

最先端物理学が描く宇宙

Frontiers of Physics & Cosmology

第2回 2024/9/30

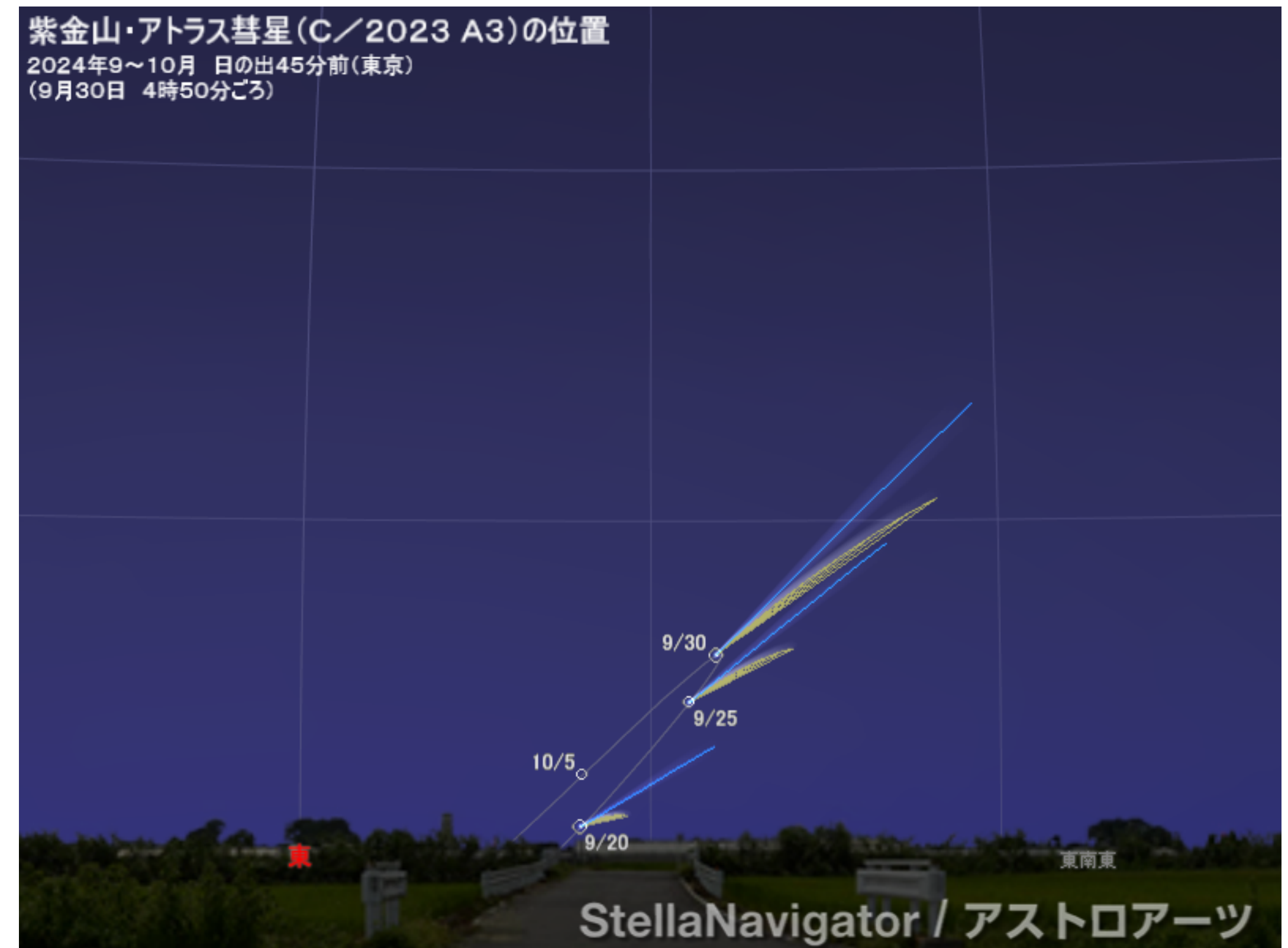
第1章 宇宙の階層構造 (2)



真貝 寿明
Hisaaki Shinkai

<https://www.oit.ac.jp/is/shinkai/mukogawa>

2023年1月に中国・紫金山天文台と南アフリカのアトラス望遠鏡によって発見された非周期彗星である「紫金山・アトラス彗星（C/2023 A3; Tsuchinshan-ATLAS）」が接近している。9月28日に太陽に最接近し、この数日前から10月初めごろまで明け方の東の低空に姿を現す。当初は1等級前後まで明るくなると予想されていたが、9月中旬までの観測を元にした予想では3等級前後になるとみられている。日の出45分前の高度が約5度以下と非常に低い。10月中旬は夕空に見えるようになる。



神戸新聞ホーム > 社会

紫金山・アトラス彗星、10月中旬が見頃 明石市立天文科学館の館長が撮影成功

2024/9/26 20:17



社会 明石



https://www.astroarts.co.jp/article/hl/a/13282_ph240900

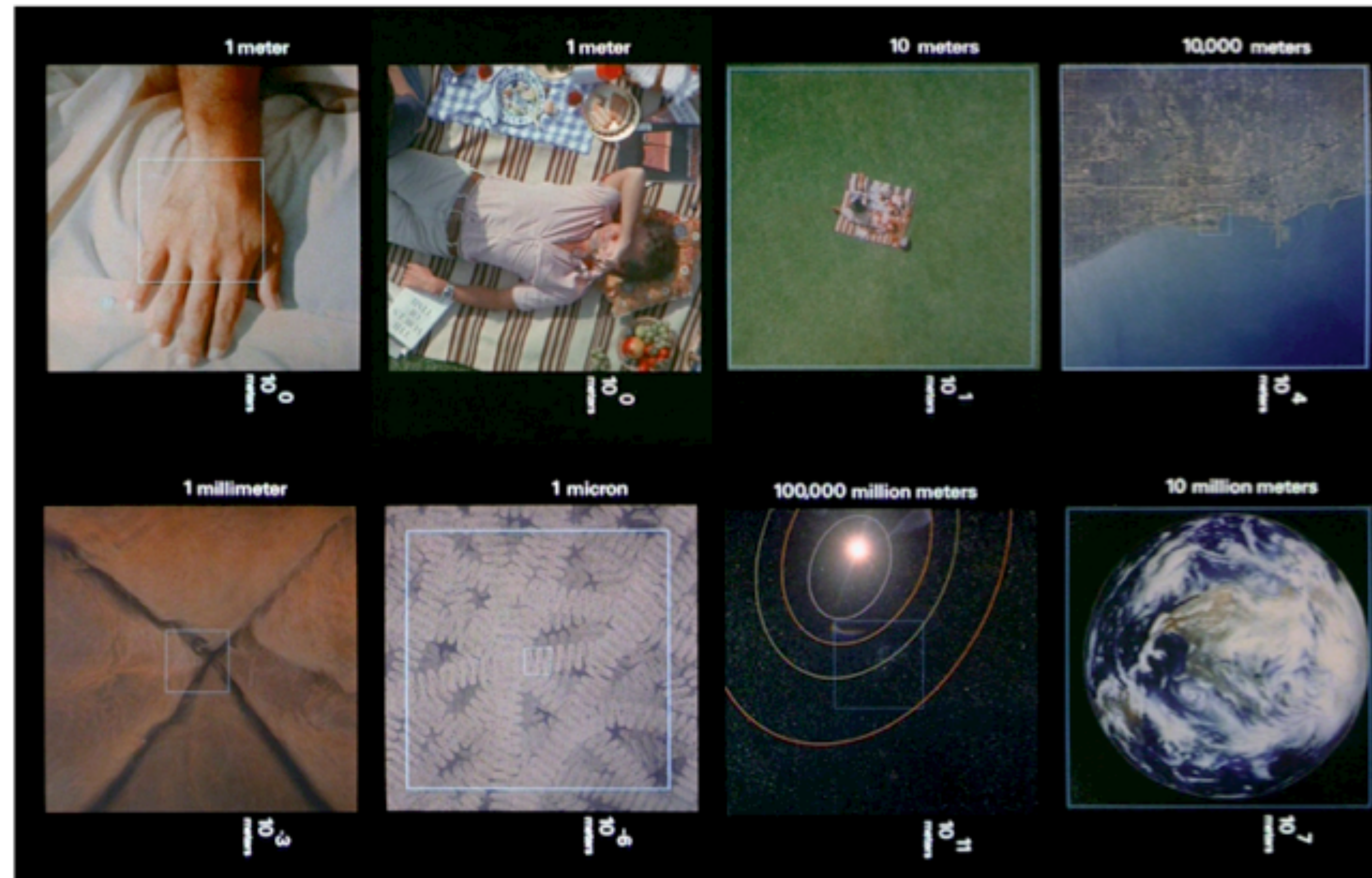


<https://www.kobe-np.co.jp/news/society/202409/0018164680.shtml>



表 1.3 大きさを表す接頭語

大きさ		接頭語		記号		
10^{24}	1,000,000,000,000,000,000,000,000	ヨッタ	yotta	Y		
10^{21}	1,000,000,000,000,000,000,000	ゼッタ	zetta	Z		
10^{18}	1,000,000,000,000,000,000	エクサ	exa	E		100 京
10^{15}	1,000,000,000,000,000	ペタ	peta	P		1000 兆
10^{12}	1,000,000,000,000	テラ	tera	T	Trillion	1 兆
10^9	1,000,000,000	ギガ	giga	G	Billion	10 億
10^6	1,000,000	メガ	mega	M	Million	100 万
10^3	1,000	キロ	kilo	k	Thousand	千
10^2	100	ヘクト	hecto	h	Hundred	百
10	10	デカ	deca	da	Ten	十
1	1				One	一
10^{-1}	0.1	デシ	deci	d	Tenth	
10^{-2}	0.01	センチ	centi	c	Hundredth	
10^{-3}	0.001	ミリ	milli	m	Thousandth	
10^{-6}	0.000001	マイクロ	micro	μ	Millionth	
10^{-9}	0.000000001	ナノ	nano	n	Billionth	
10^{-12}	0.000000000001	ピコ	pico	p	Trillionth	
10^{-15}	0.000000000000001	フェムト	femto	f		
10^{-18}	0.000000000000000001	アト	atto	a		
10^{-21}	0.000000000000000000001	ゼプト	zepto	z		
10^{-24}	0.00000000000000000000001	ヨクト	yocto	y		



『Powers of Ten』のフリップから (<http://www.fastcodesign.com/>)

この動画では、最大 10^{25}m ～最小 10^{-15}m 41桁

前回のミニツツペーパーから

【1-1】この講義を選択した動機など、お願いします。

私は文系なので、普段は受けれない理系分野の講義に興味があったから。

星や空について興味があるからです。

宇宙に興味があり、普段は文系で関わることのない分野だったから。

身近であり遠い存在に感じる
宇宙や星についてよく知りたい
と思ったから。

相対性理論、量子力について興味があるから。

相対性理論をじっくり知っていたから。

宇宙に興味があったからです。

タイトルに惹かれた

知り合いに宇宙に興味があり、おもしろいものだから、と
興味深いものだなと思い、知るために受講を決めました。

前回のミニツツペーパーから

【1-1】この講義を選択した動機など、お願いします。

おもしろそうだったと思った。

友達に誘われたから

来年卒業で、単位がギリギリなのが不安だったので、興味のある科目を履修したい。

地学を高校で受けた時に宇宙の大きさははてしなくて、不思議で興味を持っていたから。

し、宇宙に関する授業に興味があり、受講前の授業動画も視聴し、
と2も面白そうだったのからやさい講義だと感じたから。

宇宙がどうなっているかなど知らない事はとても多く、興味があったから。

私は小さい頃、宇宙飛行士になりたいという夢をもっていて、今でも宇宙への興味があるから

前回のミニツツペーパーから

【1-3】（宇宙や天文や自然について）いま疑問に思うこと、この講義に期待すること？

地球外生命体について

疑問に思うこと：火星には水があったとされているが、どのような水だったのか、生物はいったいどこにいたのか、など。

地球外に生命体は本当に存在するのか、他の星に行けるようになるのか。

水が存在する惑星はあるのか。

地球の水はどこからやってきたのか疑問です。

地球以外にも生命体（人間）がいるんじゃないか？

宇宙人は存在するのか。

宇宙はとても広くまだ知られていない生命体が存在するのではないかと。

前回のミニッツペーパーから

【1-3】（宇宙や天文や自然について）いま疑問に思うこと、この講義に期待すること？

宇宙の誕生や進化について

宇宙はどこまであるのか

宇宙はどこまで広がっており、
地球の気候変動はどこまで進んでいるのか疑問。

宇宙に終わりがあのか不思議に思った。

宇宙の一番始めがなんなのか。

これらは順次

この講義で触れてゆきます

ビッグバンについて詳しく知りたい

火星について

本当に火星には住めるようになるんですか？

火星への移住計画、ロケットで行ける他の星は何があるのか。
(今まで行ったことない所)

前回のミニッツペーパーから

【1-3】（宇宙や天文や自然について）いま疑問に思うこと、この講義に期待すること？

宇宙についてあまり詳しくないのですが、今日の五田玉の話のように
日常にまつわることに関連して話を深めたいと思います。

星はさえて無くなるが、太陽がなくなる事はあるのでしょうか。
何千年後に

地球の寿命とか気になります。

タイムスリップは本当にできるのか、物理学的にも

相対性理論について自分で説明できるようにしたい。
タイムマシンは実現可能か。

これらは順次

この講義で触れてゆきます

前回のミニッツペーパーから

ブラックホールについての謎

地球にいる生命体以外の生命体は本当にいるのかどうか

量子力学に興味があるのを早く話を
できていいです!!

オーロラをなぜ見れる所と見れない所があるのか?

う、この宇宙全体を見たとき、この惑星が「あるのか」、また「どのような
景観」を及ぼしているのか。

恐竜は隕石で絶滅したとか、宇宙は広がり続けている、など、どうしてそう言えるのか
遠い過去の出来事過ぎて、疑問に感じる。宇宙の仕組みについて詳しく学べるのか
楽しみ。

前回のミニッツペーパーから

Netflixでアポロ13号についてのドキュメンタリーを最近観ました。
そこで、宇宙船にアラームがタタタ起ると、その度に航路を計算する
場面があり、どのように計算をしているのか気になりました。

アポロには、**当時のスーパーコンピュータ**が3台搭載されていて、軌道計算をした。
その3台のうち、2台が同じ値を出したなら、それを正解として軌道を選択した。



アポロ誘導コンピュータ

ページ ノート

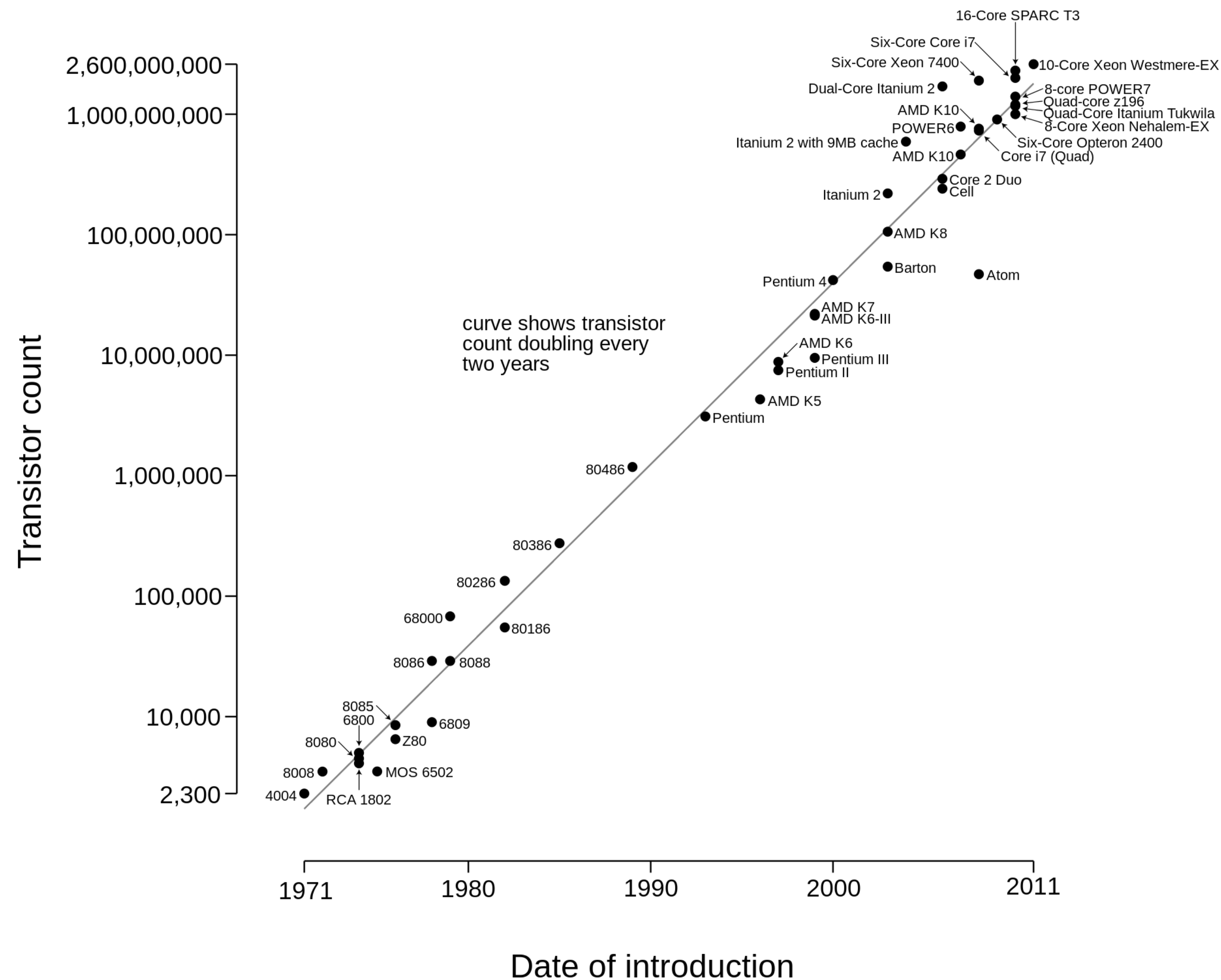
出典: フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』

アポロ誘導コンピュータ（アポロゆうどうコンピュータ、Apollo Guidance Computer、**AGC**）とは、**アポロ宇宙船**の全航行機能を自動制御し、**宇宙飛行士**が飛行情報を確認/修正するために使われた、**リアルタイム組み込みシステム**である。ワード長**16ビット**で、データ15ビット、パリティ1ビットである。AGC上のソフトウェアの大部分は**コアロープメモリ**と呼ばれる特殊な**ROM**に格納されており、小容量の読み書き可能な**磁気コアメモリ**をデータ格納用に備えている。

宇宙飛行士は**DSKY**（ディスキー）と呼ばれる数値表示部とキーパッドから構成される装置でAGCとやりとりする。AGCとDSKYは、**アポロ計画**のために**MIT器械工学研究所**で開発された。AGCは初期の**集積回路**を採用した**コンピュータ**の1つである。

アポロ誘導コンピュータとiphone, どれだけ能力が違うか？

Microprocessor Transistor Counts 1971-2011 & Moore's Law



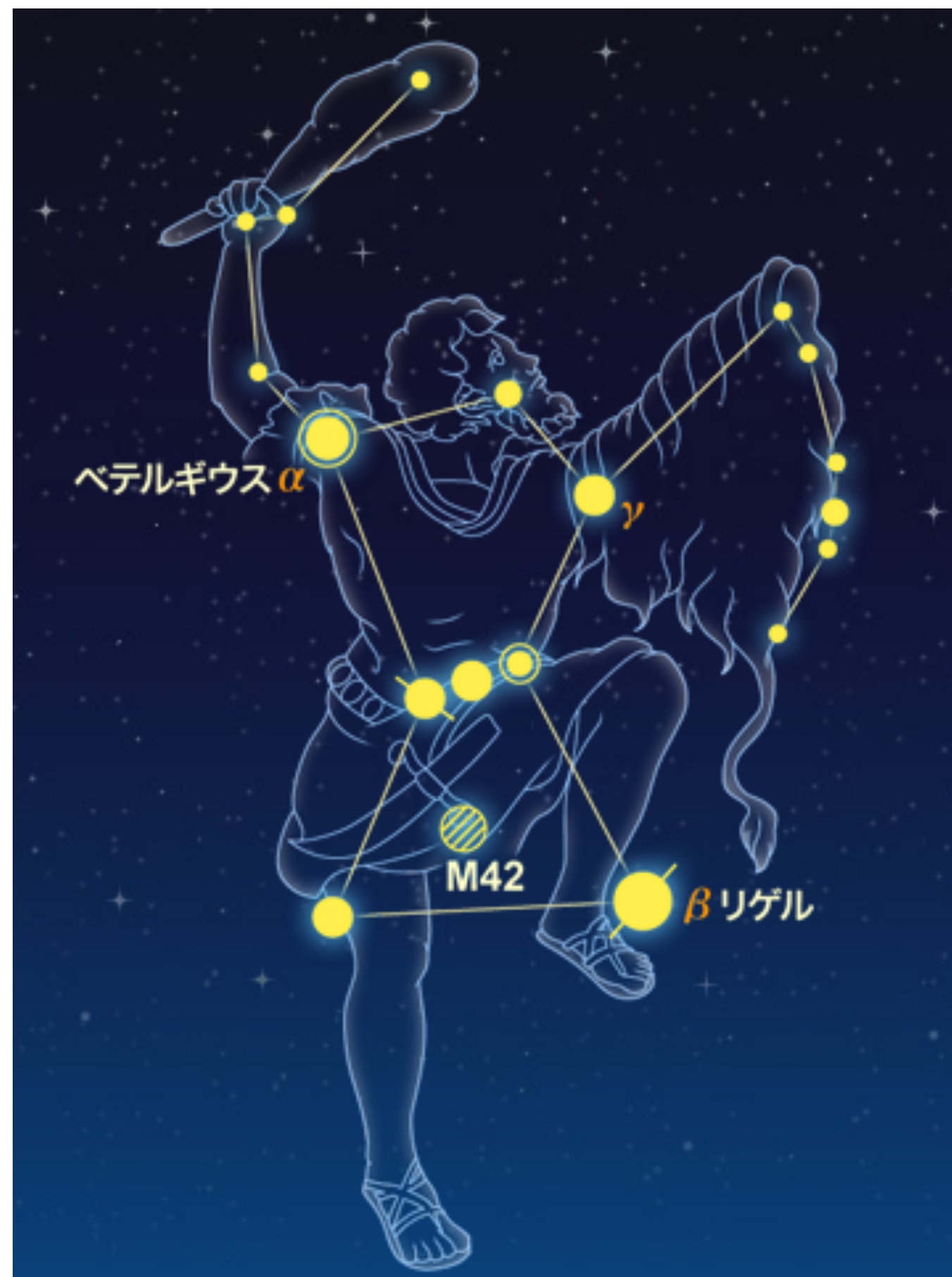
アポロ誘導コンピュータとiphone, どれだけ能力が違うか？

	1969	2024	何倍か
	アポロ誘導コンピュータ	iphone A17 Pro	
		iphone 15Pro	
		190億トランジスタ	
	8 bit	64 bit	8倍
クロック数	2MHz	3.78 GHz	$3.78 \times 10^9 / (2 \times 10^3) > 10^6$ 倍
		6 core	
メモリRAM	32KB	8GB	$8 \times 10^9 / (32 \times 10^3) \sim 10^6$ 倍
ハードROM	576KB	1TB	$10^{12} / (576 \times 10^3) \sim 10^9$ 倍
重量	32 kg	187g	
値段	数億円	16万円	$10^8 / 10^5 = 10^3$ 倍
			10^{25} 倍
	Moore	$2^{(54/1.5)} = 2^{36} = 6.8 \times 10^{10}$ 倍	

前回のミニッツペーパーから

【1-2】 最近耳にした宇宙に関するニュースで、興味をもったものを。

オリオン座の星が"ほ"になる？



異様に大きくなっていて、
もうすぐ燃え尽きて大爆発を
起こすそうです。

(明日かもしれないし、
1000万年後かもしれませんが)

伝わるまでには時間がかかる 光速(1)

以前、遠くにある星ほど、昔のものであるというようなことを聞いたことがありますが、どういうことなのかがよく分かりませんでした。

Topic 太陽が消えても…

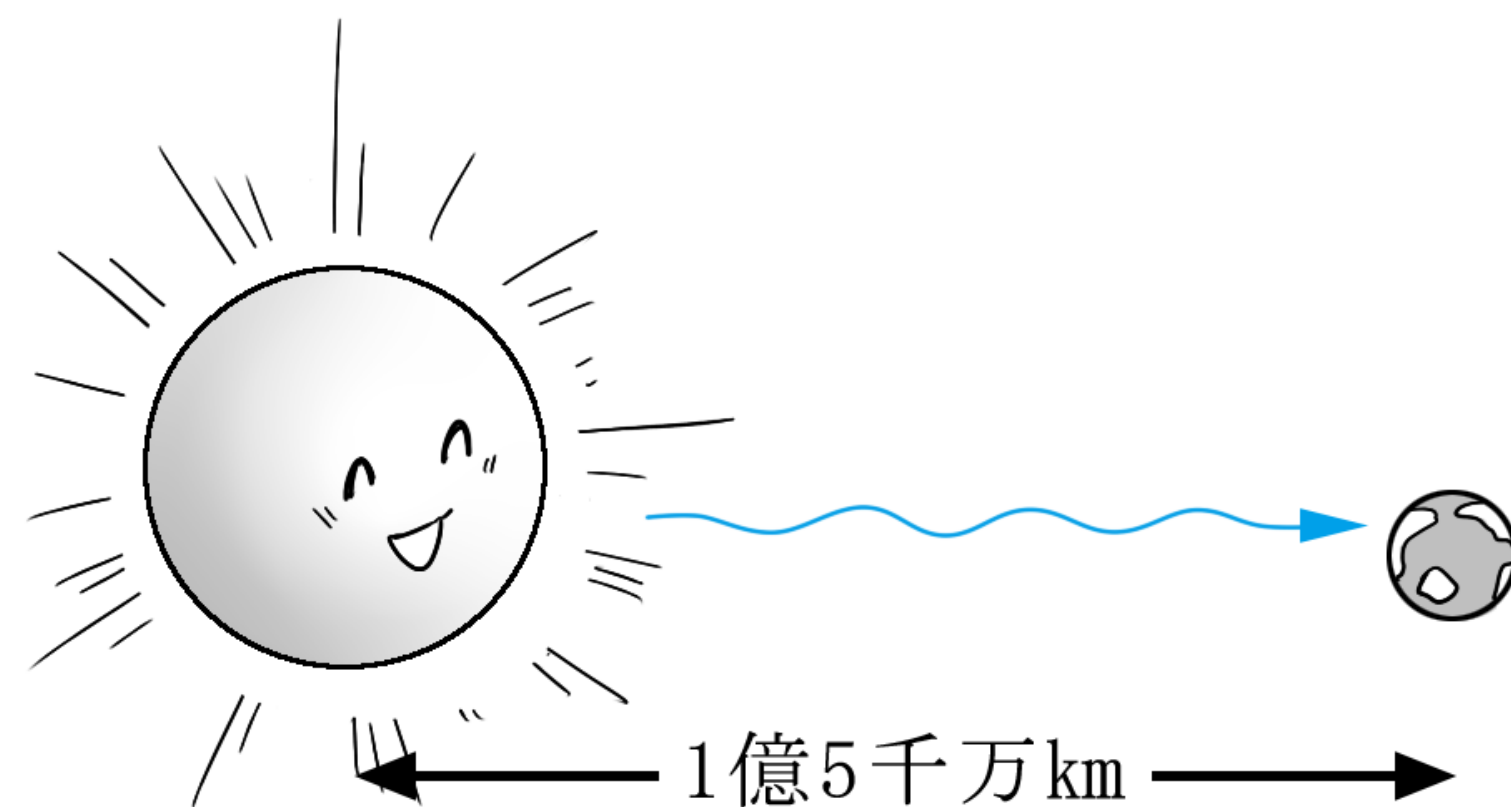
地球上では、光速は無限に速く感じられるが、宇宙空間では、光でさえも伝わるのには時間がかかる。太陽から出た光が地球に届くまでには、

$$\text{時間} = \frac{\text{距離}}{\text{速度}} = \frac{1 \text{ 億 } 5 \text{ 千万 km}}{30 \text{ 万 km/s}} = 500 \text{ s} = 8 \text{ 分 } 20 \text{ 秒}$$

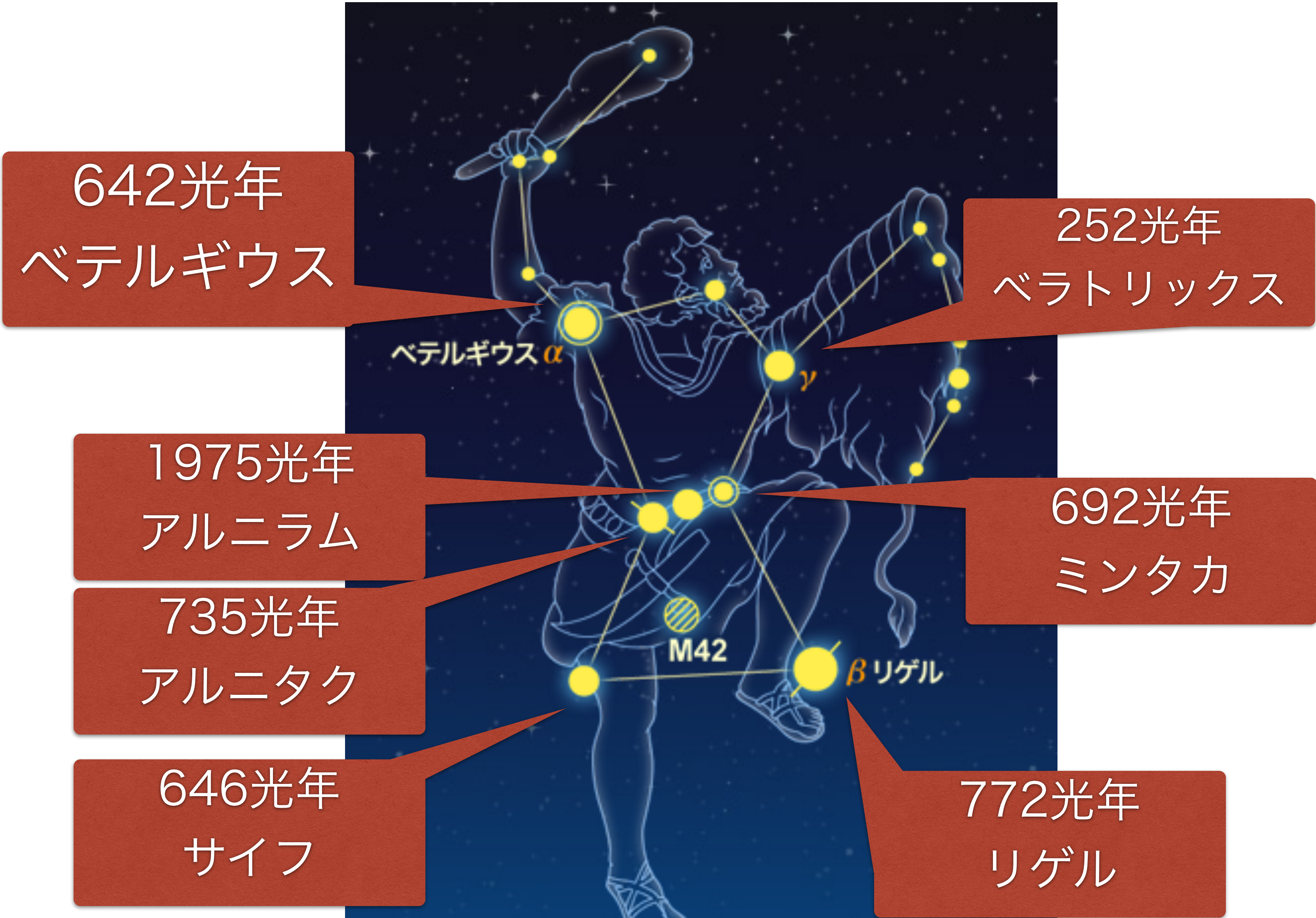
経過する。つまり、地球に届いている光は 8 分 20 秒前に太陽を出た光だ。いまこの瞬間に太陽が消失しても、地球では 8 分 20 秒の間、その事実が伝わらない。

夜空に輝く星も、地球に到達するまでには時間がかかっている。642±147 光年先にあるオリオン座のベテルギウス (図 1.11) は、もうすぐ超新星爆発で消失すると考えられているが、現実にはこの瞬間にはもう存在していないかもしれない。

$$\text{光速 } 30 \text{ 万 [km/s]} \times \blacksquare [\text{s}] = \text{距離 [km]}$$



伝わるまでには時間がかかる 光速(2)





宇宙の広がり・距離を体感しよう！

－ 3D 星図(さそり座・オリオン座)－

天
体

本教材は宇宙とのつながりを軸として科学を身近に感じてもらうために作った科学教材です。本教材の利用による事故等については一切責任を持ちかねますので、本教材の利用は、経験のある指導者の指導の下に行ってください。



●教材提供●
日本宇宙少年団おおいた分団
山本幸司氏 富成一郎氏
大分天文協会

2012年4月1日 発行

目標と
ねらい

平面的に見える星座ですが、それを形作る星ぼしは、それぞれが遙かかなたにある恒星であり、そこまでの距離も皆異なっていて、立体的に分布していることを理解します。

対象学年	小学校低学年以上	所要時間	1～2時間
------	----------	------	-------

補足資料 星座を形作っている星たち（恒星）までの距離

星座	恒星名など	距離 1（光年）	距離 2（cm）	竹串の長さ（cm）
さそり座	α （アルファ）星 アンタレス	550 光年	5.0cm	11.0cm
	β （ベータ）星	400 光年	3.6cm	13.8cm
	δ （デルタ）星	490 光年	4.4cm	12.3cm
	ε （イプシロン）星	64 光年	0.6cm	7.3cm
	ζ （ゼータ）星	150 光年	1.4cm	3.2cm
	θ （シータ）星	300 光年	2.7cm	3.0cm
	ι （イオタ）星	2000 光年	18.0cm	4.5cm
	λ （ラムダ）星	570 光年	5.1cm	6.0cm
	π （パイ）星	590 光年	5.3cm	10.6cm
	σ （シグマ）星	690 光年	6.2cm	11.3cm
	HD161892	127 光年	1.1cm	6.0cm
オリオン座	α （アルファ）星 ベテルギウス	500 光年	4.5cm	15.0cm
	β （ベータ）星 リゲル	850 光年	7.7cm	5.2cm
	γ （ガンマ）星	255 光年	2.3cm	14.8cm
	δ （デルタ）星	700 光年	6.3cm	10.3cm
	ε （イプシロン）星	1800 光年	16.2cm	9.6cm
	ζ （ゼータ）星	740 光年	6.7cm	9.0cm
	κ （カッパ）星	660 光年	5.9cm	3.7cm
	M42 星雲	1300 光年	11.7cm	6.7cm

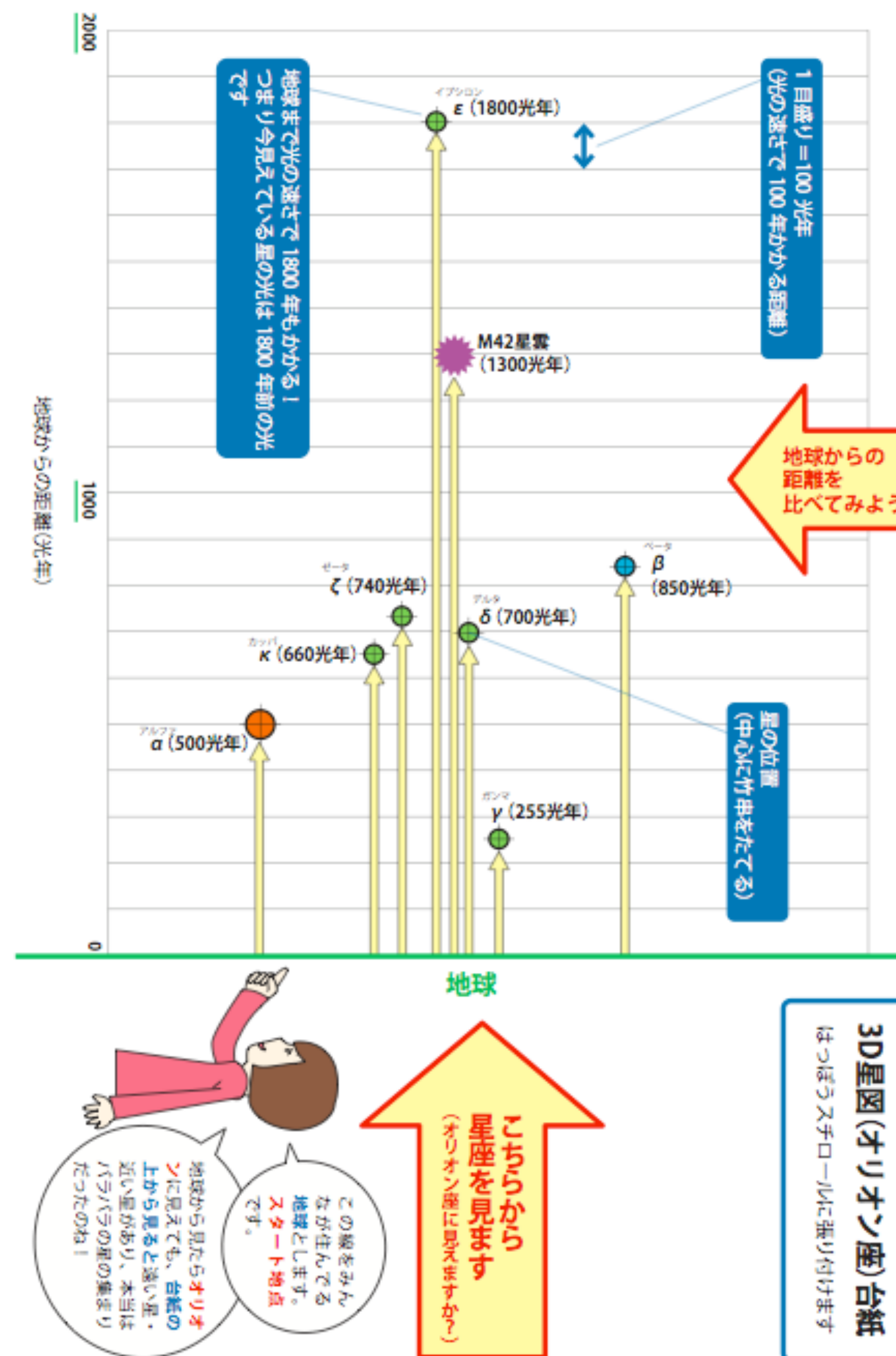
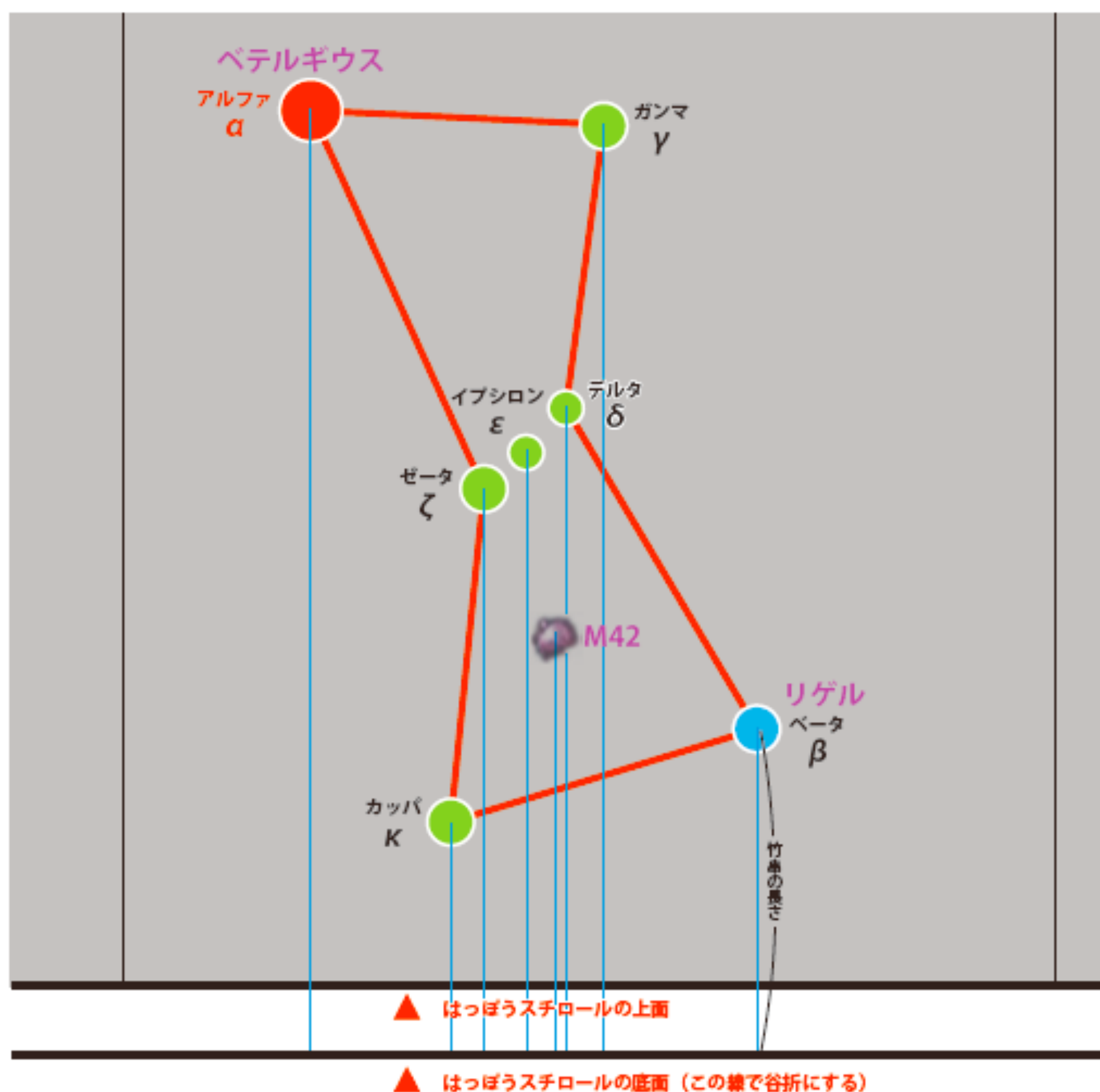
距離 1 は「天文年鑑 2012 年版」（誠文堂新光社）より引用

ただし、さそり座 ζ 星と HD161892 は、Hipparchos catalogue の年周視差データを利用

※ 距離 1 の単位は 1 光年 = 9,460,000,000,000km（9 兆 4600 億キロメートル）
 距離 2 は 恒星までの距離 1 を 1 兆分の 1 のさらに 1 億分の 1 に縮小した距離

