

# 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 37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 (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

$$= 4 \times 10^{26} \text{ J/s (= W)} = 4 \times 10^{33} \text{ erg/s}$$

(C) JAXA/ISAS

x めっちゃ明るい ==> **実感できるように概算**

日本の一年の消費電力 =  $2 \times 10^{19} \text{ J} = 2 \times 10^{26} \text{ erg}$

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??**

**=> 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%**

- 試験は対面で行う予定 (複数部屋を使用)
- 自分で書いたノートとレポートは持ち込み可

- **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60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/ap2020/>

## 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：直接質問する、Zoomの挙手機能を使う、チャットに書き込む
- それ以外：Google Classroomで随時受け付けます (TA土本さん+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書き込んで、  
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？





生活のスケール → 宇宙のスケール



10 km =  $10^6$  cm

半径  
10 km



# 100 km = 10<sup>7</sup> cm



Google Map

**1,000 km =  $10^8$  cm**



**10,000 km =  $10^9$  cm**





$$10,000 \text{ km} = 10^9 \text{ cm}$$

「かぐや」が捉えた  
「満地球の出」



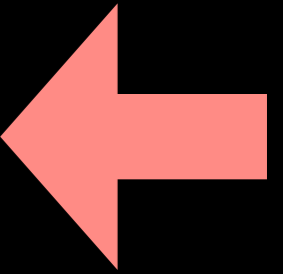
地球の半径 = 6,400 km

月の半径 = 1,700 km

$$10\text{万km} = 10^{10}\text{ cm}$$

火星から見た  
地球と月

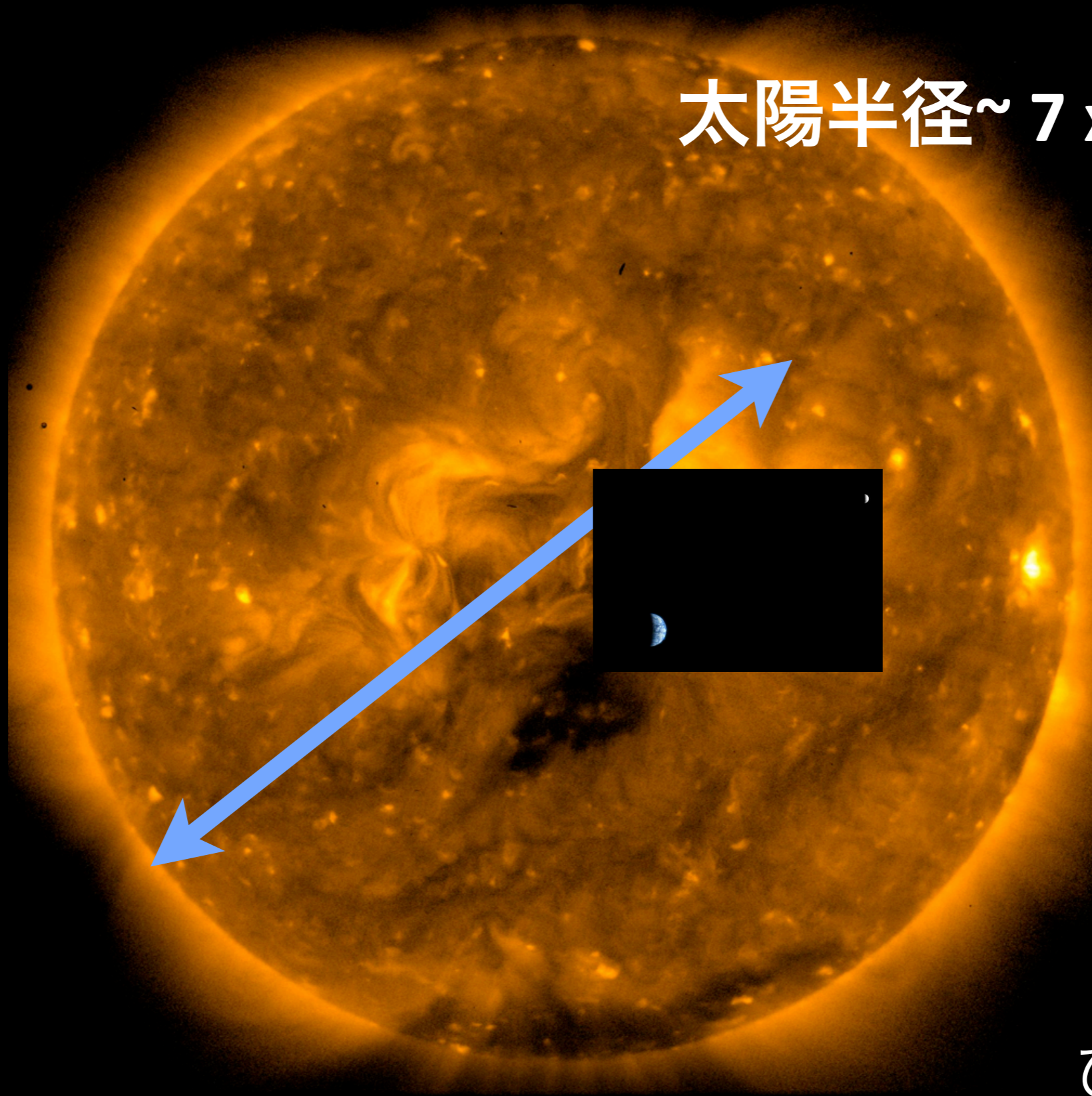
太陽の光



地球から月までの距離  
38万km

100万 km =  $10^{11}$  cm

太陽半径 $\sim 7 \times 10^{10}$  cm

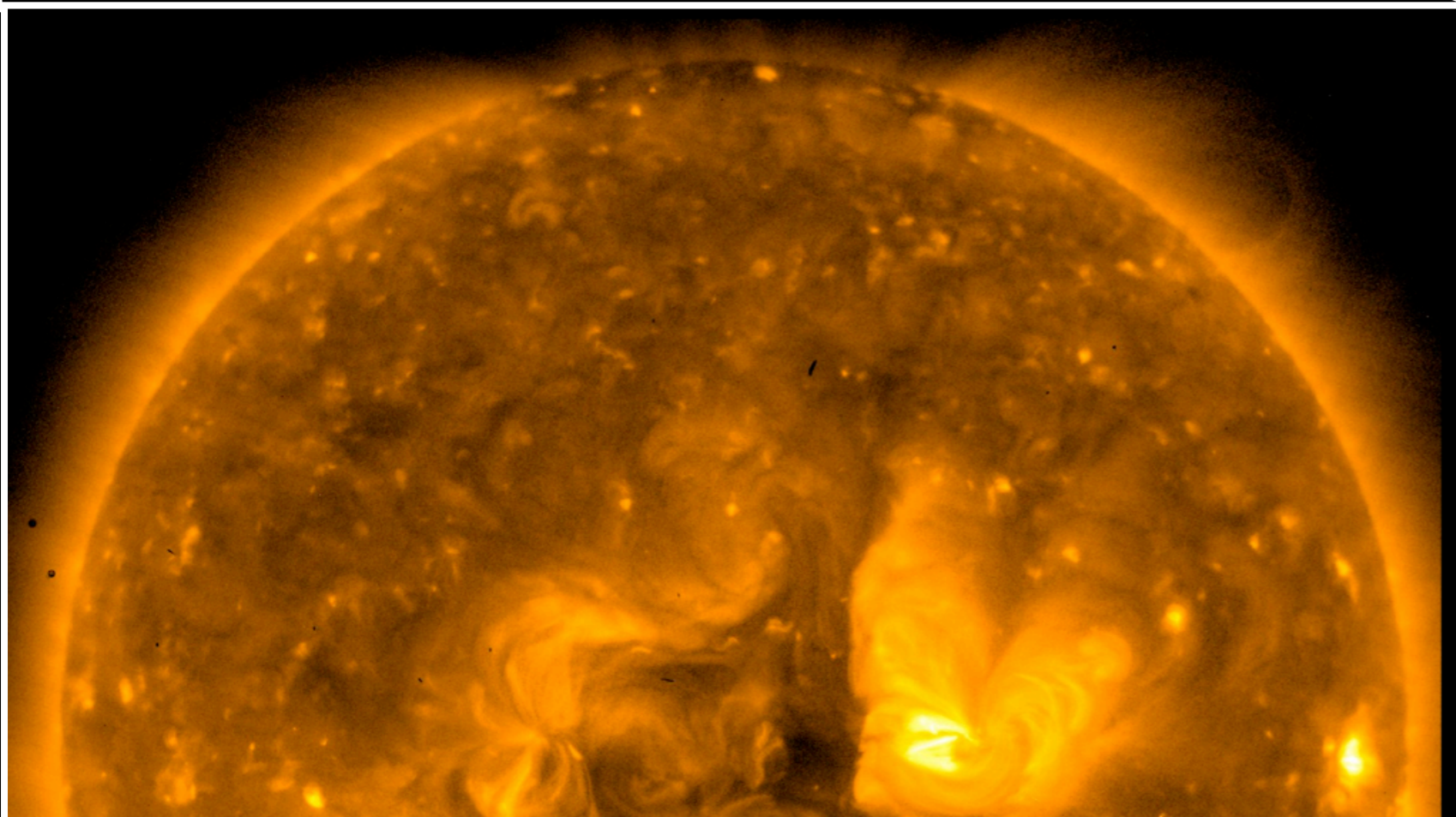


ひので衛星

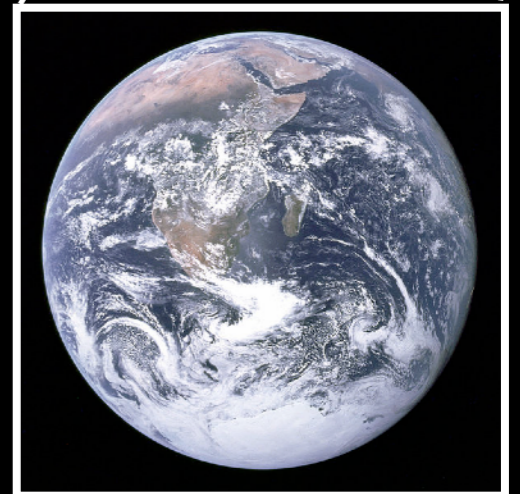
1000万~1億km ( $10^{12}$ - $10^{13}$  cm)

地球から太陽までの距離 = 1天文単位  
1億5000万km ( $1.5 \times 10^{13}$  cm)

