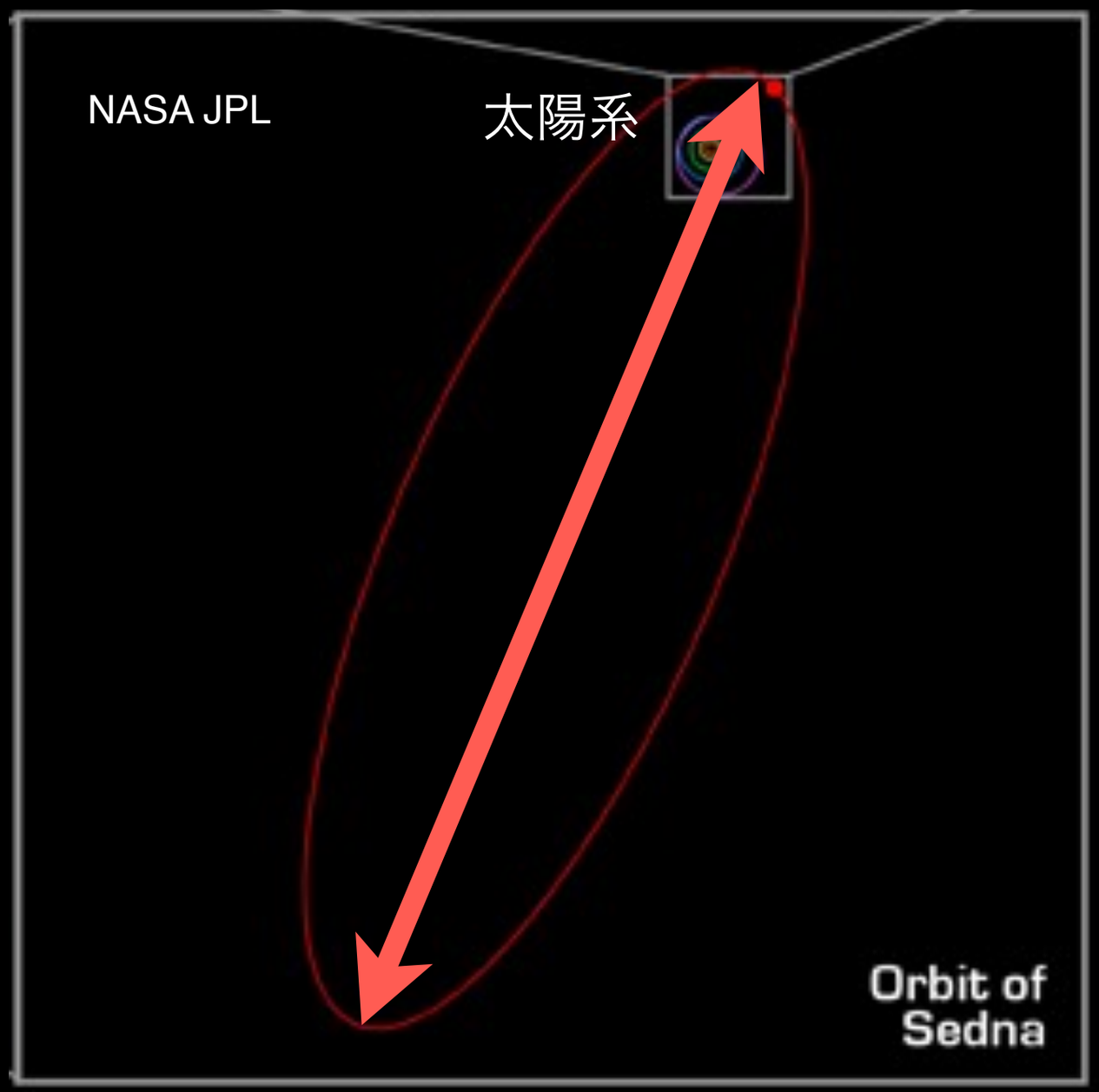


1000億km = 10^{14} m = 10^{16} cm