4 3D 星図 (オリオン座) を作ろう

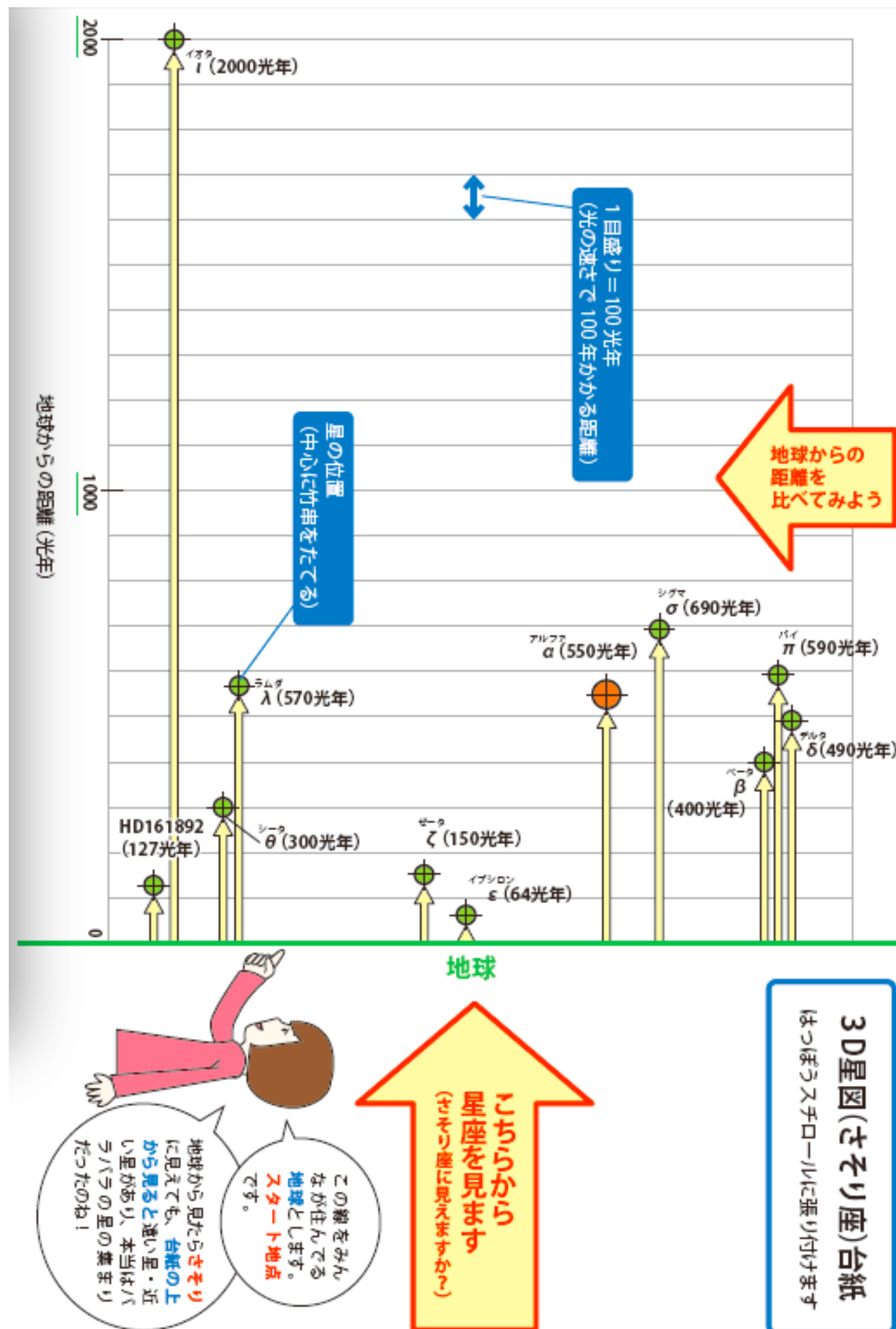
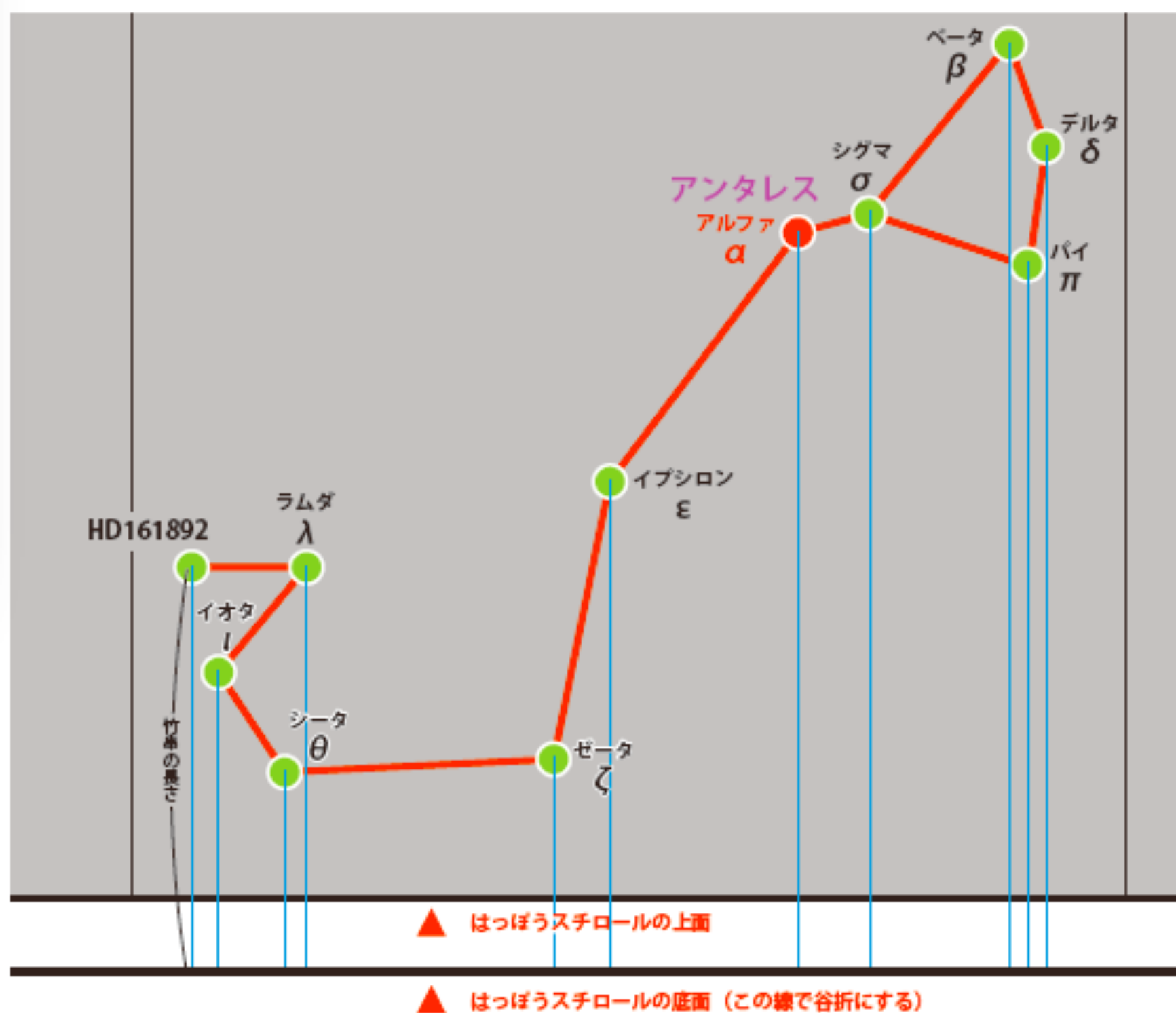
星座の数は全部で 88 星座あります。みなさんそのうちいくつかの星座を知ってますか？今日は冬の代表的星座のオリオン座の 3D 星図を作って宇宙の広がりを考えてみましょう。
ところでみなさん、オリオン座の星は明るい星も暗い星もみんな同じ距離にあると思いますか？じっさいには一つ一つの星の距離はバラバラなのです。たまたま地球から見たらバラバラの距離の星がきれいにオリオンの形に並んで見えるのです。宇宙を知るためにはとても大事な距離について今日は考えてみましょう。



3 3D 星図 (さそり座) を作ろう

星座の数は全部で 88 星座あります。みなさんそのうちいくつかの星座を知ってますか？
今日は夏の星座で有名なさそり座の 3D 星図を作って宇宙の広がりを考えてみましょう。
ところでみなさん、さそり座の星は明るい星も暗い星もみんな同じ距離にあると思いますか？ じっさいには一つ一つの星の距離はバラバラなのです。たまたま地球から見たらバラバラの距離の星がきれいにさそりの形に並んで見えるのです。宇宙を知るためにはとても大事な距離について今日は考えてみましょう。

さそり座



The future of the Orion constellation

天文衛星「ガイア」と「ヒッパルコス」の観測データを基に作成された、この先45万年にわたるオリオン座周辺の星の動きを表した動画が公開された（2017年6月）



ベテルギウスは数百万年以内には超新星爆発を起こすと考えられているが、この動画では爆発は考慮していない。

https://www.youtube.com/watch?time_continue=36&v=MK6v9G06Ks8

月の見かけの大きさ



量目 3.75g = 1匁
=> 1000枚で1貫
直径 22mm
孔径 5mm

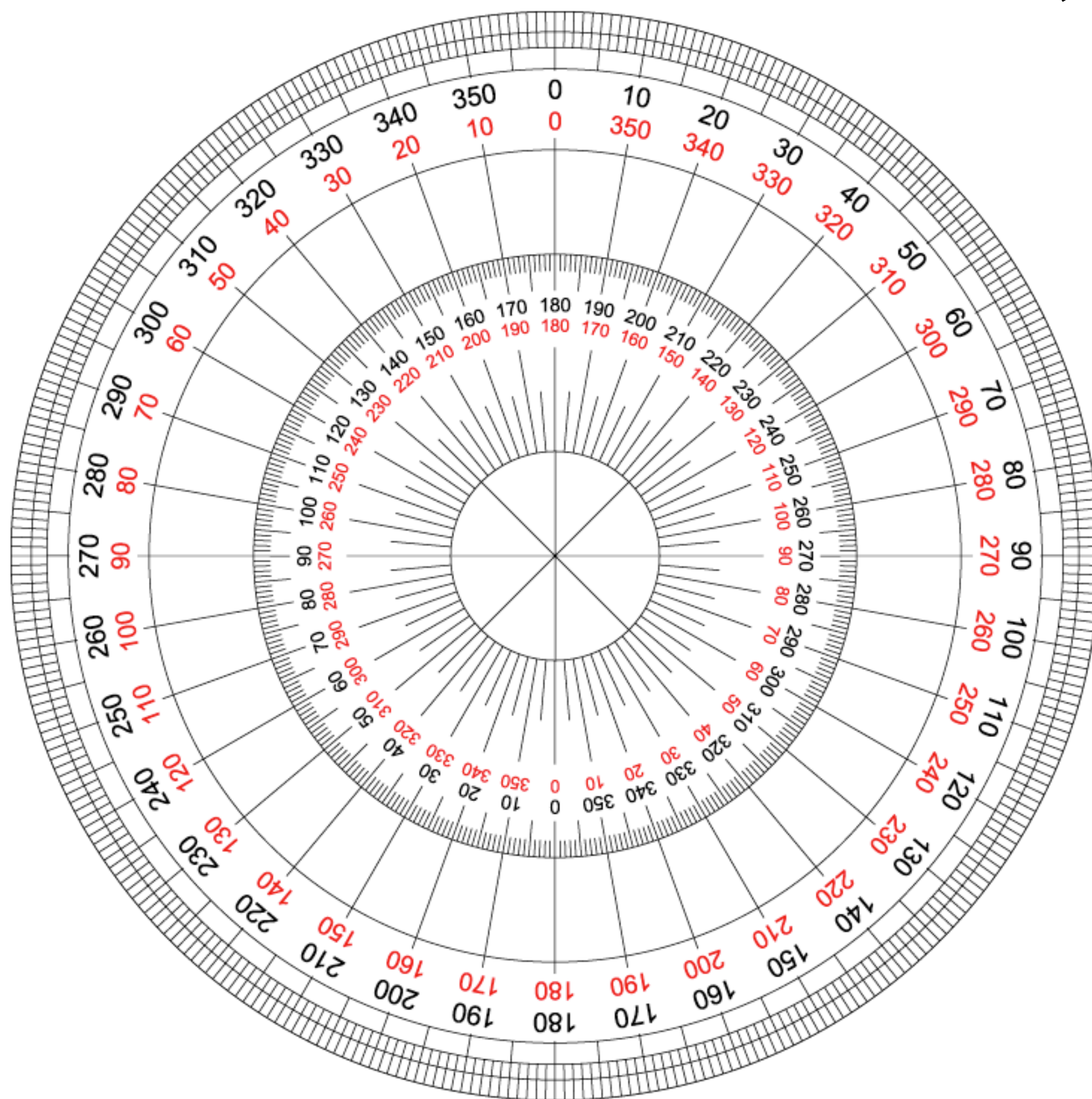
月の見かけの視直径は 約 0.5 度 (より正確には, 31 分角 = 31/60 度) である[†]. これは, 1m 先にある 5 円玉の穴の大きさとほぼ等しい. この角度から, 月の半径 $R_{\text{月}}$ は,

$$D_{\text{月}} \times \frac{31}{60} \frac{\pi}{180^\circ} = 2R_{\text{月}} \quad (1.5)$$

より, $R_{\text{月}} \approx 1677 \text{ km}$ となる. (実際には 1730 km, 地球のおよそ 1/4 である.)

1度 = 60分 minute

1分 = 60秒 second minute





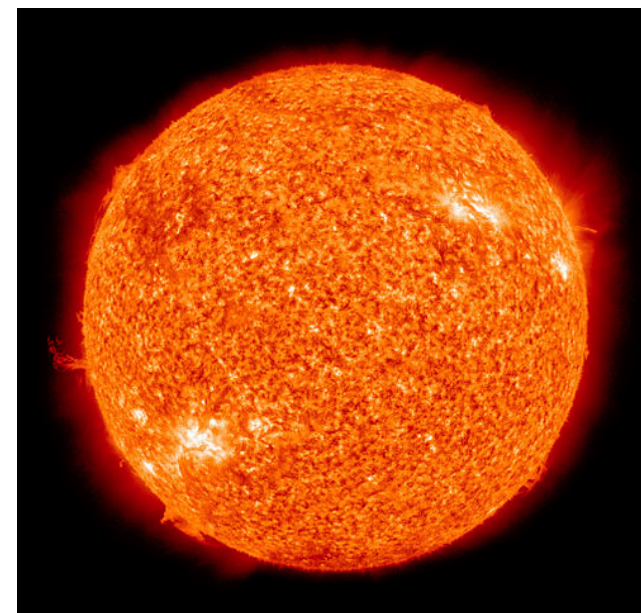
半径 6378km



半径 3474km

距離 388400km

太陽の見かけの大きさ



量目 3.75g = 1匁
=> 1000枚で1貫
直径 22mm
孔径 5mm

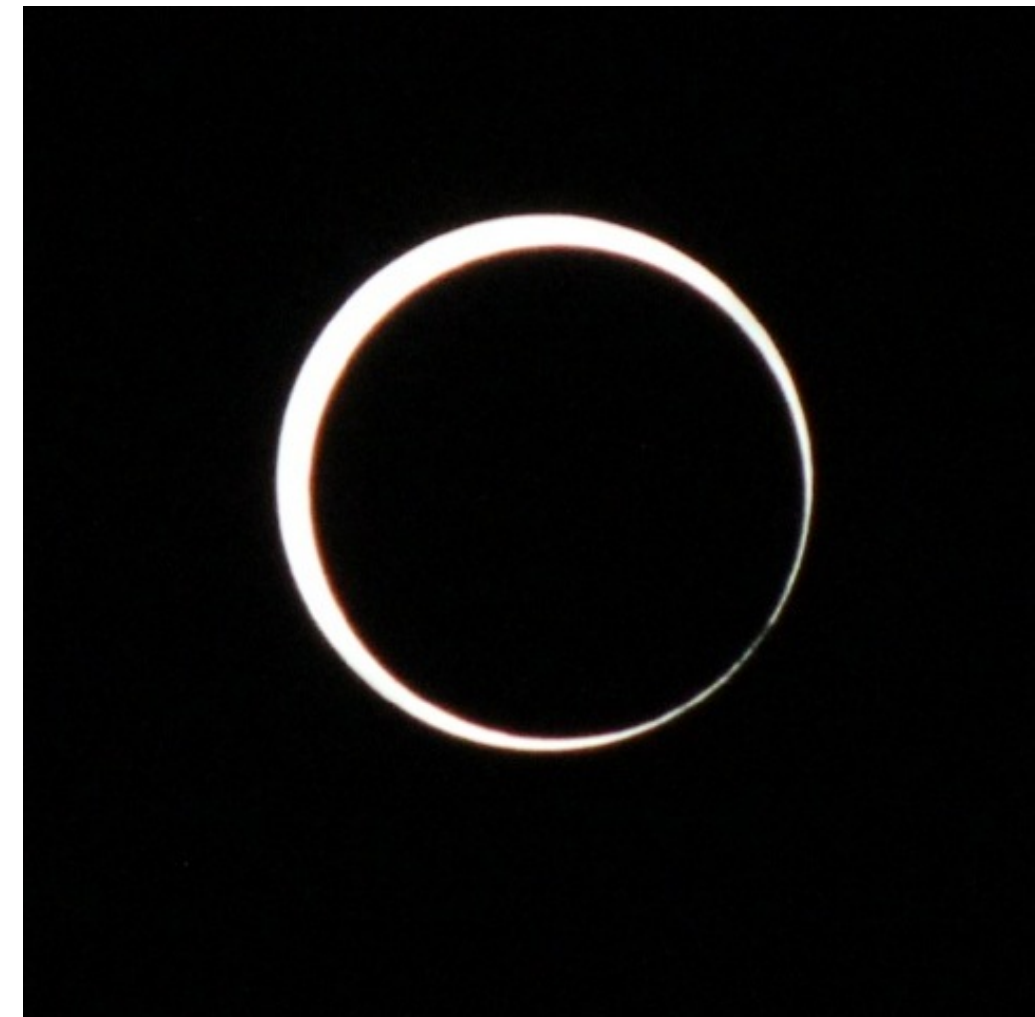
(1.5) 式と同じように、太陽の半径 $R_{\odot}$ を求めると、

$$D_{\odot} \times \frac{32}{60} \frac{\pi}{180^{\circ}} = 2R_{\odot} \quad (1.6)$$

より、 $R_{\odot} \approx 70$ 万 km となる。☉ は太陽を表す記号である。



京都府木津市 槌谷則夫氏撮影



京都府向日市 真貝撮影





縣 秀彦氏撮影



縣 秀彦

8月22日 · 🌐



第2接触時にベリ・ビーズが肉眼でもよく分かる綺麗な日食でした。



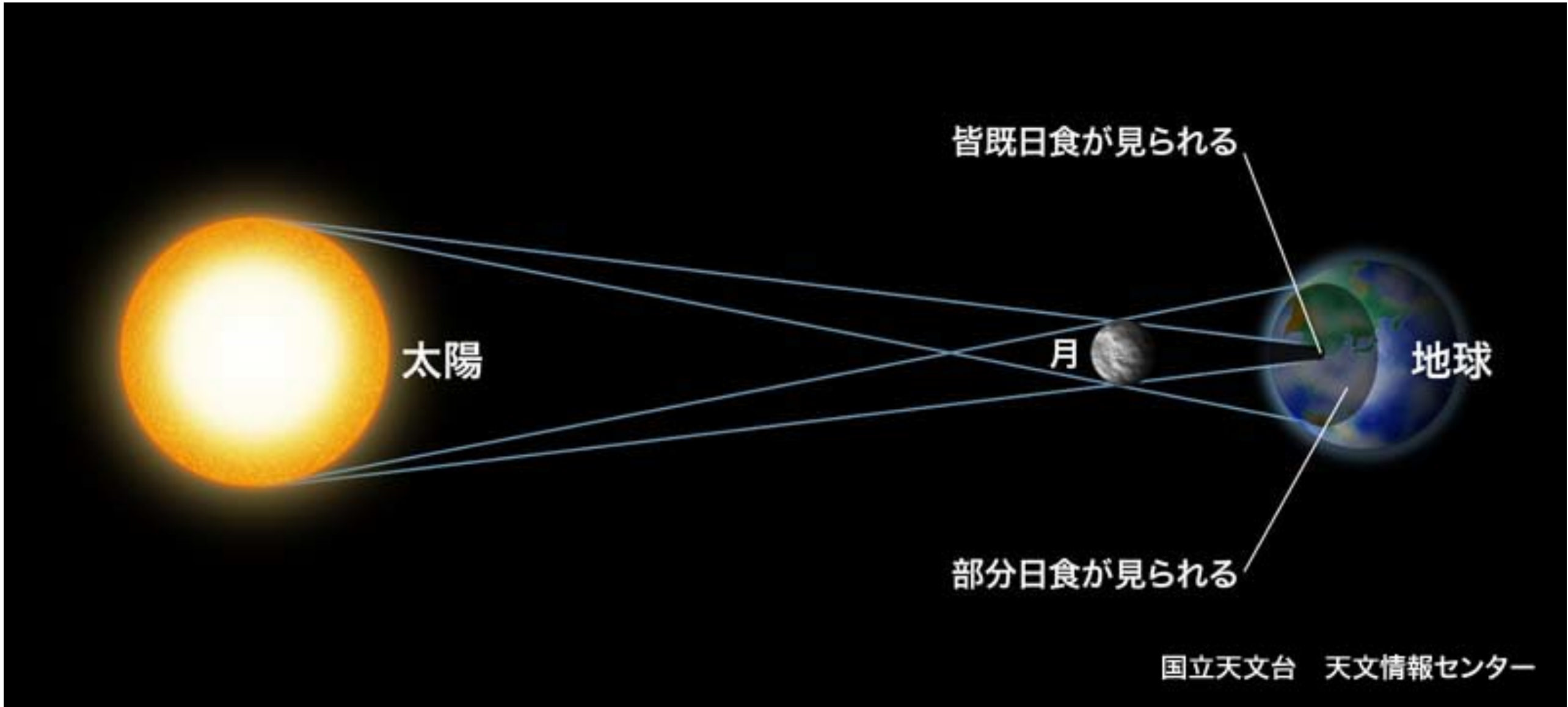
縣 秀彦

8月22日 · 🌐

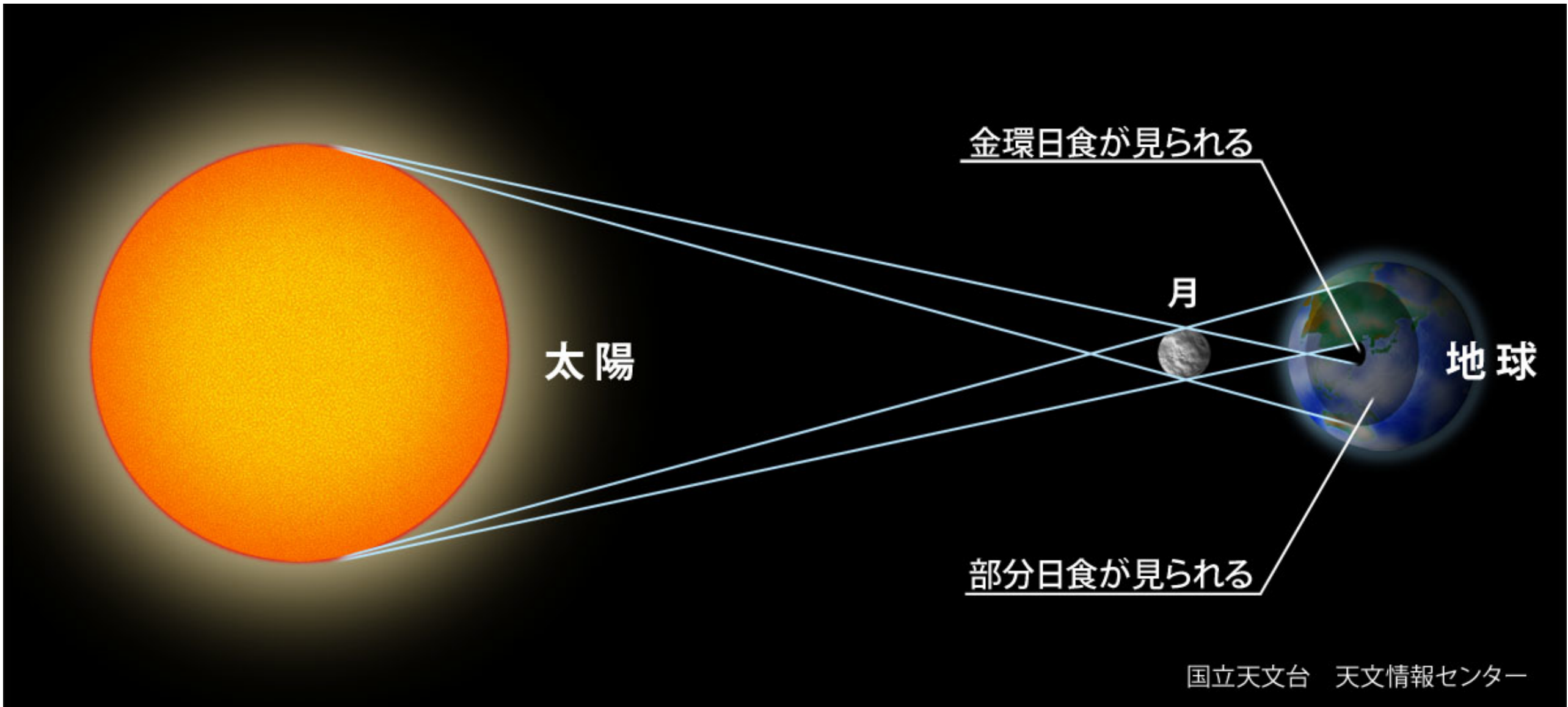


What a beautiful diamond ring !
ダイヤモンドリングも綺麗でした。

皆既日食・金環日食

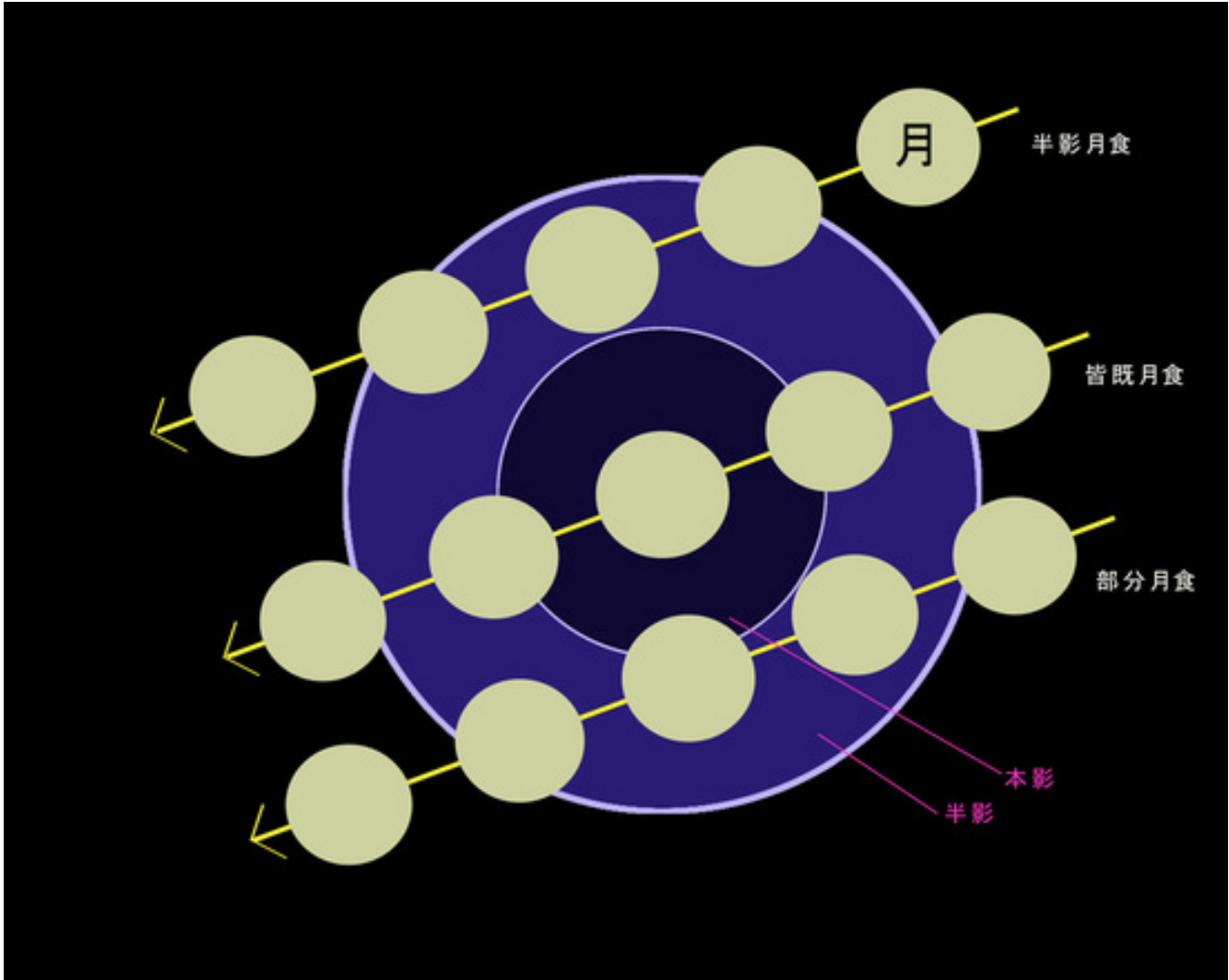
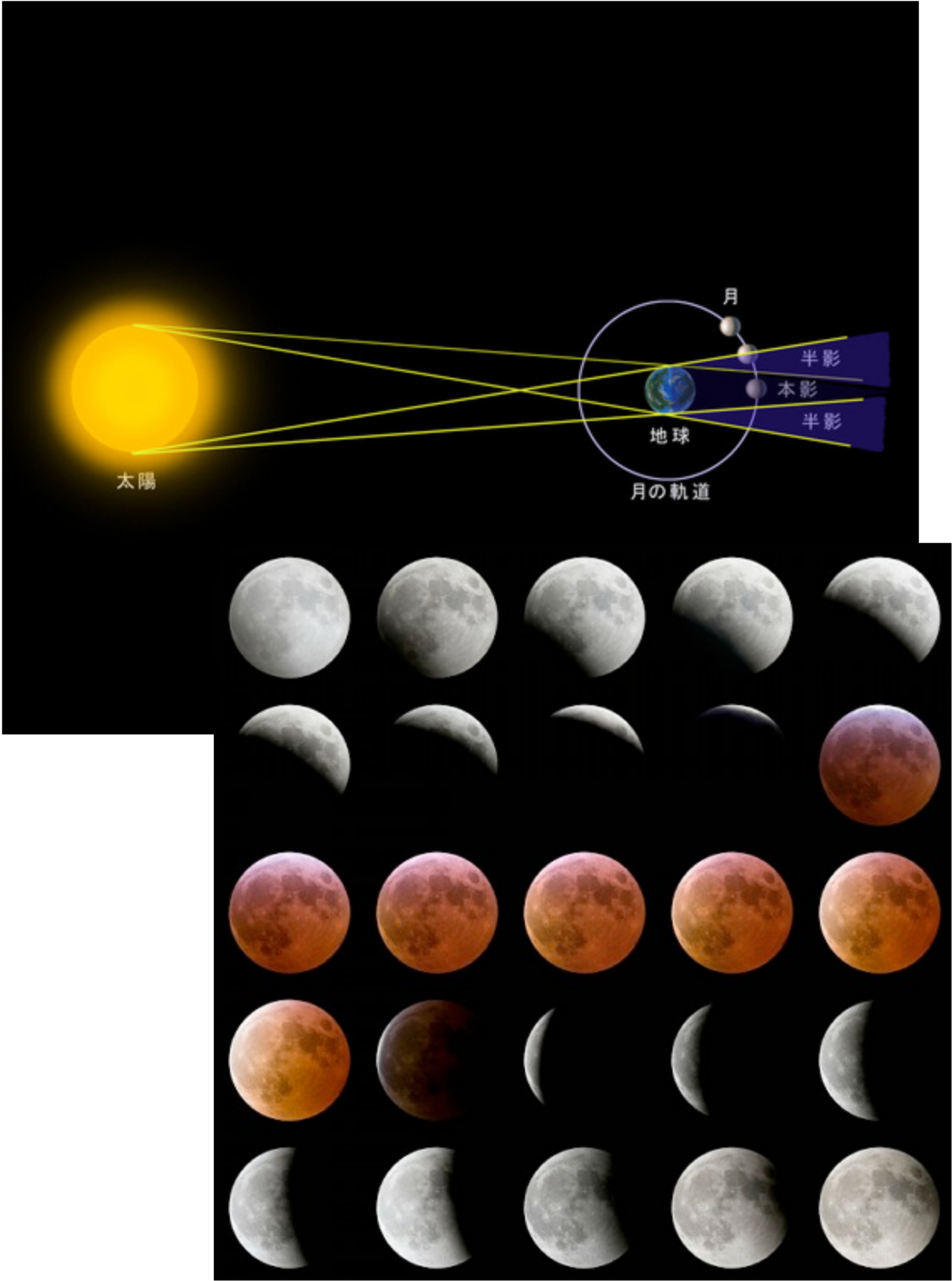


2009年7月22日 太平洋
2035年9月 2日 関東



2012年5月21日 全国
2030年6月 1日 北海道

皆既月食



2019年7月17日	部分
2021年5月26日	皆既
2021年11月19日	部分
2022年11月8日	皆既
2023年10月29日	部分
2025年3月14日	部分
2025年9月8日	皆既

次 ←

毎月、日食・月食が起きない理由

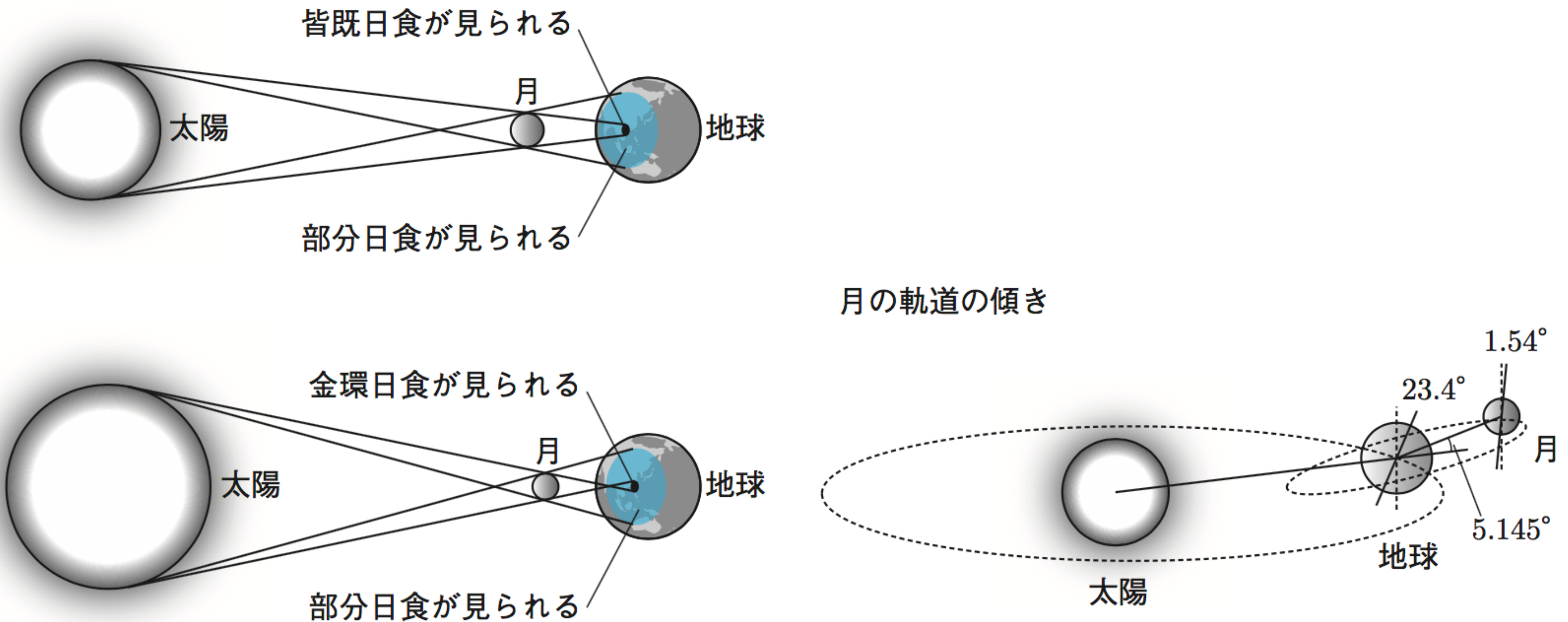


図 1.18 〔左〕皆既日食と金環日食の違いは地球と月・太陽の位置関係の違いで生じる。〔右〕日食や月食が毎月生じないのは、月の軌道面が地球の公転面に対して5度傾いているためである。

地球を直径10cmの球とすれば、
月は直径2.6cmの球、距離は304cm先
太陽は、直径10.9mの球、距離は117m先

月食 (lunar eclipse)

日食 (solar eclipse)

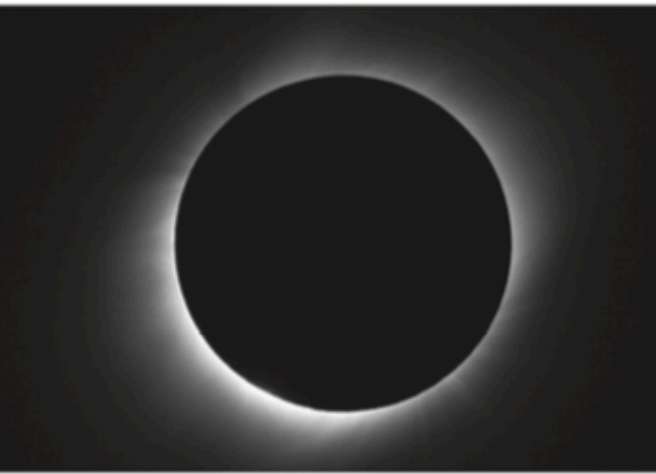


図 1.16 皆既日食で見られる太陽のコロナ (2009 年 7 月 22 日, 大西浩次氏撮影).



図 1.17 金環日食 (2012 年 5 月 21 日, 著者撮影).

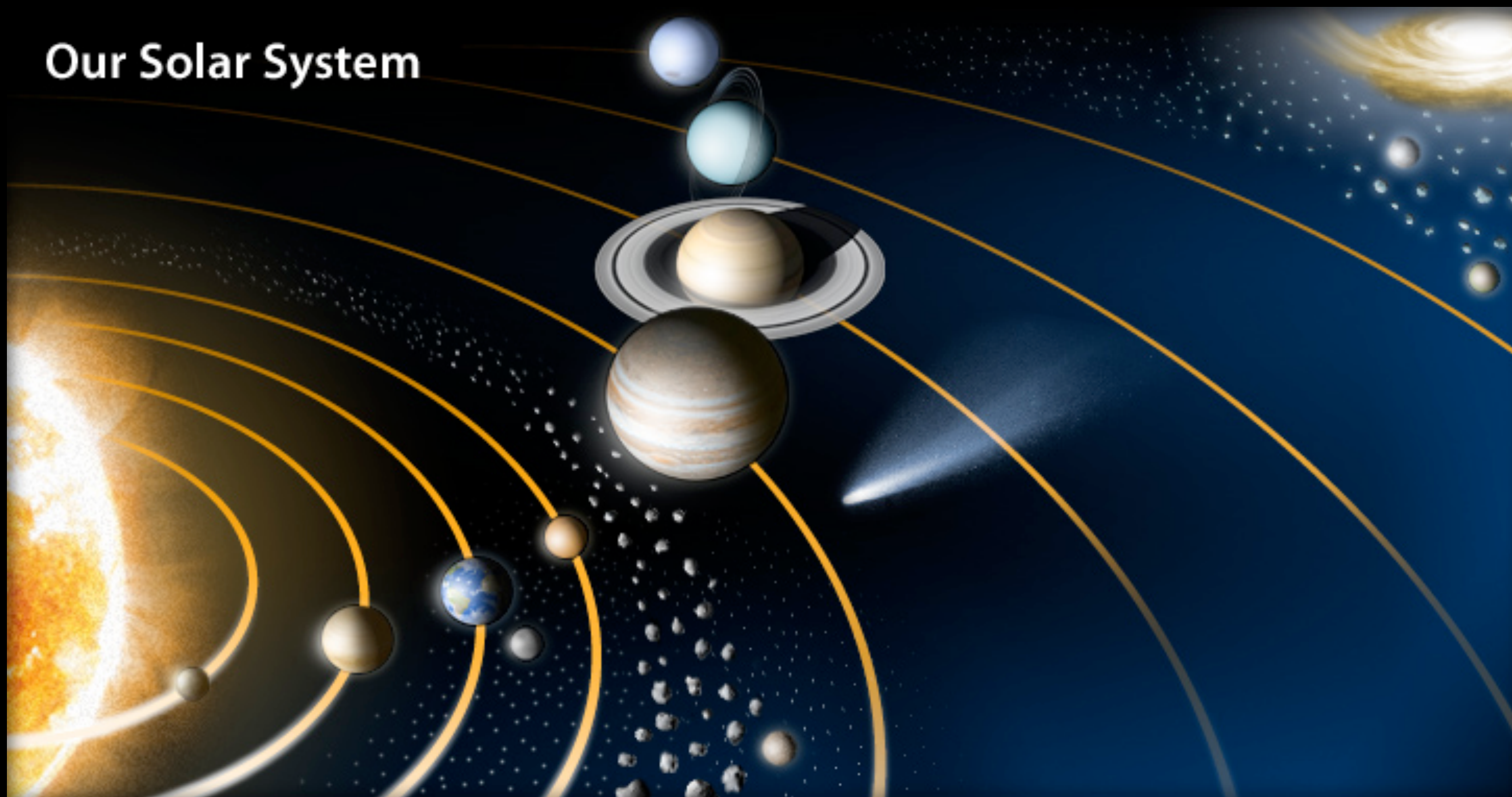
表 1.3 日本で見られる皆既・金環日食 (2009 年 ~ 2035 年)

年月日	種類	見える場所
2009 年 7 月 22 日	皆既日食	奄美大島・屋久島・種子島・トカラ列島・硫黄島
2012 年 5 月 21 日	金環日食	南九州・南四国・南近畿・東海地方・関東地方
2030 年 6 月 1 日	金環日食	北海道
2035 年 9 月 2 日	皆既日食	能登・富山・長野・前橋・宇都宮・水戸
2041 年 10 月 25 日	金環日食	北近畿・中部地方・伊豆諸島

表 1.4 世界で見られる皆既日食 (2017 年 ~ 2035 年)

年月日	見える場所
2017 年 8 月 21 日	北太平洋中部に始まり北米大陸を横断, 中部大西洋で終わる.
2019 年 7 月 3 日	南太平洋, 南米のチリ, アルゼンチンで観測できる.
2020 年 12 月 14 日	太平洋西部に始まり南米大陸南部を通過, アフリカ南西岸沖まで.
2021 年 12 月 4 日	南極大陸の南米側で観測できる.
2023 年 4 月 20 日	南インド洋からオーストラリア北西岸, インドネシアを経て中部太平洋. 九州・四国・東海・関東の南岸でもわずかに欠ける.
2024 年 4 月 8 日	中部太平洋に発し北米大陸東部を北上, ヨーロッパ沖に至る.
2026 年 8 月 12 日	北極, グリーンランドからイベリア半島に達する.
2027 年 8 月 2 日	北大西洋中部からアフリカ北岸, アラビア半島南岸, インド洋まで.
2028 年 7 月 22 日	インド洋に発しオーストラリア, ニュージーランドを横断する.
2030 年 11 月 25 日	南アフリカ, 南インド洋, オーストラリアを通る.
2031 年 11 月 14 日	北西太平洋に始まり赤道付近を経過してパナマ付近に達する.
2033 年 3 月 30 日	ベーリング海峡から北極にかけて起こる.
2034 年 3 月 20 日	南米東沖からアフリカ中部, アラビア半島を通り中国奥地で終わる.
2035 年 9 月 2 日	中国奥地から日本を横断, 太平洋東部で終わる. 日本では能登半島と茨城県を結ぶ一帯で中心食が見られる他, 全国で部分食.