太陽の直径  
約 $10^{11}$  cm



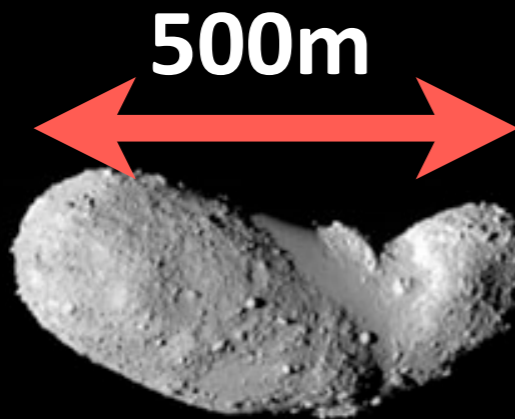
地球の直径  
約 $10^9$  cm



# 10億km = $10^{14}$ cm

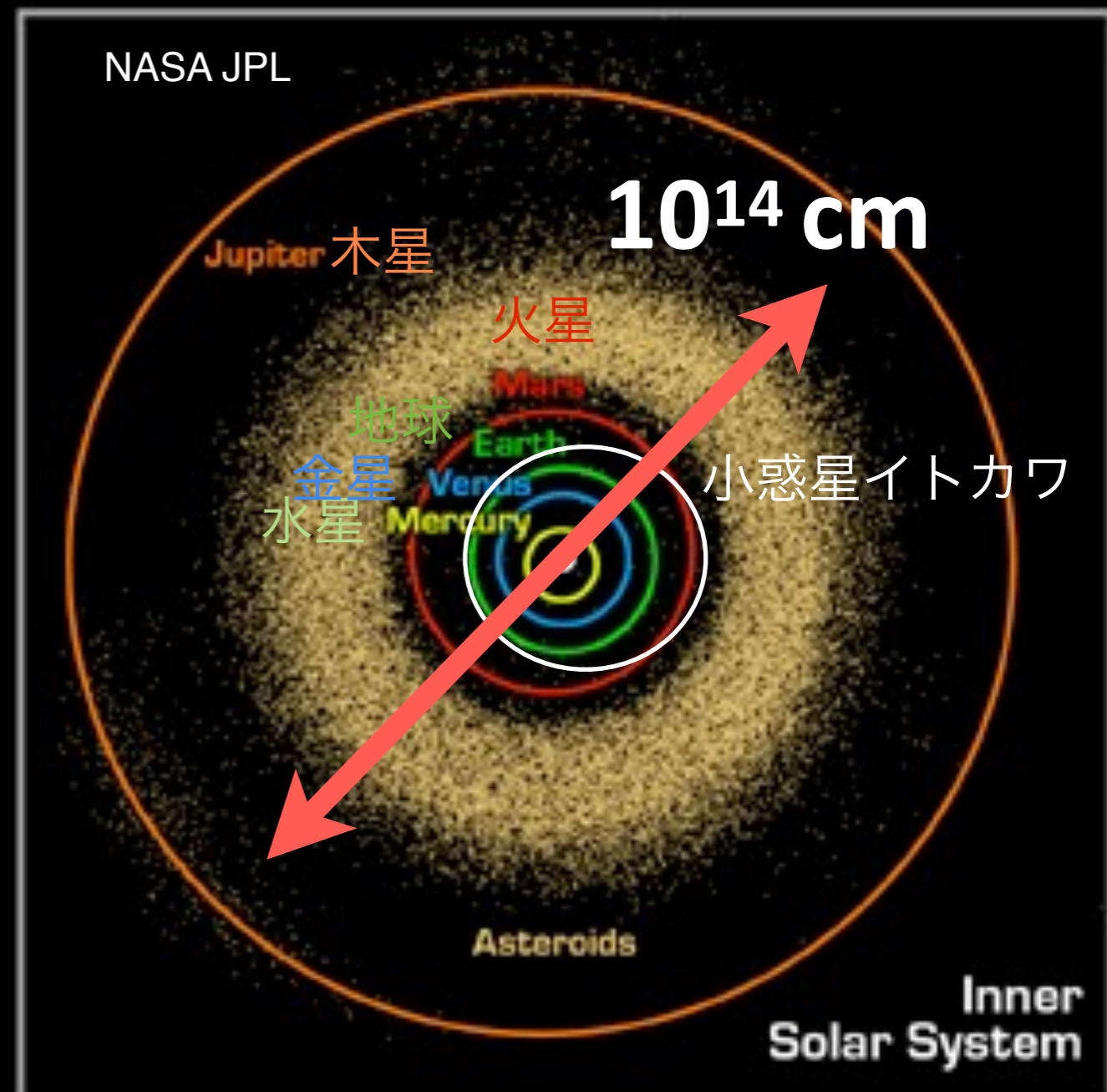


はやぶさ  
(総飛行距離 約50億km  
=  $5 \times 10^{14}$  cm)