太陽系
最遠の天体

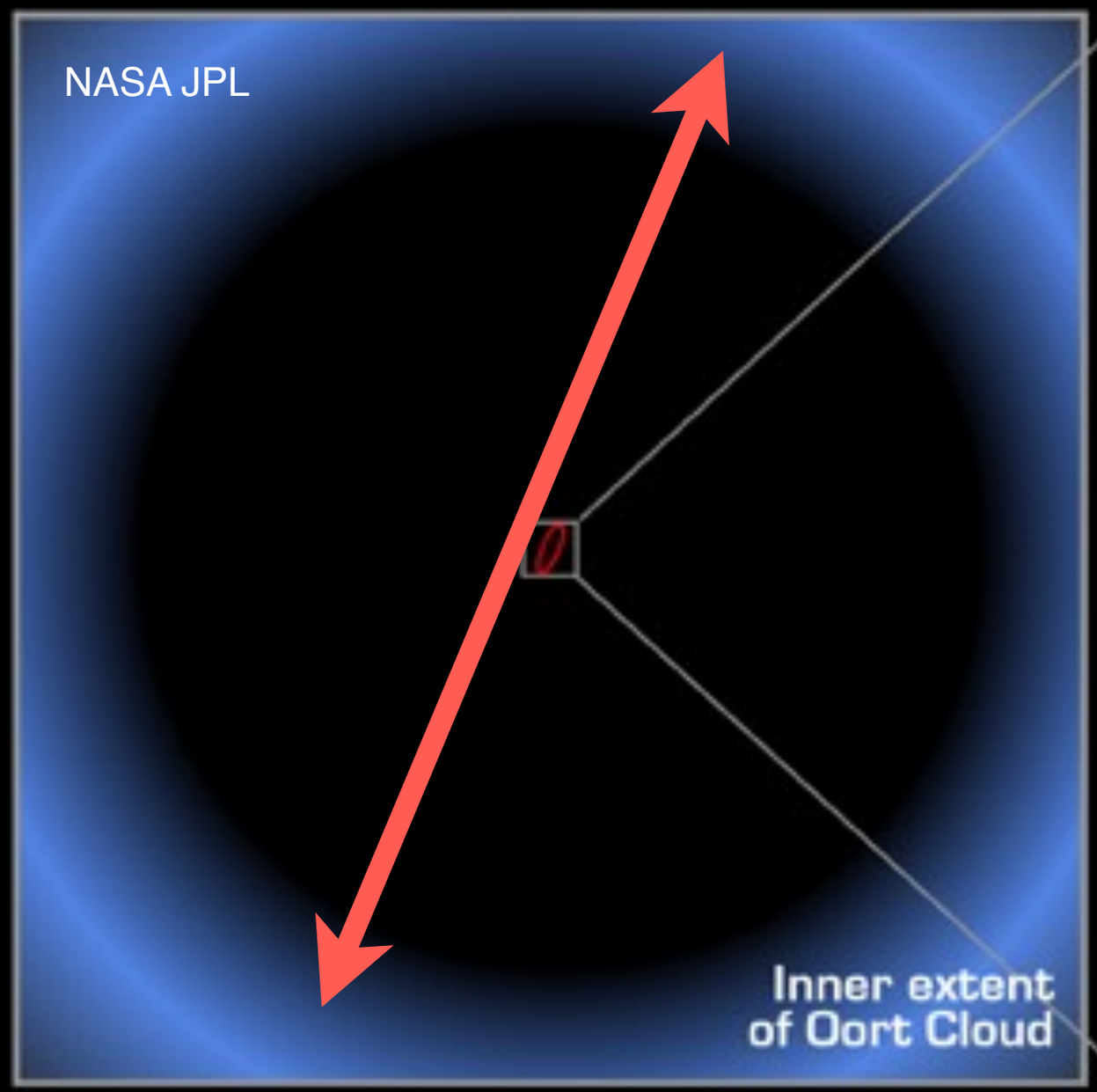


小惑星セドナ
(直径1800km)

