最先端物理学が描く宇宙
Frontiers of Physics & Cosmology

第2回　2026/9/28

第1章　宇宙の階層構造（2）



真貝　寿明
Hisaaki Shinkai

真貝の武庫川講義ページtop

https://www.oit.ac.jp/labs/is/system/shinkai/mukogawa/

【天文観望】

国際宇宙ステーション(ISS)が見える！

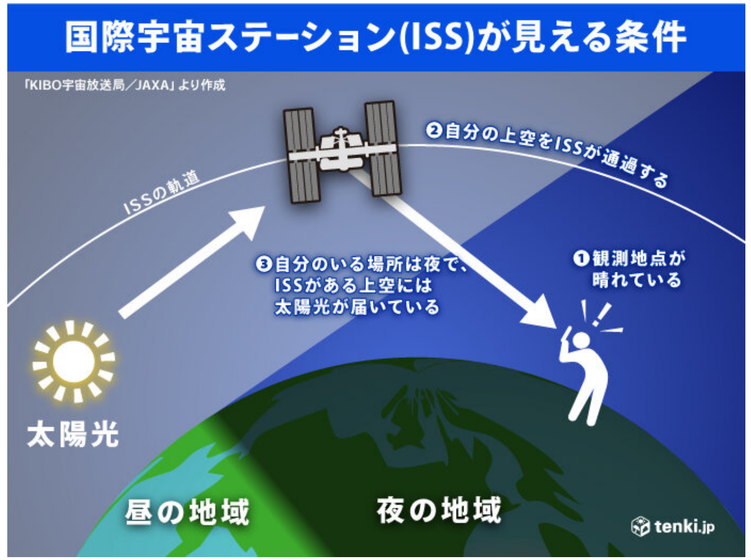
2026/10







https://lookup.kibo.space



https://tenki.jp/forecaster/t_yoshida/2026/09/10/40552.html

【話題】



くもM@身近な科学・学びを... @science_kido

Translate post

お誘いいただいた重力波の研究をされている真貝先生にご挨拶してきました
そこで、重力を体感できるVRゲームをやらせていただきました✨めちゃくちゃ楽しかった！科学館のイベントで体験できるらしいですよ✨

真貝先生のインタビューは今月中に公開予定です✨

5:09 PM · Aug 11, 2025 · **300** Views

6

Post your reply Reply

Discover more
Sourced from across X

くもM@身近な科... @s... · Aug 22
今回初めてサイエンスアゴラに出展させていただくことになりました✨

5年ほど続けさせていただいておりますくもMLABの企画です！
詳細は追って連絡いたします！

ScienceTalks TV

@ScienceTalksJapan · チャンネル登録者数 3060人 · 151 本の動画

このチャンネルの詳細 ...さらに表示

チャンネル登録

ホーム 動画 ショート ライブ 再生リスト 投稿

新しい順 人気の動画 古い順



美しい結果は物理の真髄　理論物理の世界で生きていくということ　...

81 回視聴・2 日前



未知の重力波を見つけるために 最先端の重力波研究について　大阪工...

453 回視聴・4 週間前



https://www.youtube.com/watch?v=MeJFQSUaZkA

https://www.youtube.com/watch?v=fV455idBHhw

10月第2週は，ノーベル賞ウィーク



5日（月）Physiology or Medicine
6日（火）Physics
7日（水）Chemistry
8日（木）Literature
9日（金）Peace
12日（月）Economic science

https://www.nobelprize.org

ノーベル賞

Nobel Prize



- 安全に運搬・保管できる爆薬のダイナマイトの発明などで巨万の富を築いたスウェーデンの実業家、アルフレッド・ノーベルの遺産を基に、1901年に創設された賞
- 創設当初は物理学、化学、生理学・医学、文学、平和の５賞、69年に経済学が加わり６賞となった.