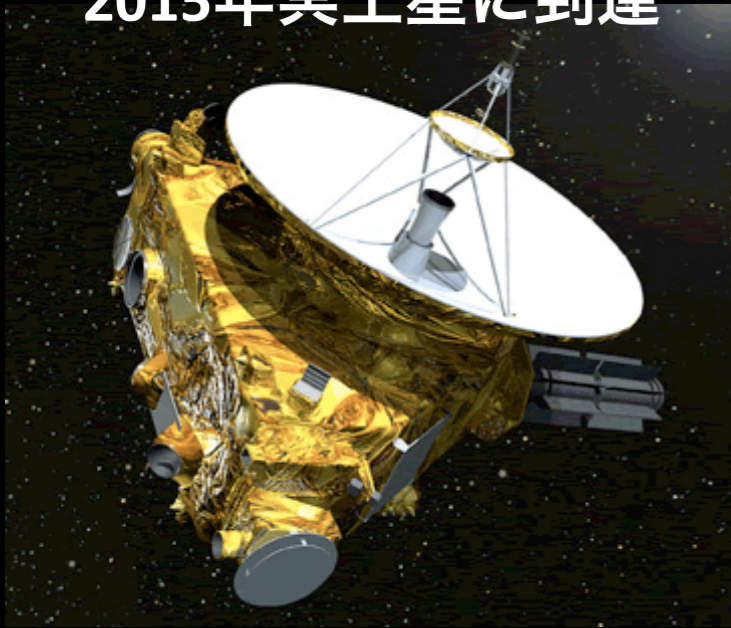
小惑星イトカワ

## 太陽系の内側



# 100億km = $10^{15}$ cm

ニューホライズンズ  
2015年冥王星に到達

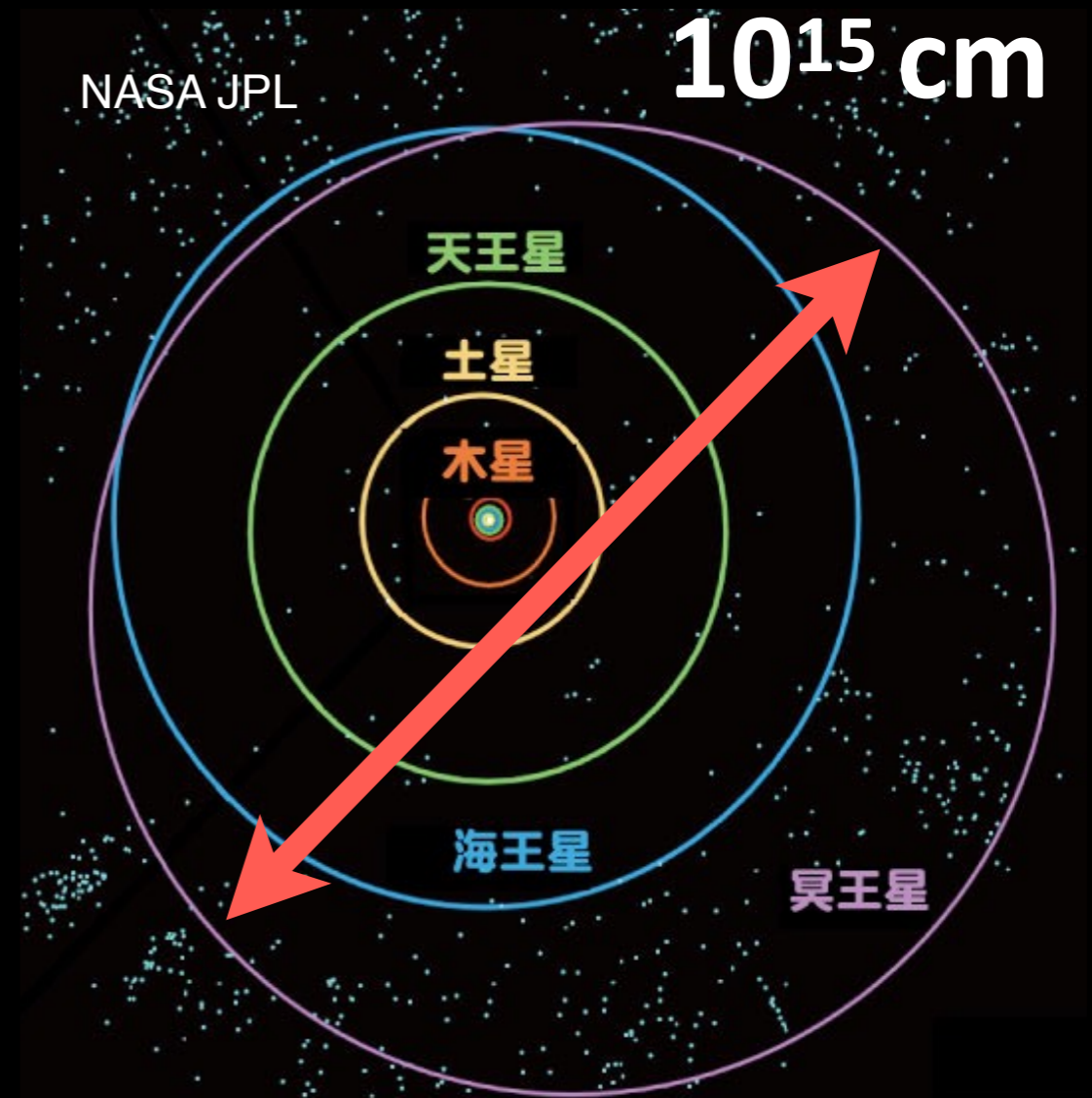


ニューホライズンズが  
捉えた冥王星の姿



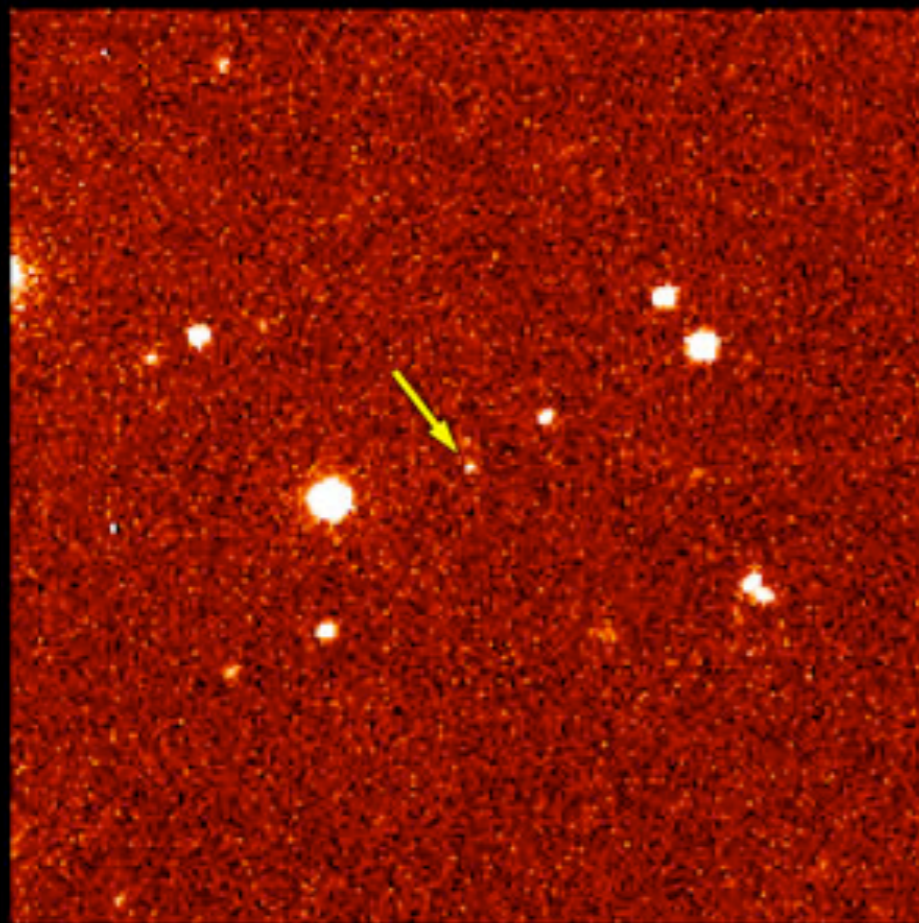