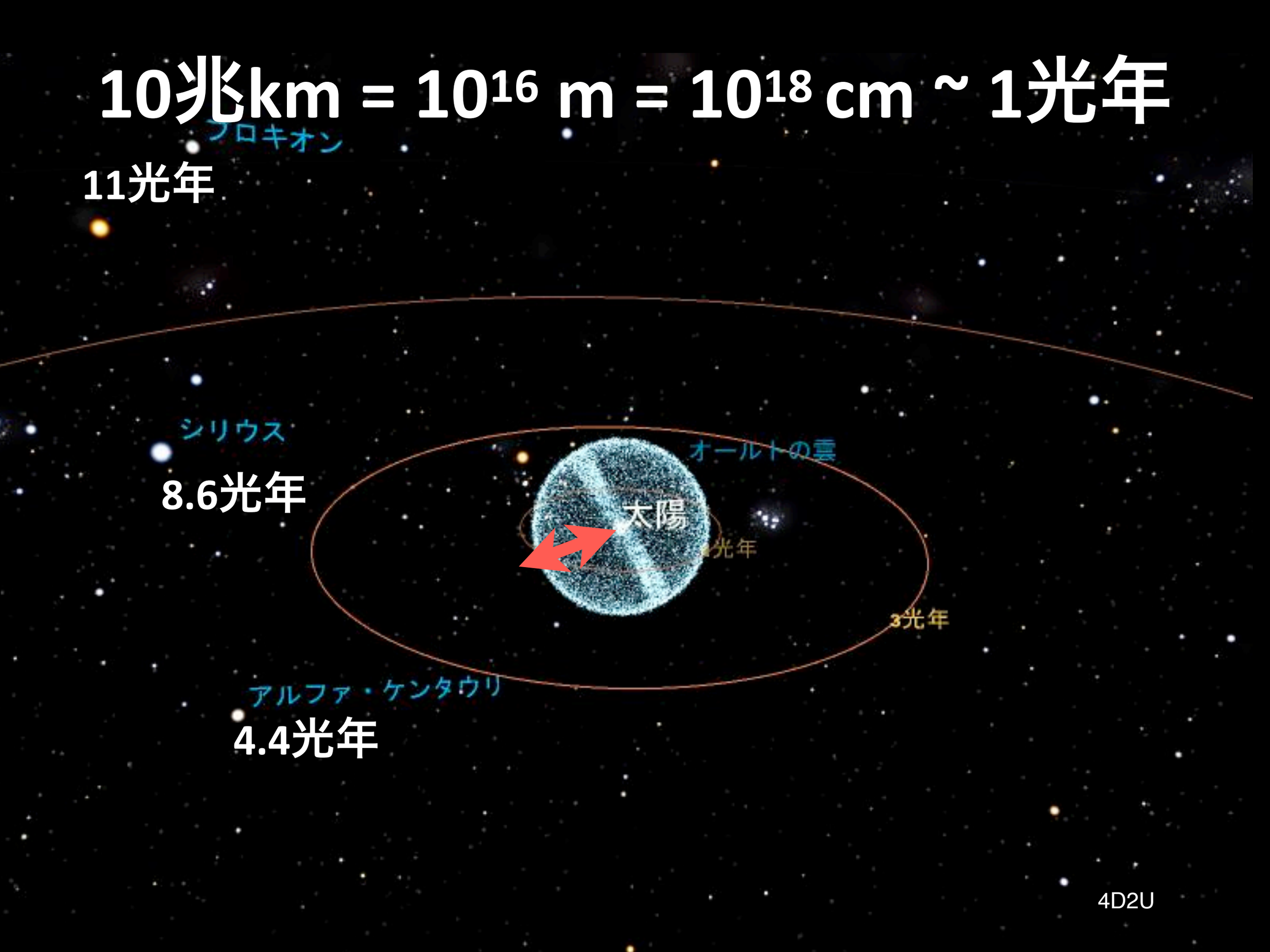


1兆 km = 10^{15} m = 10^{17} cm

太陽系の「端っこ」



10兆km = 10^{16} m = 10^{18} cm ~ 1光年



パーセク (pc): 天文学で使われる距離の単位

1 pc: 「年周視差」が1秒角となる距離



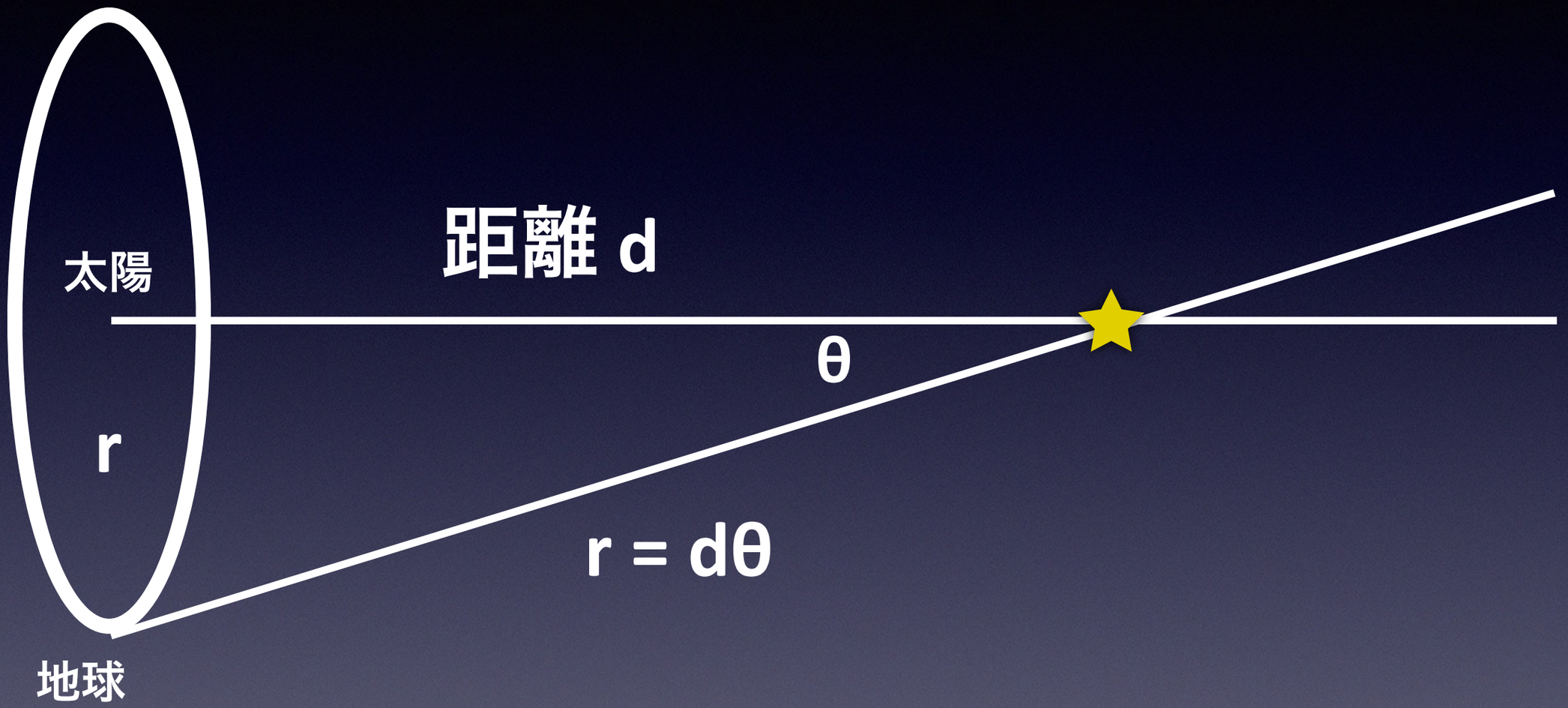
パーセク (pc): 天文学で使われる距離の単位

1 pc: 「年周視差」が1秒角となる距離



パーセク (pc): 天文学で使われる距離の単位

1 pc: 「年周視差」が1秒角となる距離



1 秒角 = (1/3600.0 x π/180) ~ 4.85 x 10^{-6}ラジアン

d = r/θ = 1.5 x 10^{13} / 4.85 x 10^{-6} ~ 3.1 x 10^{18} cm ~ 3.3光年

(3.085678 x 10^{18} cm)