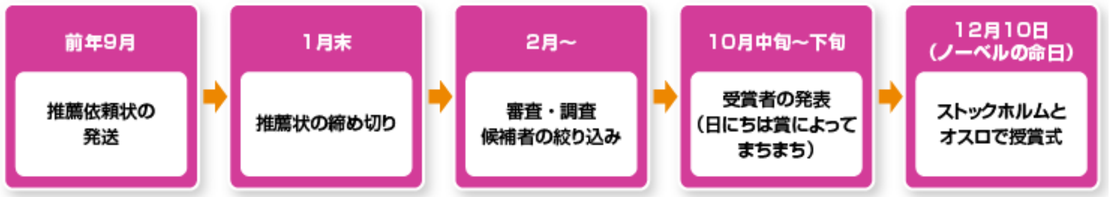
- ノーベル賞を運営するのはスウェーデンのストックホルムに本部がある「ノーベル財団」
- ノーベル財団は基金を株式や国債、不動産などで運用し、賞金や運営費用を確保することが主な役割で、賞の選考には関わらない. 経済学賞の賞金だけはスウェーデン国立銀行が用意する.

賞	選考組織
物理学賞	スウェーデン王立科学アカデミー
化学賞	スウェーデン王立科学アカデミー
生理学・医学賞	カロリンスカ研究所
文学賞	スウェーデンアカデミー
平和賞	ノルウェー・ノーベル委員会
経済学賞	スウェーデン王立科学アカデミー

- 受賞者の選考過程は受賞の50年後まで明かされない.
- 専門家が「推薦された研究者が本当に最初に手掛けたものか」「同様の成果を挙げた研究者が他にいないか」などを調査し、候補者を絞り込む. 特に自然科学３賞は「最初」にこだわる.

- 授賞式はノーベルの命日である12月10日に、平和賞以外の５賞はスウェーデンのストックホルムで、平和賞はノルウェーのオスロで開かれる. 賞金額は2001～11年まで1000万スウェーデン・クローナ（現行レートで約１億4000万円）だったが、運用益の減少などを理由に12年からは800万クローナ（同約１億1000万円）に減額された。