半径  
 $1000 \text{ km} \sim 10^8 \text{ cm}$

## 太陽系の外側



1000億km =  $10^{16}$  cm

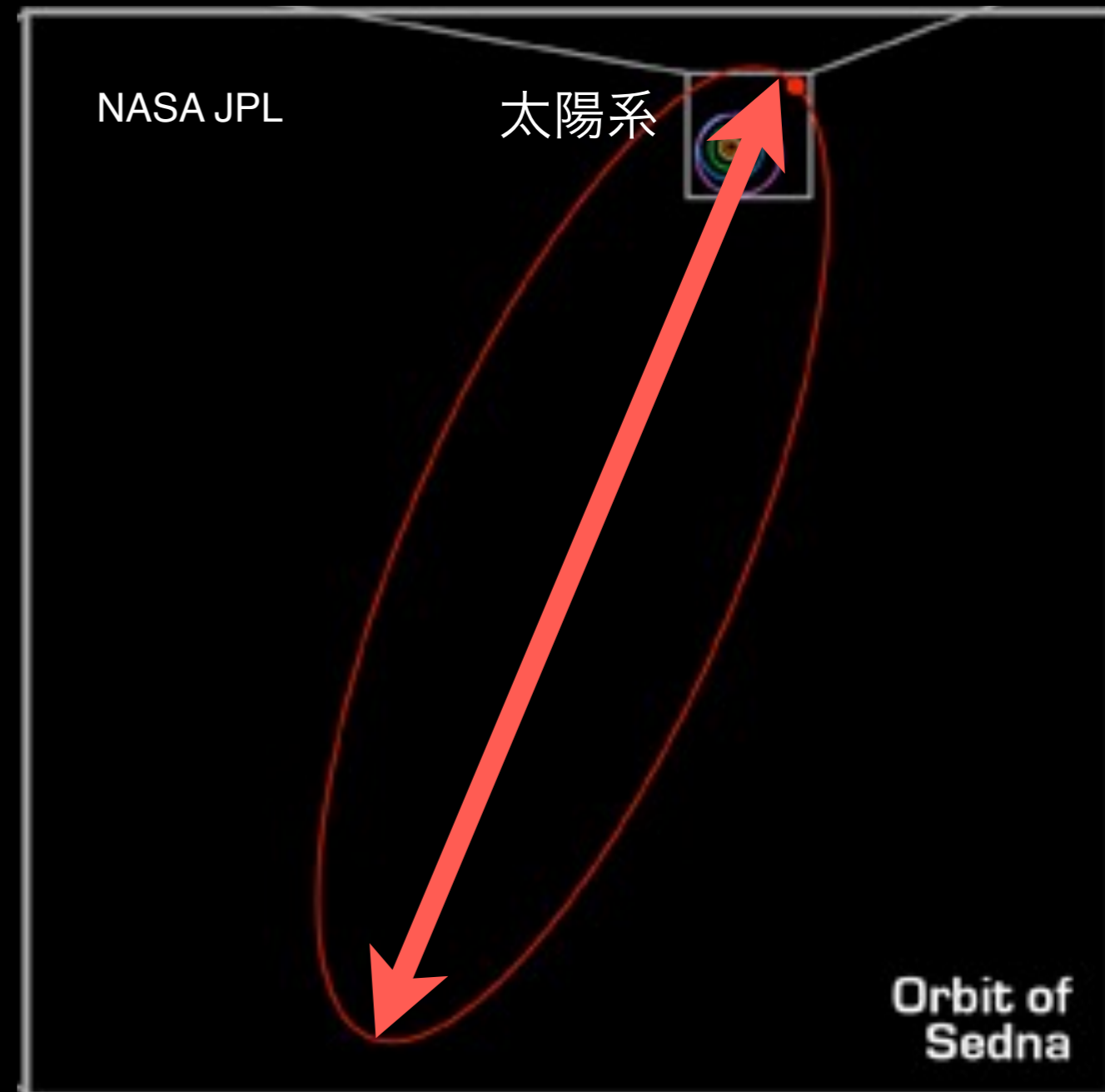
太陽系  
最遠の天体



Nov. 14th, 2003

6:32 (UT)

小惑星セドナ  
(直径1800km)