10^{17} m = 10^{19} cm ~ 10光年

~ 3 pc

プロキオン

11光年

距離

シリウス

8.6光年

オールトの雲

太陽

4光年

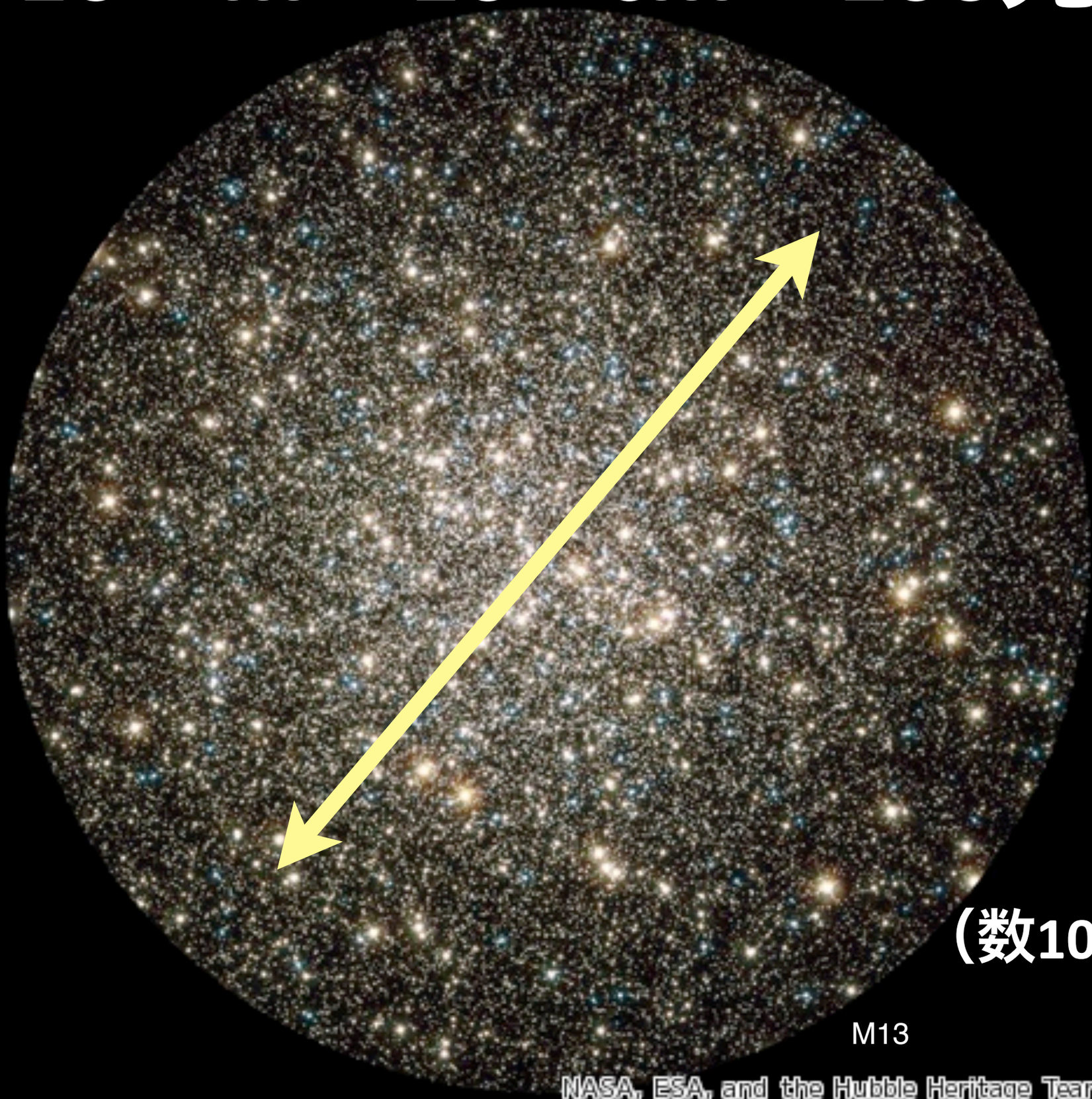
3光年

アルファ・ケンタウリ

4.4光年

4D2U

10^{18} m = 10^{20} cm ~ 100光年 ~ 30 pc



球状星団
（数10万の星の大集団）

M13

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

10^{19} m = 10^{21} cm ~1000 光年　~ 300 pc

「銀河」
数千億個の星の集まり

アンドロメダ銀河

厚さ約1000光年
(10^{19} m = 10^{21} cm)

NASA

地球から見る「銀河」

厚さ約1000光年
(10^{19} m = 10^{21} cm)

NASA

$10^{20\text{-}21}$ m = $10^{22\text{-}23}$ cm (1-10万光年)

銀河の直径
約10万光年
(10^{21} m = 10^{23} cm)
~ 30 kpc

~ 2.5万光年
~ 8500 pc = 8.5 kpc
太陽系

私たちの銀河を
真上から見た
想像図

NASA JPL

10^{22} m = 10^{24} cm ~100万光年

~ 300 kpc

銀河群
(十数個の
銀河の集まり)