太陽系



地球・月 ▶ 太陽系

太陽系小天体

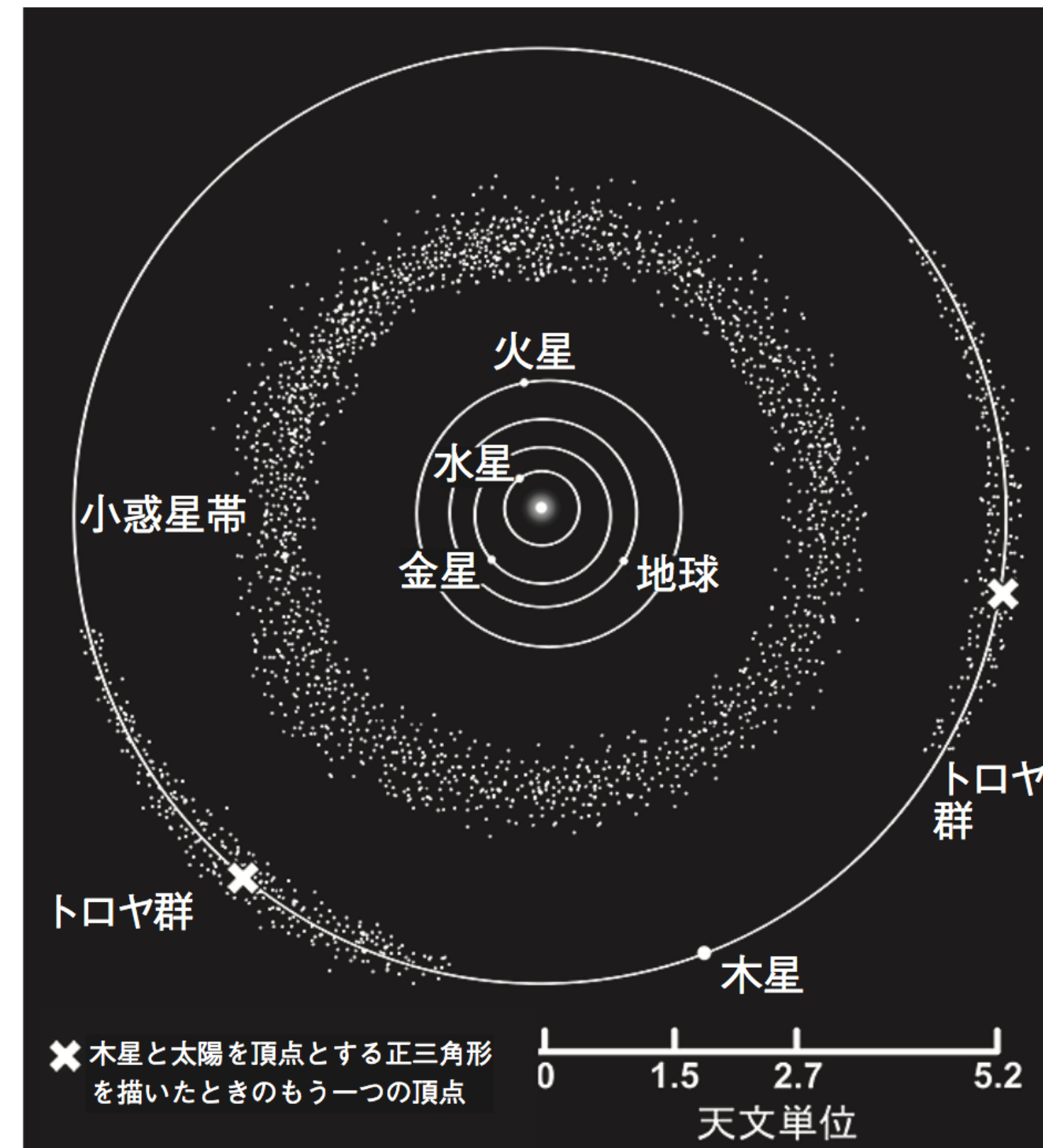
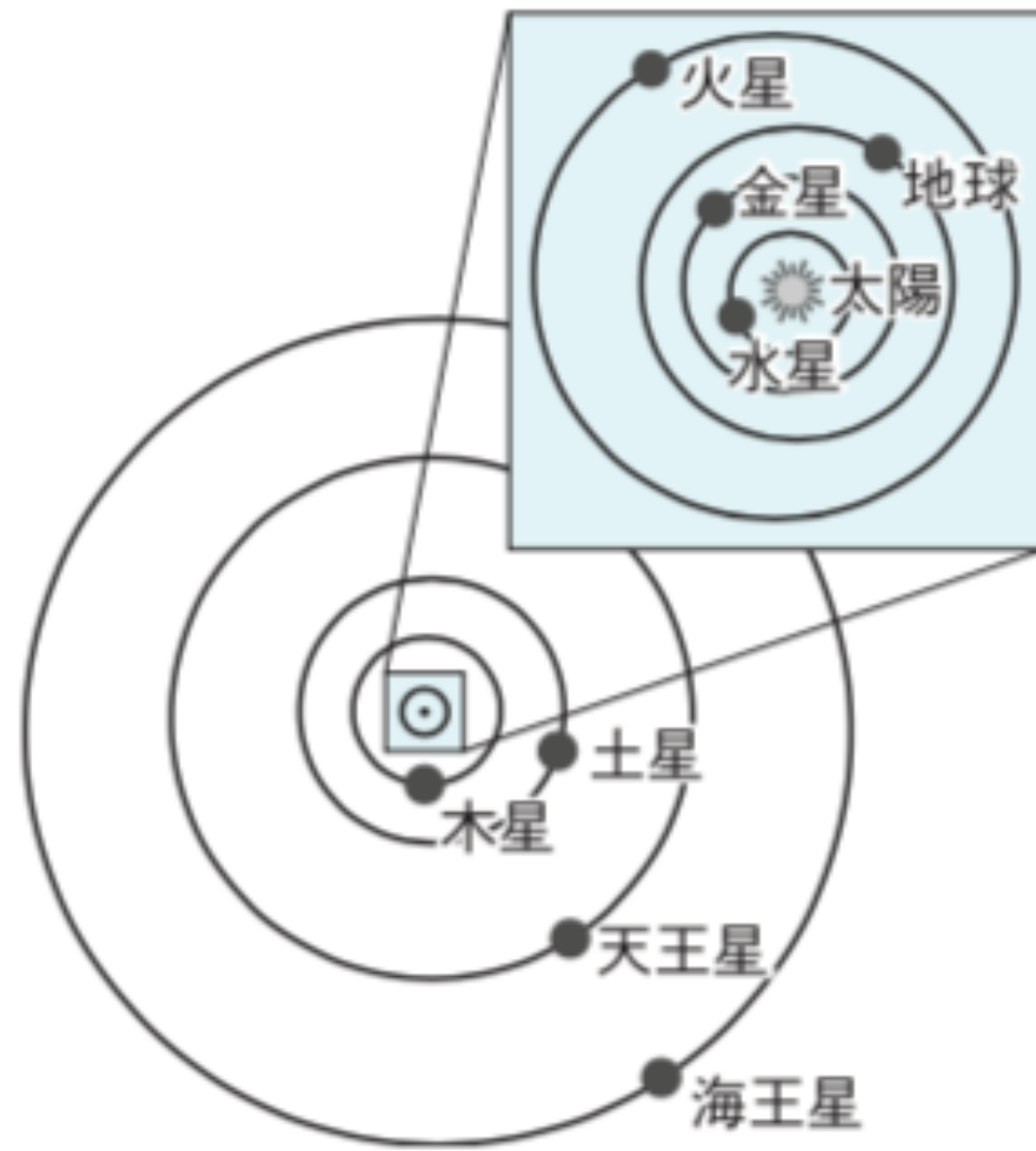
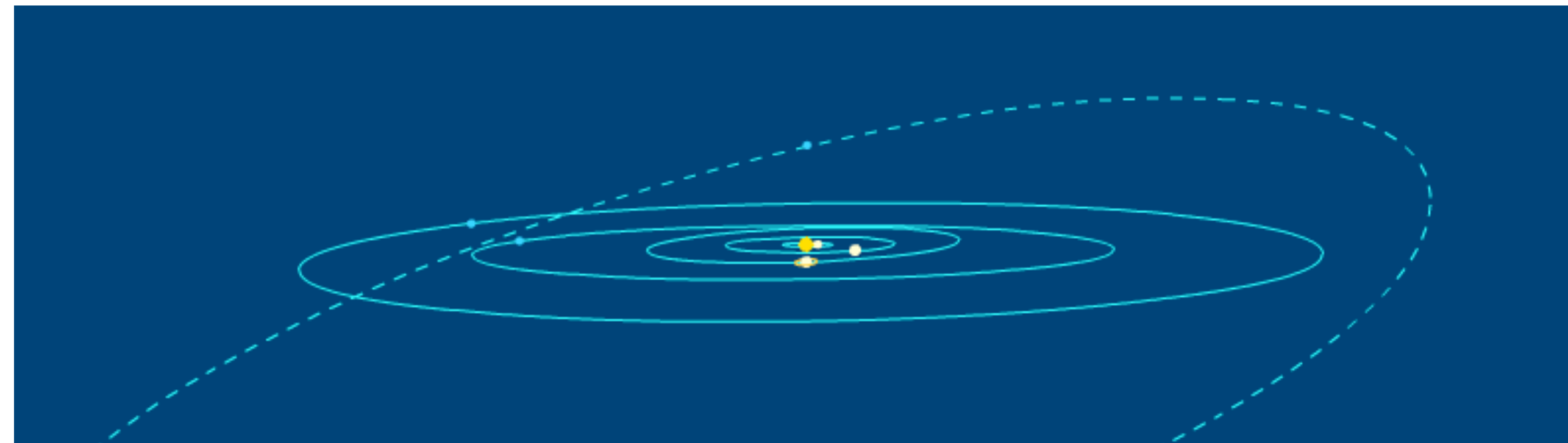
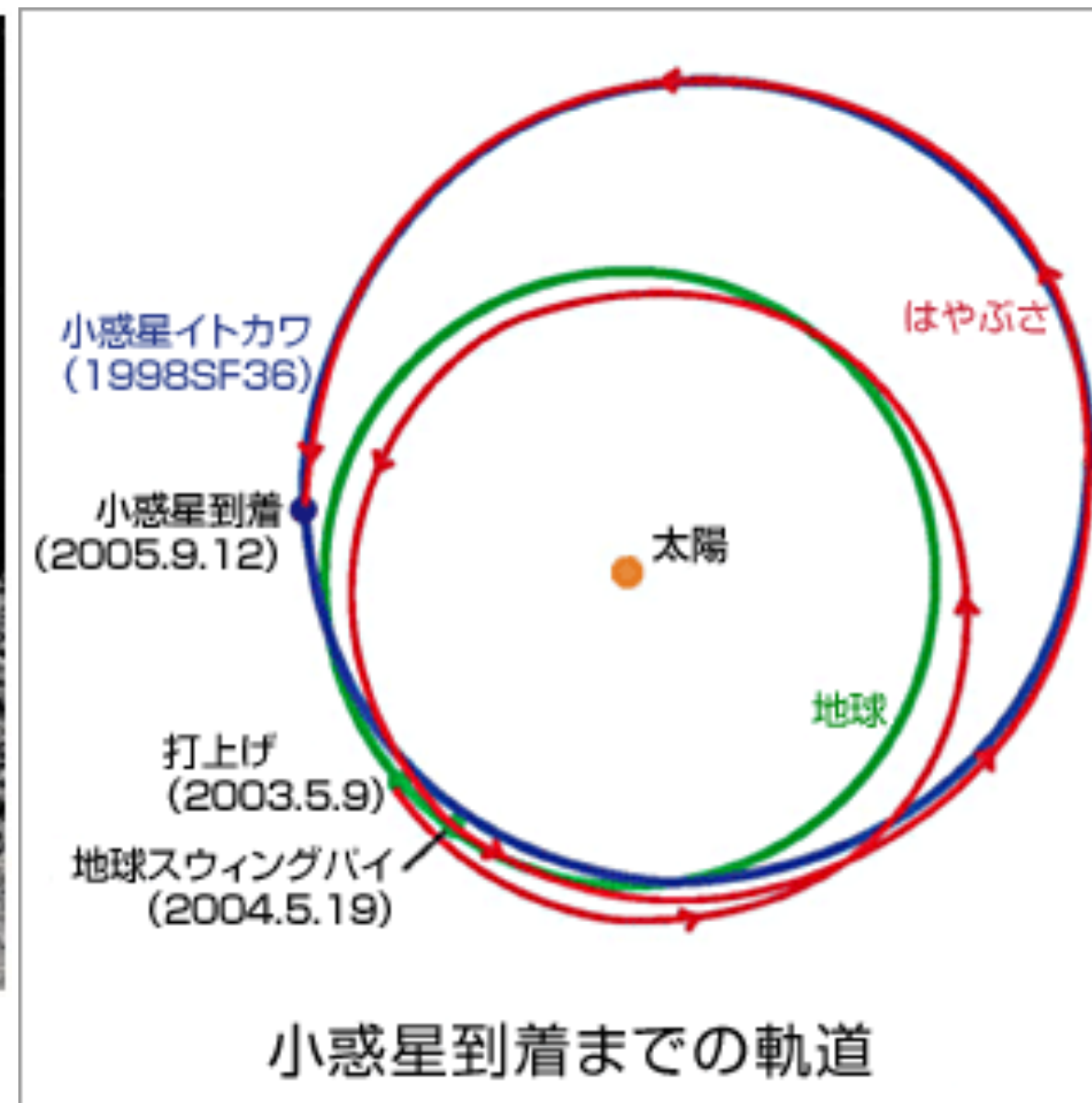


図 1.20 小惑星帯は火星と木星軌道の間にある。また、木星軌道にはトロヤ群と呼ばれる小惑星帯もある。トロヤ群は太陽と木星を 2 つの頂点として正三角形を描いたときの 3 つ目の頂点付近にある。



小惑星探査機 はやぶさ （2003年打ち上げ-2010年帰還）

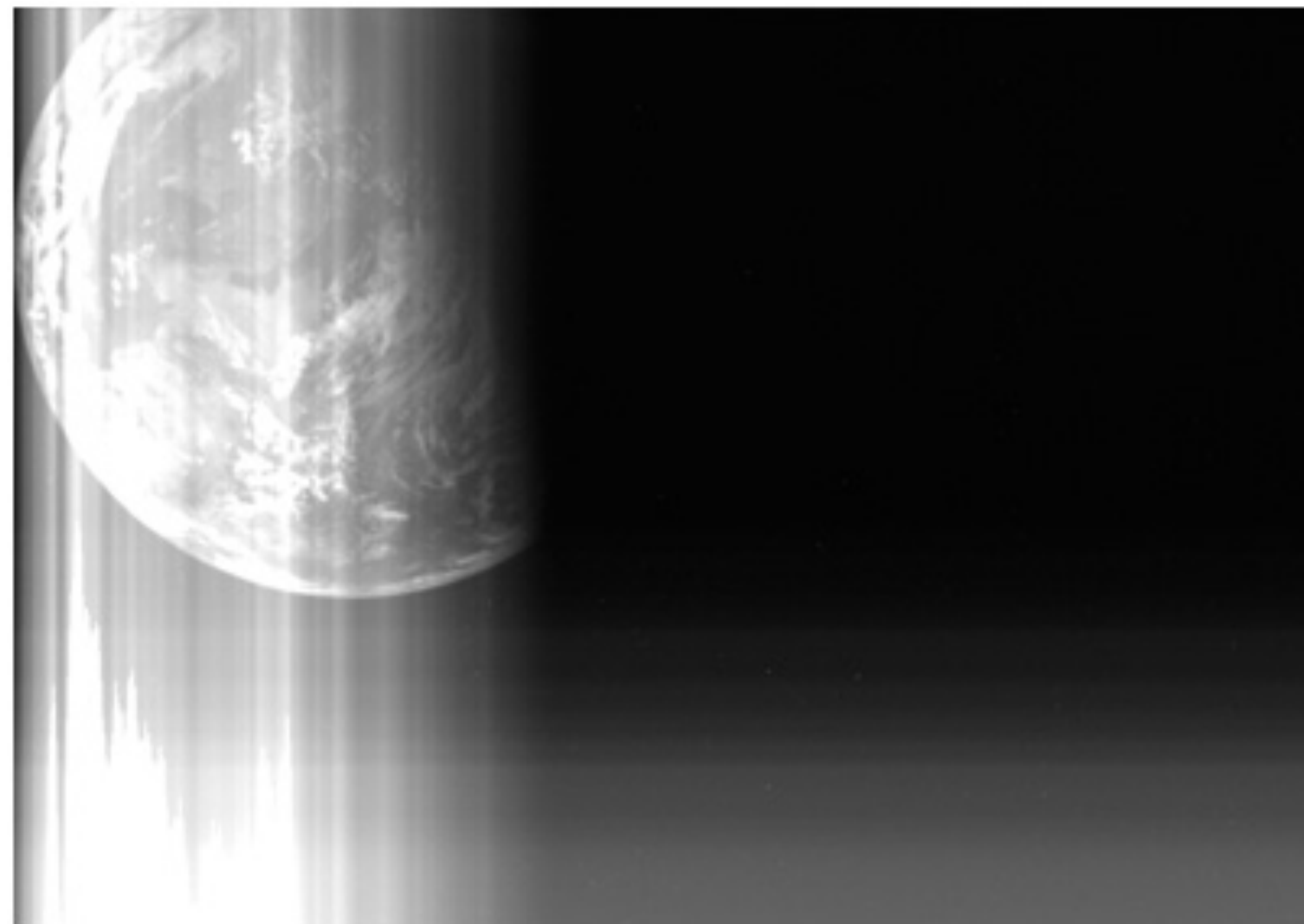


糸川英夫 (1912-1999)
「日本の宇宙開発・ロケット開発の父」

2003年5月9日 M-Vロケット5号機によって打ち上げ
2004年5月19日 地球スウィングバイ
2005年9月12日 小惑星イトカワに到着
2005年11月 史上初の小惑星への着陸を成功
2006年1月 通信途絶, 燃料漏れなどのトラブル
2010年6月 地球に帰還(予定より3年遅れ)



小惑星探査機 はやぶさ（2003年打ち上げ-2010年帰還）



はやぶさが最後に撮影した写真(地球)



大西浩次氏



2010年6月カプセル回収

小惑星探査機 はやぶさ2 (2014年12月打ち上げ)

太陽系の起源・進化を解明し、生命の原材料物質を調べるため、小惑星に着陸し、地球に岩石を持ち帰る2回目のプロジェクト小惑星探査機「はやぶさ2」が、いよいよ打ち上げられる。

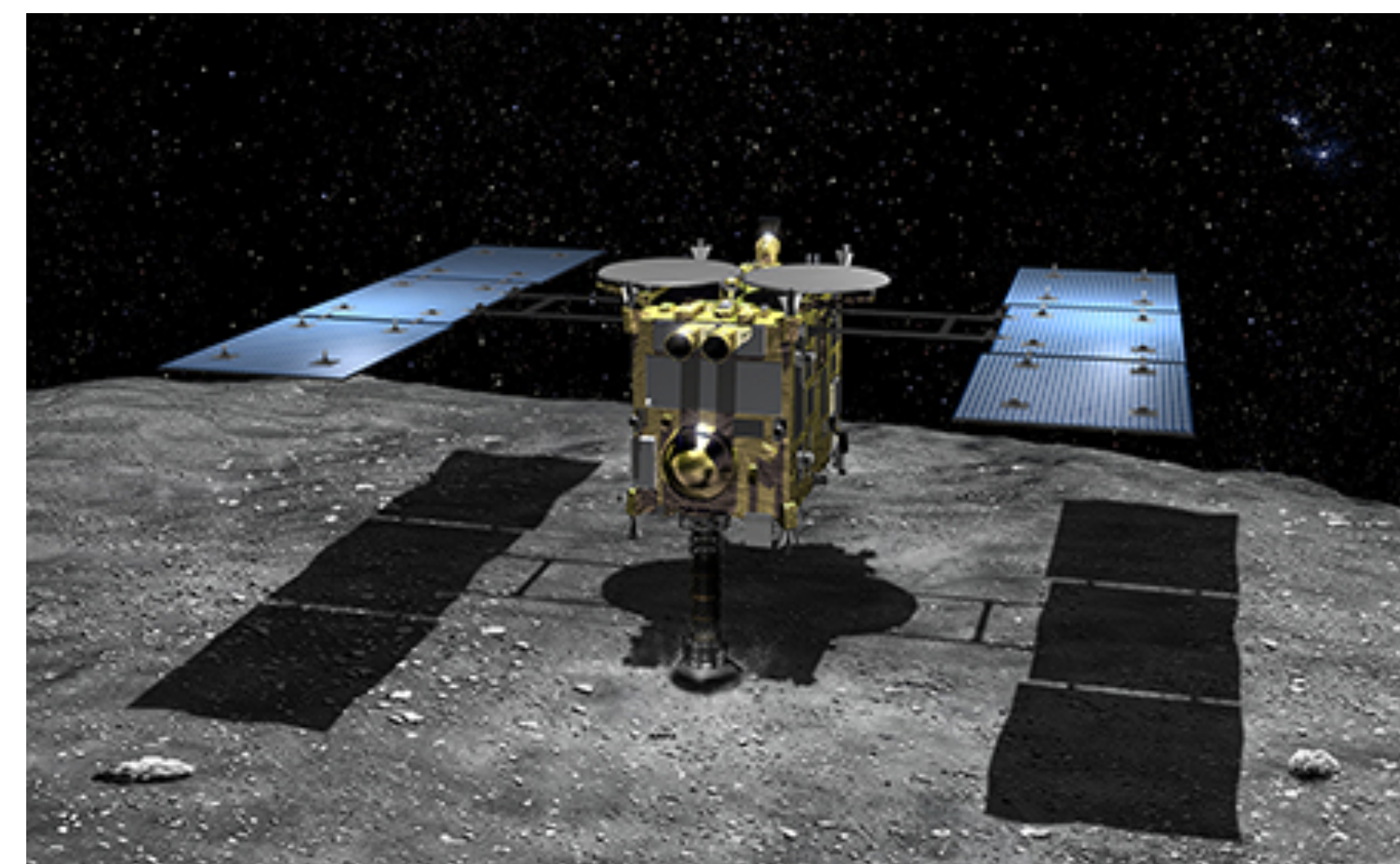
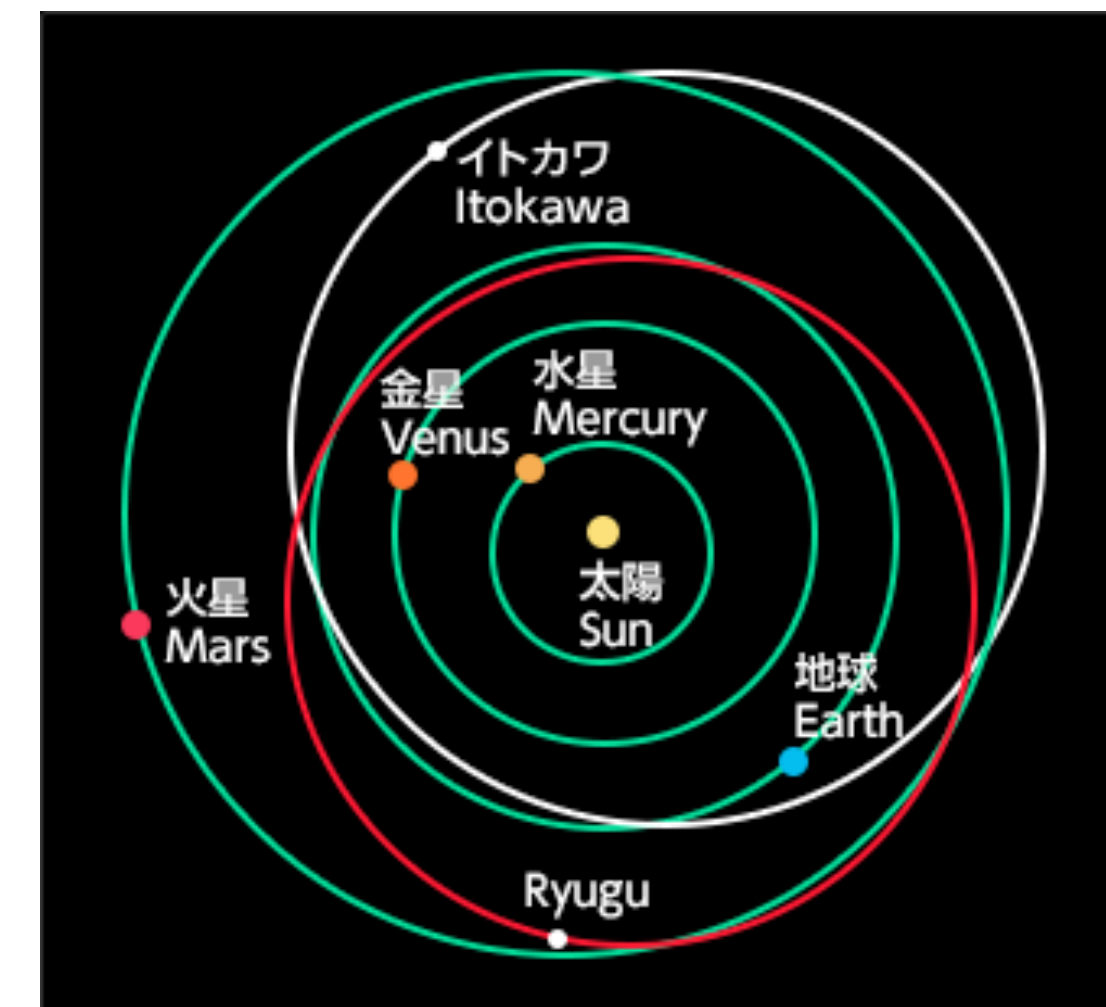
探査の候補となっているのは「1999 JU3」という小惑星で、地球に接近する軌道を持つ地球接近小惑星 (NEO) のひとつ。大きさは900m程度。鉱物・水・有機物の相互作用を明らかにし、小惑星の再集積過程、内部構造、地下物質を調査することにより、小惑星の形成過程を調べる。
2018年小惑星着陸, 2020年地球へ帰還予定。

12月6日帰還
ほぼ予定どおり

2014/11/30

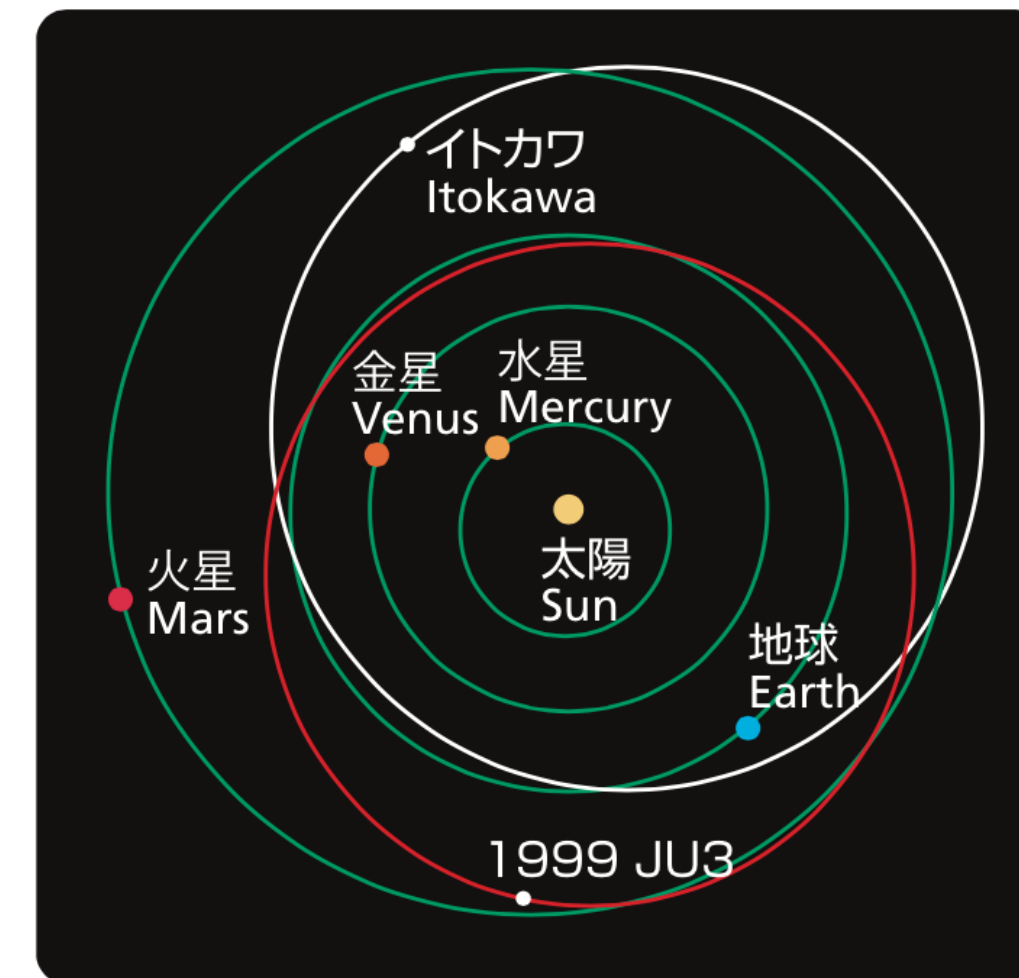
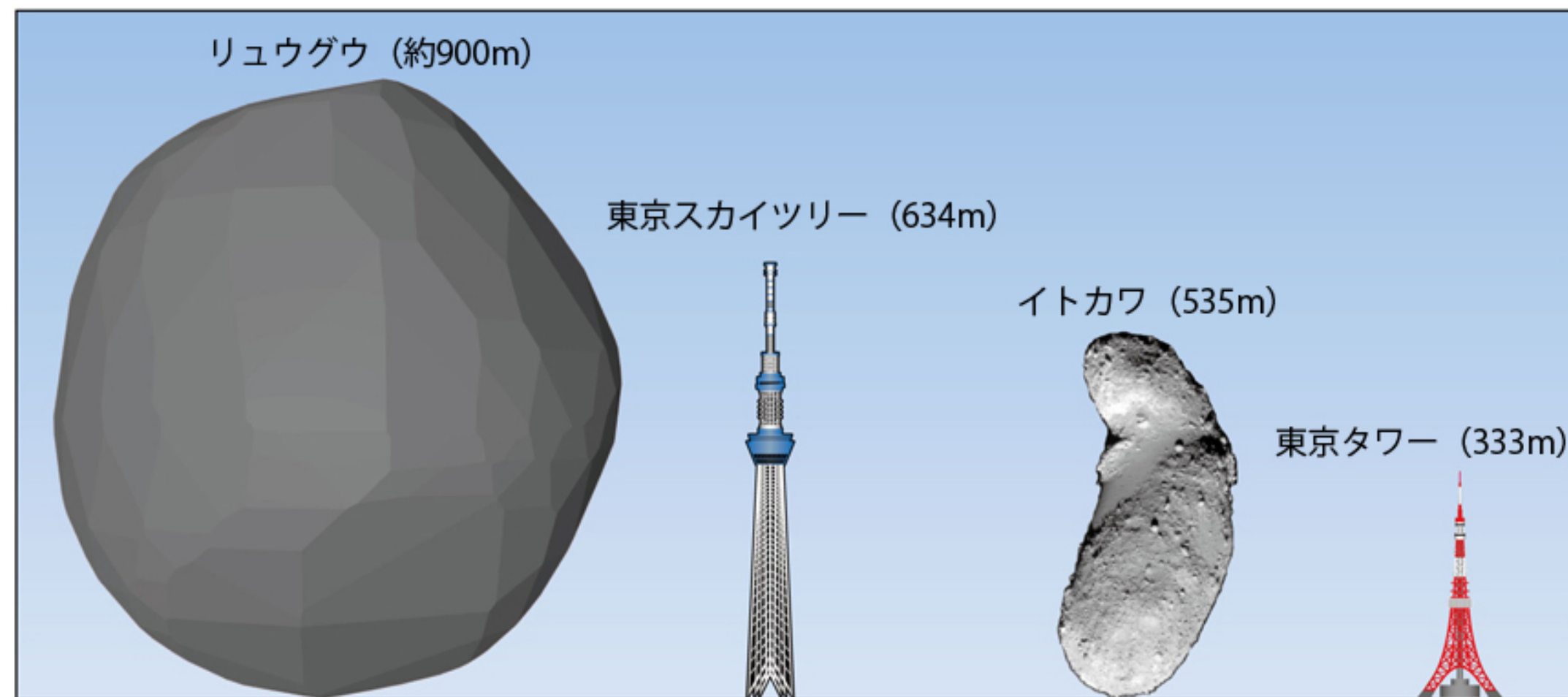
リュウグウ
と命名

リュウグウへ

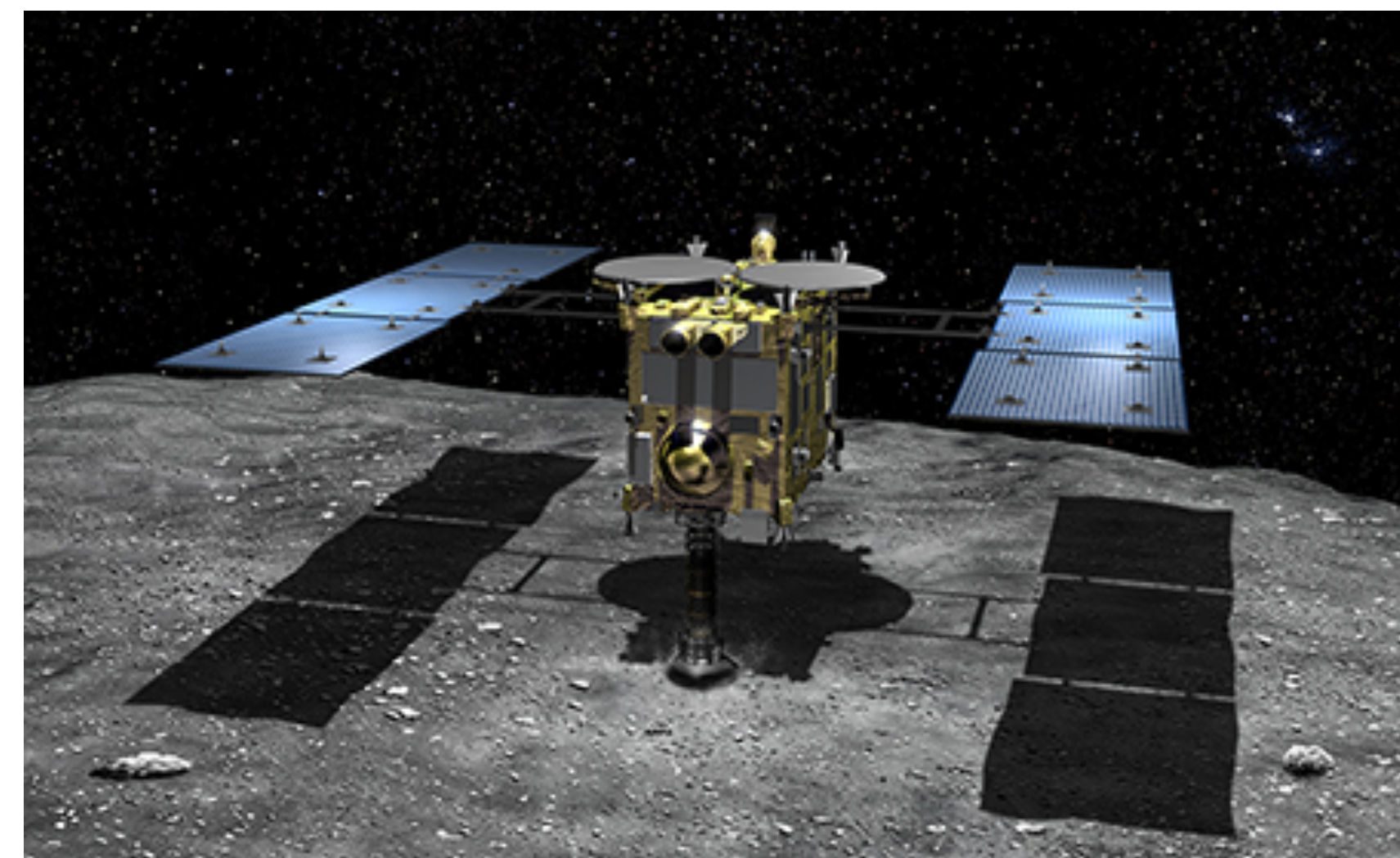


小惑星探査機 はやぶさ2（2014年12月打ち上げ）

リュウグウへ

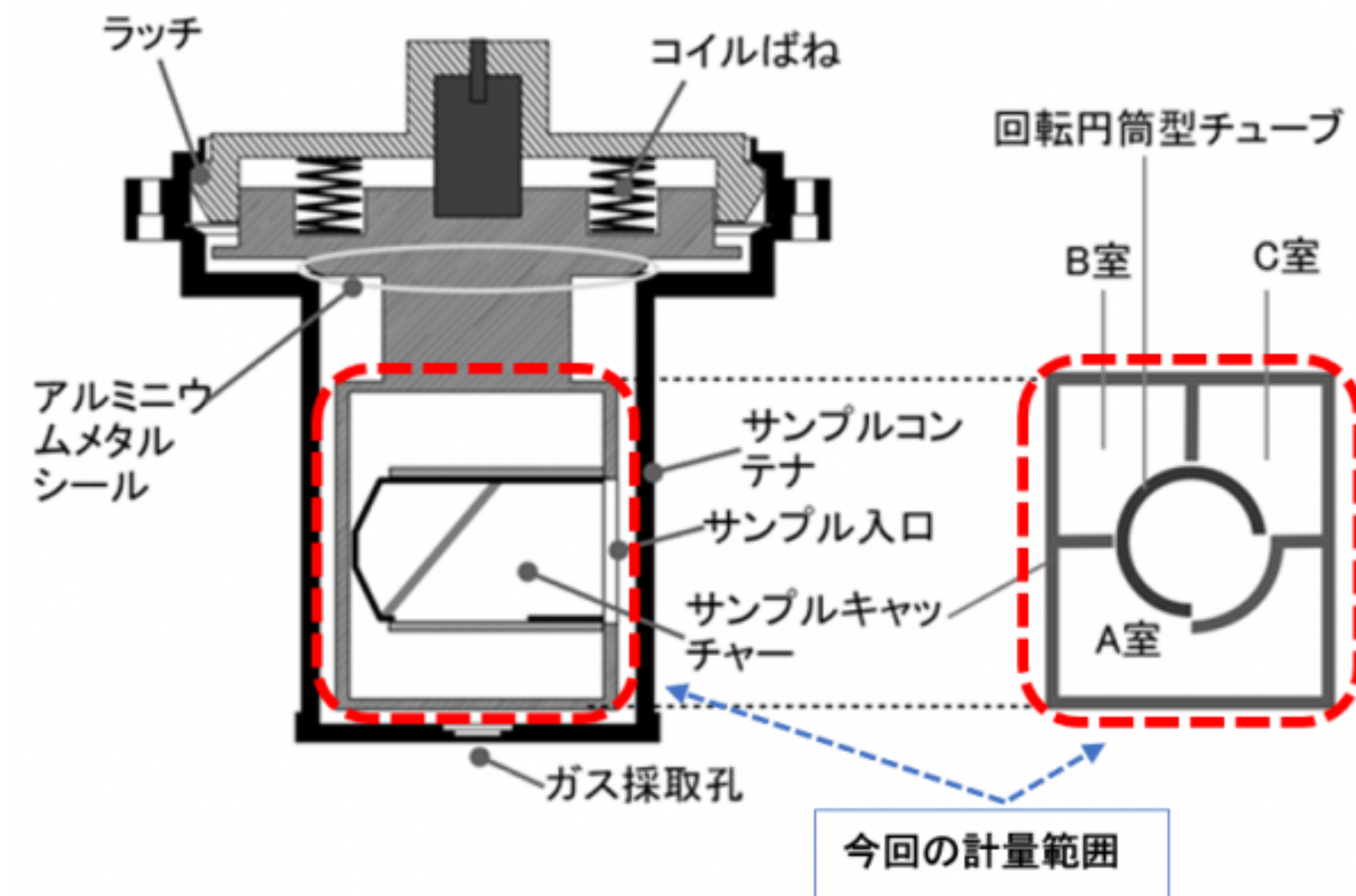


<http://www.hayabusa2.jaxa.jp/topics/20180323/>

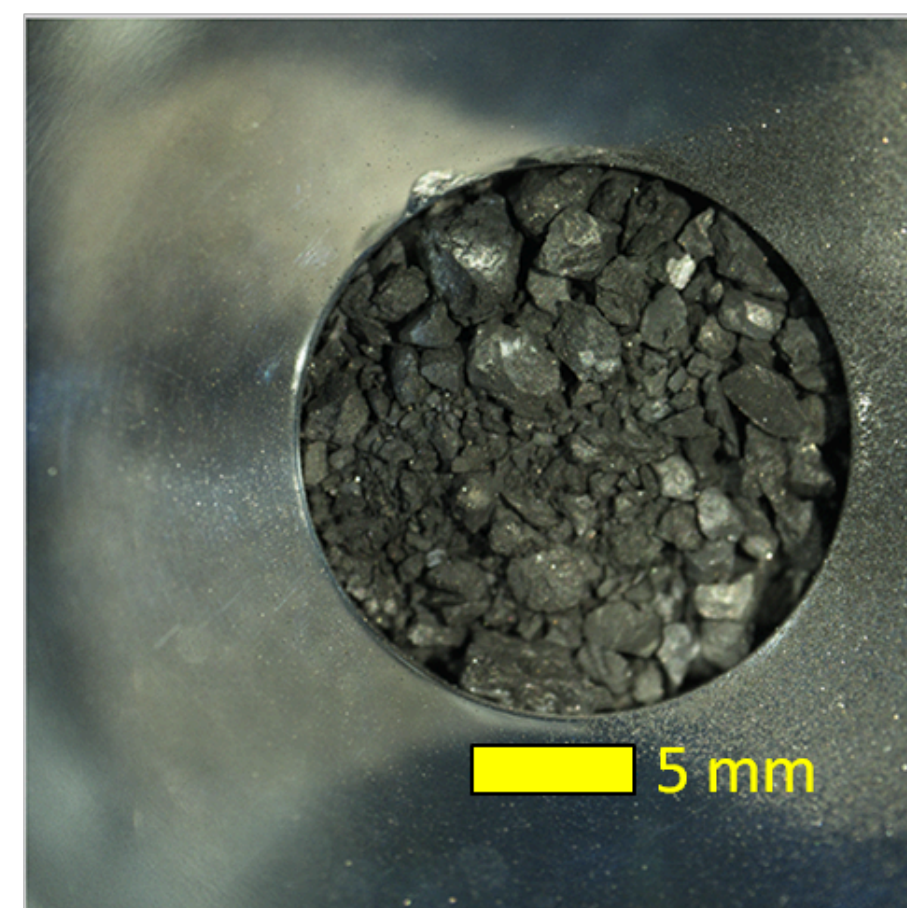




小惑星探査機 はやぶさ2（小惑星からの試料回収成功！）



A室開封後の画像



http://www.hayabusa2.jaxa.jp/topics/20201225_samples/index.html



トピックス

研究成果

ウェブリリース

2021年

2020年

2019年

2018年

2017年

2016年

2015年

2014年

打上げ・実験

アーカイブ

キーワード

2020年12月18日

小惑星探査機「はやぶさ2」が採取した小惑星Ryugu(リュウグウ)サンプルは約5.4グラム

小惑星探査機「はやぶさ2」再突入カプセルにより地球帰還した小惑星Ryugu(リュウグウ)サンプルの重量が約5.4グラムであることがわかりました。

これは、2020年12月18日にJAXA相模原キャンパス内地球外試料キュレーションセンターにて、小惑星探査機「はやぶさ2」再突入カプセルより取り出したサンプルコンテナ内の「サンプルキャッチャー」全体としてサンプル込みで秤量することにより、打上げ前の「サンプルキャッチャー」重量との差分から、採取したサンプルのおおよその総重量(A、B、C室内サンプルの合計)を算出しました。これには12月14日にサンプルコンテナの底面に確認した「サンプルキャッチャー」外のサンプル量は含まれません。