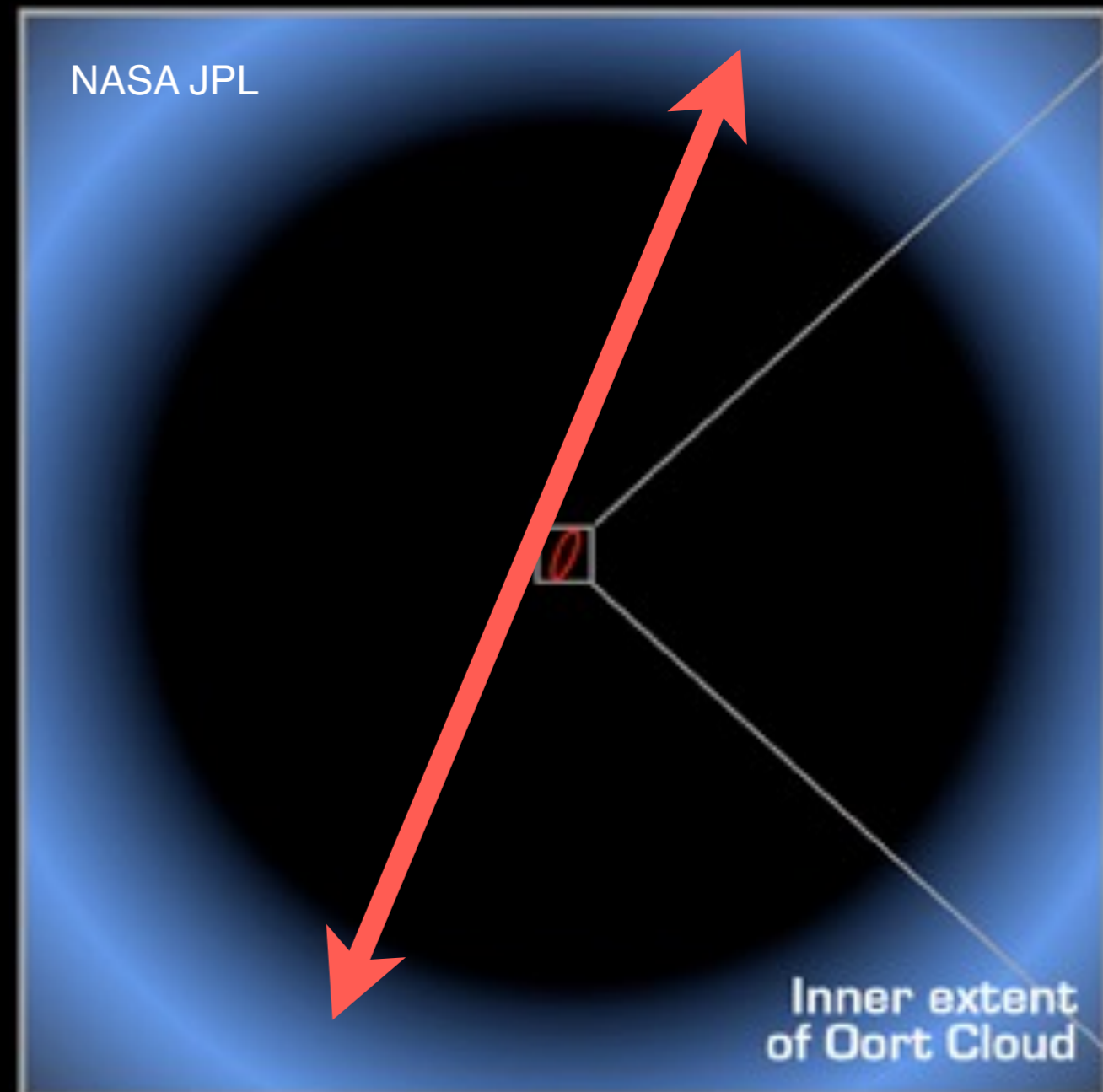
NASA JPL

太陽系

Orbit of  
Sedna

1兆 km =  $10^{17}$  cm

太陽系の「端っこ」





**10兆km =  $10^{18}$  cm ~ 1光年**

プロキオン

**11光年**

シリウス

**8.6光年**

オールトの雲

太陽

4光年

3光年

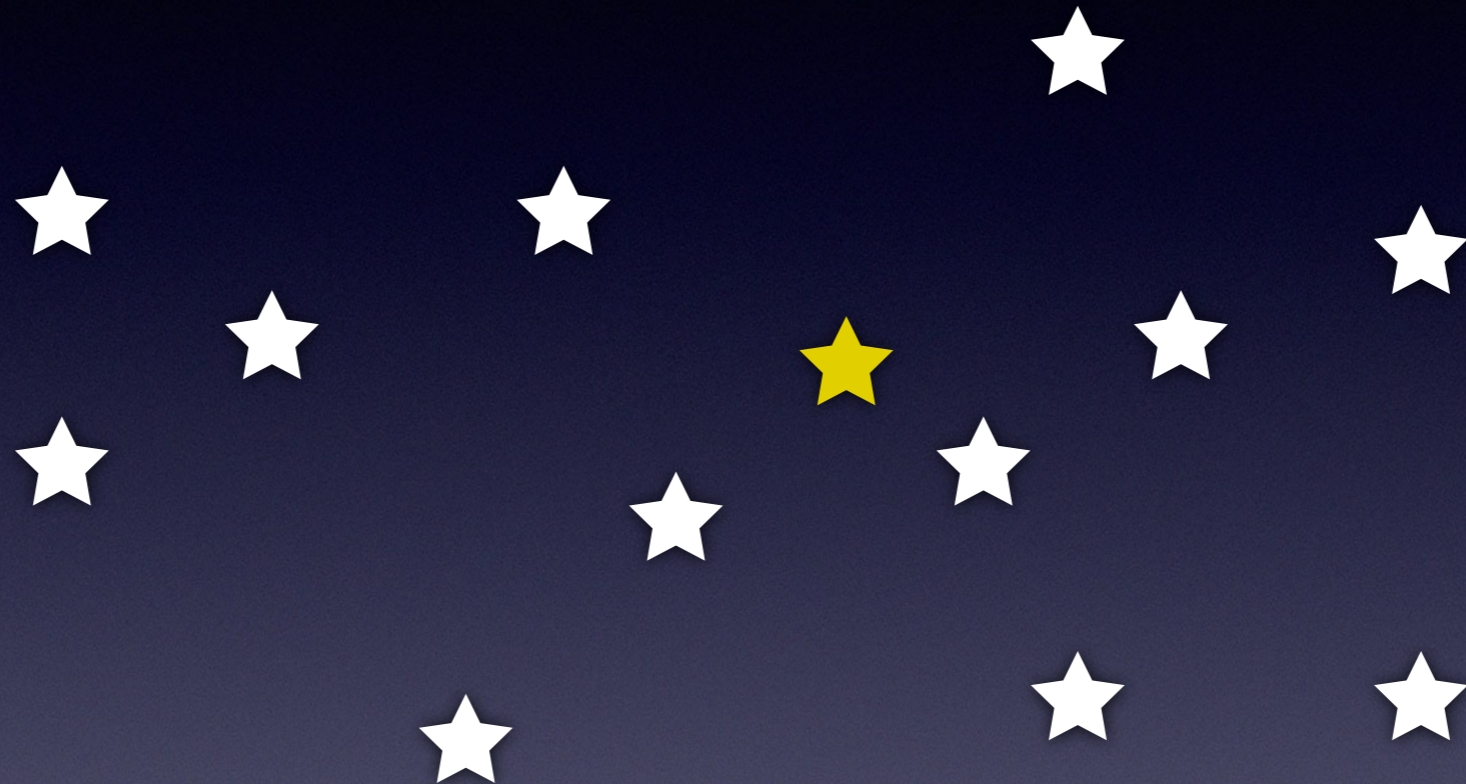
アルファ・ケンタウリ

**4.4光年**

# 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

遠くの星  
近くの星