NGC 7711
Kent Biggs

10^{22} m = 10^{24} cm ~100万光年

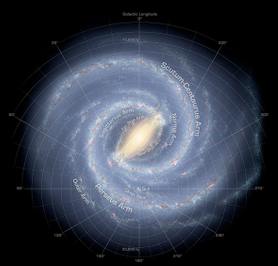


約200万光年
（2×10^{22} m = 2×10^{24} cm）

~ 700 kpc

アンドロメダ銀河

距離



私たちの銀河

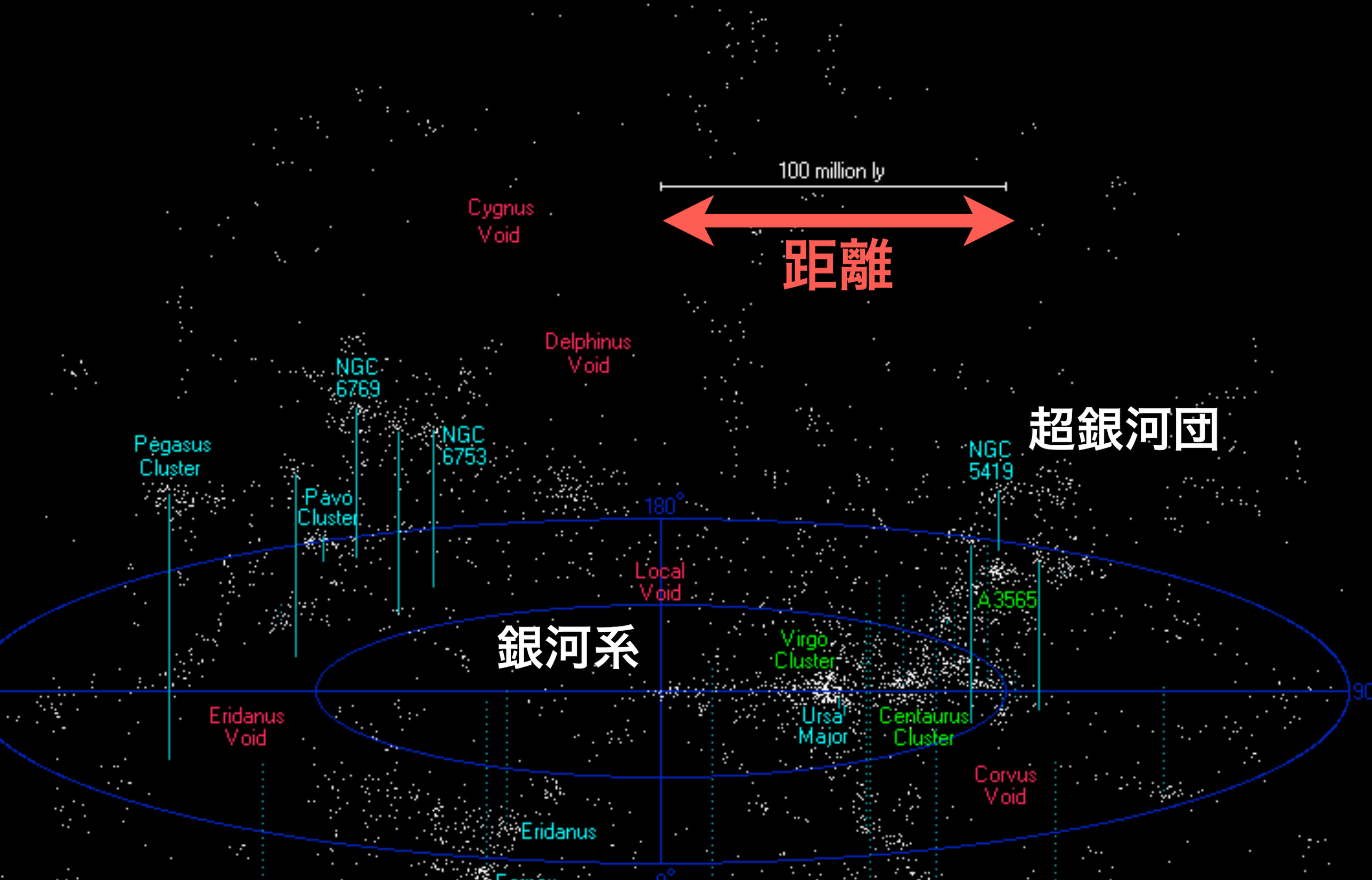
10^{23} m = 10^{25} cm ~ 1000万光年 ~ 3 Mpc