「はやぶさ2」設計時の目標サンプル収量として、初期分析で必要な科学分析を実施できるだけの量としていた0.1グラムを大きく超えるサンプル量が採取できていたことになります。

<http://www.isas.jaxa.jp/topics/002526.html>

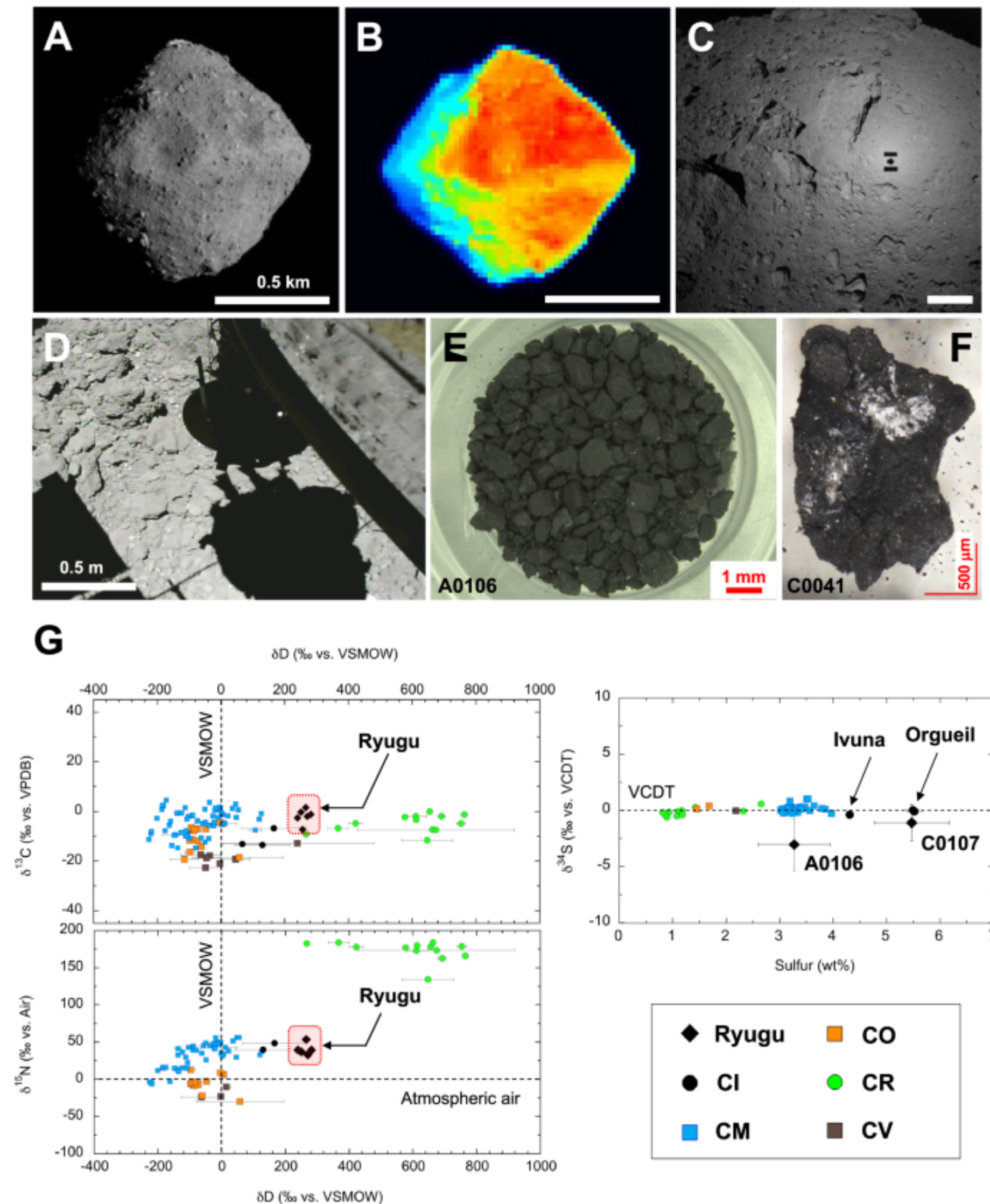
Primordial aqueous alteration recorded in water-soluble organic molecules from the carbonaceous asteroid (162173) Ryugu

探査機「はやぶさ2」が小惑星リュウグウから持ち帰った砂に、アミノ酸などの材料となる分子が含まれていたと、海洋研究開発機構（JAMSTEC）などのグループが10日発表した。

研究チームは、試料の含有成分を熱水で抽出して分析した。試料からはこれまでアミノ酸や核酸塩基が見つかったが、今回さらに、アミノ酸の材料になる「ピルビン酸」▽核酸塩基の材料になる「リンゴ酸」▽細胞壁のもとになる「メバロン酸」▽エネルギー代謝に必須の「クエン酸」――など65種類の有機酸と、19種類の窒素分子が見つかったという。

リュウグウは、昼は最高100度、夜は氷点下50度にもなり、水は凍結と融解を繰り返す。それに伴い、水に浸された岩石が壊され、細かなすき間ができる。その過程で、水と鉱物と有機物が相互に働き合い、多種多様な有機酸が作り出されたと考えられるという。

チームによると、リュウグウはかつて水に満たされていた。だが、今回見つかった有機酸の一つで、水に接すると構造を変えてしまう「マロン酸」の残存量が少なかった。これはリュウグウが、水と鉱物などの化学反応が比較的進んだ天体であることを示しているという。



Article | [Open access](#) | Published: 10 July 2024

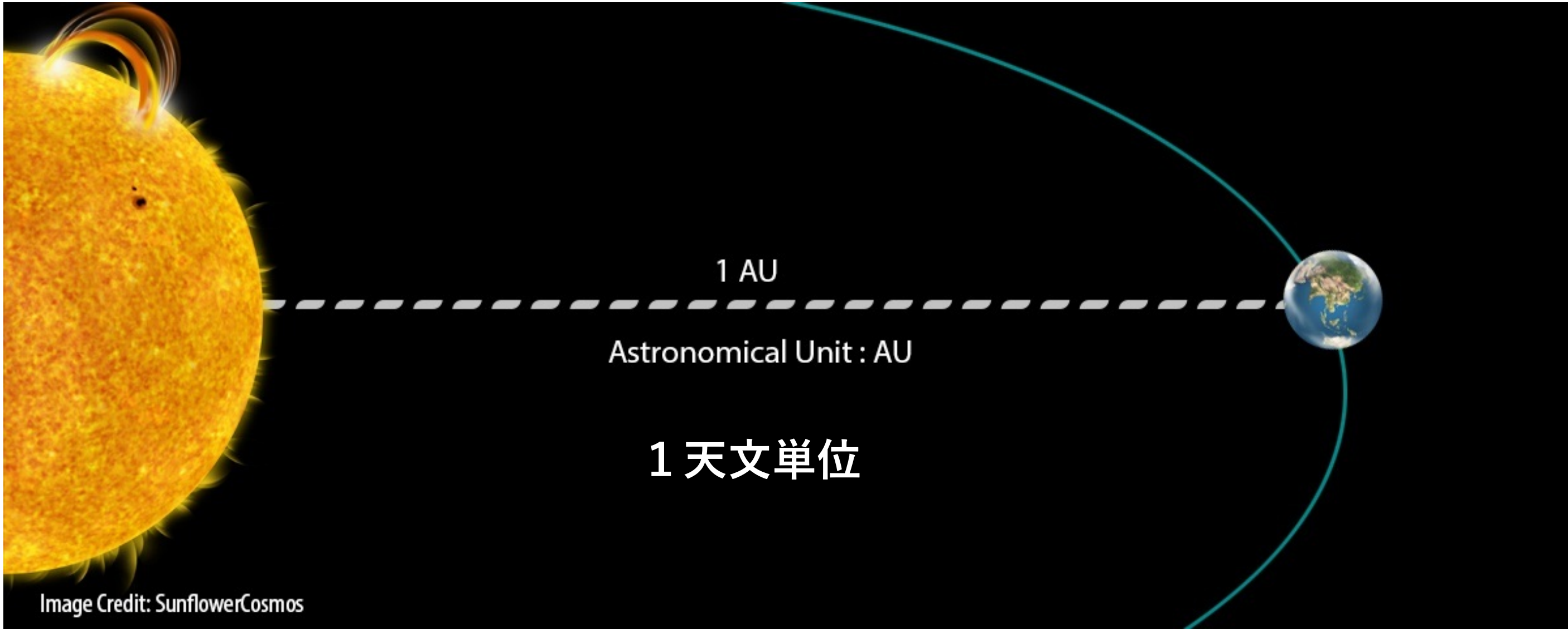
Primordial aqueous alteration recorded in water-soluble organic molecules from the carbonaceous asteroid (162173) Ryugu

[Yoshinori Takano](#) , [Hiroshi Naraoka](#), [Jason P. Dworkin](#), [Toshiki Koga](#), [Kazunori Sasaki](#), [Hajime Sato](#), [Yasuhiro Oba](#), [Nanako O. Ogawa](#), [Toshihiro Yoshimura](#), [Kenji Hamase](#), [Naohiko Ohkouchi](#), [Eric T. Parker](#), [José C. Aponte](#), [Daniel P. Glavin](#), [Yoshihiro Furukawa](#), [Junken Aoki](#), [Kuniyuki Kano](#), [Shin-ichiro M. Nomura](#), [Francois-Regis Orthous-Daunay](#), [Philippe Schmitt-Kopplin](#), [Hayabusa2-initial-analysis SOM team](#), [Hisayoshi Yurimoto](#), [Tomoki Nakamura](#), [Takaaki Noguchi](#), ... [Shogo Tachibana](#) [+ Show authors](#)

[Nature Communications](#) **15**, Article number: 5708 (2024) | [Cite this article](#)

距離の単位 【天文単位, AU】

名	記号	長さ	定義
▶ 天文単位	AU	1 億 5000 万 km	地球と太陽の距離
光年	ly	9.46×10^{12} km	光が 1 年間に進む距離
パーセク	pc	3.09×10^{13} km = 3.26 ly	地球からの年周視差が ± 1 秒角
赤方偏移	z		本来の光の波長のずれの比



$$\frac{1 \text{ 億}5000\text{万 [km]}}{\text{光速 } 30 \text{ 万 [km/s]}} = 500 \text{ [s]} = 8\text{分}20\text{秒}$$

太陽光が地球に届くまでの時間

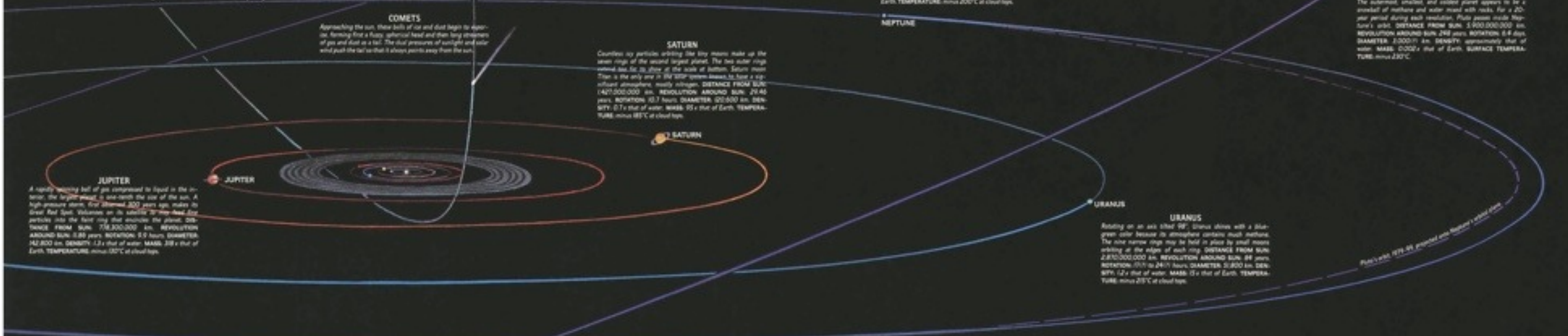
THE SOLAR SYSTEM

Produced by the Cartographic Division
National Geographic Society
CLBERT M. GROSVENOR, PRESIDENT
NATIONAL GEOGRAPHIC MAGAZINE

WILLIAM E. GARNETT, EDITOR
ROBERT J. SHARPE, CHIEF CARTOGRAPHER
JOHN J. SHARP, ASSOCIATE CHIEF CARTOGRAPHER

WASHINGTON JULY 1999

Design: John F. Doe
Art: David K. Thompson
Research: Charles P. Case, Emily B. Rogers



BORN IN THE VIOLENT DEATH of some long-lost star, our solar system began to evolve when expanding debris from a nearby supernova explosion passed through a vast tenuous cloud of gas and dust more than 4.6 billion years ago. Compression, created by the dying star's shock waves, triggered the collapse of the gas cloud, and its own self-gravity pulled it together with an inevitable increase in density and temperature. Within the blink of a cosmic eye, the cloud had become a rotating disk of gas and vaporized dust grains. The hub would become a new star, the sun; the disk would generate the planets and their satellites, the asteroids, and the comets that make up our solar system.

As the disk cooled, various materials condensed from the cloud: tiny grains of silicates, metals, and ices of water, carbon dioxide, methane, and ammonia. When these collided, they coalesced.

Soon only larger bodies remained. The newly formed sun, shining at full brilliance, had driven most of the remaining dust and gas into

interstellar space by means of the solar wind—streams of rapidly moving atomic particles—and the persistent pressure of its own light. Surviving bodies continued to collide and grow. Because they coalesced at different distances from the sun's heat, they varied in composition.

Today in the dark fringes of the system, barely within the sun's gravitational grasp, are objects composed mostly of ices—the comets. They circle until disturbed by a passing star. Their altered path may bring them nearer to the sun, after which most return to remote regions of their origin.

Separating the inner and outer planets are the asteroids, rock fragments ranging in size from 1,000 km to less than one km across. Asteroids, like comets, are probably surviving flotsam from the early solar system.

Four terrestrial, or earthlike, planets inhabit the inner part of our solar system. Each is a solid sphere with a metallic core surrounded by shells of silicates, relatively depleted of volatiles. All were cratered by meteorites and alive

with volcanism and earthquakes in times past. Volcanoes exhaled the gases that became the atmospheres existing today on Venus, Earth, and Mars. The atmosphere of Mars, primarily carbon dioxide, has a surface pressure less than one-hundredth that of Earth, while the atmosphere of Venus, also mostly CO₂, produces a crushing surface pressure nearly a hundred times our own. Mercury is airless, so small and close to the sun that its gases were quickly lost to space.

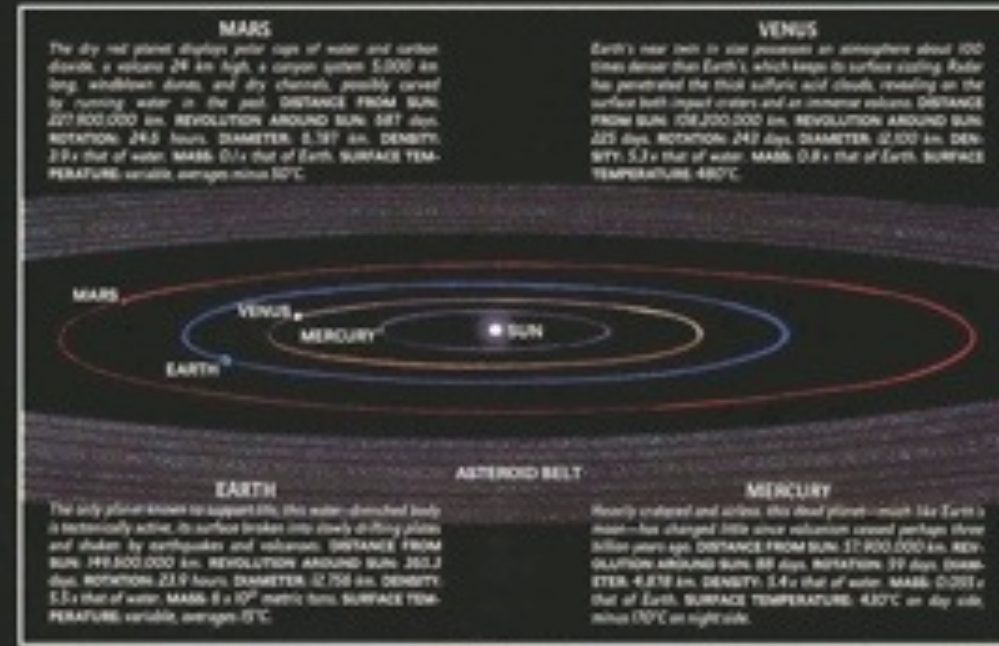
The giant outer planets contain 99 percent of all material in the solar system, excluding the sun. Each is a huge spheroid of gases—hydrogen and helium with some methane, ammonia, water, and other volatiles. Beneath cloud layers, gaseous hydrogen becomes increasingly dense—at one point becoming liquid and, at still greater depths in Jupiter and Saturn, changing to a metallic state. All four planets probably have cores of silicates, metals, and water. Except for Uranus, the giant planets radiate more heat back into space than they absorb

from the sun. This residue of primordial energy, left over from their creation, is like the warmth from dying coals.

Many of the regular satellites of the giant planets—those that formed along with the planet as opposed to being captured later—are large enough to be considered planets themselves. The four large moons of Jupiter have silicate cores and, with the exception of Io, are surrounded by shells of ice and possibly liquid water. Io, raging with sulfur and sulfur dioxide volcanism, is the only body other than Earth known to exhibit active volcanoes.

Pluto, with its large satellite, Charon, takes on the characteristics of a double planet. Pluto has a thin atmosphere of methane gas, and both bodies may be composed of ices such as methane. Orbiting at the outer edge of the planetary realm, Pluto may well be a transition object between planets and comets.

BRADFORD A. SMITH
DEPARTMENT OF PLANETARY SCIENCES
UNIVERSITY OF ARIZONA, TUCSON



INNER PLANETS



図 4: 太陽の質量は, 太陽系全体の 99.85%を占めている.

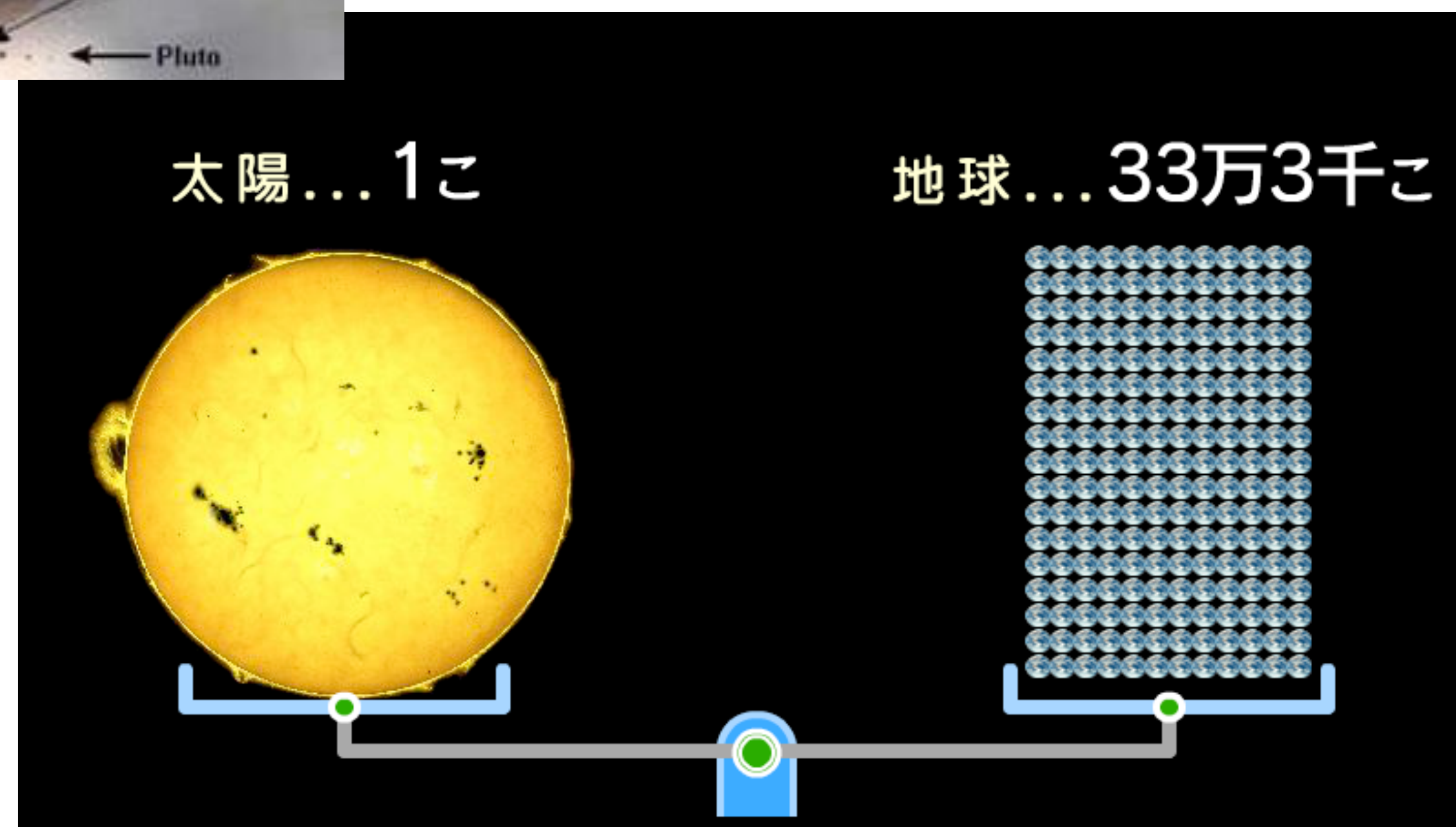
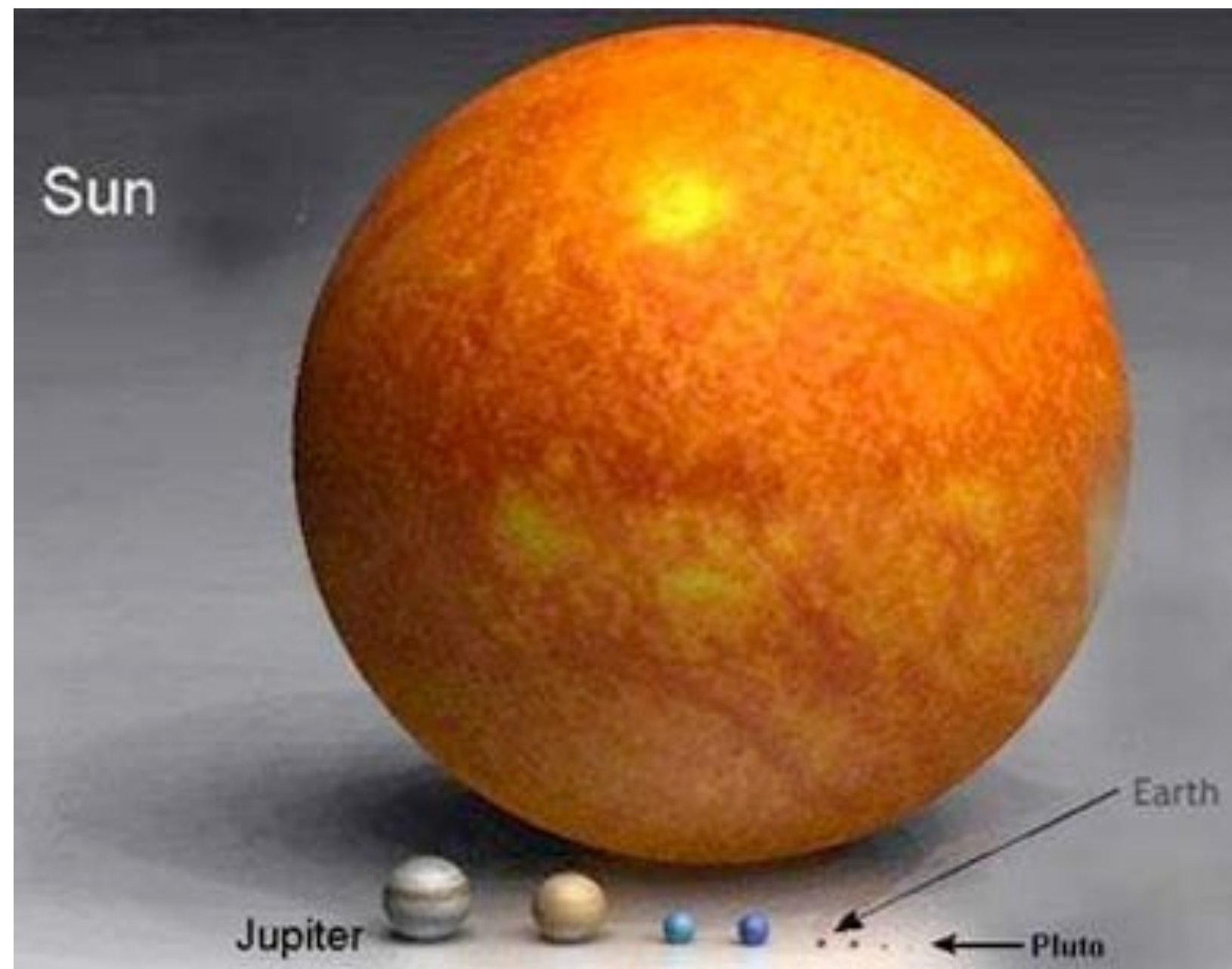


表 1.6 太陽系の惑星と準惑星. a は軌道長半径. 離心率はどれだけ円軌道からずれているかを示す (§2.2.2 参照). ハウメアの楕円体の大きさは $1960\times1518\times996$ km.

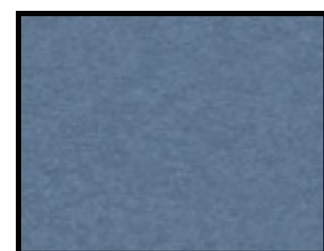
天体名		a [AU]	周期 [年]	離心率	半径 [km]	質量 [kg]	分類
太陽	Sun	—	—	—	696000	1.99×10^{30}	—
惑星	水星	0.39	0.24	0.21	2440	3.3×10^{23}	岩石惑星
	金星	0.72	0.62	0.007	6052	4.9×10^{24}	岩石惑星
	地球	1.00	1.00	0.02	6378	6.0×10^{24}	岩石惑星
	火星	1.52	1.88	0.09	3396	6.4×10^{23}	岩石惑星
	木星	5.20	11.86	0.05	71492	1.9×10^{27}	ガス惑星
	土星	9.55	29.46	0.06	60268	5.7×10^{26}	ガス惑星
	天王星	19.22	84.02	0.05	25559	8.7×10^{25}	ガス惑星
	海王星	30.11	164.77	0.009	24764	1.0×10^{26}	氷惑星
準惑星	ケレス	2.77	4.6	0.08	474	9.5×10^{20}	
	冥王星	39.54	247.80	0.25	1151	1.3×10^{22}	
	ハウメア	43.03	282.29	0.197	楕円体	4.0×10^{21}	
	マケマケ	45.35	305.45	0.163	??	$4.0 \times 10^{21}?$	
	エリス	68.05	305.45	0.163	??	$1.66 \times 10^{22}?$	



大管弦樂のための組曲「惑星」 (The Planets)
(1914-1916年作曲)

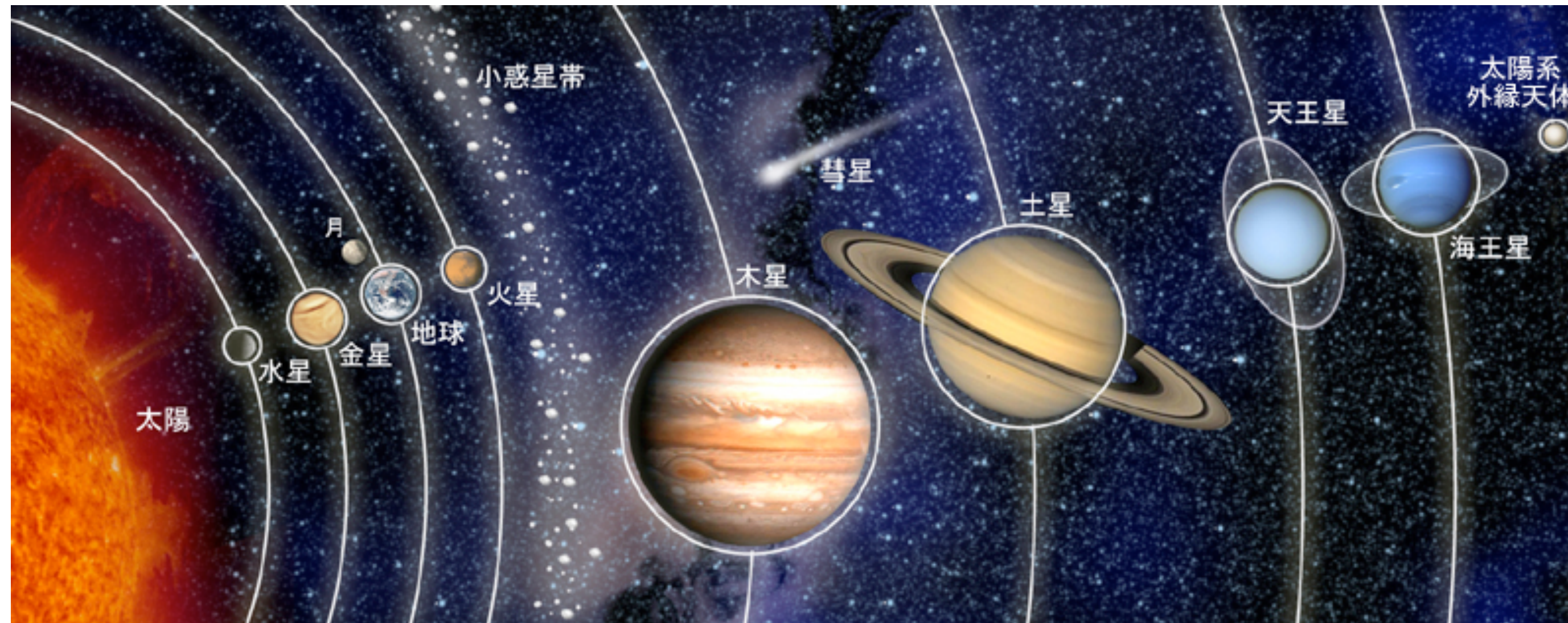
- 1 火星、戦争をもたらす者
- 2 金星、平和をもたらす者
- 3 水星、翼のある使者
- 4 **木星、快樂をもたらす者**
- 5 土星、老いをもたらす者
- 6 天王星、魔術師
- 7 海王星、神秘主義者

Gustav Holst
1874–1934



Leonard Slatkin: Philharmonia Orchestra

2006年, 冥王星は, なぜ惑星から外されたか？

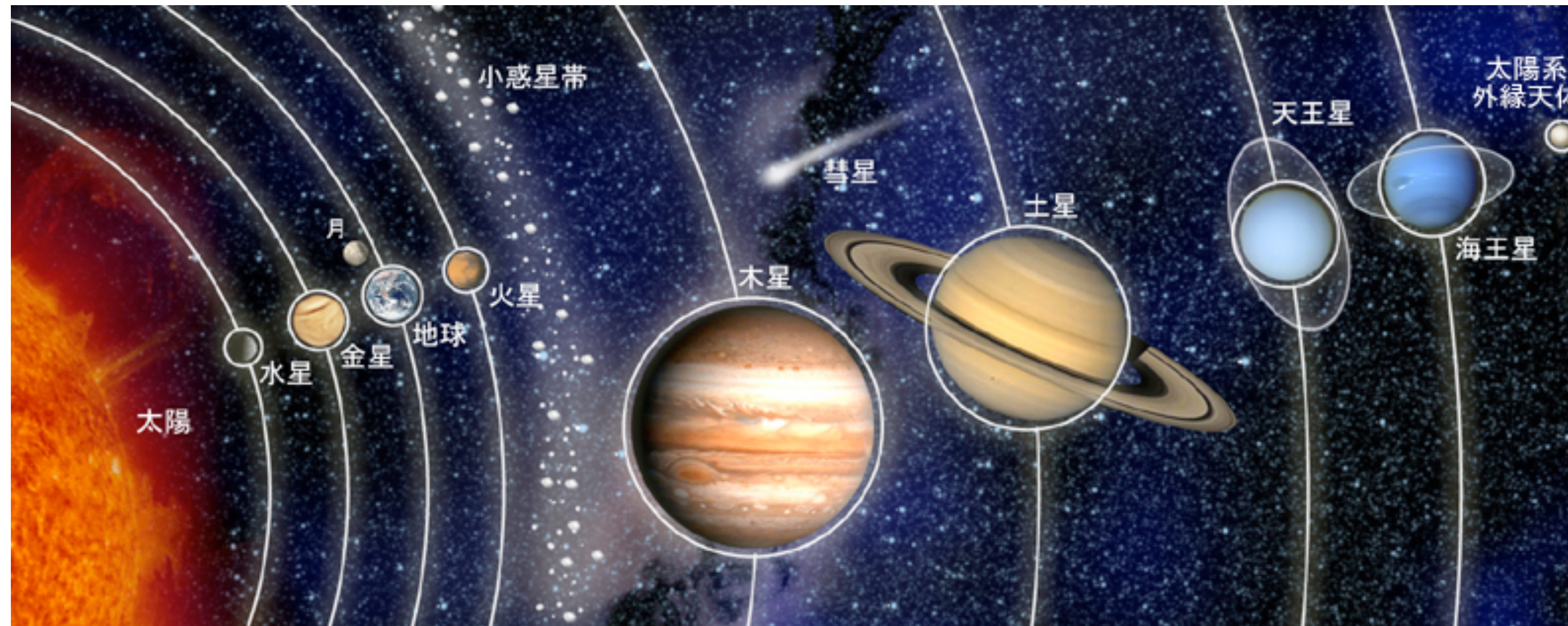


水, 金, 地, 火, 木, 土, 天, 海, 冥



2006年8月に行われた国際天文学連合（IAU）の総会で、惑星についての新しい定義が採択。冥王星は惑星ではなくなり「準惑星」に分類されることになった。

2006年, 冥王星は, なぜ惑星から外されたか？

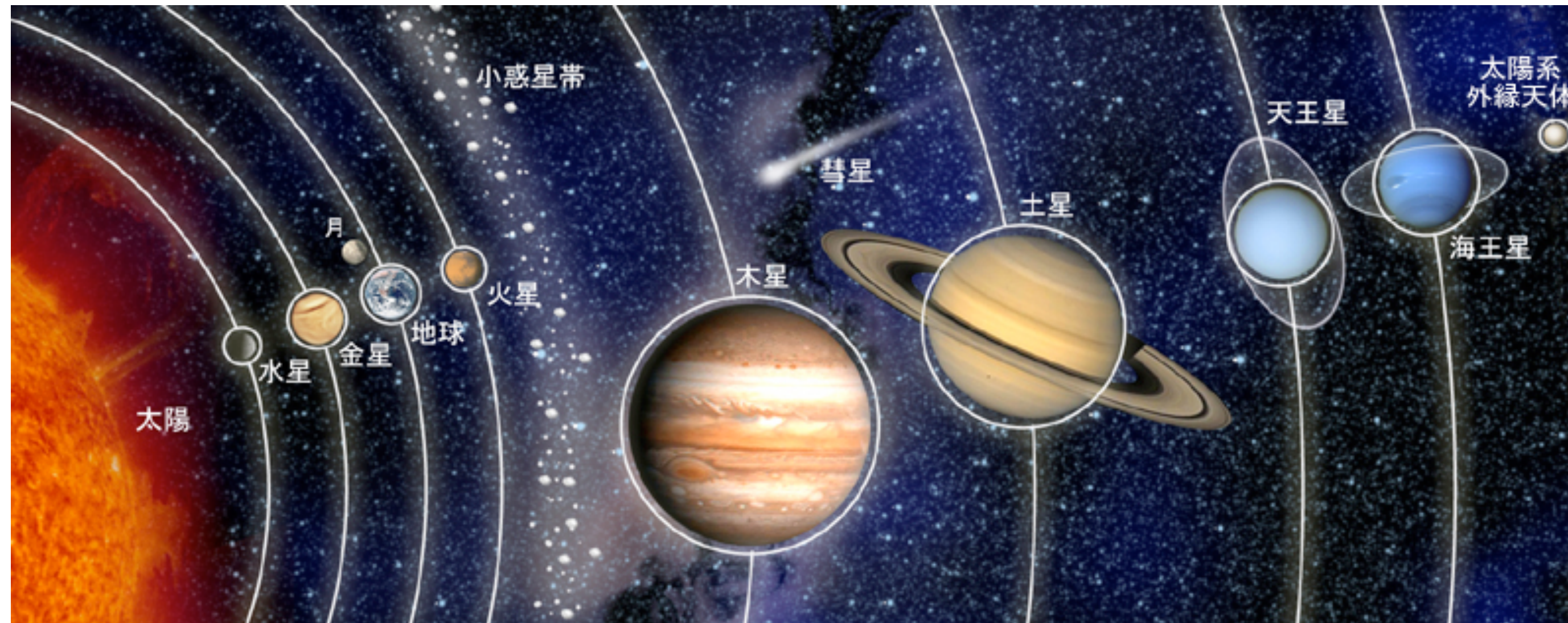


水, 金, 地, 火, 木, 土, 天, 海, ~~冥~~
ケレス

エリス
ハウメア
マケマケ

1992年以来、海王星の外側に次々と小天体が発見された。ついには冥王星よりも大きいエリスという天体まで発見された。

2006年, 冥王星は, なぜ惑星から外されたか？



水, 金, 地, 火, 木, 土, 天, 海,

惑星
planet

ケレス

準惑星

dwarf planet

冥

エリス
ハウメア
マケマケ

太陽系外縁天体(TNO)

太陽系を回る天体の分類

表 1.5 太陽系を回る天体の分類

	定義
惑星	(1) 十分な質量があってほぼ球形の天体である, (2) 太陽を周回する軌道である, (3) その軌道上では他の天体を一掃してしまっている, の 3 条件をみたす天体
準惑星	惑星の定義の (1)(2) をみたし, かつ (3) その軌道近傍では他の天体が存在する (4) 衛星ではない天体.
太陽系小天体	冥王星型天体以外の太陽系外縁天体, 小惑星, 彗星, 惑星間塵など.

惑星

planet

準惑星

dwarf planet

太陽系小天体

small solar system bodies

表 1.6 太陽系の惑星と準惑星. a は軌道長半径. 離心率はどれだけ円軌道からずれているかを示す (§2.2.2 参照). ハウメアの楕円体の大きさは $1960 \times 1518 \times 996$ km.