# 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

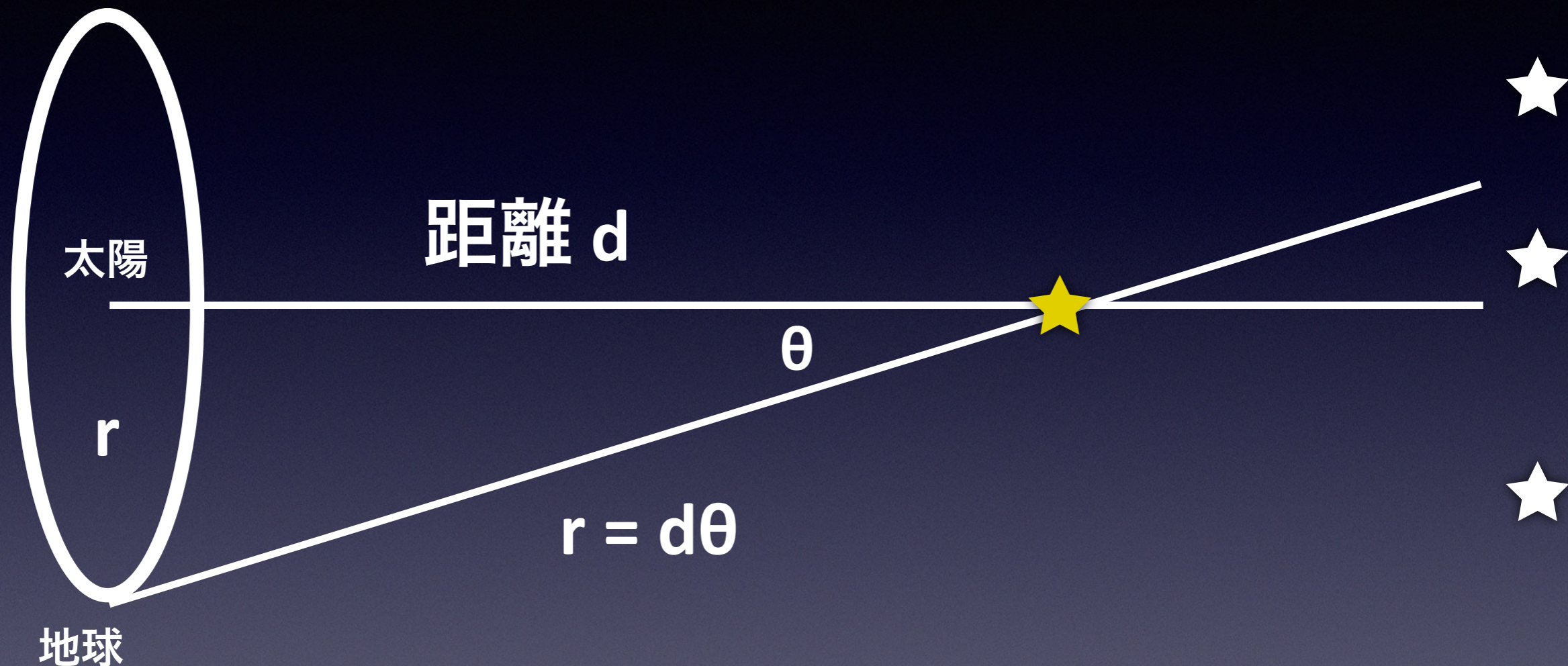
半年後

遠くの星  
近くの星



# 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 =  $(1/3600.0 \times \pi/180) \sim 4.85 \times 10^{-6}$  ラジアン

$d = r/\theta = 1.5 \times 10^{13} / 4.85 \times 10^{-6} \sim 3.1 \times 10^{18} \text{ cm} \sim 3.3 \text{ 光年}$   
( $3.085678 \times 10^{18} \text{ cm}$ )