銀河団

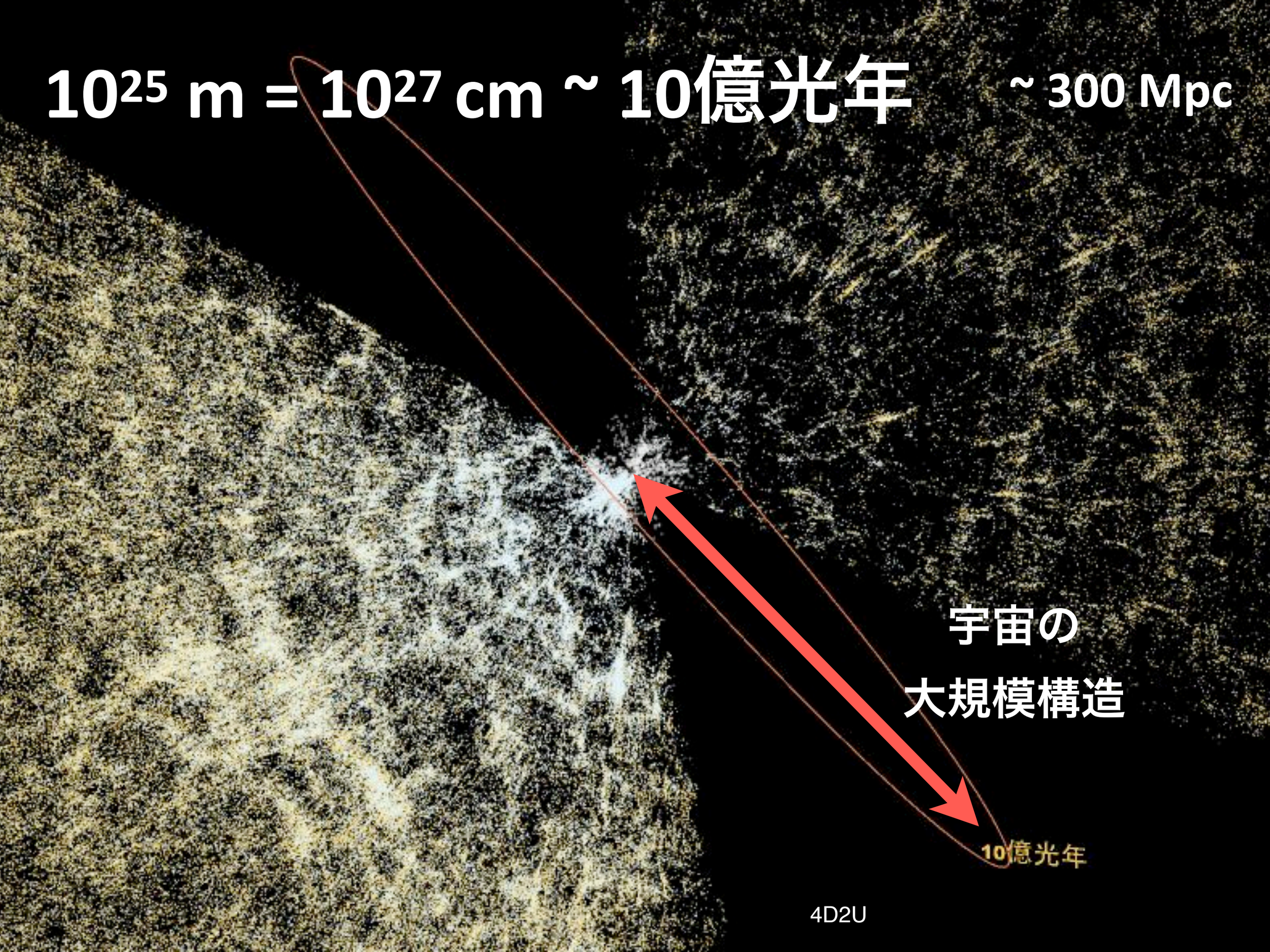
Virgo cluster

10^{24} m = 10^{26} cm ~ 1億光年

~ 30 Mpc



10^{25} m = 10^{27} cm ~ 10億光年 ~ 300 Mpc

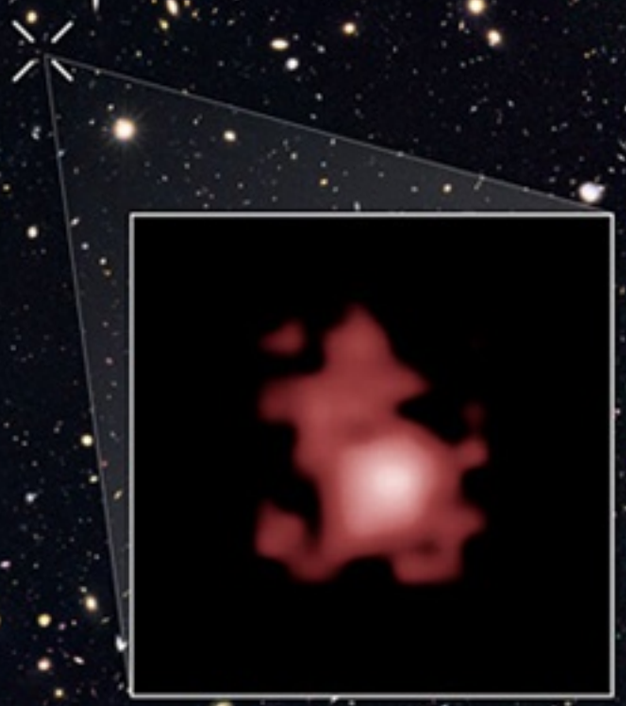


10^{26} m = 10^{28} cm ~100億光年　~ 3 Gpc

最遠の銀河までの距離

約130億光年

(1.3×10^{26} m = 1.3×10^{28} cm)



NASA/ESA/P. Oesch

宇宙の「果て」

宇宙の年齢

約138億年

Section 1.
宇宙のスケール

1.1 宇宙のスケール (長さ)

1.2 宇宙のスケール (質量)