天体名		a [AU]	周期 [年]	離心率	半径 [km]	質量 [kg]	分類
太陽	Sun	—	—	—	696000	1.99×10^{30}	—
水星	Mercury	0.39	0.24	0.21	2440	3.3×10^{23}	岩石惑星
金星	Venus	0.72	0.62	0.007	6052	4.9×10^{24}	岩石惑星
地球	Earth	1.00	1.00	0.02	6378	6.0×10^{24}	岩石惑星
火星	Mars	1.52	1.88	0.09	3396	6.4×10^{23}	岩石惑星
木星	Jupitar	5.20	11.86	0.05	71492	1.9×10^{27}	ガス惑星
土星	Saturn	9.55	29.46	0.06	60268	5.7×10^{26}	ガス惑星
天王星	Uranus	19.22	84.02	0.05	25559	8.7×10^{25}	ガス惑星
海王星	Neptune	30.11	164.77	0.009	24764	1.0×10^{26}	氷惑星
ケレス	Ceres	2.77	4.6	0.08	474	9.5×10^{20}	
冥王星	Pluto	39.54	247.80	0.25	1151	1.3×10^{22}	
ハウメア	Haumea	43.03	282.29	0.197	楕円体	4.0×10^{21}	
マケマケ	Makemake	45.35	305.45	0.163	??	$4.0 \times 10^{21}?$	
エリス	Eris	68.05	305.45	0.163	??	$1.66 \times 10^{22}?$	

【2006年】

冥王星の降格に反対したアメリカ

コラム 5 冥王星の降格に反対したアメリカ

惑星の定義を議論した 2006 年 8 月の国際天文連合総会において、冥王星を惑星から準惑星へ降格させることに最後まで反対したのはアメリカだった。理由は単純で、冥王星を発見したのがアメリカ人のトンボー (Clyde W. Tombaugh, 1906–97) だったからである。

トンボーは、1930 年、複数の天体写真を比較する手法で、移動している天体を発見した。新しい惑星の命名にはさまざまな提案がされたが、ローマ神話で冥府の王の名前 Pluto を最初に提案したのは、当時 11 歳の少女だったという。ディズニーのアニメに登場するミッキーマウスのペットの犬は、1930 年に誕生し、この冥王星の名前にあやかってプルート (Pluto) と名づけられた。

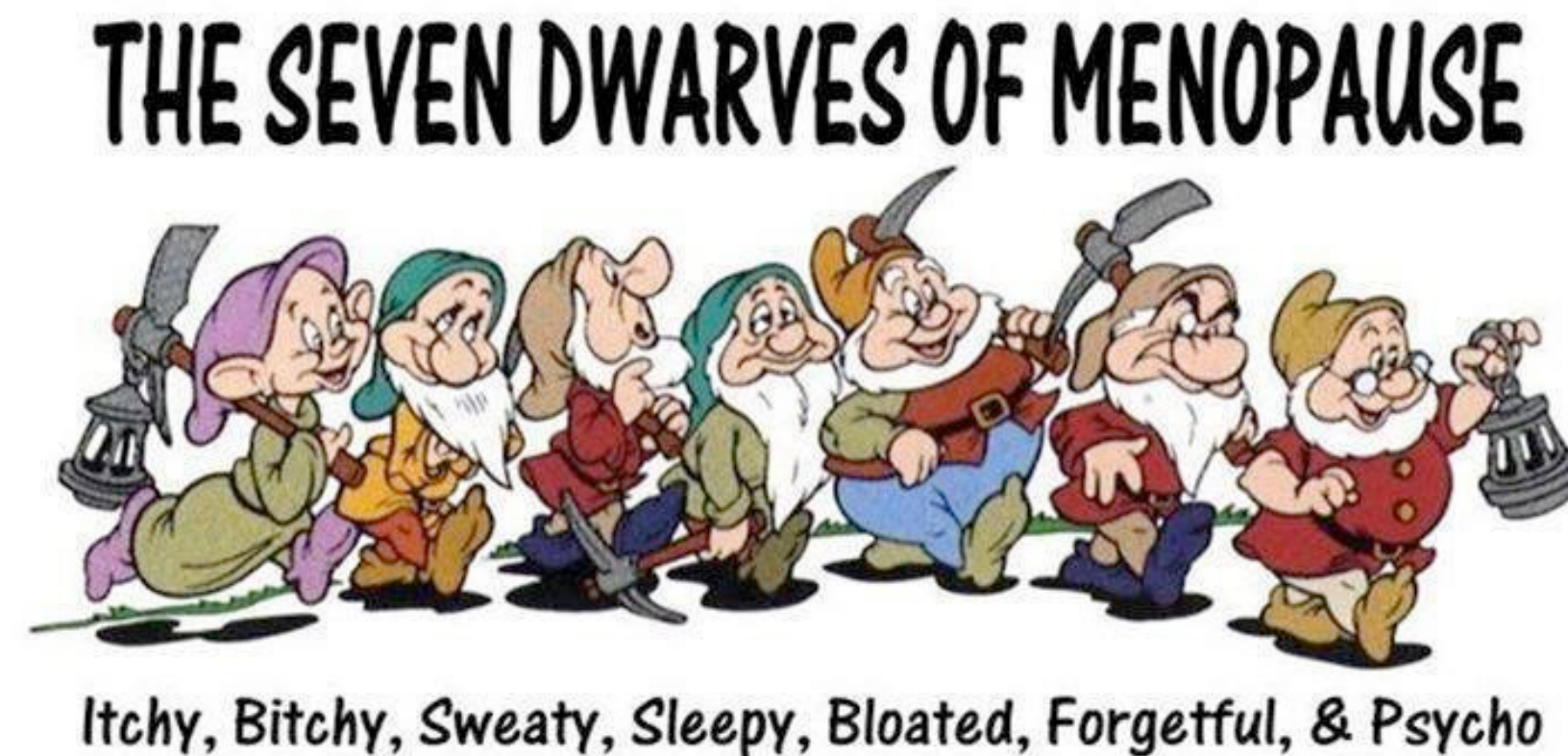
冥王星はアメリカ人にとって親しみのある惑星だったのである。しかし、学問的な議論には心理的な反対はかなわなかった。冥王星が準惑星 (dwarf) に降格することが決まると、ディズニー社は「プルートは白雪姫の『七人の小人 (dwarf)』たちとともにがんばる」との声明をだした。

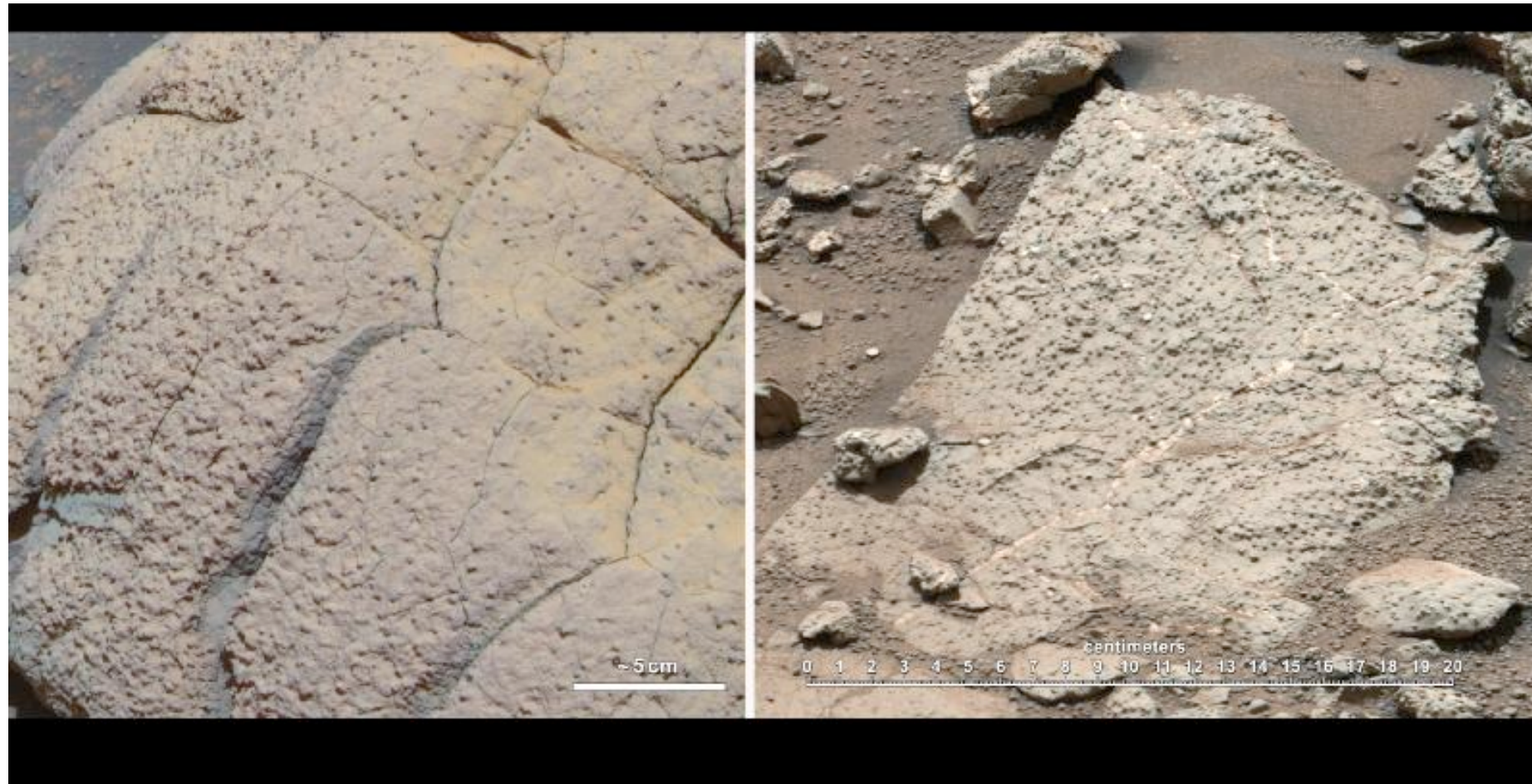


1928年



1930年





左は火星の先輩探査車「オポチュニティ」が調査した「Wopmay」と呼ばれる石。生成時は水があったものの、強い酸性で生命に適さない環境だったとみられる。右は「キュリオシティ」が調査した石で、水が豊富だった環境を示している。白い線は、割れ目に流れ込んだ硫酸塩鉱物。（提供：NASA/JPL-Caltech/Cornell/MSSS）

NASAは、火星探査車「キュリオシティ」による岩石調査の結果から、過去の火星には微生物に適した環境が存在したと発表した。

今回のサンプル採取現場は、2012年9月にかつての河床を見つけた所から数百mのところ。生命に必須な物質である、硫黄、窒素、水素、酸素、リン、炭素の存在が確認された。

サンプルには、かんらん石などの火成鉱物と真水とが堆積物中で反応して生成される粘土鉱物が20%以上含まれていた。また硫酸カルシウムも含まれていて、酸化の度合いが異なる物質が混合していたこともわかった。地球には、こうしたエネルギーの差（エネルギー勾配）を利用して生きている微生物も多いことから、キュリオシティの使命である「火星に生命を育める環境が存在したか否かの解明」に、これまでのところは「イエス」の回答が出たことになる。

<http://www.astroarts.co.jp/news/2013/03/14mars/index-j.shtml>

http://www.nasa.gov/mission_pages/msl/news/msl20130312.html

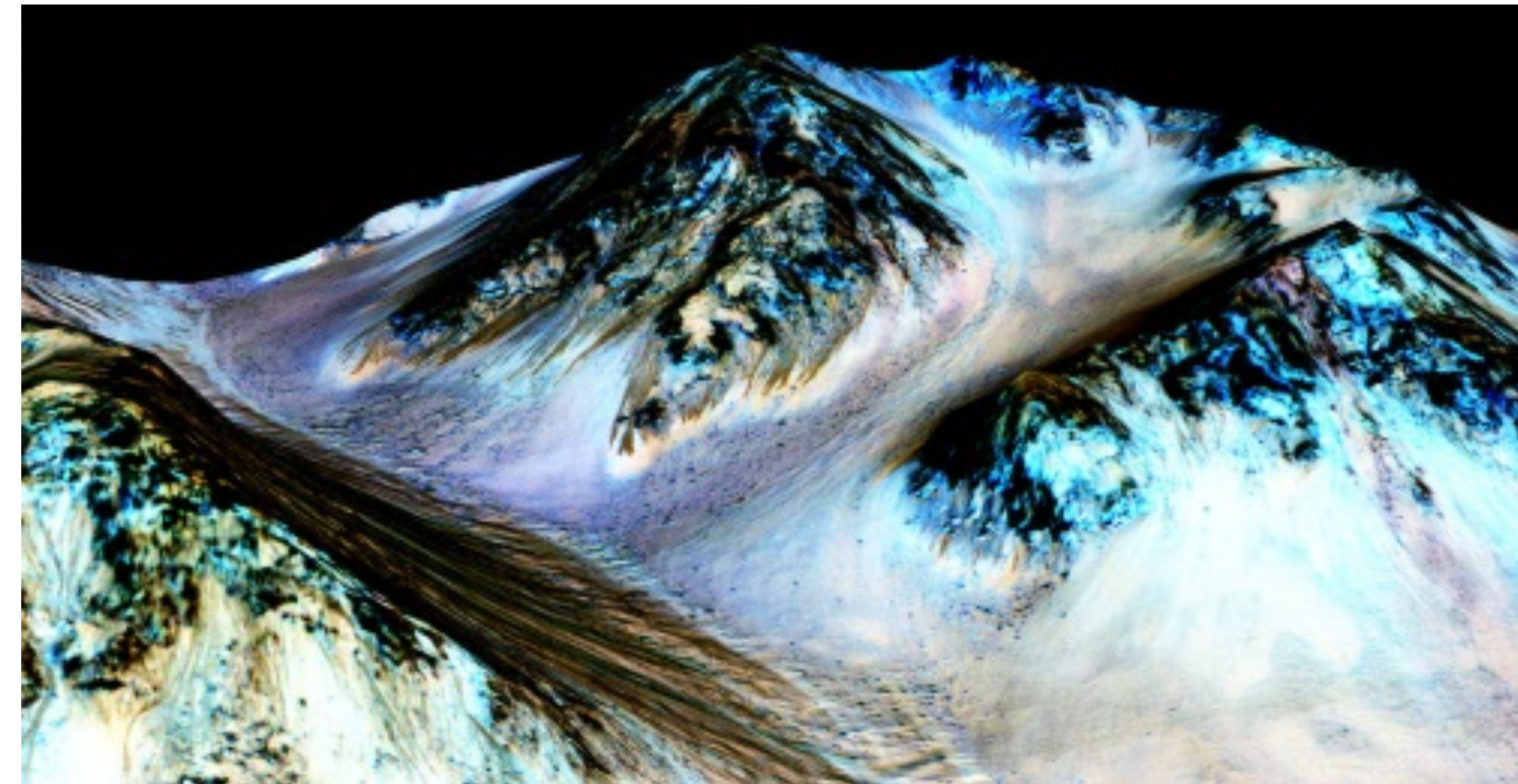
火星に液体の水を発見

NASA Confirms Evidence that Liquid Water Flows on Today's Mars

NASAは、火星探査機「マーズ・リコナサンス・オービター」の観測で、火星の表面で水和鉱物の一つである「過塩素酸塩」が検出された、と発表した。過去に水が流れた跡や、氷を地中に発見したことはこれまでも発表されていたが、今回は液体の水の証拠である。

5年前に発見された、斜面に時折出現する暗い筋模様に、水和鉱物（含水鉱物、含水塩）を検出した。撮像分光器を使った観測では「過塩素酸塩」とみられている。一部の過塩素酸塩が含まれる液体は摂氏マイナス70度でも凍らない。水和物としての発見が大きな要素。

将来の火星有人探査でも有力な資源になると、会見でNASA担当者はコメントした。



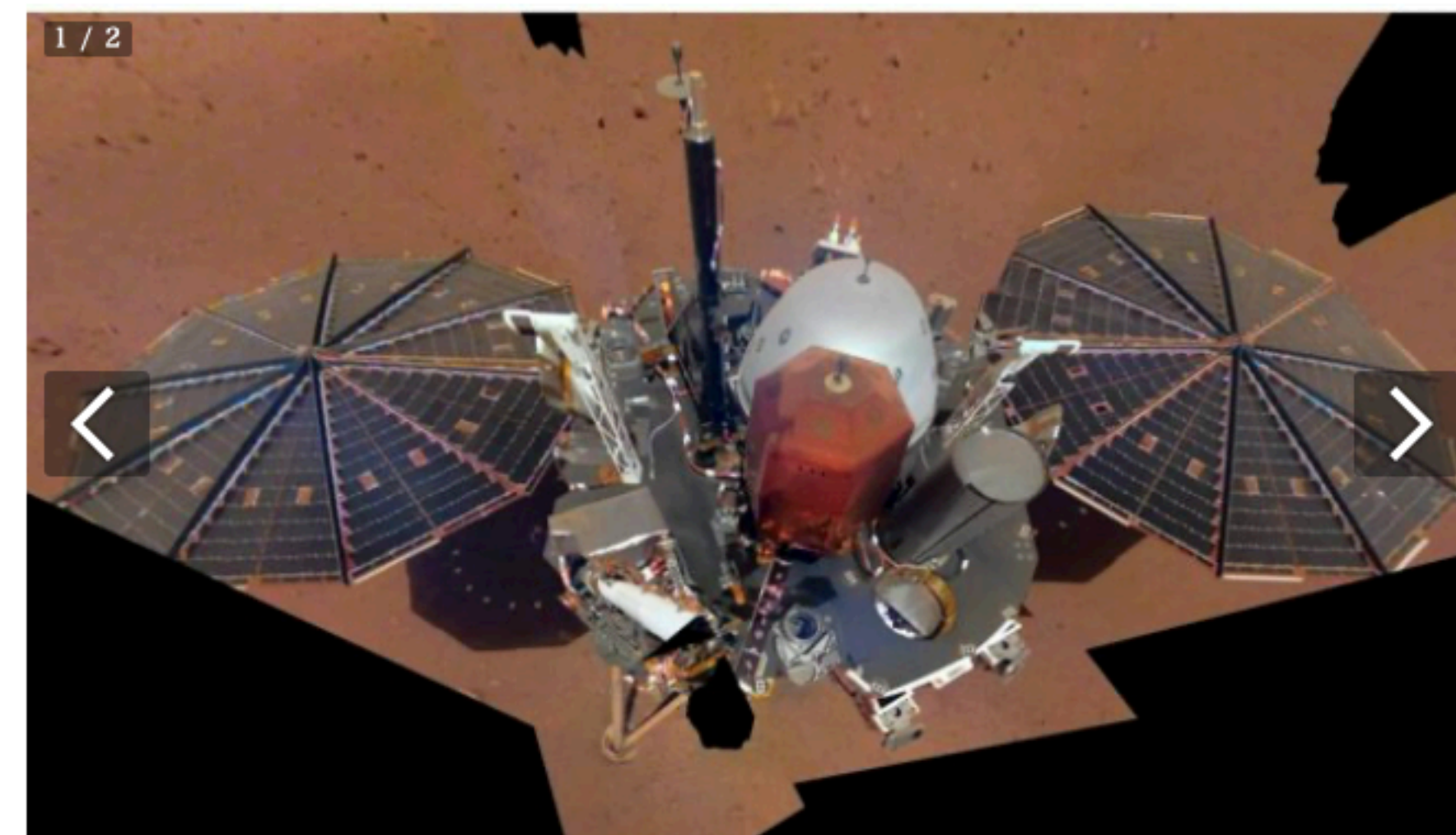
斜面上を約100mの長さにわたって伸びる暗い筋模様（提供：NASA/JPL/University of Arizona）

<http://www.nasa.gov/press-release/nasa-confirms-evidence-that-liquid-water-flows-on-today-s-mars>

http://www.astroarts.co.jp/news/2015/09/29mars_water/index-j.shtml

Seismic discontinuity in the Martian crust possibly caused by water-filled cracks

米航空宇宙局（NASA）の火星探査機「インサイト」が観測した地震波データから、複数のグループが、火星の地殻では、地震波が伝わる速度が変わる不連続な面が、地下10キロと20キロあたりにあると解析していた。そのあたりで岩石の種類や割れ目の入り方（空隙率）が変化する可能性があるという。広島大学の研究者らは、水の存在によっても地震波の速度は変わることを実験で確認。岩石の空隙率は約1%で変わらないという前提条件で、地下0～10キロの割れ目は乾燥、10～20キロの割れ目は水を含むと仮定して計算してみた。その結果は、地震波の速度変化に関する先行研究とも合っていた。算出される量の違いはあるが、米国のグループも地下に水があると推定している。



2018～22年に火星探査を実施したインサイト＝NASA/JPL-Caltech提供

RESEARCH ARTICLE | SEPTEMBER 24, 2024

Early Publication

Seismic discontinuity in the Martian crust possibly caused by water-filled cracks

Ikuko Katayama; Yuya Akamatsu

+ Author and Article Information

Geology (2024) | <https://doi.org/10.1130/G52369.1> | Article history

Standard View PDF Cite Share Permissions

Recent seismic data acquired by the InSight lander have revealed seismic discontinuities in the Martian crust that have been interpreted as sharp transitions in porosity or chemical composition. Here we propose an alternative model in which the transition from dry cracks to water-filled cracks could explain the observed seismic discontinuity in the Martian crust. Our model can explain sharp increases in seismic velocity and Vp/Vs at ~10 km depth with no associated changes in porosity or chemical composition. The present model suggests the local existence of liquid water in the Martian crust, which could potentially serve as a subsurface habitat for life.

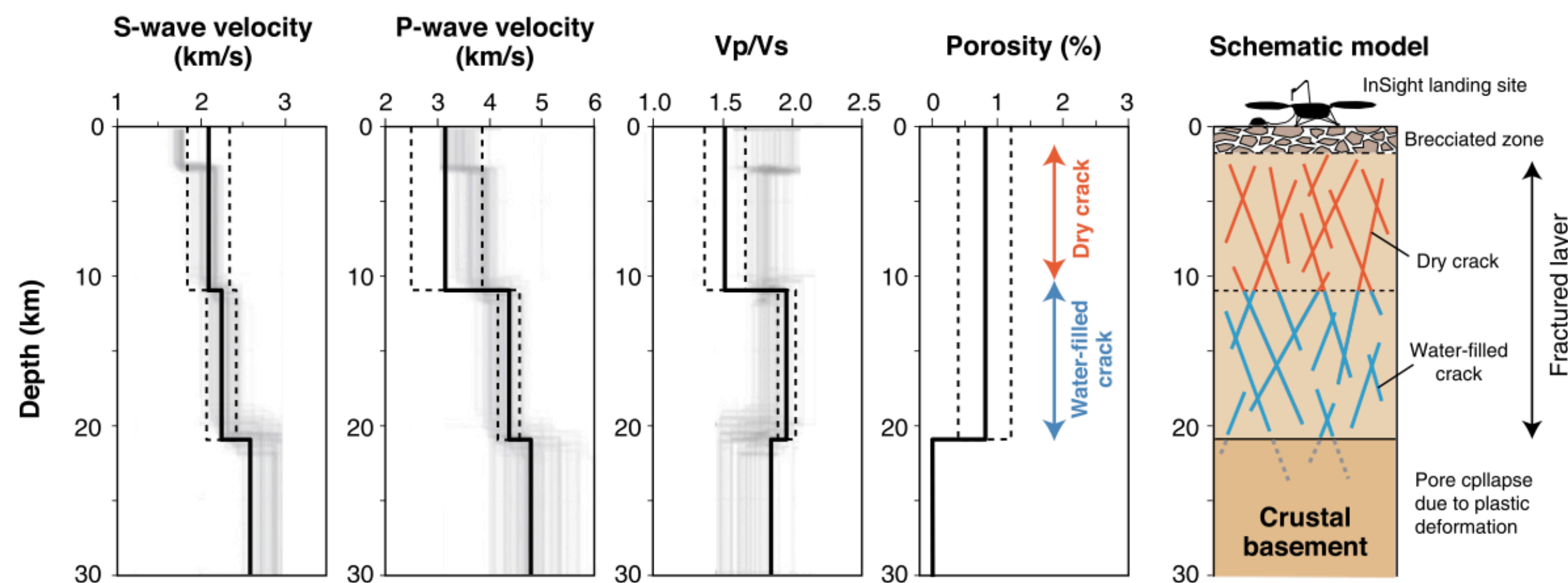


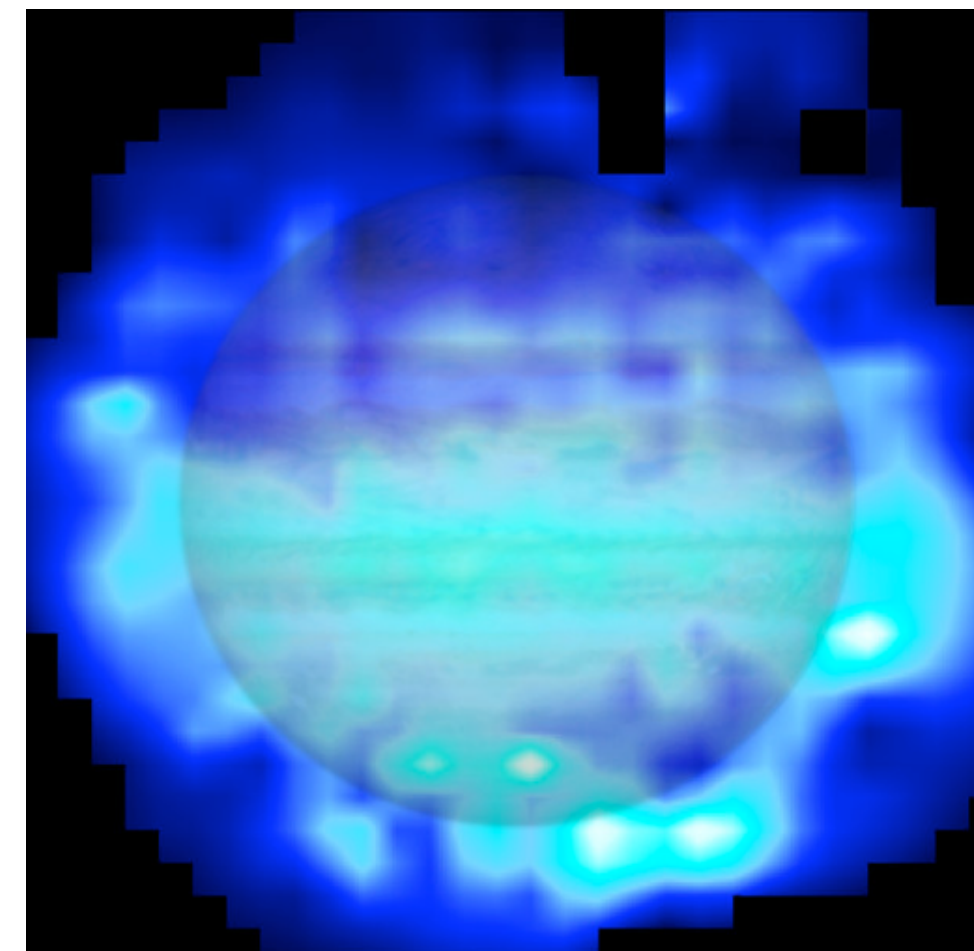
Figure 2. Calculated velocity structure in Martian crust. Model assumed a water-rich fracture layer underlying a dry fracture layer and that these layers have constant porosity of 0.4%–1.2% down to ~20 km depth. Seismic velocities for water- and gas-filled cracks were calculated from the effective medium theory using crack aspect ratio of 6×10^{-3} . Transition from a dry to a water-rich layer can lead to a significant increase in seismic velocity, which may explain the observed seismic discontinuity at ~10 km depth at the InSight landing site (gray lines are seismic profiles from Carrasco et al., 2023). Calculated parameters are listed in Table 1, where reference bulk and shear moduli are derived from seismic velocities below ~20 km depth from Carrasco et al. (2023).

<https://doi.org/10.1130/G52369.1>https://digital.asahi.com/articles/ASS9T2SQ9S9TPLBJ001M.html?iref=pc_photo_gallery_breadcrumb

シューメーカー・レヴィ彗星 (D/1993 F2) は1993年3月に発見され、20個以上に分裂した彗星核が1994年7月17日から数日間にわたって木星の南半球に次々と衝突した。その規模は予想以上に大きく、衝突の瞬間の発光が地上からもとらえられた。

この翌1995年、ESAが打ち上げた赤外線宇宙望遠鏡 (ISO) の観測により、初めて木星の大気に水が発見された。シューメーカー・レヴィ彗星で運ばれたものと考えられるという見方が広まったものの、直接の証拠はない。水が見つかった成層圏の底に、低温で水蒸気を通さない天然の「コールドトラップ」があることから、天体内部ではなく外部からやってきたことだけはわかっていた。

今回、ESAの赤外線天文衛星「ハーシェル」が木星の水の分布を調べたところ、彗星が衝突した南半球には北半球の2、3倍もの水があり、しかもほとんどが彗星の衝突位置に集中していることがわかった。木星の成層圏に存在する水の95%がシューメーカー・レヴィ彗星の衝突で運ばれたものと見積もられるという。

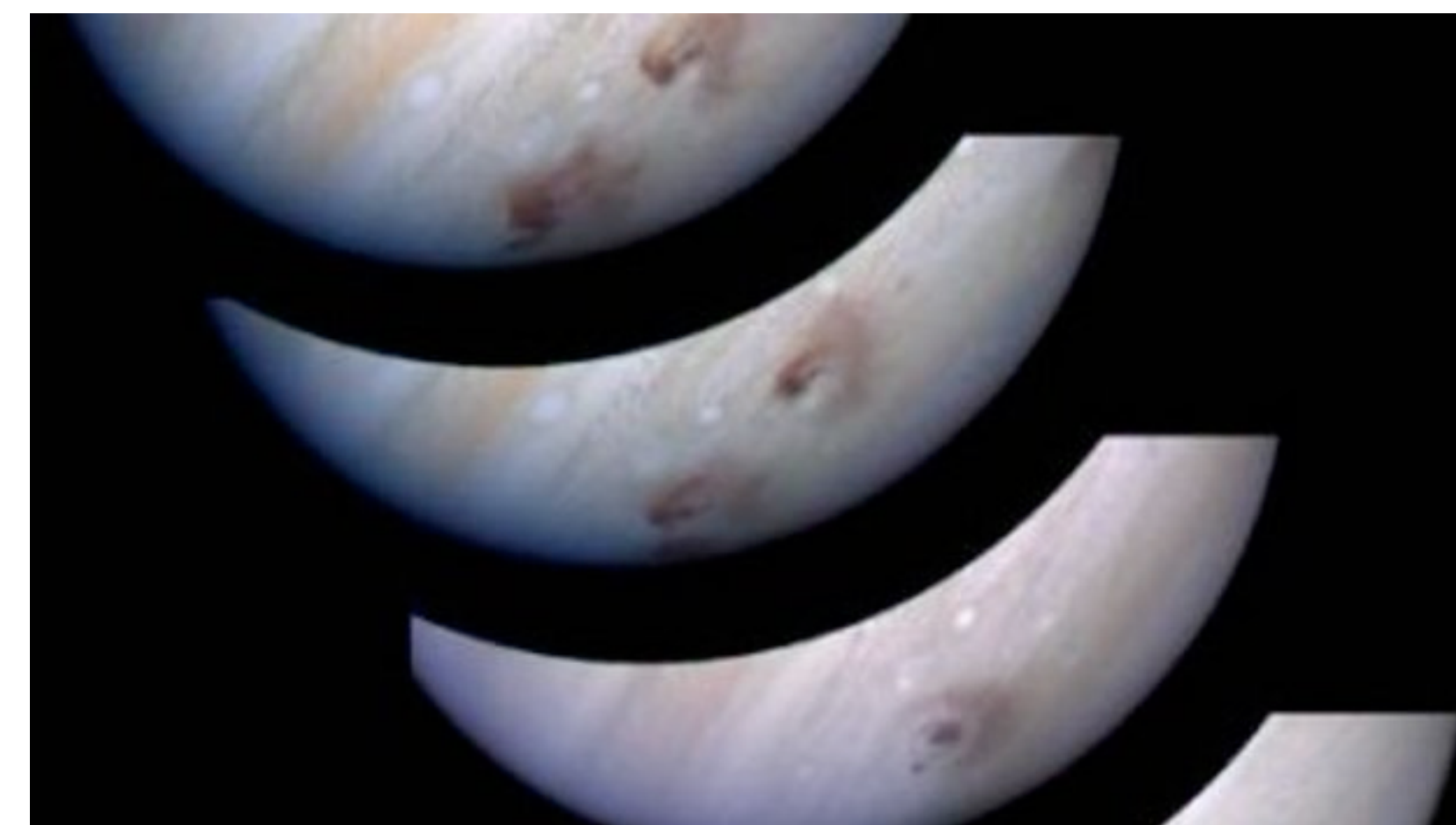


木星大気中の水分分布

(提供：Water map: ESA/Herschel/T. Cavalie' et al.; Jupiter image: NASA/ESA/Reta Beebe (New Mexico State University))

彗星衝突の影響は予想以上に大きく、衝突痕は数週間も残った。

(提供：R. Evans, J. Trauger, H. Hammel and the HST Comet Science Team)



http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Herschel/Herschel_links_Jupiter_s_water_to_comet_impact

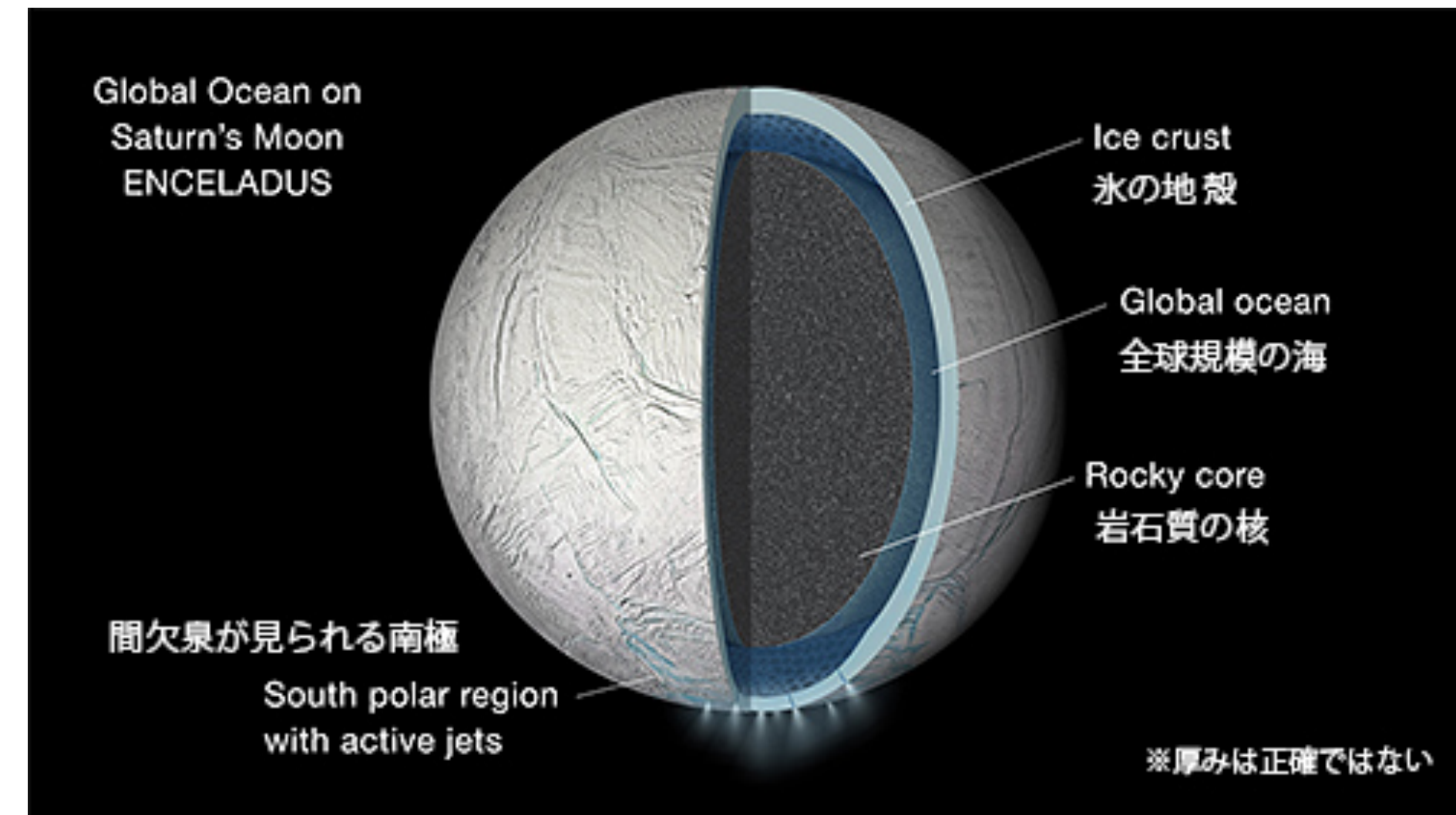
<http://www.astroarts.co.jp/news/2013/04/25jupiter/index-j.shtml>

Cavalié+, A&A 553, A21 (2013)

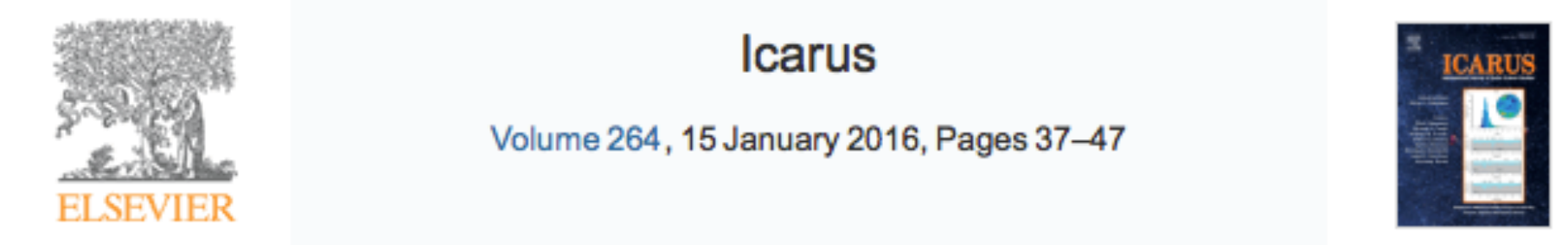
土星の衛星エンケラドスの南極からは水蒸気や氷が間欠的に噴き出しており、氷の地殻の下に水が存在することを示している。NASAの探査機「カッシーニ」による長年にわたる観測の結果、エンケラドス全球に広がる地下海があるらしいことが明らかになった。

エンケラドスは土星を公転する際に、ふらつくような動きを見せる。研究チームは、エンケラドスの動きを正確に測定し、内部構造のモデルを様々な仮定して調べた。その結果、氷の地殻と核とが固く結びついていると考えるよりもふらついていることから、地殻と核との間に液体の層が全球的に存在している、という結論に至ったという。

エンケラドスの地下海が凍らない理由は謎だが、土星の重力による潮汐作用でこれまで考えられていた以上の熱が発生しているのではないかという説などが考えられている。



エンケラドスの内部を示した図（提供：NASA/JPL-Caltech）



Enceladus's measured physical libration requires a global subsurface ocean

P.C. Thomas^a, R. Tajeddine^a, M.S. Tiscareno^{a, b}, J.A. Burns^{a, c}, J. Joseph^a, T.J. Lored^a, P. Helfenstein^a, C. Porco^d

<http://www.astroarts.co.jp/news/2015/09/17enceladus/index-j.shtml>

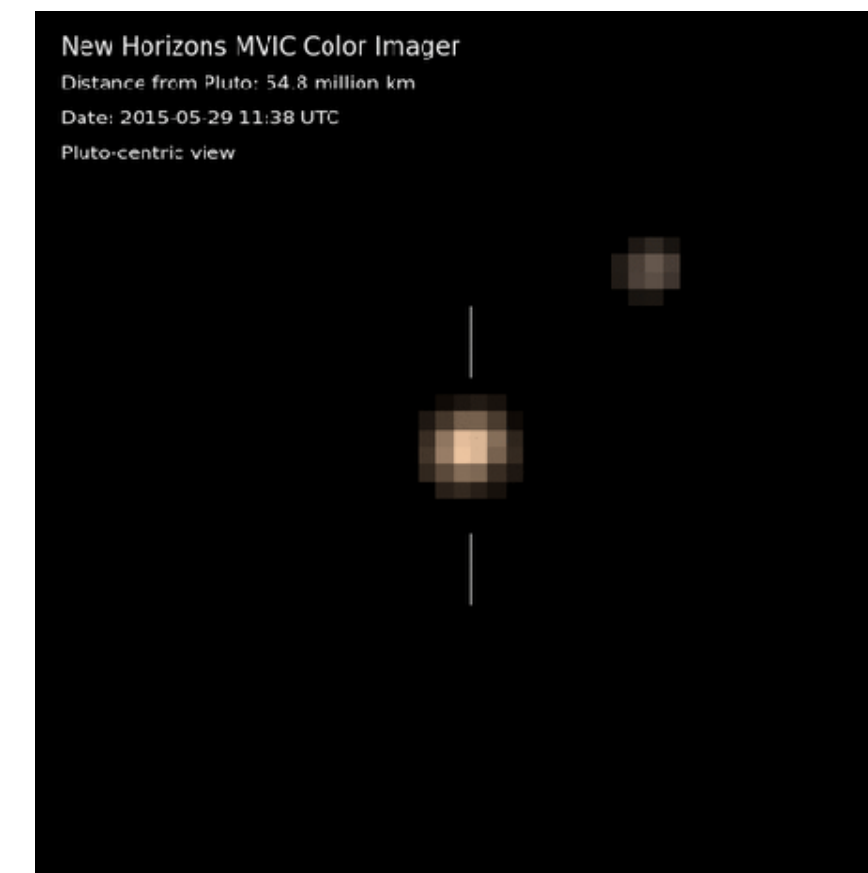
<http://www.nasa.gov/press-release/cassini-finds-global-ocean-in-saturns-moon-enceladus>

準惑星に分類されている冥王星に、探査機ニューホライズンが接近している。7月14日には、冥王星（半径2300km）の表面から12500kmの距離に近づいて観測を行う予定だ。

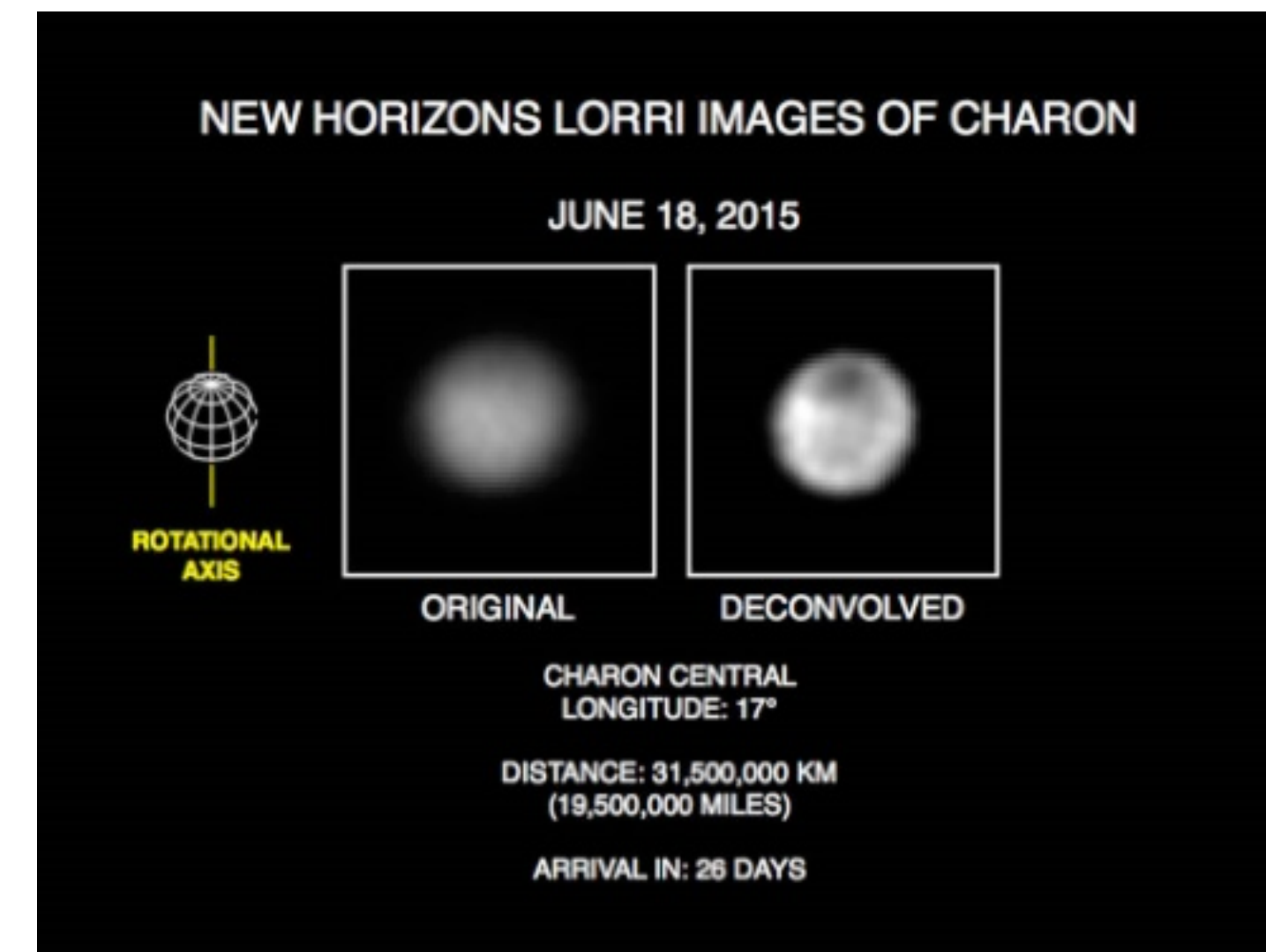
冥王星は1930年に発見され、1978年にカロン(Charon)という伴星を伴う連星であることが発見された。カロンは冥王星の約1/7の質量を持つが、詳しいことは不明だ。今回、初めて探査機が接近することで多くの成果が得られると期待されている。