$10^{19}$  cm ~ 10光年

~ 3 pc

11光年

プロキオン

距離

8.6光年

シリウス

太陽

オールトの雲

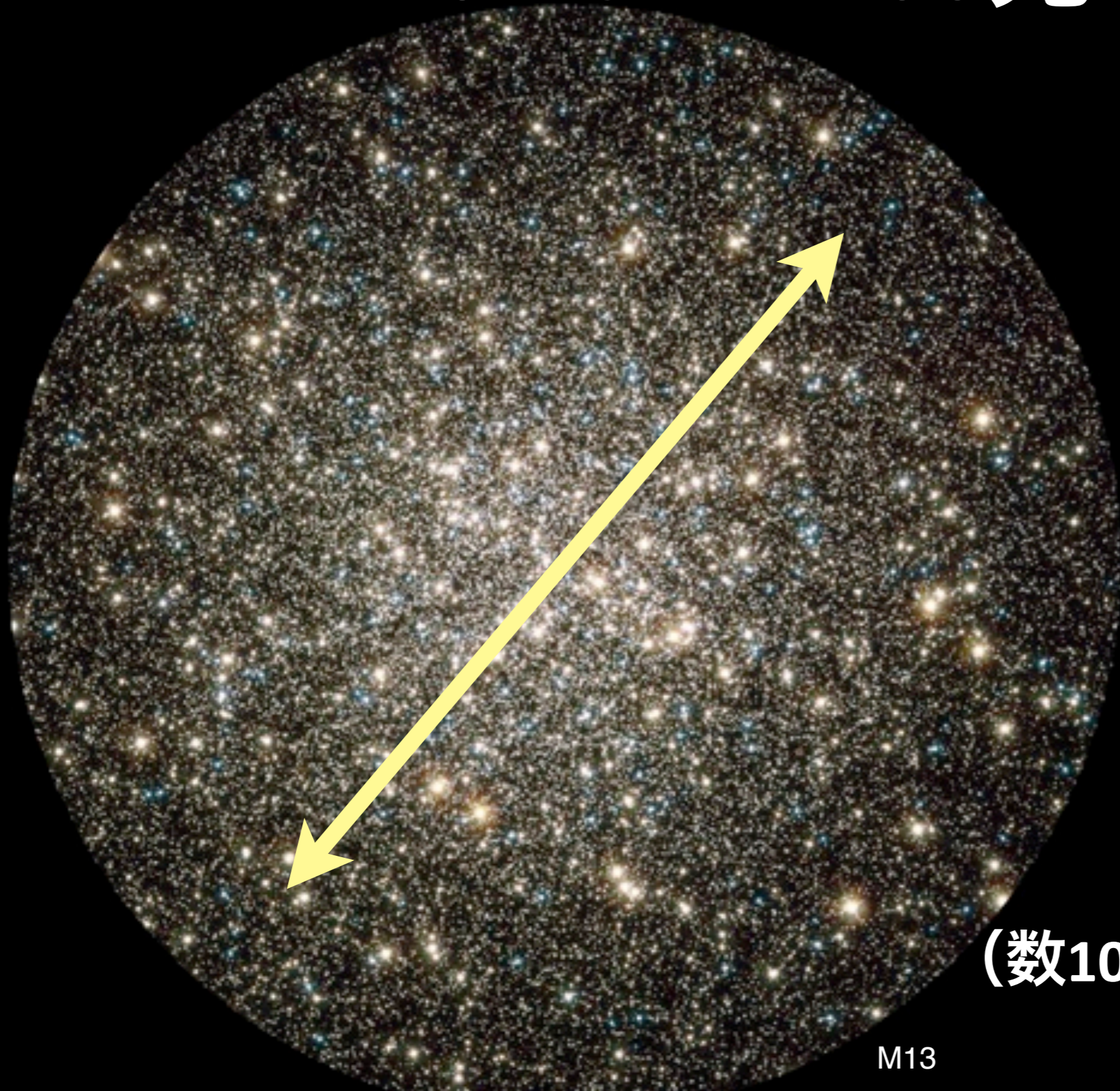
4光年

3光年

4.4光年

アルファ・ケンタウリ

$10^{20}$  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)

$10^{21}$  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  
( $10^{21}$ cm)

# 地球から見る「銀河」



厚さ約1000光年  
( $10^{21}$ cm)

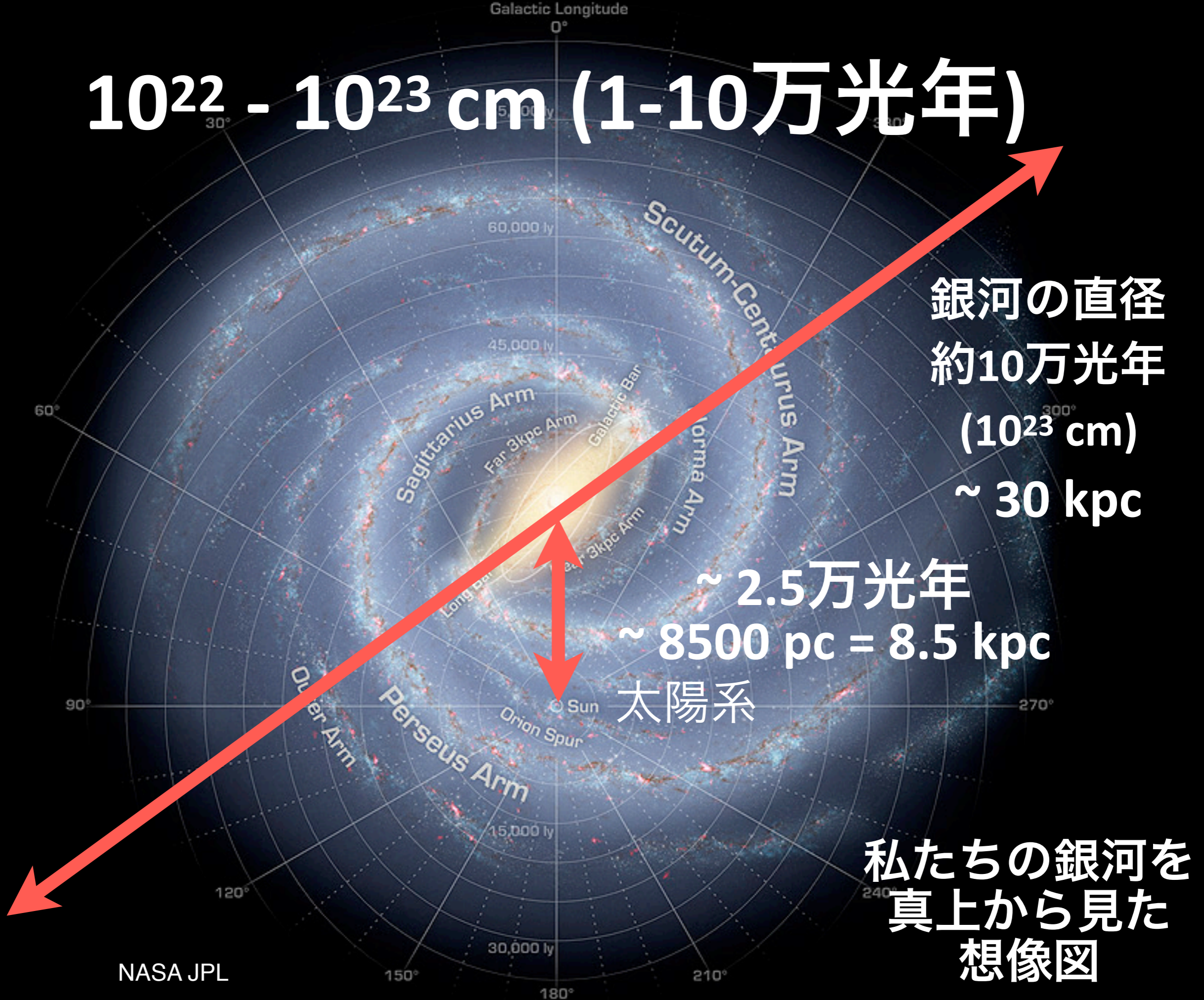


**$10^{22} - 10^{23}$  cm (1-10万光年)**

**銀河の直径  
約10万光年  
( $10^{23}$  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**



$10^{24}$  cm ~100万光年

~ 300 kpc

銀河群  
(十数個の  
銀河の集まり)