ノーベル賞選考の大まかな流れ



https://www.nikkei4946.com/

研究者の業績が業績と認められるまで

研究成果

特許取得　企業の場合は，特許取得が第１目的

研究会発表　学会発表

国際会議発表

研究会や学会は
誰でも発表できる．

大学紀要

一般雑誌

論文執筆

プレプリント

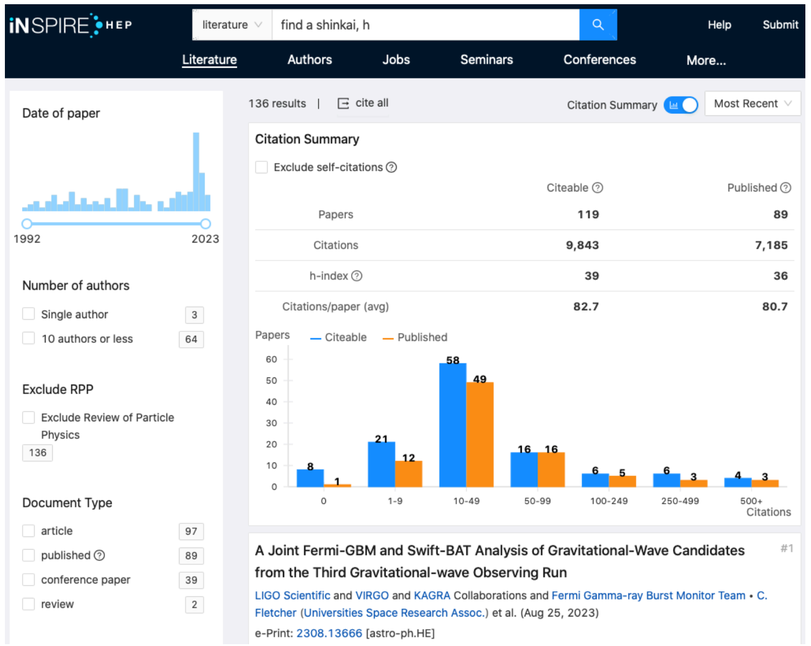
著書出版

論文投稿

査読

論文受理

文系の場合は，
著書出版が重要
理系の場合は，
業績とみなされない



匿名の査読者によってチェックされ，
受理されてはじめて業績となる．

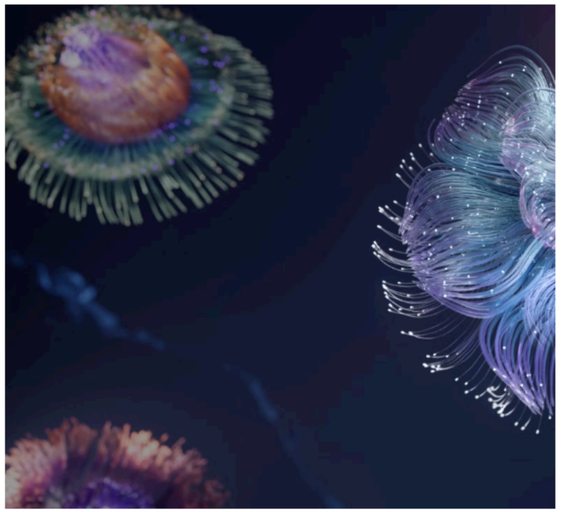
【贈賞】

クラリベイト引用栄誉賞 2026年

Clarivate　Academia & Government　Life Sciences & Healthcare　Intellectual Property　当社について　リソース　お問い合わせ

SEPTEMBER 17, 2026

2026年のクラリベイト引用栄誉賞 革新的な科学的ブレークスルーをもたらした研究者を顕彰



今年の論文で最も多く引用された論文を顕彰するもの.
（現在の流行を示す）

- **生理学・医学**：GLP-1バイオロジーと肥満症治療、光学イメージング、免疫システム研究
- **物理学**：先進的OLEDディスプレイ、省エネルギーコンピューティング材料、量子エレクトロニクス
- **化学**：自己組織化単分子膜、生体電子移動、精密な遺伝子編集技術
- **経済学**：デジタル経済、金融政策および中央銀行制度、組織イノベーションと経済活力

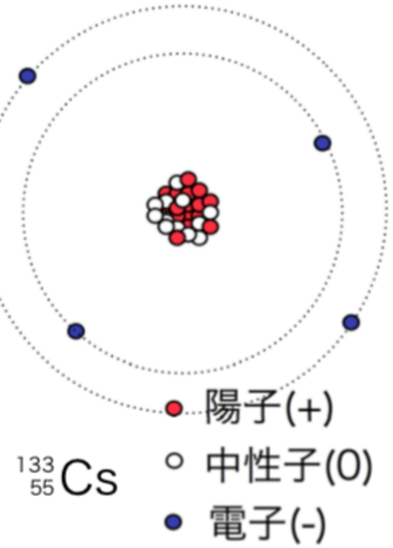
https://clarivate.com/ja/news/clarivate-reveals-citation-laureates-2026-recognizing-transformative-scientific-breakthroughs/

1秒の精密な定義

1956 年以前には, 地球の自転をもとにして 1 秒の長さを決めていた.

しかし, 地球の自転速度は潮汐摩擦などの影響によって一定ではないことが判明し, 1956年には地球の公転をもとにするように改められた.

より正確な定義とするために, 現在では, セシウム原子が放つ放射光の周期を使う.