カロンの発見で、冥王星自体の質量が小さいことが判明し、2003年に冥王星より大きな天体が発見されたことから、冥王星は2006年に惑星から準惑星へ降格した。

NASAは、6月20日に、カロンが初めてカラー写真で撮影された、と報告した。



冥王星とカロンの初のカラー動画。冥王星を中央に固定した座標系（提供：NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute、以下同）



<https://www.nasa.gov/feature/goddard/new-horizons-approaches-during-anniversary-of-charon-s-discovery>

<http://www.astroarts.co.jp/news/2015/06/30pluto/index-j.shtml>

冥王星へ最接近、ニューホライズン機からの画像公開

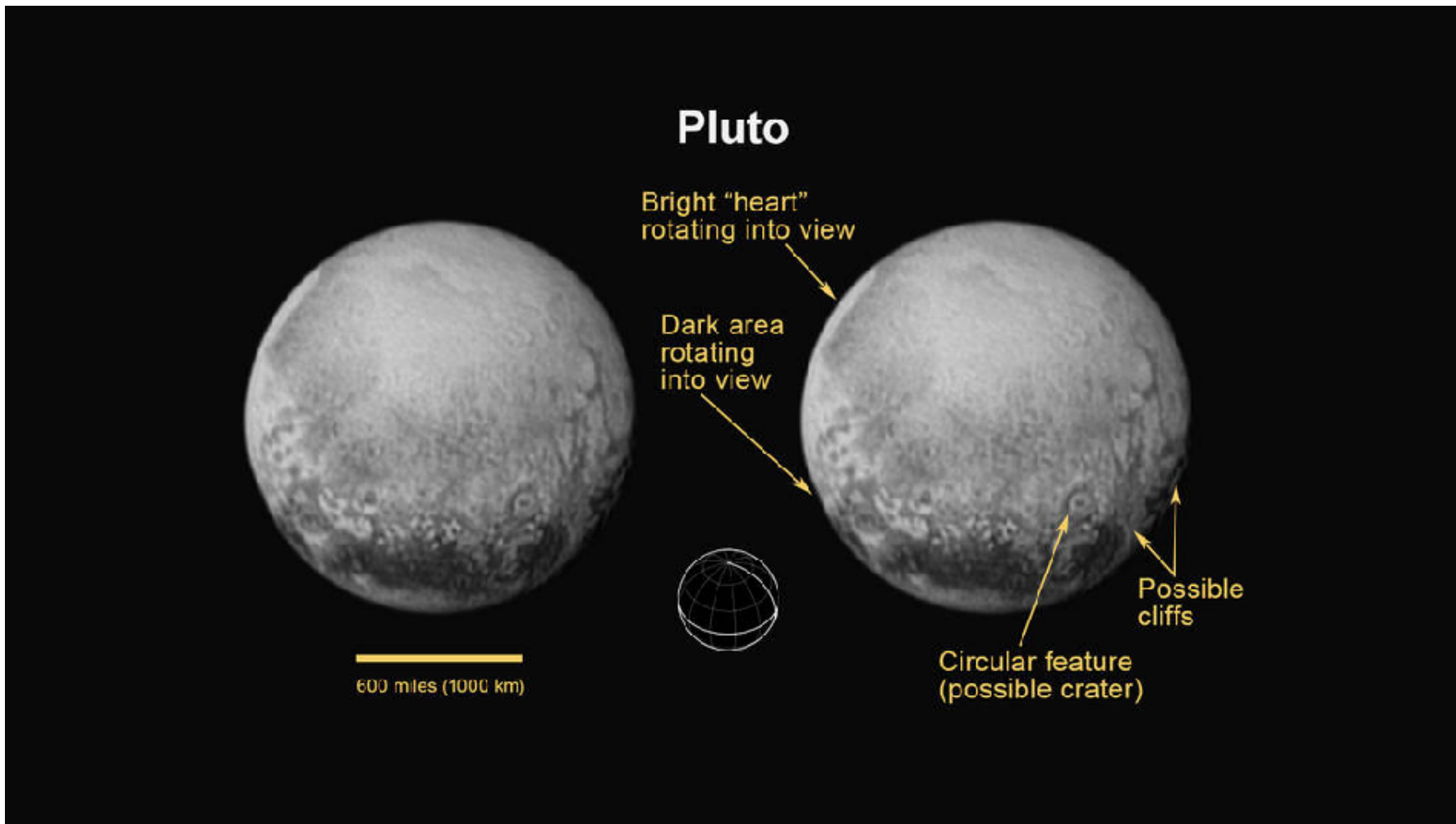
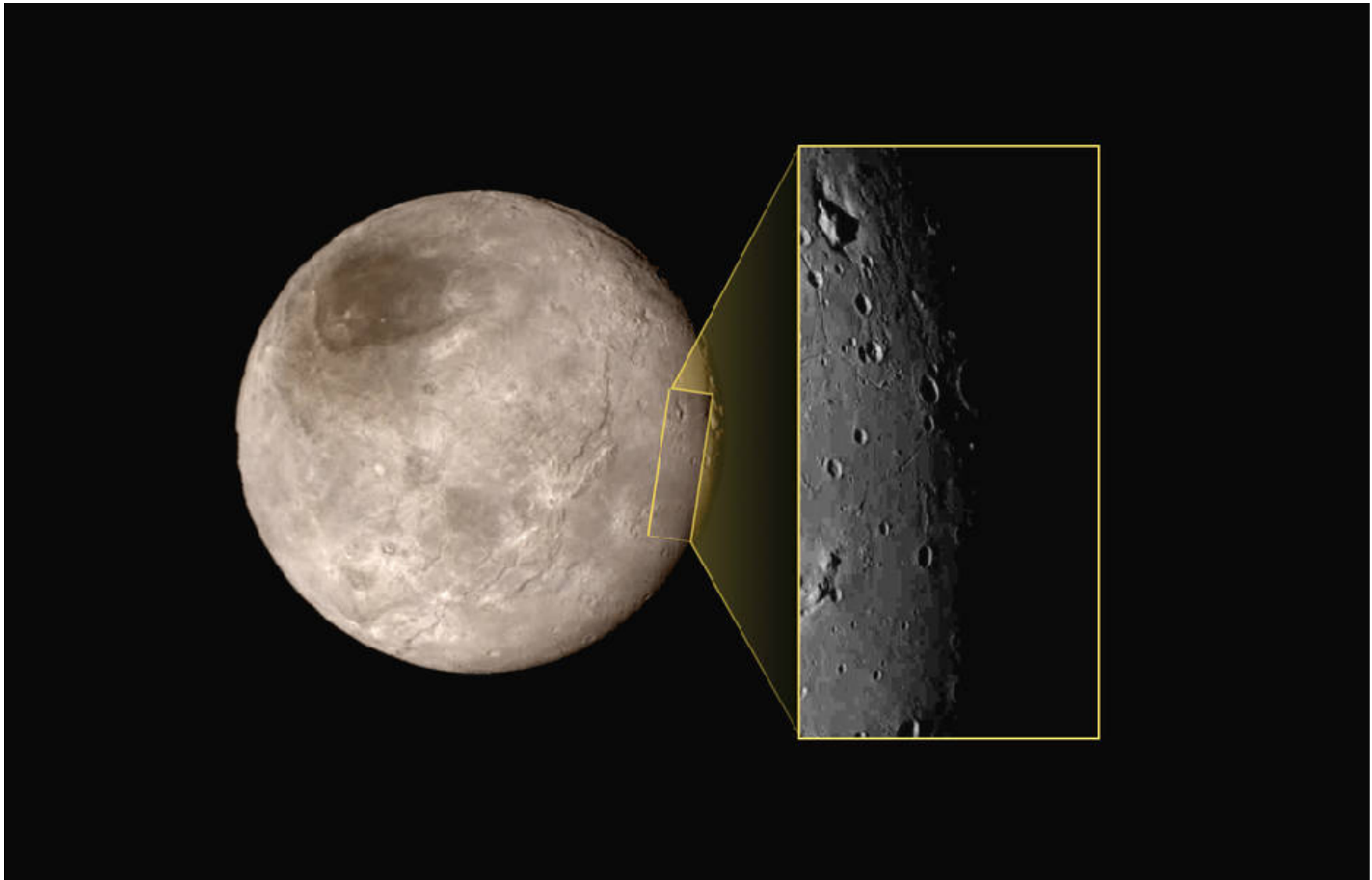
NASA releases New Pluto Images

2015/7/17

冥王星に最接近したNASAの探査機ニューホライズンの画像が次々と公開されている。全データを受信するのは6ヶ月後になるそうだ。



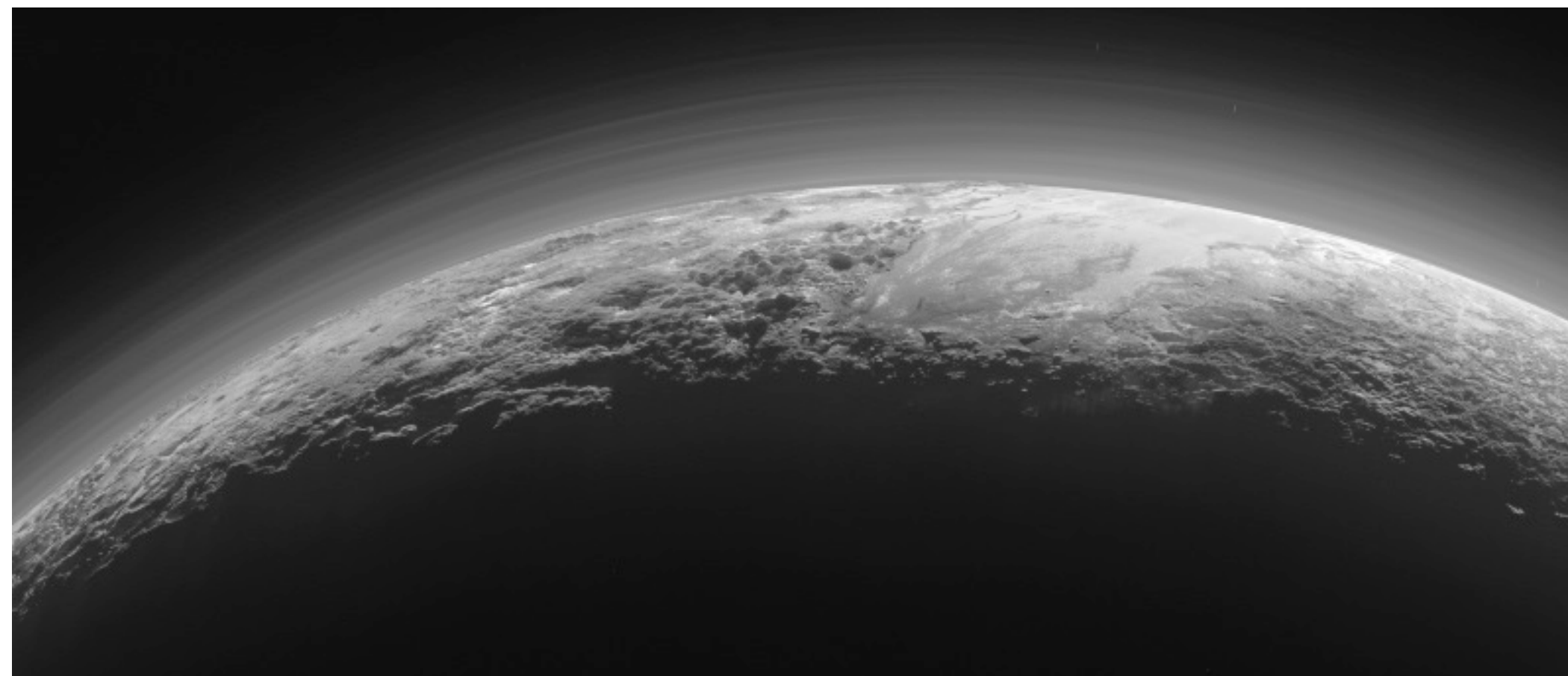
Pluto is Dominated by the Feature Informally Named the “Heart”



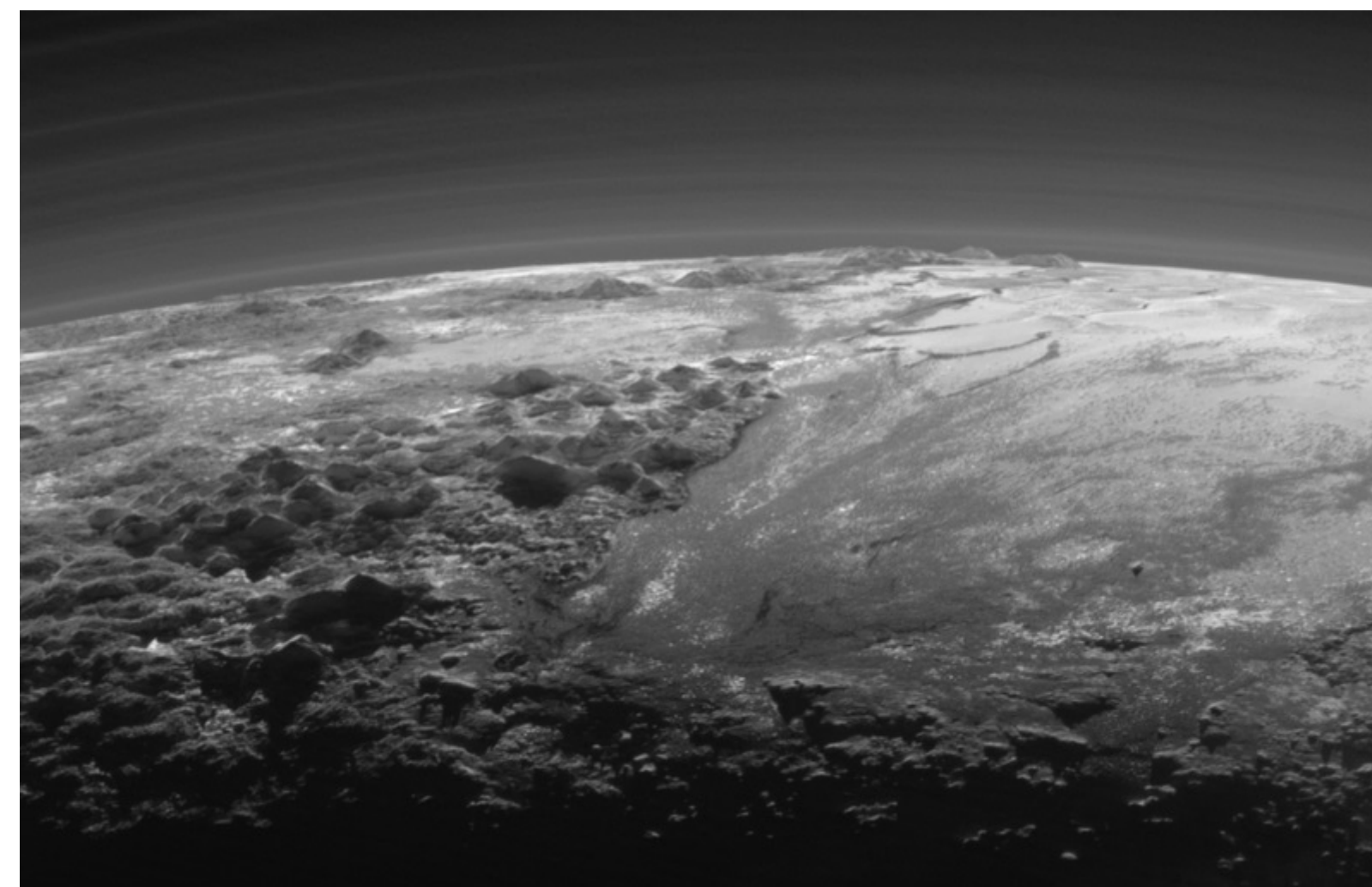
探査機「ニューホライズンズ」の冥王星最接近から15分後に撮影された高解像度の画像が公開された。最接近は7月14日だったが、9月13日に地球に届いたデータから作成された。

凍った山々や窒素の氷河、地表付近から100km以上の上空まで10層以上にも分かれている層状の「もや」が映されていて、地球の水循環に似た現象が冥王星でも起こっていることがわかる。

巨大なスプートニク氷原の東側にある明るい領域は、窒素の氷で覆われていると考えられている。スプートニク氷原の表面から氷が蒸発し、それが蓄積したようだ。氷河のように流れ込んでいることも明らかになっており、その流れ方はグリーンランドや南極大陸の氷冠の縁に見られるものに似ているという。



ニューホライズンズの最接近から15分後に約1万8000kmの距離から撮影された冥王星。右側がスプートニク平原でその西（左）側に3500m級の山々（ノルゲイ山地）が見える（共に名称は非公式）



<http://www.astroarts.co.jp/news/2015/09/18pluto/index-j.shtml>

<http://www.nasa.gov/feature/pluto-wows-in-spectacular-new-backlit-panorama>

太陽系小天体

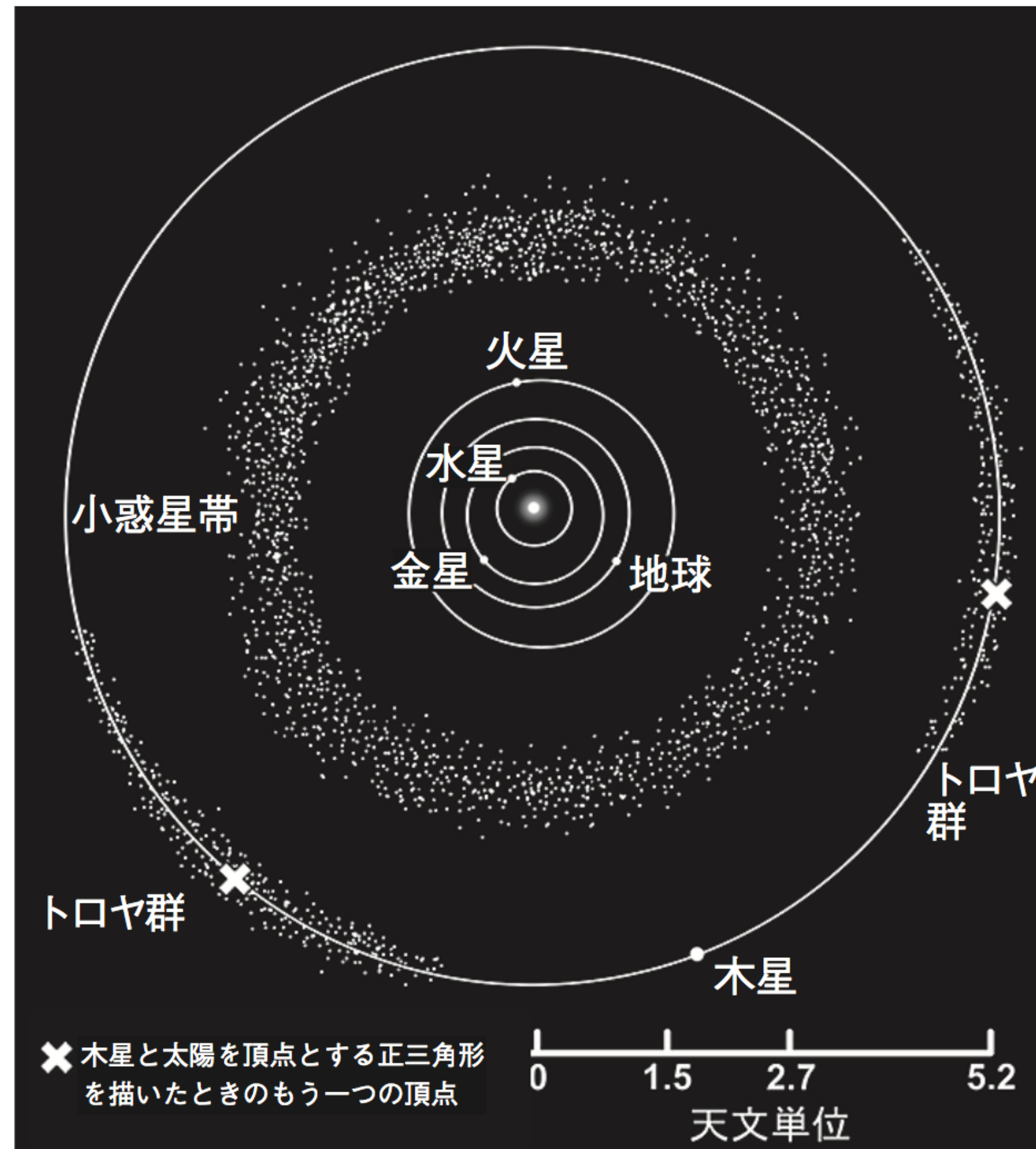


図 1.20 小惑星帯は火星と木星軌道の間にある。また、木星軌道にはトロヤ群と呼ばれる小惑星帯もある。トロヤ群は太陽と木星を2つの頂点として正三角形を描いたときの3つ目の頂点付近にある。

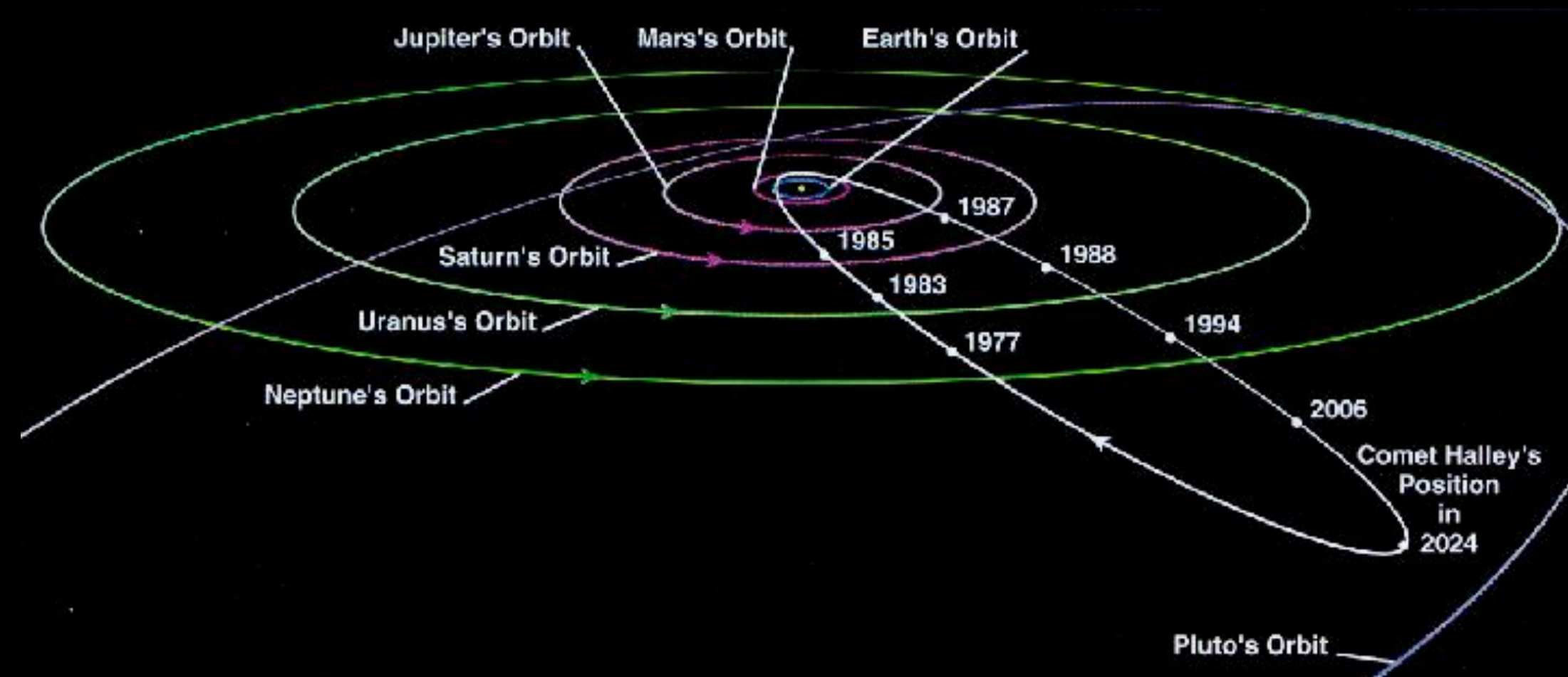
彗星

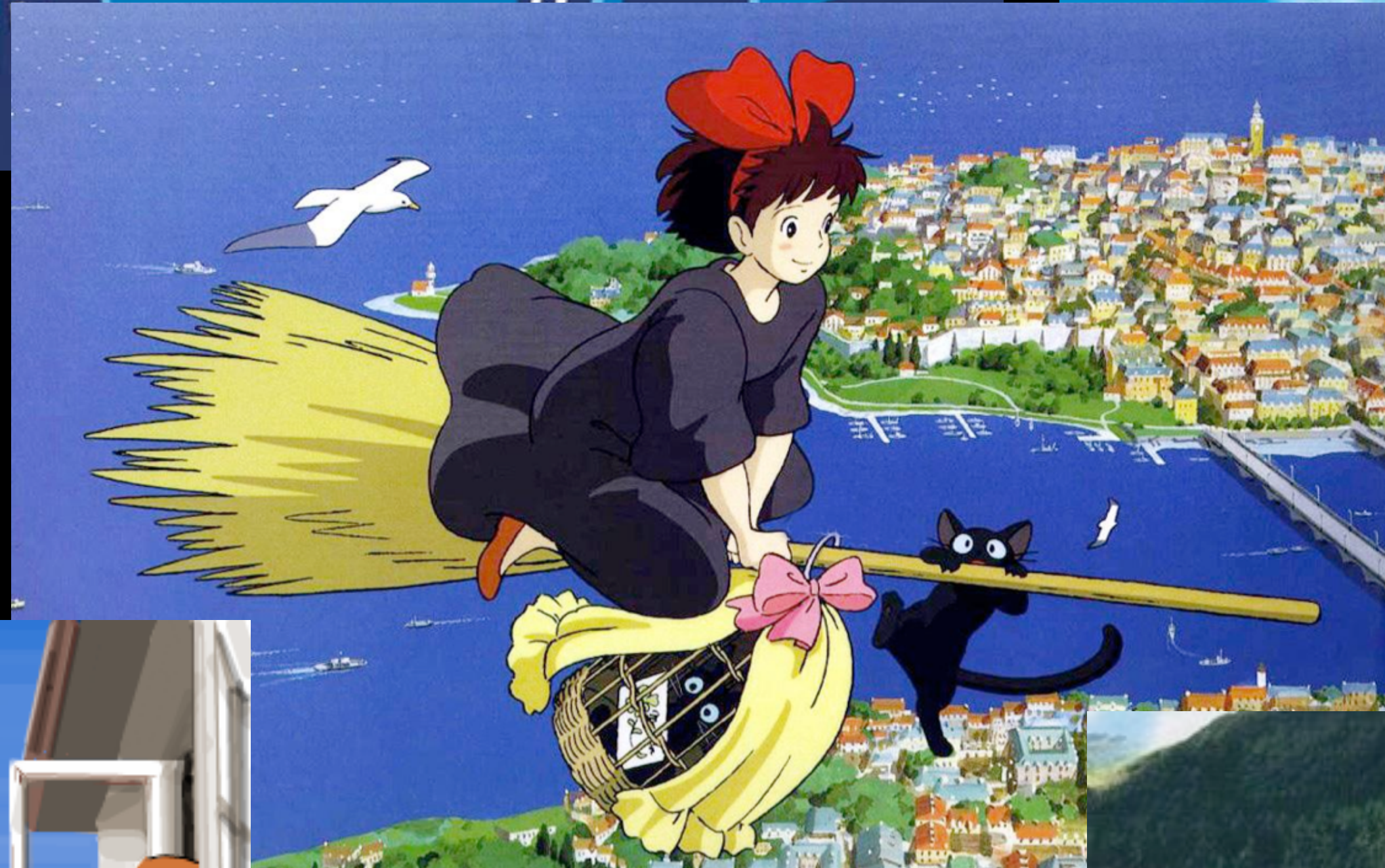
= ほうき星



すいせい ハレー彗星

76年に一度，地球に近づく。
前回は1985年，次は2061年

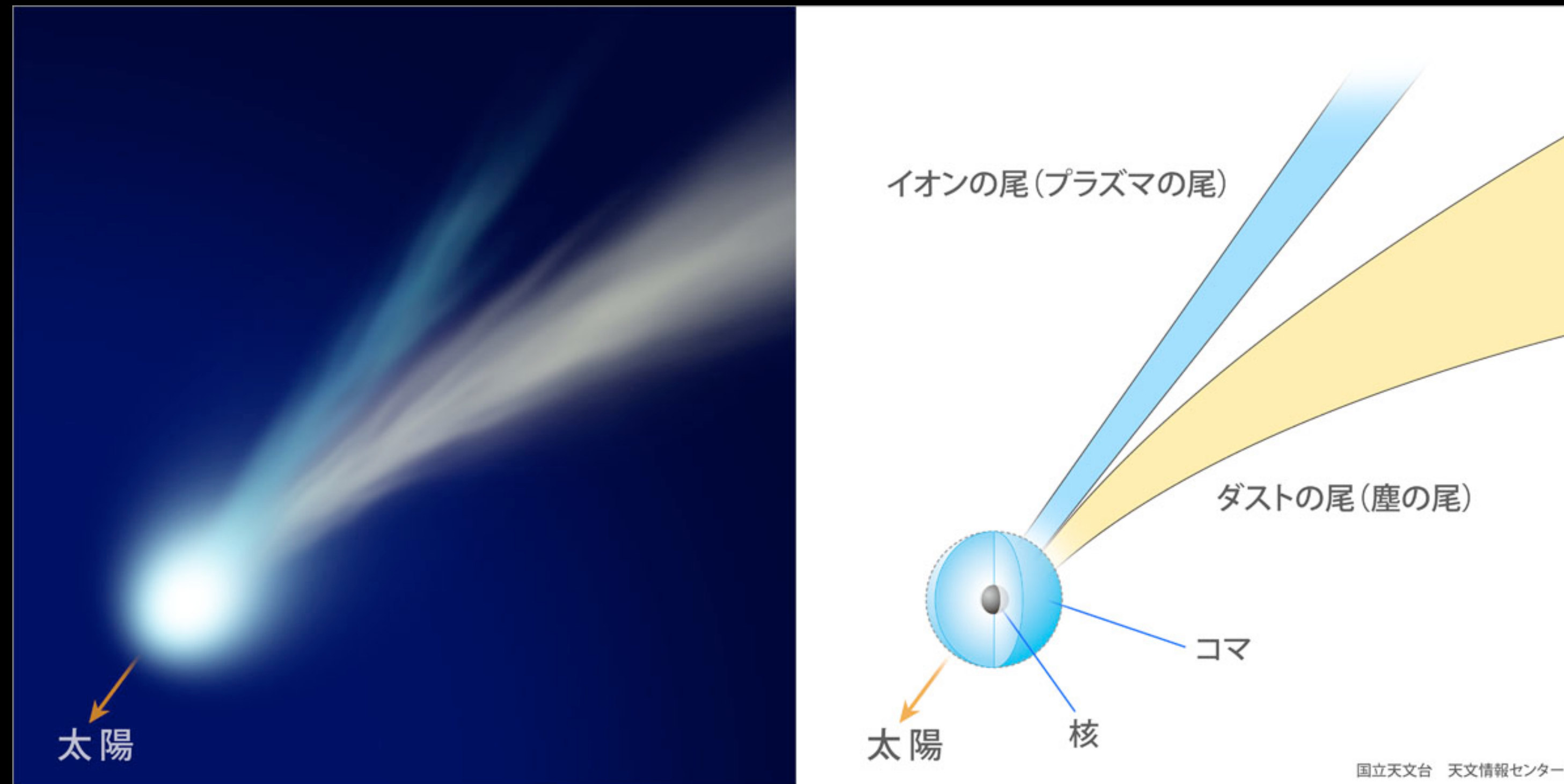




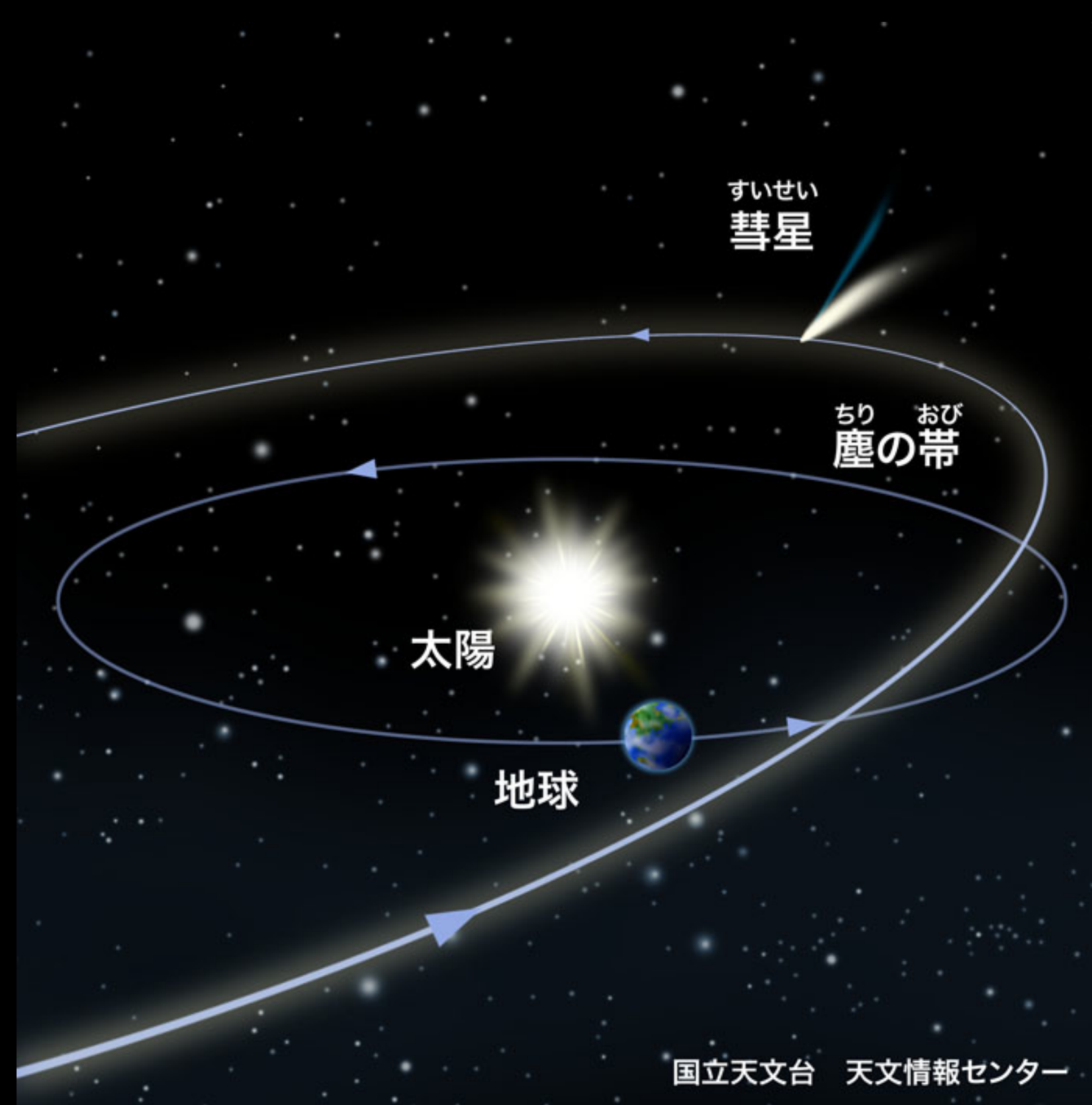
すいせい

彗星（ほうき星）とは

- ★太陽のまわりを動く大きさが数キロメートルから数十キロメートルのとても小さな天体.
- ★およそ8割が水（氷の状態）で、残りはガス・ちり.
- ★太陽に近づくと大きな尾ができる



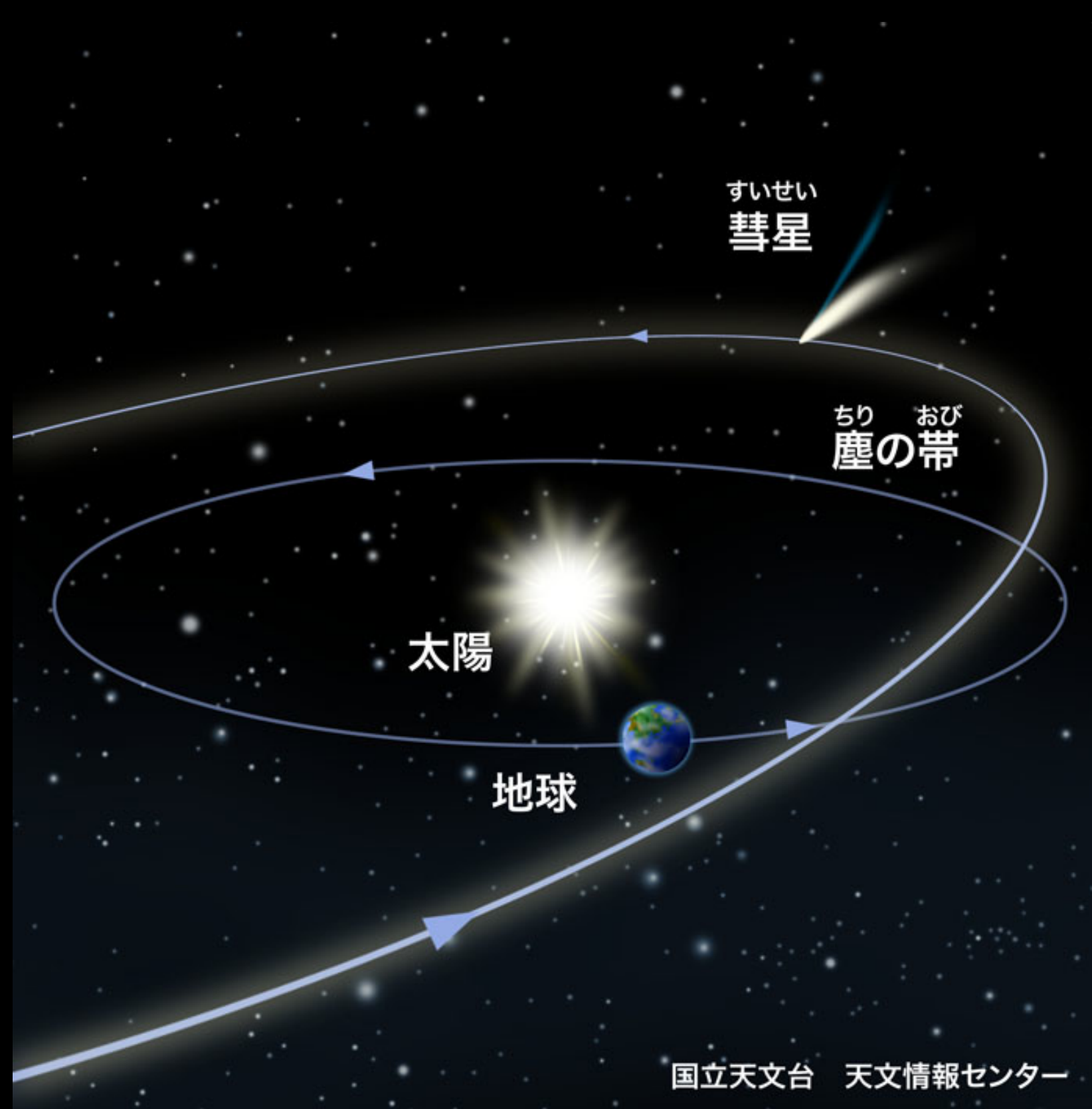
彗星の通ったところは
ちり・石がたくさん残る



地球が通ると、
流れ星になる

たくさんの流れ星が見える時期が決まっている！

流星群という



地球が通ると、
流れ星になる

8月12日～14日

ペルセウス座流星群

★1時間に50個以上

★2024年は**最良**



10月21日-22日 極大

オリオン座流星群

★2024年は条件 悪

★1時間に10個
(昨年予報は, 20個/時間)

もとは, ハレー彗星



<https://planetarium.konicaminolta.jp/stariumnavi/starguide/hoshizora/20171021.html>

11月17日極大

しし座流星群＋おうし座流星群

- ★2024年は条件**最悪**
- ★1時間に15個
(昨年予報は, 30個/時間)



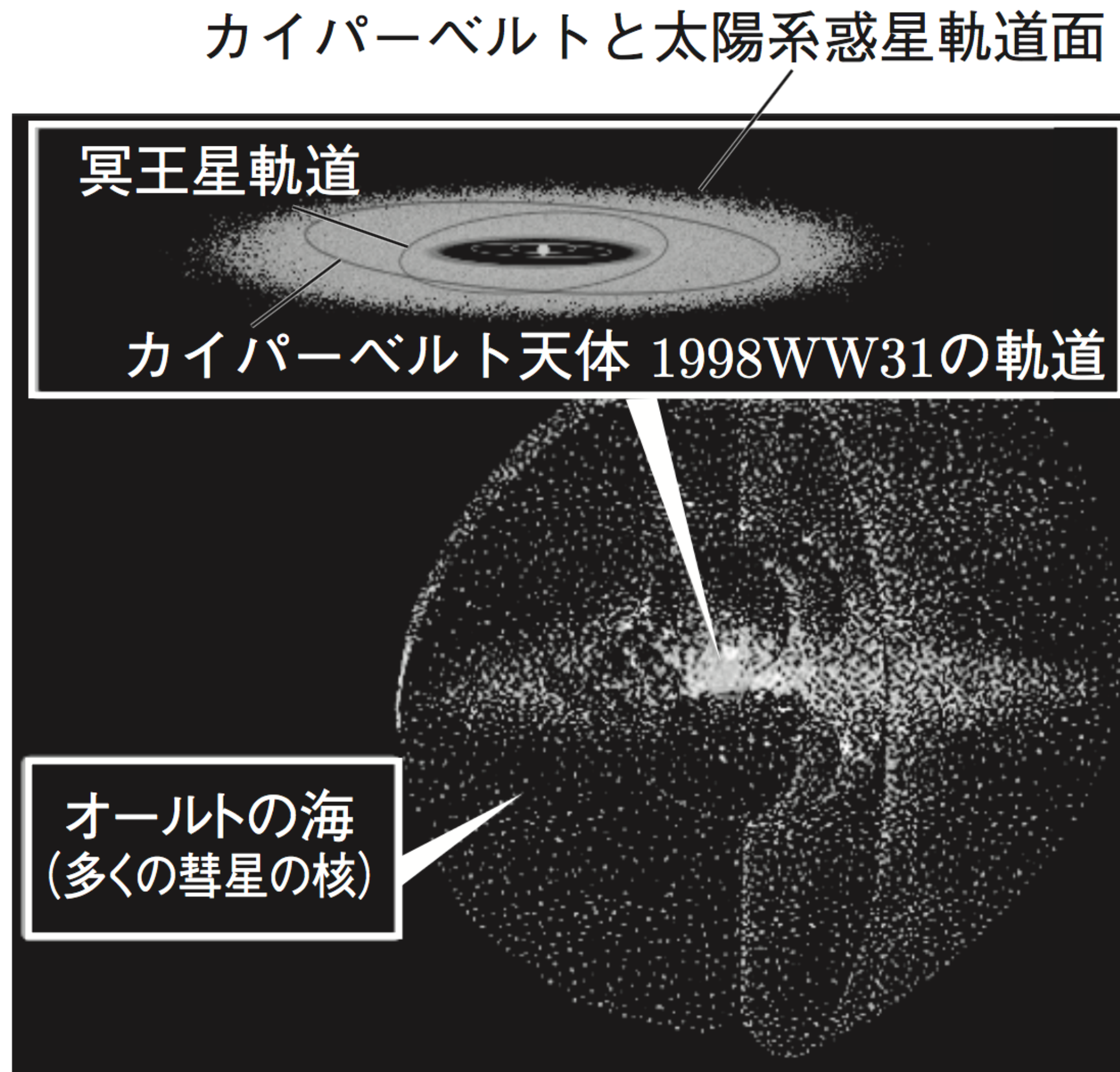
12月14日～15日

ふたご座流星群

- ★2024年は条件**最悪**
- ★1時間に30個！
(昨年予報は, 80個/時間)