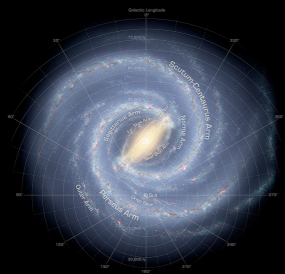
$10^{24}$  cm ~100万光年



アンドロメダ銀河

約200万光年  
( $2 \times 10^{24}$ cm)  
~ 700 kpc

距離



私たちの銀河

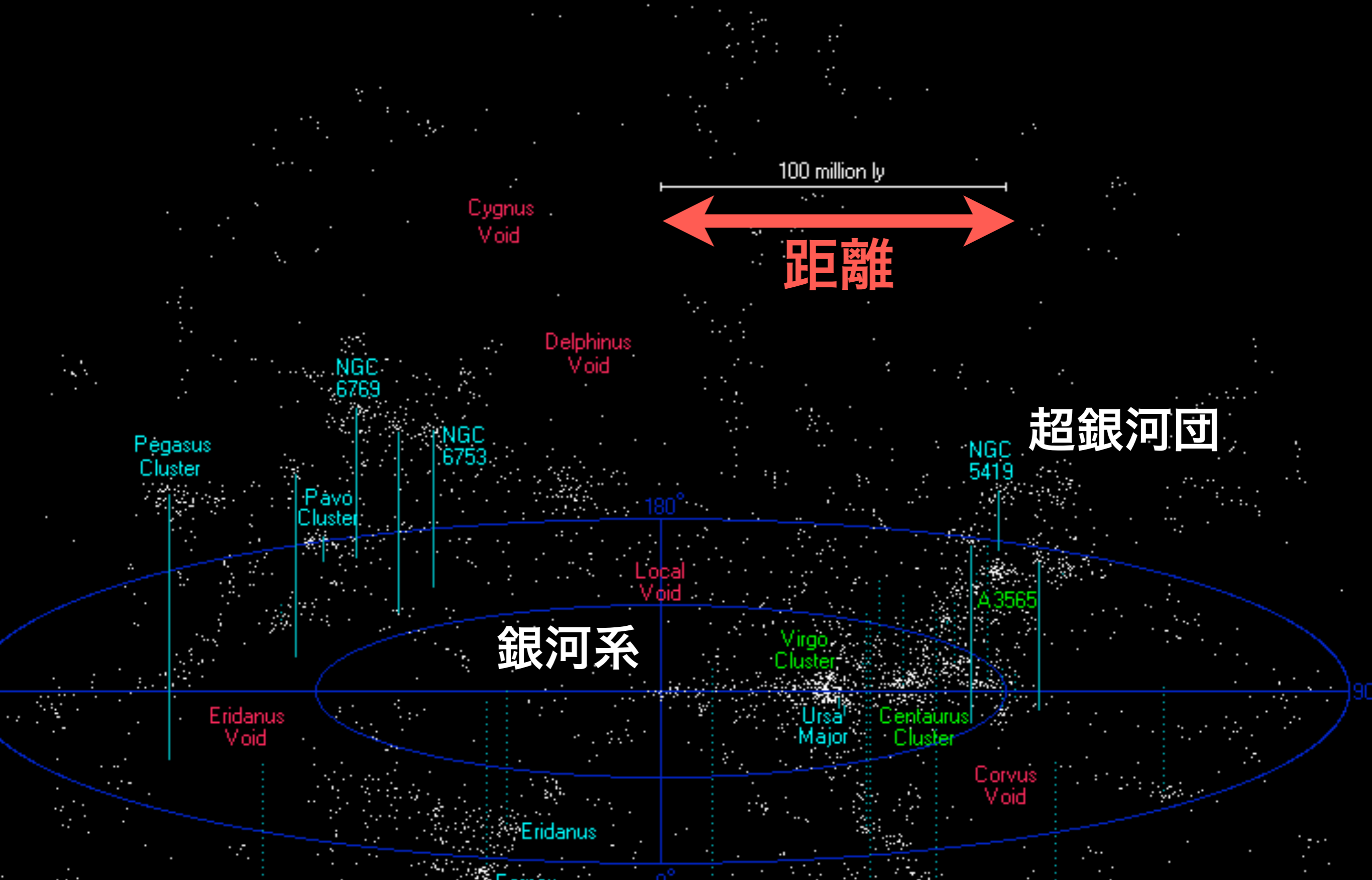
$10^{25}$  cm  $\sim$  1000万光年  $\sim$  3 Mpc

銀河団

Virgo cluster

$10^{26}$  cm  $\sim$  1億光年

$\sim$  30 Mpc



超銀河團

$10^{27}$  cm ~ 10億光年 ~ 300 Mpc

宇宙の  
大規模構造

10億光年

**10<sup>28</sup> cm ~100億光年** ~ 3 Gpc

最遠の銀河までの**距離**

約130億光年

(1.3 x 10<sup>28</sup> cm)

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)

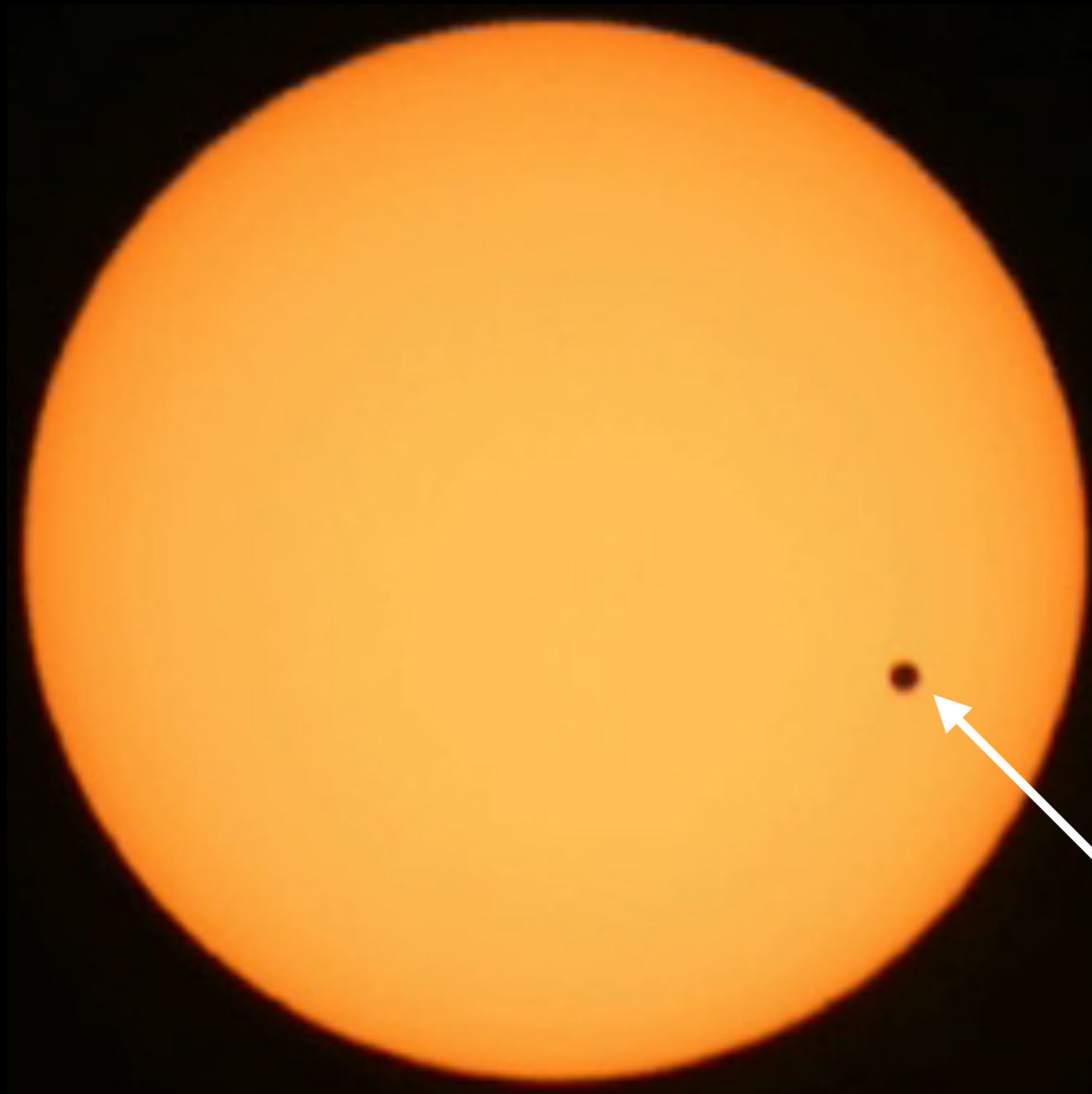


# 太陽



太陽の質量は？

# 金星の太陽面通過



金星

# 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