太陽

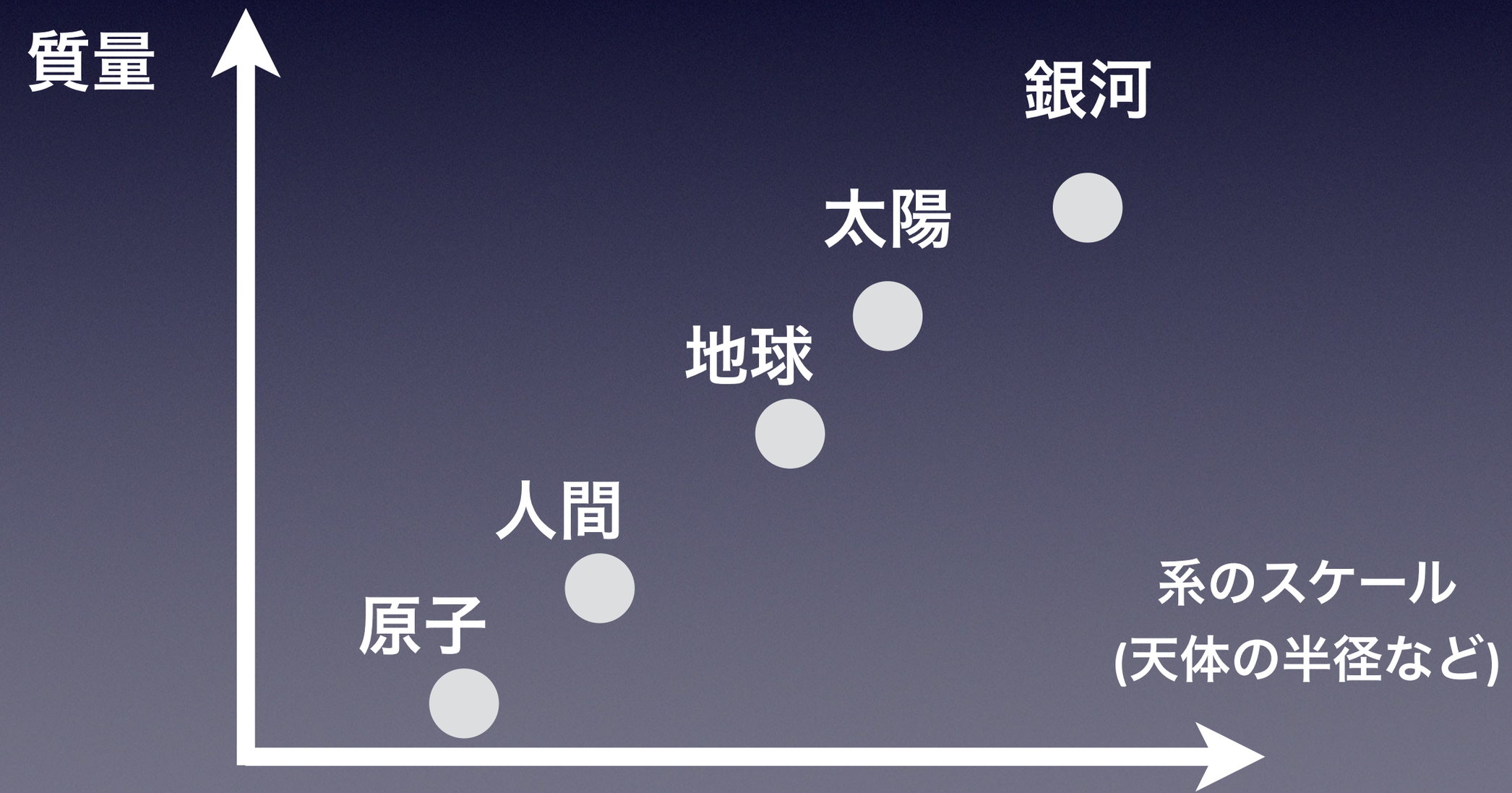


太陽の質量は？

(C) JAXA/ISAS

レポート課題 1b

- 様々な宇宙の天体と身の回りものに関して
  スケールと質量を調べて2次元平面でまとめる
- この図から分かることを考察・議論する



レポート課題 1c

- 太陽と地球の距離 (1天文単位)は
  どうすれば測定できるかを考えて/調べて、説明する
  (原理だけではなく、実際に見積もってみる)

- 見積もった距離を使って、太陽の質量を推定する

まとめ

- 宇宙のスケールは日常のスケールと
  大きく異なる
- 概算をして、桁で感覚を掴むのが重要
- そこではたらく物理の原理は
  地球上で分かっているものと全く同じ
- 天体物理学：物理を使って宇宙の天体を理解する