太陽系はどこまでか

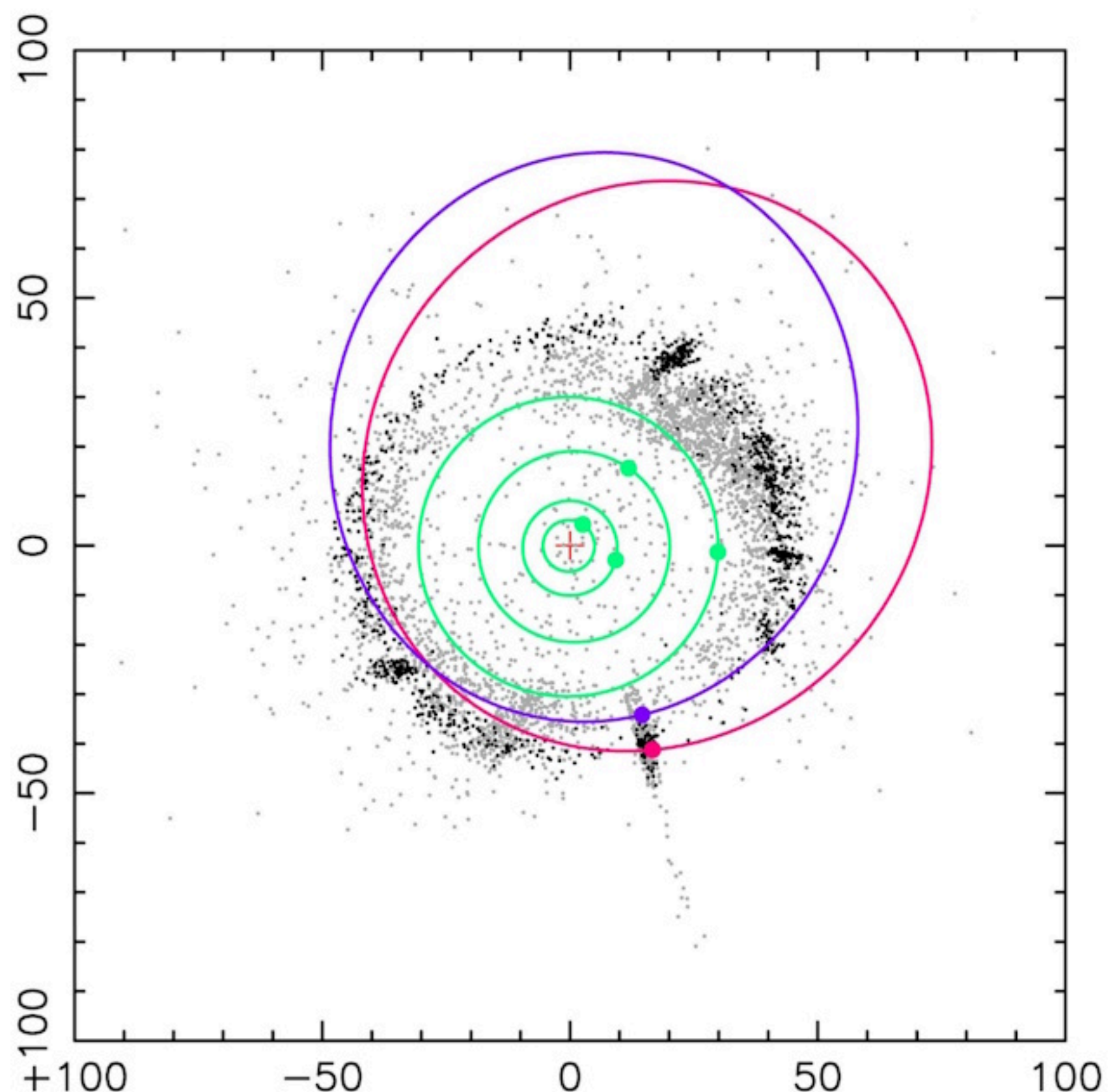


太陽・地球間の距離
= 1 AU
(astronomical unit)

100~1000 AU

図 1.22 オールトの雲

A deep analysis for New Horizons' KBO search images



今回発見された2つの天体の軌道を示す模式図（赤色：2020 KJ60、紫色：2020 KK60）。+は太陽の位置、黄緑は内側から木星、土星、天王星、海王星の軌道、縦軸と横軸の数字は天文単位。黒い点は太陽系初期にその場で形成された氷微惑星群と考えられている古典的なカイパーベルト天体を表し、黄道面付近に分布している。灰色の点は軌道長半径が30天文単位以上の太陽系外縁天体を表す。これらは海王星に散乱された天体も含むので、遠くまで広がっており、多くは黄道面から離れた軌道を持つ。

海王星軌道の外側には、小天体がたくさん分布する「カイパーベルト」と呼ばれる領域がある。これまでの観測で、太陽から約50天文単位（海王星の軌道半径の約1.6倍）を超えるとカイパーベルト天体（KBO）の数が急激に減ることが知られていて、このあたりがカイパーベルトの外側の端だと考えられてきた。一方で、観測されている他の原始惑星系円盤は半径100天文単位くらいのもものが多い。太陽系外縁天体（TNO）の探査はその解明を目的の一つとする。

TNOの探査を目的として2006年に打ち上げられたNASAの探査機「ニューホライズンズ」は、2015年に冥王星をフライバイ、2019年にはKBOの一つ「アロコス」をフライバイして、史上初めて太陽系外縁天体の近接撮影画像を地球に届けた。ニューホライズンズは延長ミッションに入っており、これまでに240個以上のTNOを発見している。

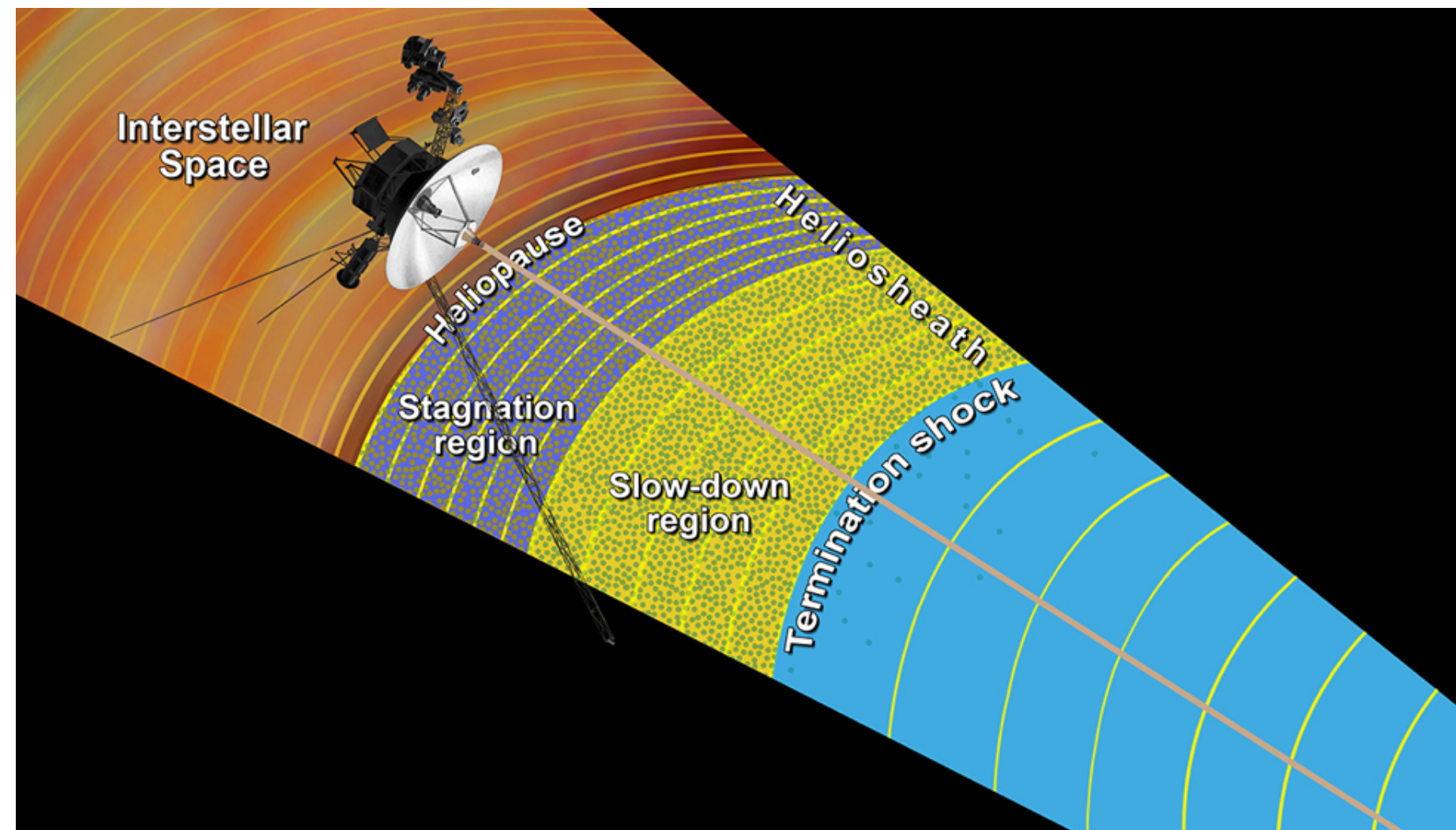
千葉工業大学の研究チームは、すばる望遠鏡による探索画像セットを使い、ニューホライズンズのチームとは独立にTNOの検出を行った。解析の結果、2020年6月と2021年6月に撮影されたデータから、84個のKBO候補が検出された。さらに移動天体の解析を行い、2020年5～8月のデータから6個、2021年6月のデータから1個、計7個のTNOが見つかり、そのうち2個は軌道長半径が「カイパーベルトの外端」である50天文単位より大きいことがわかった。

今回の発見や、ニューホライズンズのチームが発見した天体の軌道分布、ニューホライズンズが観測を続けている塵の観測データなどを考えると、カイパーベルトは50天文単位を超えてさらに広がっている可能性がある。

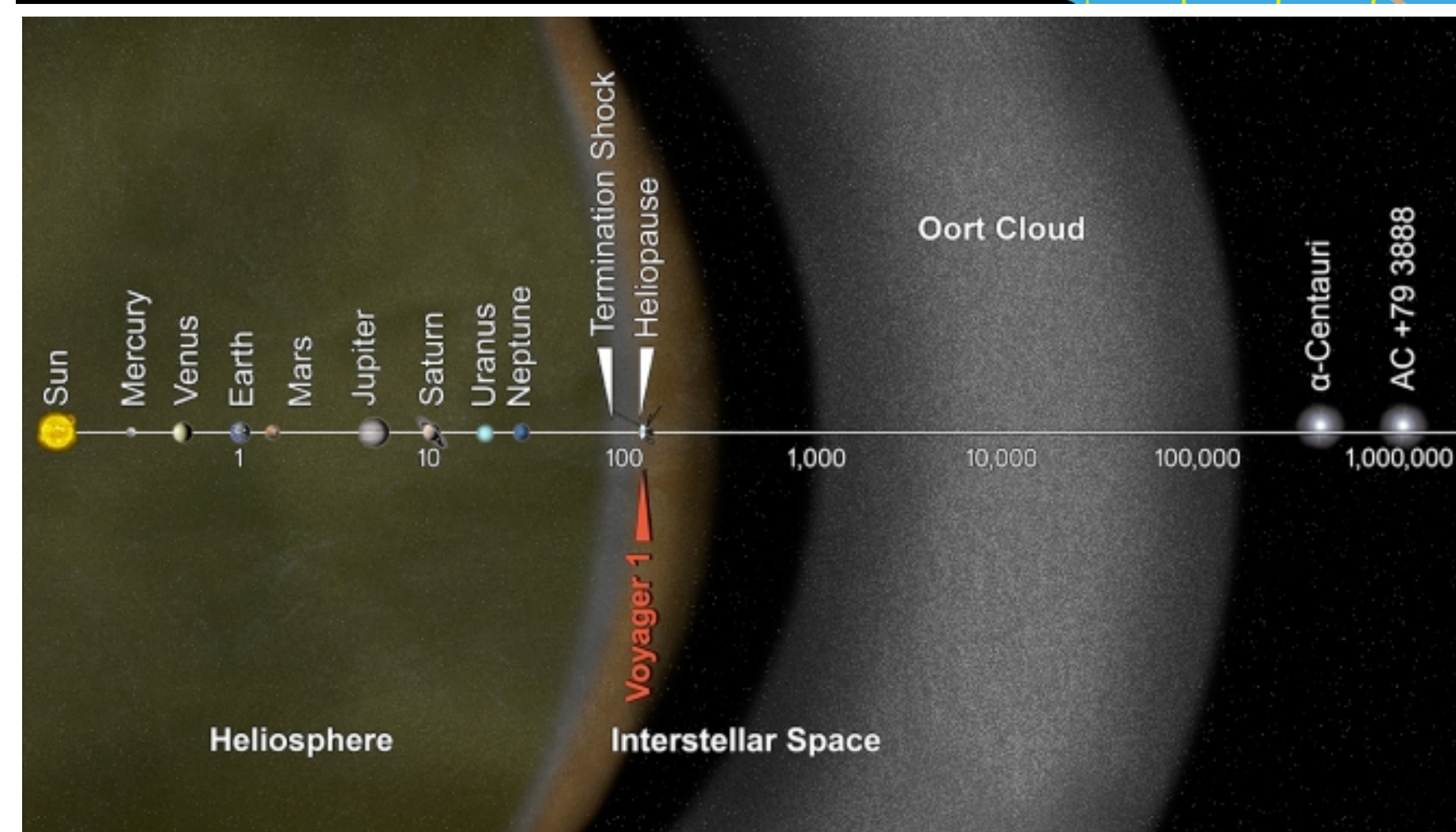
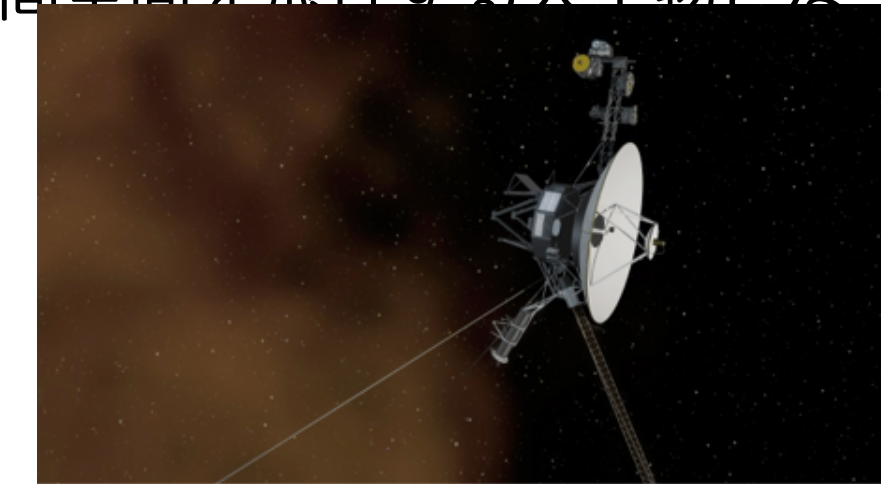
ボイジャー1号，人工物ではじめて太陽系を離脱

NASA Spacecraft Embarks on Historic Journey Into Interstellar Space

2013/9/12



1977年9月5日に打ち上げられ木星と土星を観測した探査機「ボイジャー1号」が，2012年8月に太陽圏（ヘリオスフィア：太陽風の荷電粒子で満たされたバブル構造）を脱出していたことが確認された。打ち上げから36年，人類史上初めて恒星間空間を飛行する人工物となった。



2012年3月に起こった太陽からの大規模な質量放出が13か月後の今年4月に探査機に到達した際，探査機の周囲のプラズマが振動し，その解析からプラズマの密度が太陽圏の果ての40倍も高いことが明らかになった。さらに過去にさかのぼって詳しく調べたところ，ボイジャー1号は2012年8月に，プラズマ密度の高い恒星間空間に達していたことがわかった。運用チームでは2012年8月25日を到達日としている。1号の2週間前に打ち上げられ別の方向に飛行を続けているボイジャー2号も，近い将来に恒星間空間に達するとみられている。

http://www.nasa.gov/mission_pages/voyager/index.html

http://www.nasa.gov/mission_pages/voyager/voyager20130912.html#.UjpM1hbOe_c

<http://www.astroarts.co.jp/news/2013/09/13voyager/index-j.shtml>

天の川銀河 (Milky Way, our galaxy)



天文学で使う距離の単位：AU, 光年, パーセク

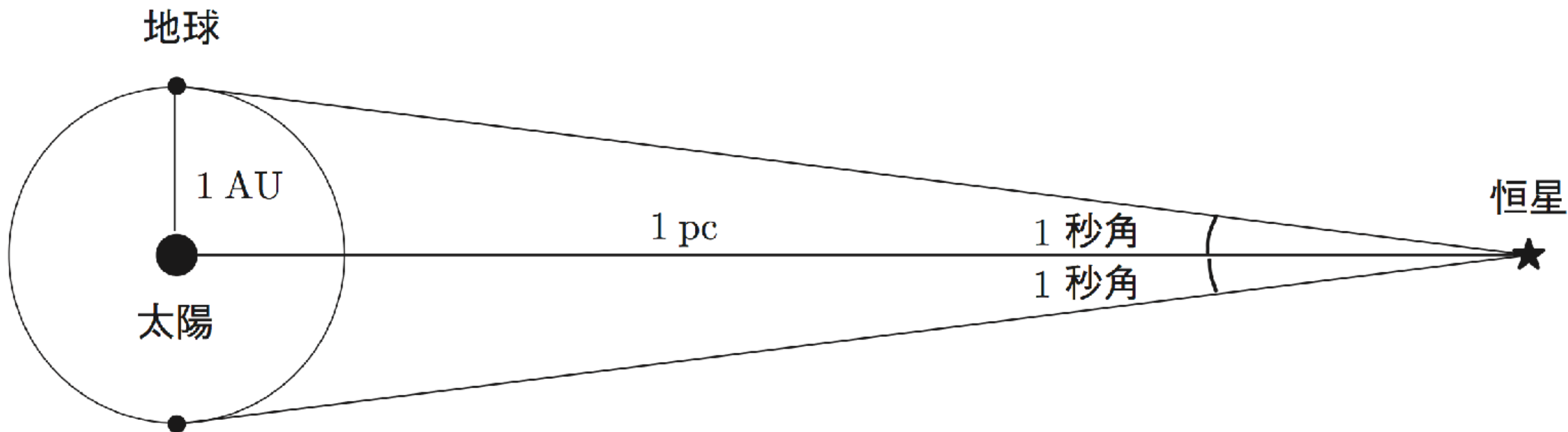


図 A.2 距離パーセク (pc) の定義. 地球から見る星の位置が半年で 2 秒角ずれる場所までの距離を 1 pc とする.

天文学で用いられる距離の単位 (§ A.1.5)

教科書 見返し

名	記号	長さ	定義
天文単位	AU	1 億 5000 万 km	地球と太陽の距離
光年	ly	9.46×10^{12} km	光が 1 年間に進む距離
パーセク	pc	3.09×10^{13} km = 3.26 ly	地球からの年周視差が ± 1 秒角
赤方偏移	z	(A.2.16) 式	本来の光の波長のずれの比

星の明るさ(見かけの等級, 絶対等級)

1等星



6等星



← 約100倍の明るさの違い →
 $(2.5)^5 = 100$ だから, 一等級の違いは2.5倍



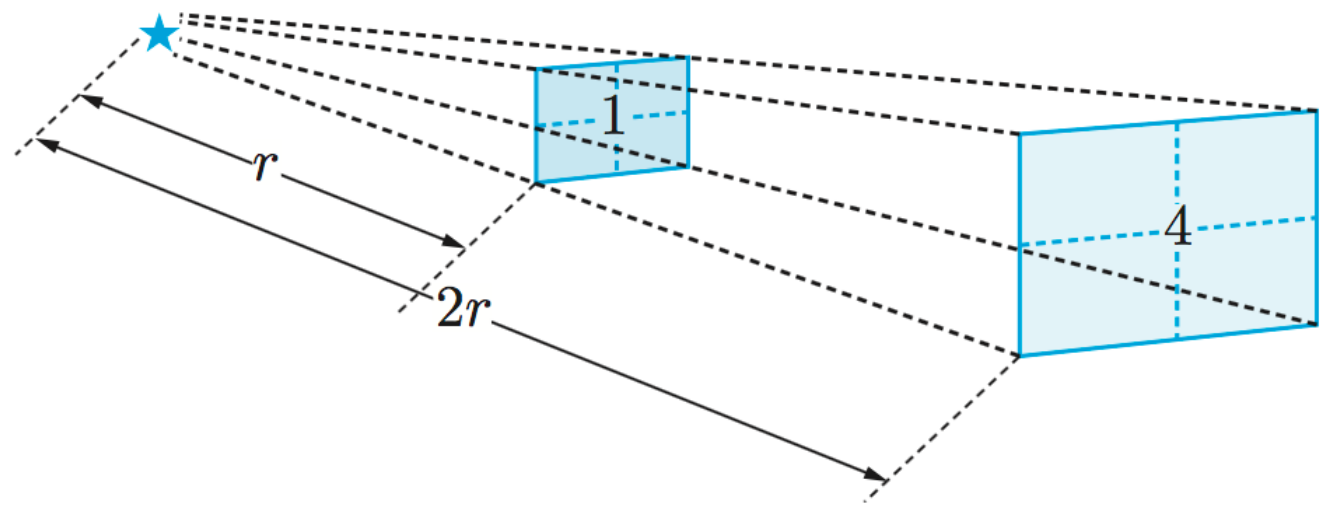
もっと明るい場合

← -1等星
-2等星

もっと暗い場合

7等星 →
8等星 →

星の明るさ(見かけの等級, 絶対等級)

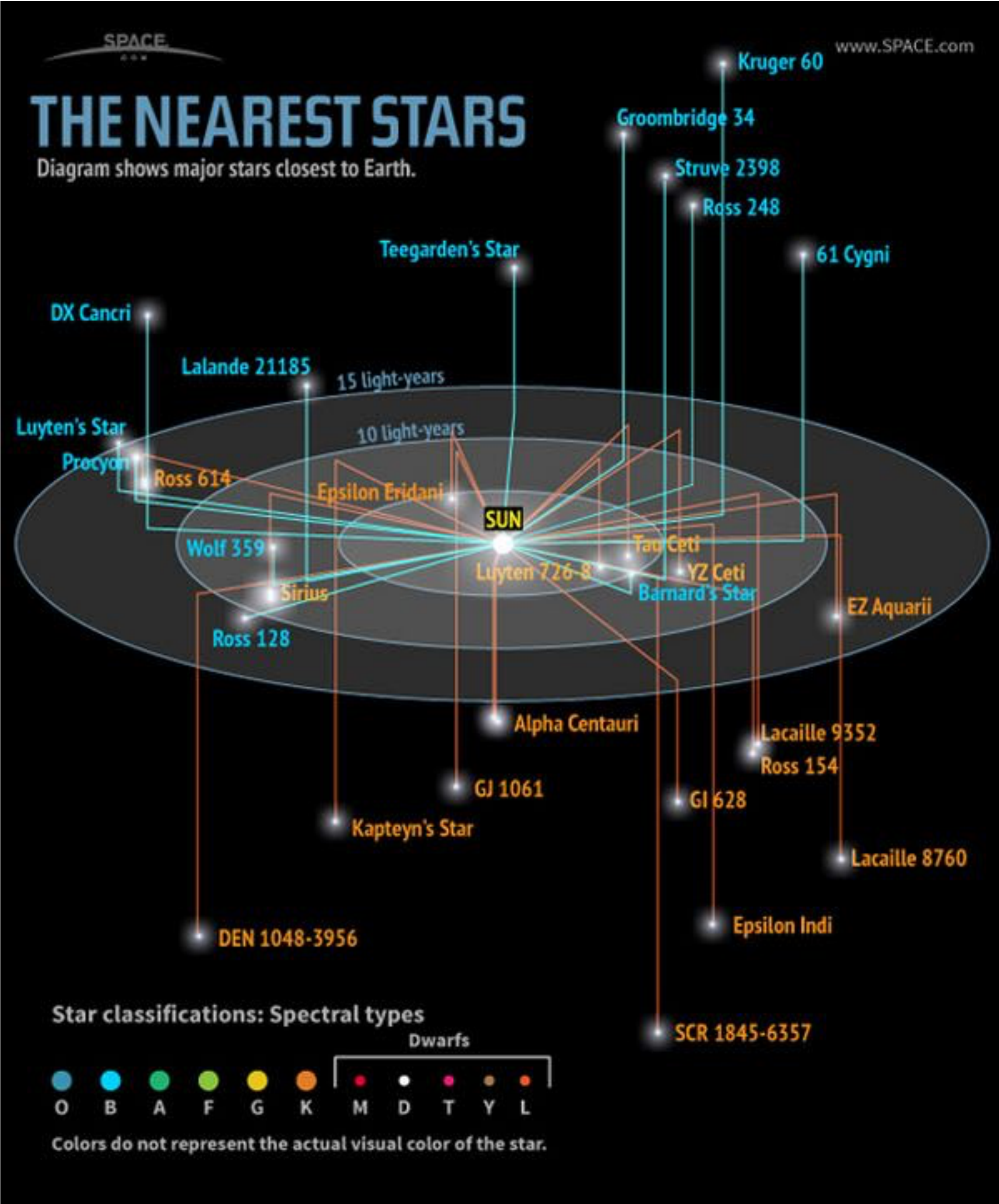


同じような大きさで
同じように明るい星でも
遠くになれば暗い

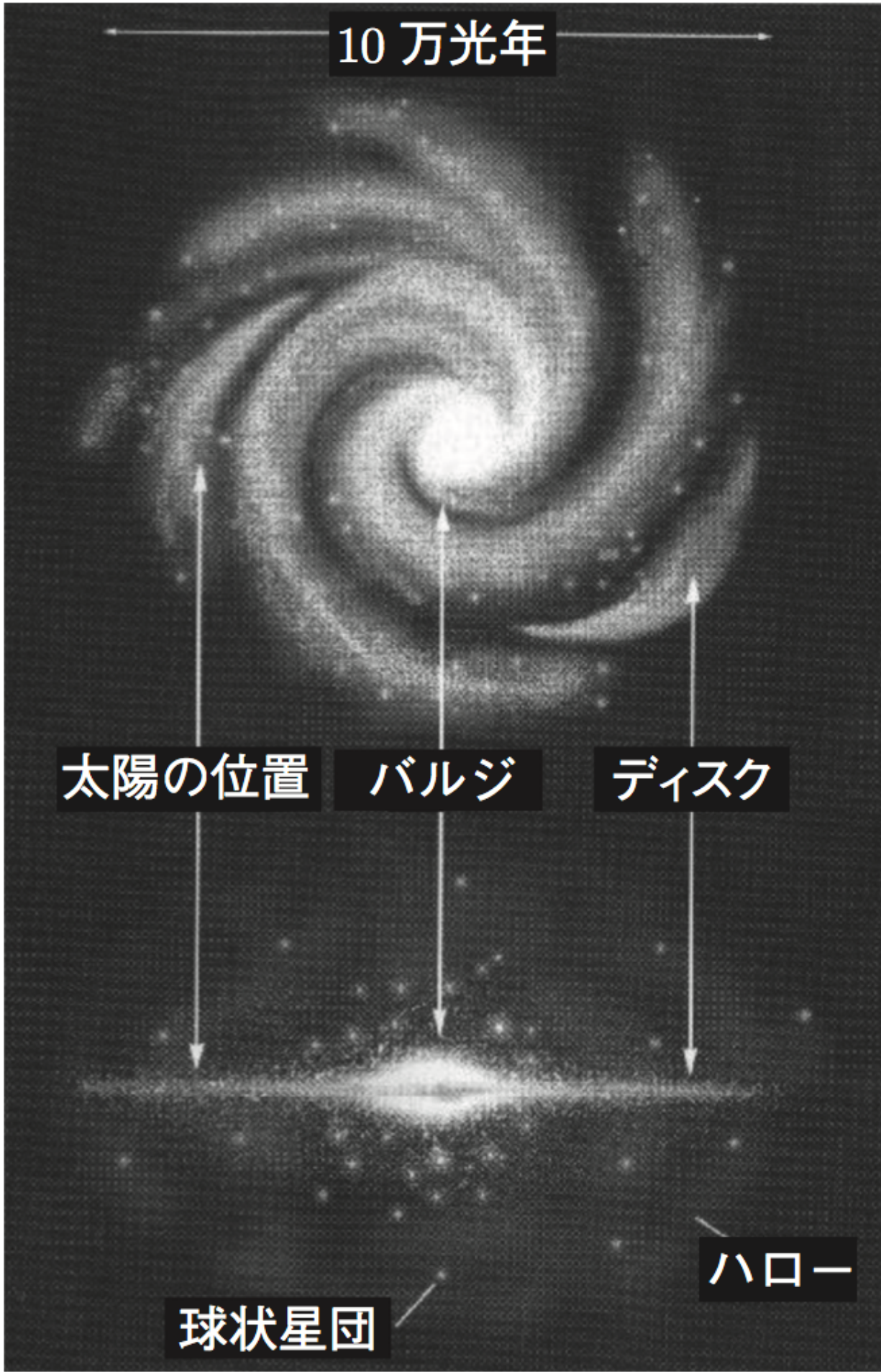
図 1.26 距離が倍になると，光の照射面積は 4 倍になるので，光量は 1/4 になる．
すなわち，明るさは距離の 2 乗に比例して小さくなる．

表 1.8 恒星の見かけの等級と絶対等級の例 †.

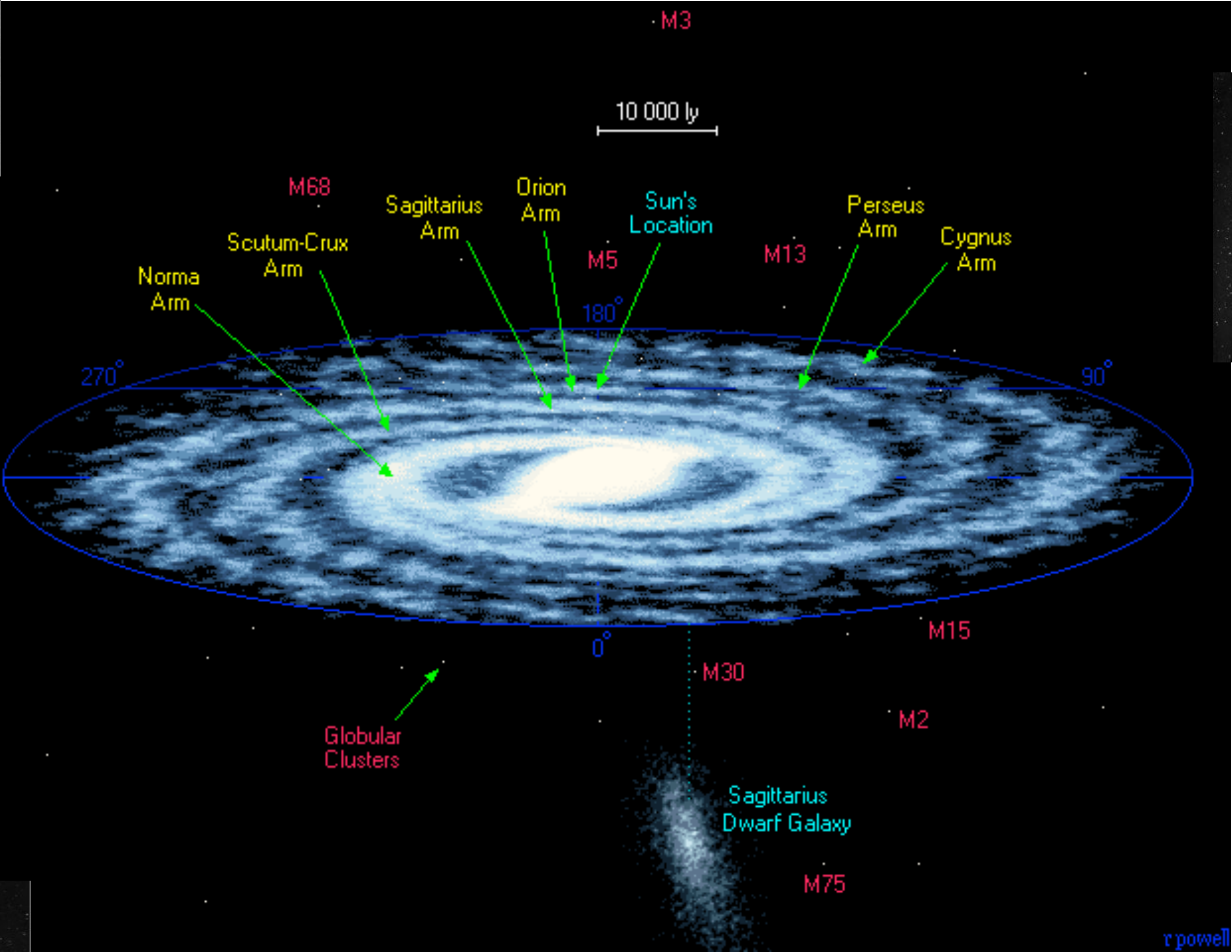
星	星座	距離（光年）	見かけの等級	絶対等級
シリウス	おおいぬ	8.60± 0.04	−1.47	1.42
ベテルギウス	オリオン	642 ±147	0.42	−5.50
プロキオン	こいぬ	11.46± 0.05	0.34	2.61
アンタレス	さそり	553.48±113.19	1.09	−5.06
ベガ（織女）	こと	25.03± 0.07	0.03	0.60
アルタイル（牽牛）	わし	16.72± 0.05	0.77	2.22
デネブ	はくちょう	1411.26±226.94	1.25	−6.93
北極星	こぐま	432.36± 6.4	2.00	−3.61
太陽	—	1 天文単位	−26.7	4.82



天の川銀河（our galaxy, Milky Way）



天の川銀河と球状星団



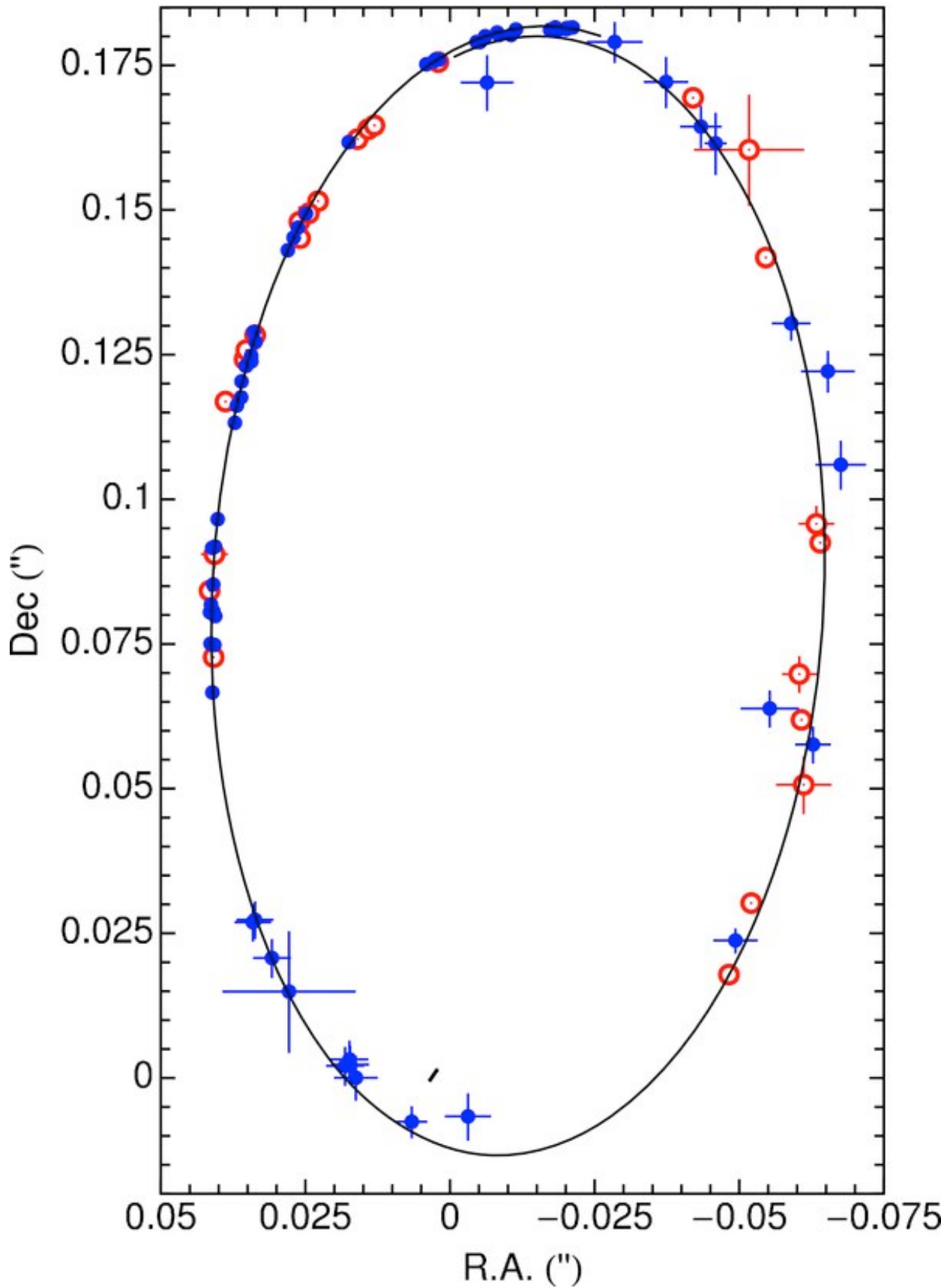
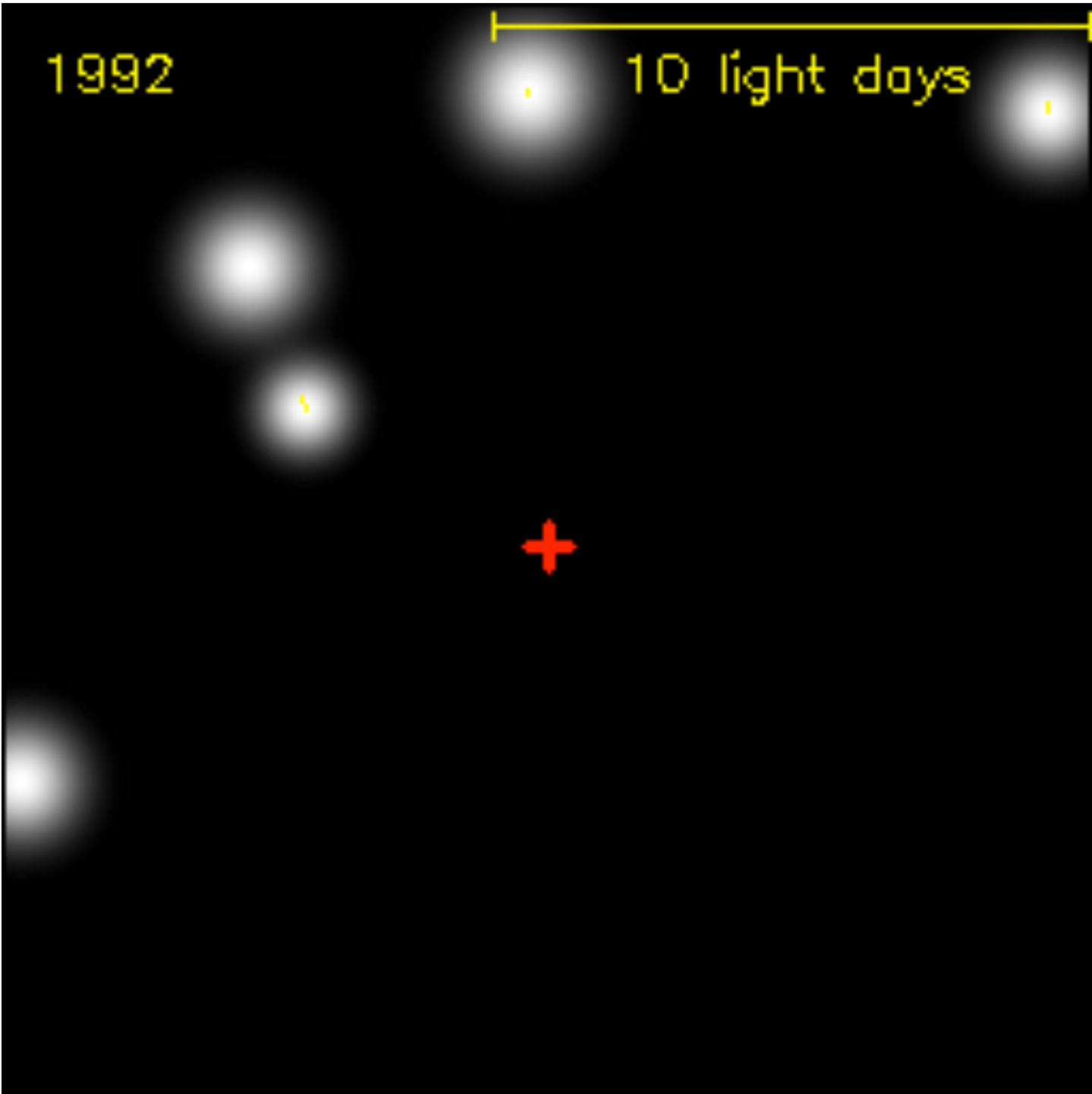
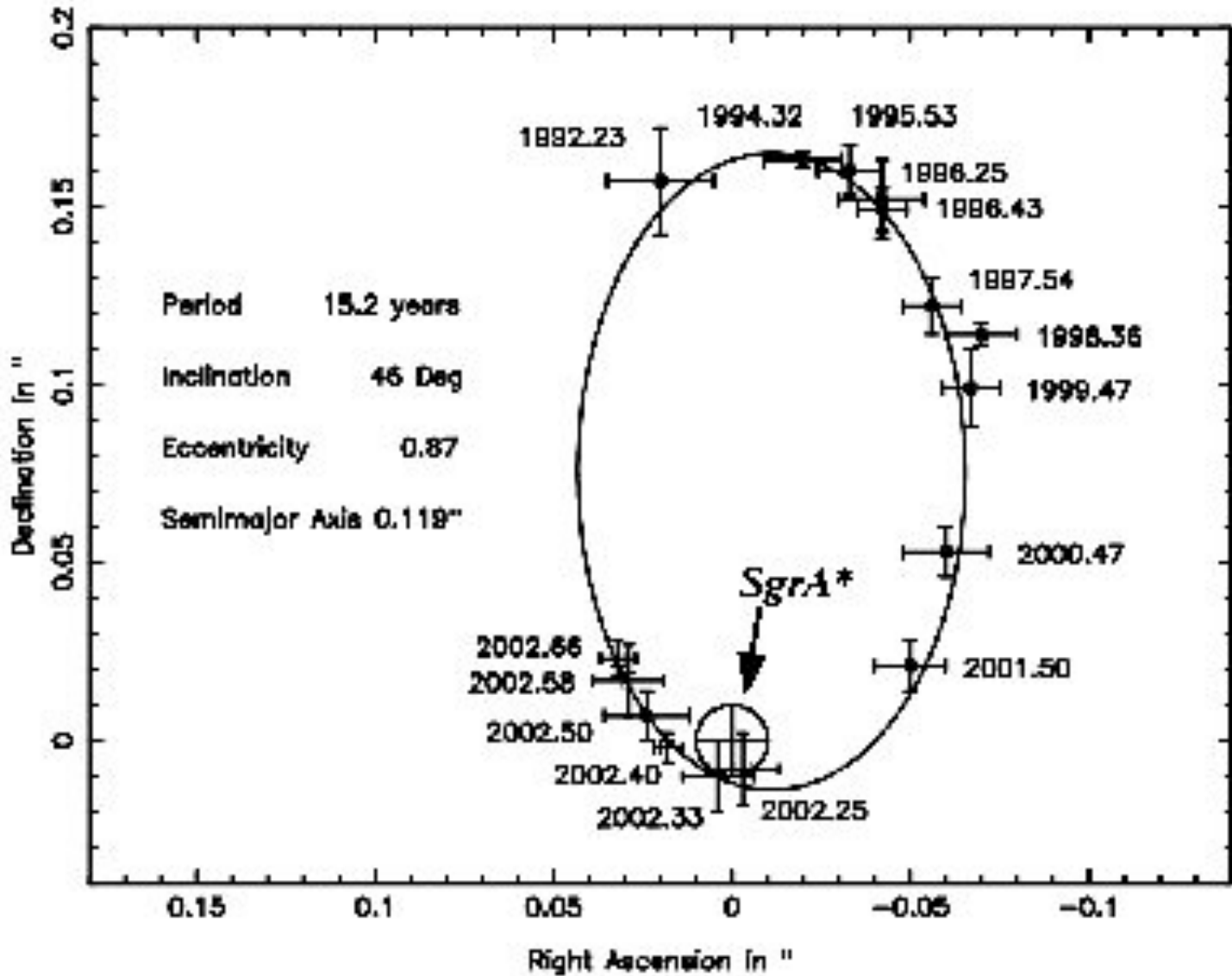
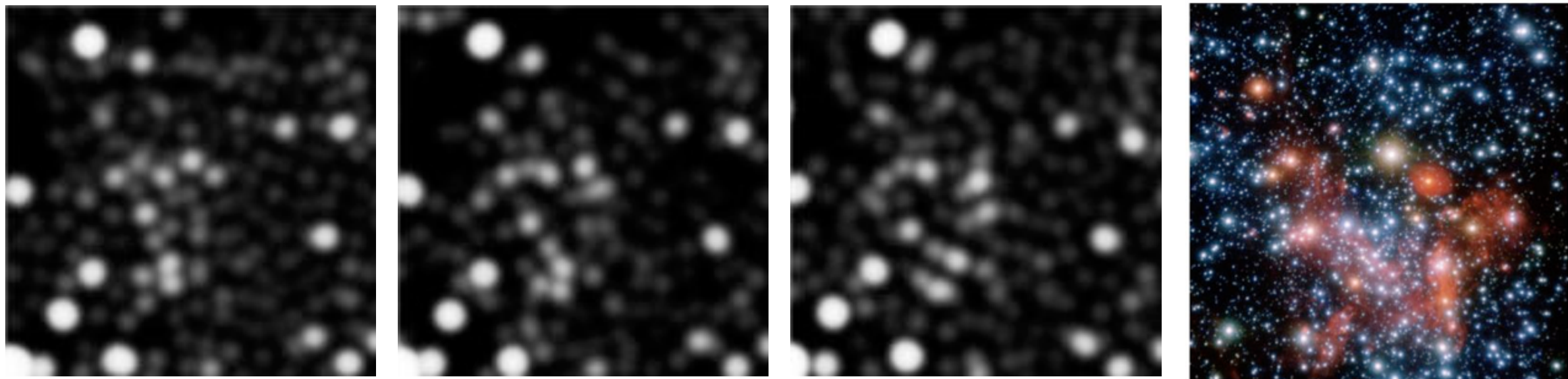
←球状星団(globular cluster)

銀河系の中心には巨大ブラックホールがある



Zooming in on the centre of the Milky Way

<http://www.youtube.com/watch?v=XhHUNvEKUY8> (1:15)



<http://www.extinctionsift.com/SignificantFindings08.htm>
<http://www.brighthub.com/science/space/articles/13435.aspx#>

2019年4月10日, 国立天文台グループ「ブラックホールの直接撮像に初めて成功」



地球から5500万光年

<https://alma-telescope.jp/news/press/eht-201904>



First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole

The Event Horizon Telescope Collaboration

(See the end matter for the full list of authors.)

Received 2019 March 1; revised 2019 March 12; accepted 2019 March 12; published 2019 April 10

Abstract

When surrounded by a transparent emission region, black holes are expected to reveal a dark shadow caused by gravitational light bending and photon capture at the event horizon. To image and study this phenomenon, we have assembled the Event Horizon Telescope, a global very long baseline interferometry array observing at a wavelength of 1.3 mm. This allows us to reconstruct event-horizon-scale images of the supermassive black hole candidate in the center of the giant elliptical galaxy M87. We have resolved the central compact radio source as an asymmetric bright emission ring with a diameter of $42 \pm 3 \mu\text{as}$, which is circular and encompasses a central depression in brightness with a flux ratio $\gtrsim 10:1$. The emission ring is recovered using different calibration and imaging schemes, with its diameter and width remaining stable over four different observations carried out in different days. Overall, the observed image is consistent with expectations for the shadow of a Kerr black hole as predicted by general relativity. The asymmetry in brightness in the ring can be explained in terms of relativistic beaming of the emission from a plasma rotating close to the speed of light around a black hole. We compare our images to an extensive library of ray-traced general-relativistic magnetohydrodynamic simulations of black holes and derive a central mass of $M = (6.5 \pm 0.7) \times 10^9 M_\odot$. Our radio-wave observations thus provide powerful evidence for the presence of supermassive black holes in centers of galaxies and as the central engines of active galactic nuclei. They also present a new tool to explore gravity in its most extreme limit and on a mass scale that was so far not accessible.

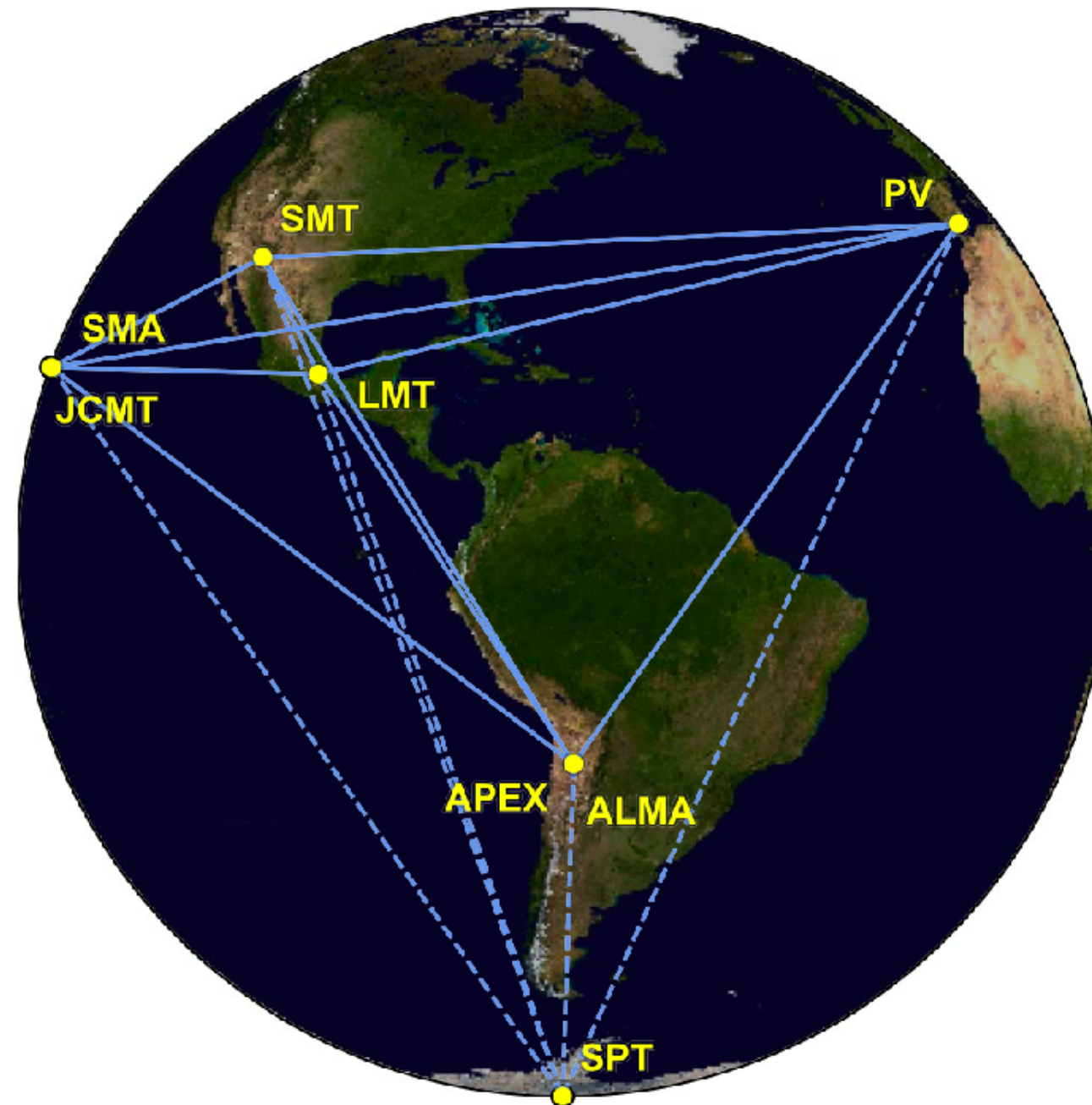


Figure 1. Eight stations of the EHT 2017 campaign over six geographic locations as viewed from the equatorial plane. Solid baselines represent mutual

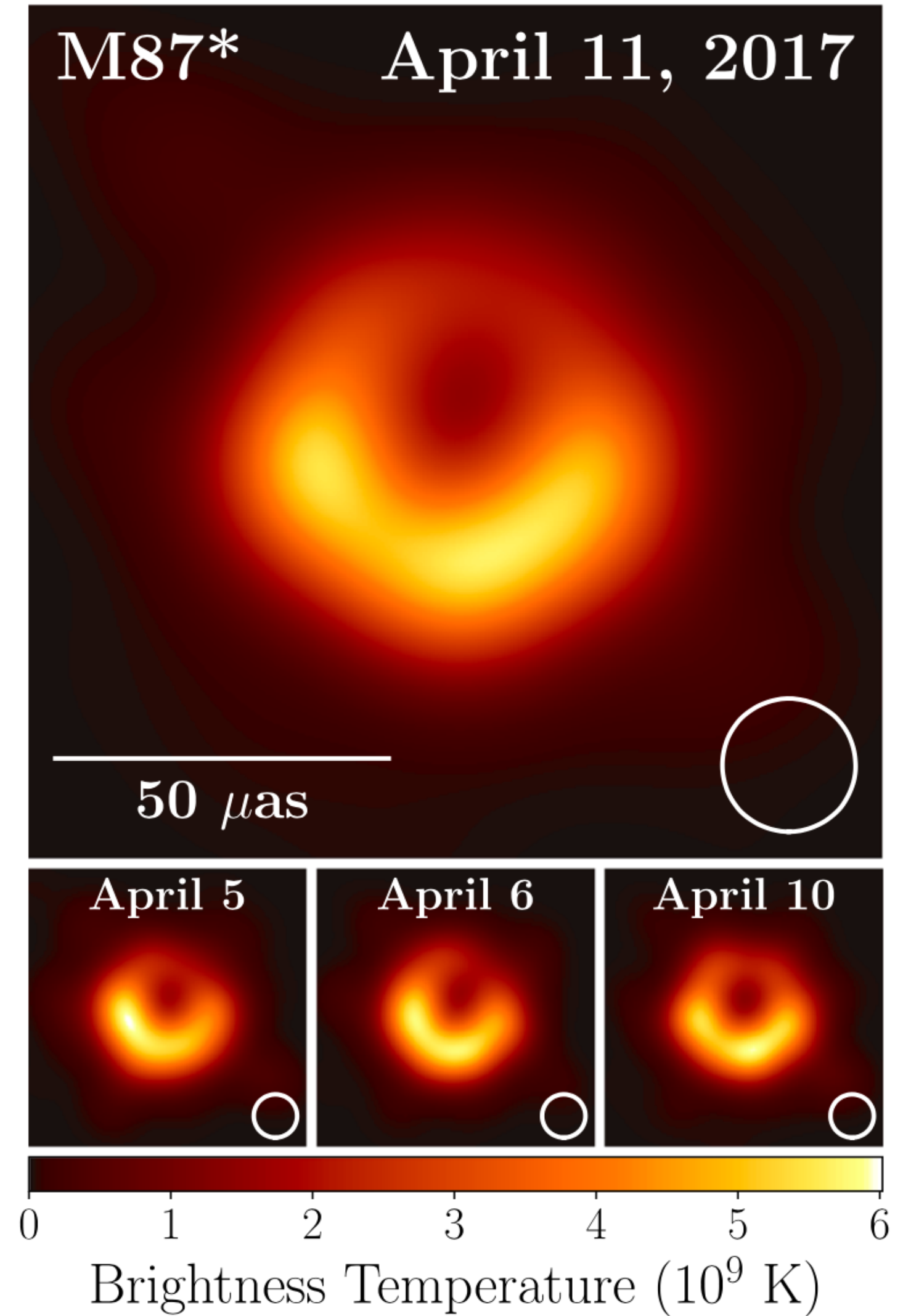


Figure 3. Top: EHT image of M87* from observations on 2017 April 11 as a representative example of the images collected in the 2017 campaign. The image is the average of three different imaging methods after convolving each with a circular Gaussian kernel to give matched resolutions. The largest of the three kernels ($20 \mu\text{as}$ FWHM) is shown in the lower right. The image is shown in units of brightness temperature, $T_b = S\lambda^2/2k_B\Omega$, where S is the flux density, λ is the observing wavelength, k_B is the Boltzmann constant, and Ω is the solid angle of the resolution element. Bottom: similar images taken over different days showing the stability of the basic image structure and the equivalence among different days. North is up and east is to the left.



First Sagittarius A* Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole in the Center of the Milky Way

The Event Horizon Telescope Collaboration

(See the end matter for the full list of authors.)

Received 2022 March 25; revised 2022 April 4; accepted 2022 April 8; published 2022 May 12

Abstract

We present the first Event Horizon Telescope (EHT) observations of Sagittarius A* (Sgr A*), the Galactic center source associated with a supermassive black hole. These observations were conducted in 2017 using a global interferometric array of eight telescopes operating at a wavelength of $\lambda = 1.3$ mm. The EHT data resolve a compact emission region with intrahour variability. A variety of imaging and modeling analyses all support an image that is dominated by a bright, thick ring with a diameter of $51.8 \pm 2.3 \mu\text{as}$ (68% credible interval). The ring has modest azimuthal brightness asymmetry and a comparatively dim interior. Using a large suite of numerical simulations, we demonstrate that the EHT images of Sgr A* are consistent with the expected appearance of a Kerr black hole with mass $\sim 4 \times 10^6 M_\odot$, which is inferred to exist at this location based on previous infrared observations of individual stellar orbits, as well as maser proper-motion studies. Our model comparisons disfavor scenarios where the black hole is viewed at high inclination ($i > 50^\circ$), as well as nonspinning black holes and those with retrograde accretion disks. Our results provide direct evidence for the presence of a supermassive black hole at the center of the Milky Way, and for the first time we connect the predictions from dynamical measurements of stellar orbits on scales of 10^3 – 10^5 gravitational radii to event-horizon-scale images and variability. Furthermore, a comparison with the EHT results for the supermassive black hole M87* shows consistency with the predictions of general relativity spanning over three orders of magnitude in central mass.

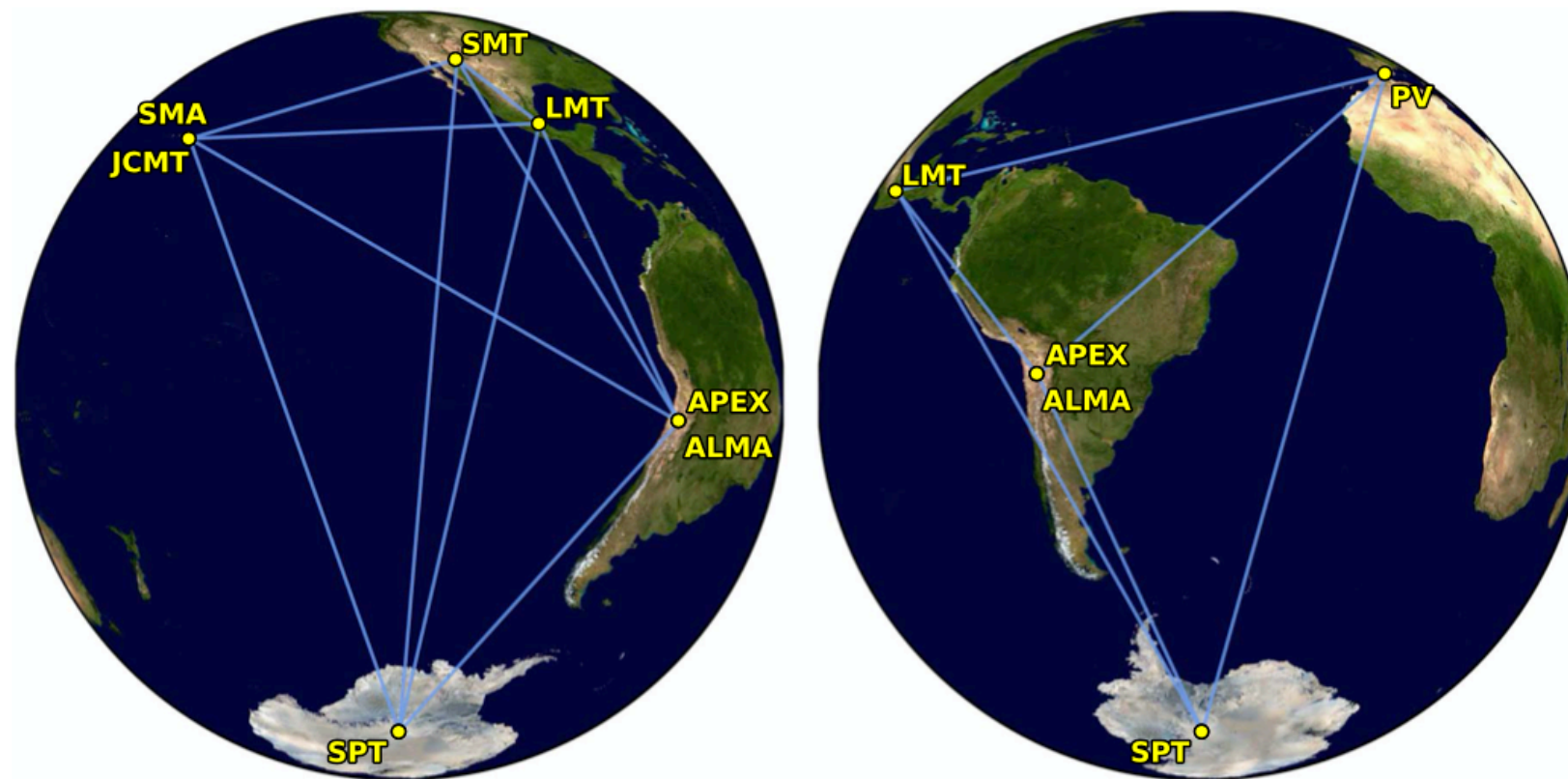


Figure 1. The 2017 EHT array as seen from Sgr A*. The array included eight observatories at six locations: the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) and the Atacama Pathfinder Experiment (APEX) on the Llano de Chajnantor in Chile, the Large Millimeter Telescope Alfonso Serrano (LMT) on Volcán Sierra Negra in Mexico, the James Clerk Maxwell Telescope (JCMT) and Submillimeter Array (SMA) on Maunakea in Hawai‘i, the Institut de Radioastronomie Millimétrique 30 m telescope (PV) on Pico Veleta in Spain, the Submillimeter Telescope (SMT) on Mt. Graham in Arizona, and the South Pole Telescope (SPT) in Antarctica.

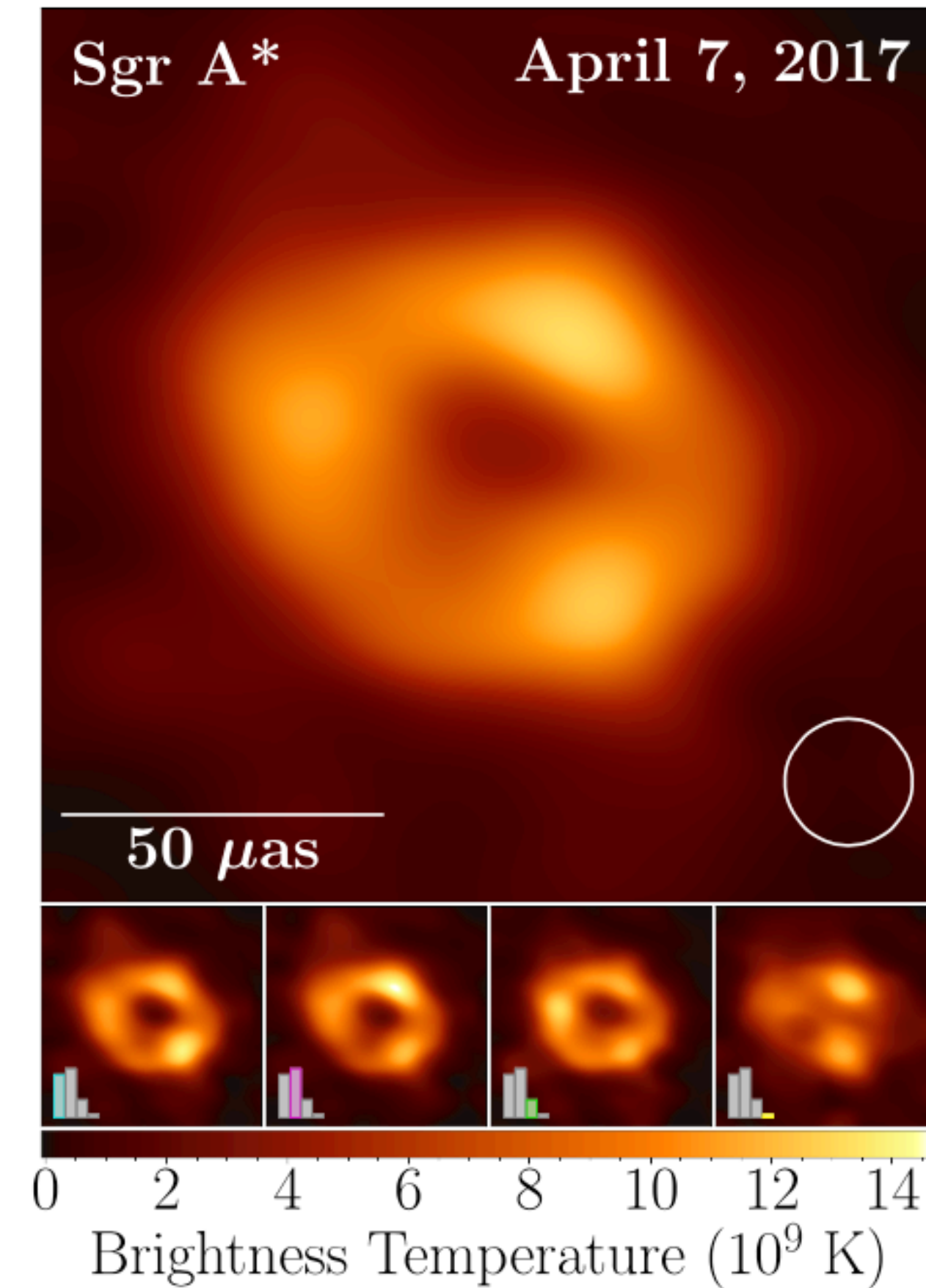


Figure 13. In the top main panel we show the representative image of Sgr A* obtained with the EHT from observations on 2017 April 7. This top image is obtained by averaging the bottom four images. On the bottom from left to right, we show the average images of three prominent ring clusters with different azimuthal structures and a nonring cluster. The height of the colored bar (lower left corner in each panel) represents the relative fraction of images in the Top Sets for each cluster. We note that the THEMIS posterior sample only includes ring images. In each cluster, the image is computed through a weighted average over the descattered reconstructions, including all Top Set images from the three imaging methods (DIFMAP, eht-imaging, and SMILI) and 1024 images randomly selected from descattered posteriors from THEMIS. Images are weighted by the inverse of the total number of Top Set or posterior images used from each pipeline, so that pipelines are represented equally in each image. Note that DIFMAP model images are convolved with a $20 \mu\text{as}$ beam (represented by the inset circle), while no blurring is applied to the rest of the images.

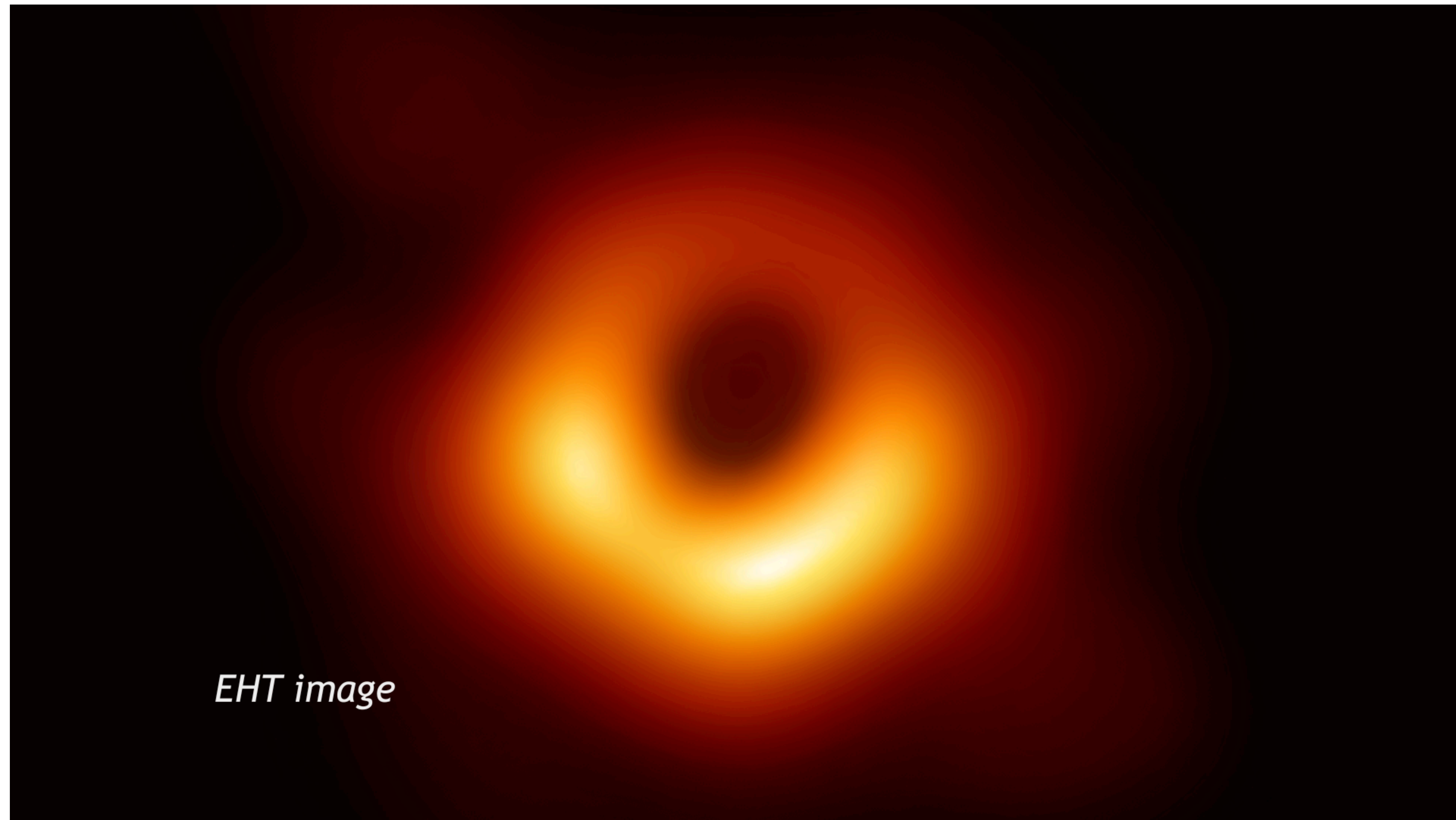
イベント・ホライズン・テレスコープ (EHT)

— 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 —



<https://www.nao.ac.jp/news/science/2019/20190410-ehf.html>

ブラックホールシャドウのメカニズム解説映像

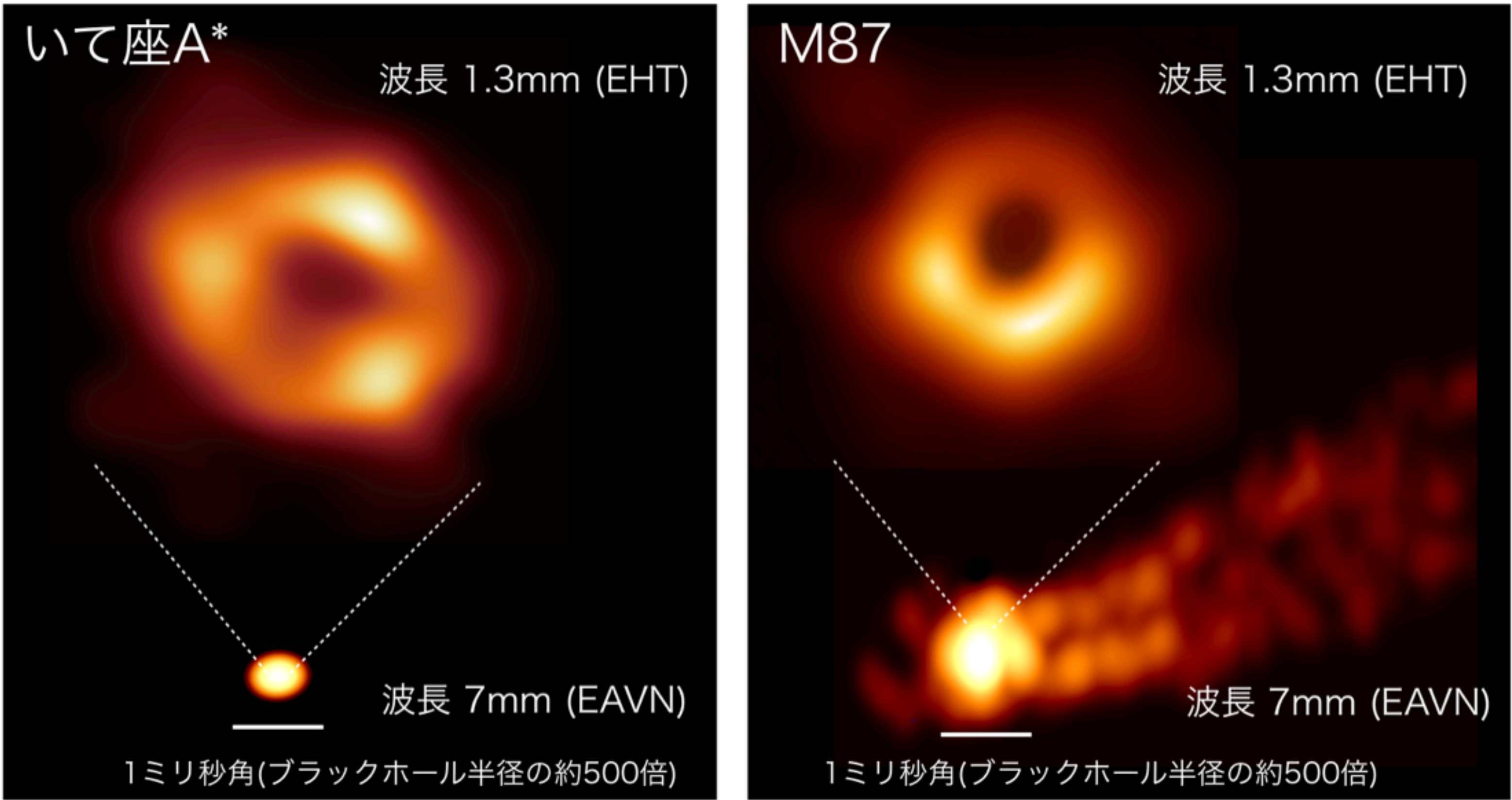


<https://www.nao.ac.jp/news/sp/20190410-eh/ideos.html>

0'58"

ブラックホールシャドウのメカニズム解説映像

<https://www.miz.nao.ac.jp/eht-j/c/pr/pr20220512>



[図6] いて座A*（左）とM87（右）の画像比較。上側のリングはEHTで得られたブラックホール近傍画像。下側の画像は東アジアVLBI観測網（EAVN）で得られたブラックホール遠方画像。ブラックホール遠方画像において、M87では図の左下から右上へと伸びるジェットが見られるのに対し、いて座A*ではジェットの明確な証拠は得られていない。その一方でEHTで得られたリング画像はととてもよく似ている。（クレジット：EHT Collaboration, EAVN Collaboration）

Sgr A*	M87
400万太陽質量	65億太陽質量
8 kpc	16.8 Mpc

3桁大きなBHが
3桁遠くにいてるので、
同じ位の大きさに見える

スクリーンショット

4D2U
国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト

Mitaka

トップ

はじめてみよう
(チュートリアル)

宇宙空間モード

プラネタリウムモード

その他の機能

Tips

使用データ

よくある質問(FAQ)

更新履歴

English

4D2Uプロジェクト

国立天文台

新着情報

2020/07/08

Mitakaの開発者加藤ほか4D2Uプロジェクトの3名が令和2年度の **文部科学大臣表彰 科学技術賞(理解増進部門)**を受賞しました。 Mitakaをご活用いただいた皆様に心より感謝申し上げます。
詳細は以下をご覧ください。
国立天文台ニューストピックス: [令和2年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰を国立天文台の研究者が受賞](#)

2020/05/01

バージョン 1.6.0b を公開しました。
バージョン 1.6.0a の不具合修正版です。 天の川の表示で「赤外線で見えた天の川」と「宇宙マイクロ波背景放射」が正しく表示されない不具合を修正しました。 マニュアルの修正も行っています。(更新内容についての詳細は [更新履歴](#)をご覧ください。)

2020/03/16

バージョン 1.6.0a を公開しました。
このバージョンでは、画面上にデータのクレジット表記や4D2Uのロゴが表示できるようになりました。スクリーンショットの公開時などにご利用ください。そのほか、いくつかの追加・修正を行っています。
(更新内容についての詳細は [更新履歴](#)をご覧ください。)

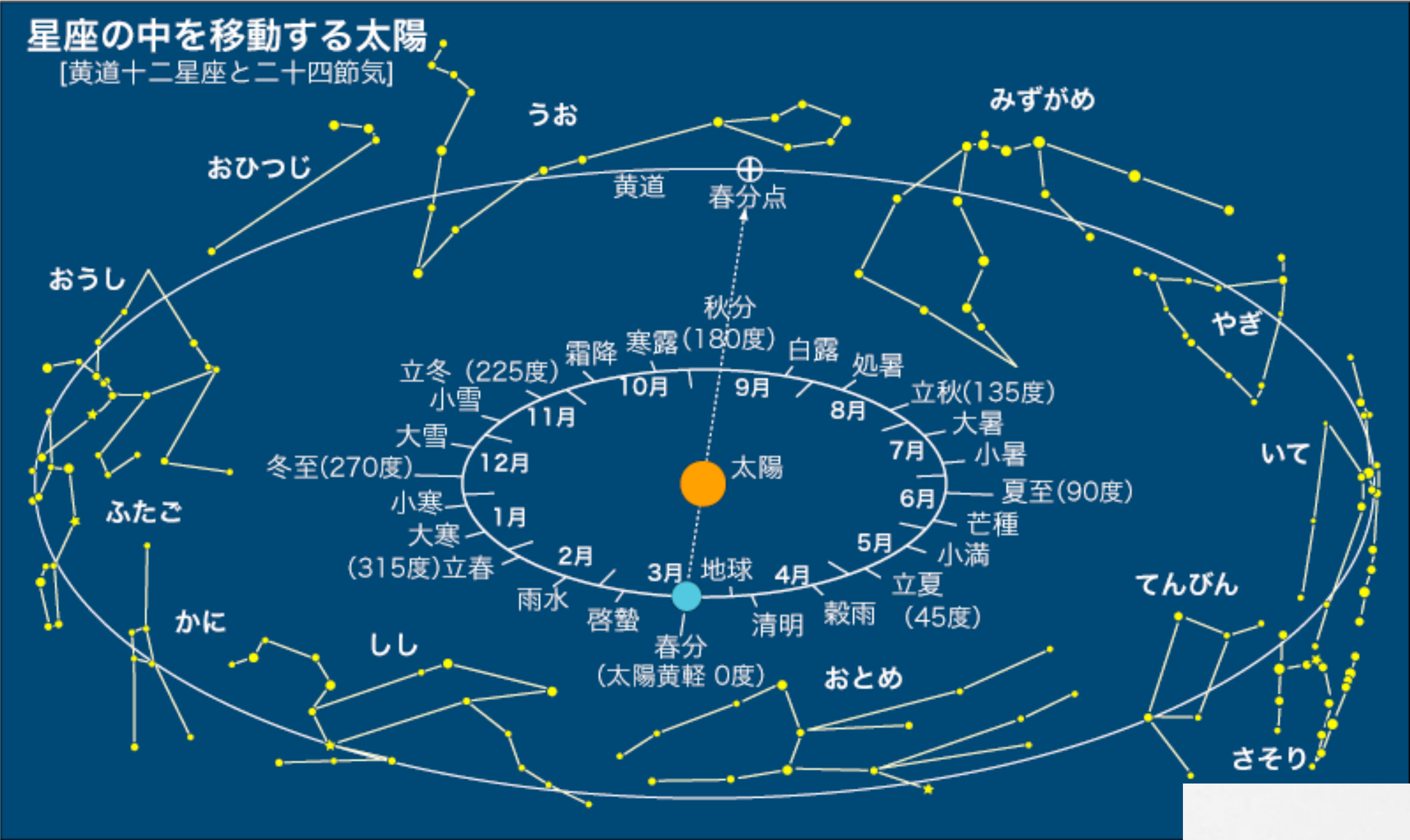
2020/02/20

Mitaka のダウンロード数が、累計100万件を越えました。 2005年のベータ版の公開から長きにわたりご愛顧ありがとうございます。

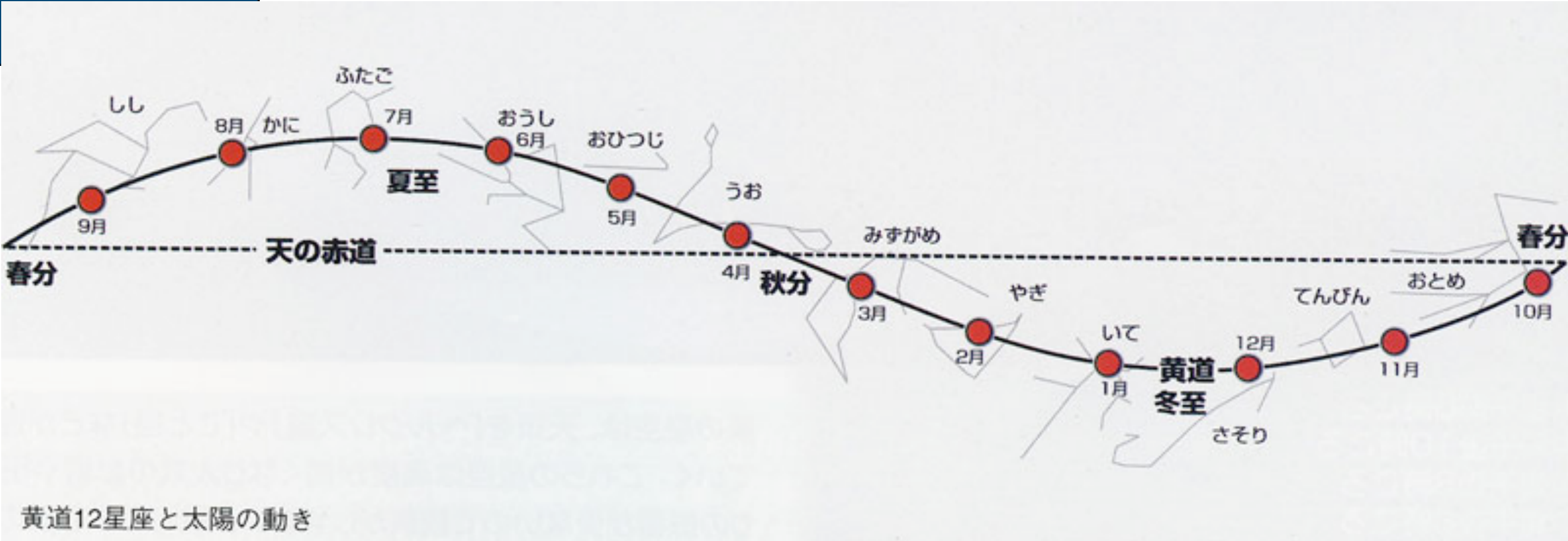
国立天文台が東京都三鷹市にあることにちなむ

<http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/>

黄道12星座



<http://www.astroarts.co.jp/special/2006autumn/various-j.shtml>



- 【2-1】 日本人のノーベル**物理学賞**受賞者を2名挙げ、それぞれの業績を説明せよ.
- 【2-2】 (本日の講義から) 冥王星が惑星から外された理由は何か.
- 【2-3】 ドップラー効果とは何か. (知っていたら説明せよ)
- 【2-4】 通信欄. (質問・要望・連絡事項など、何かあれば)