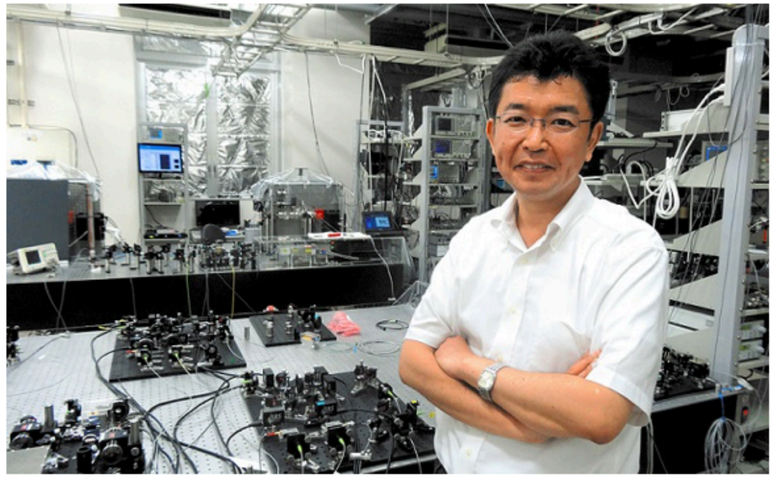


セシウム 133 原子の基底状態の 2 つの準位間の遷移に対応する

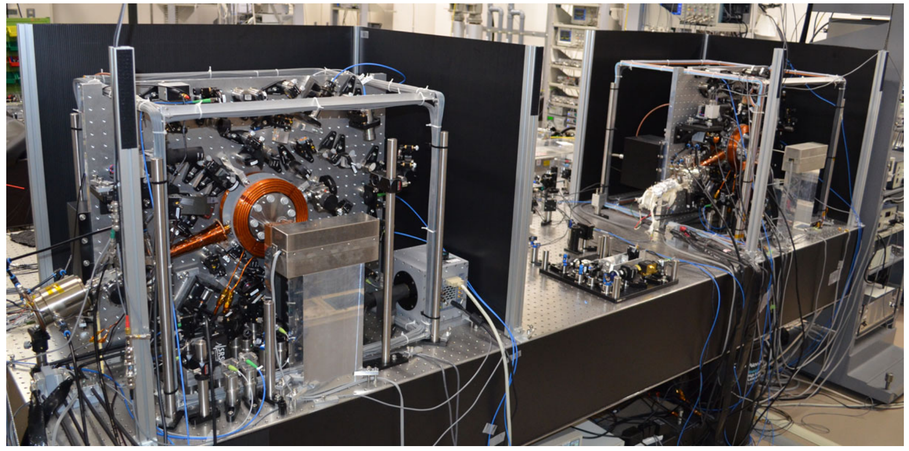
放射の 9192631770 周期 ＝ 1秒

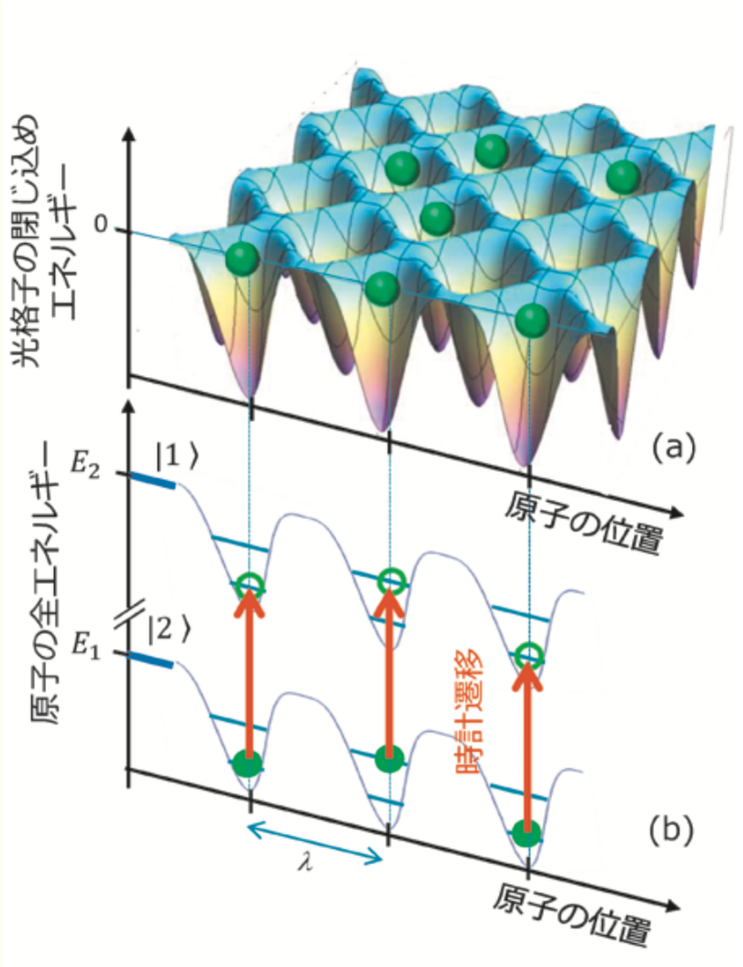
セシウム原子時計は 10^{-16} の精度

もっとも精密な時計＝光格子時計



光格子時計を開発した香取秀俊東京大学教授兼理化学研究所招聘主任研究員＝2013年7月31日、田中郁也撮影





10^{-18} の精度を実現

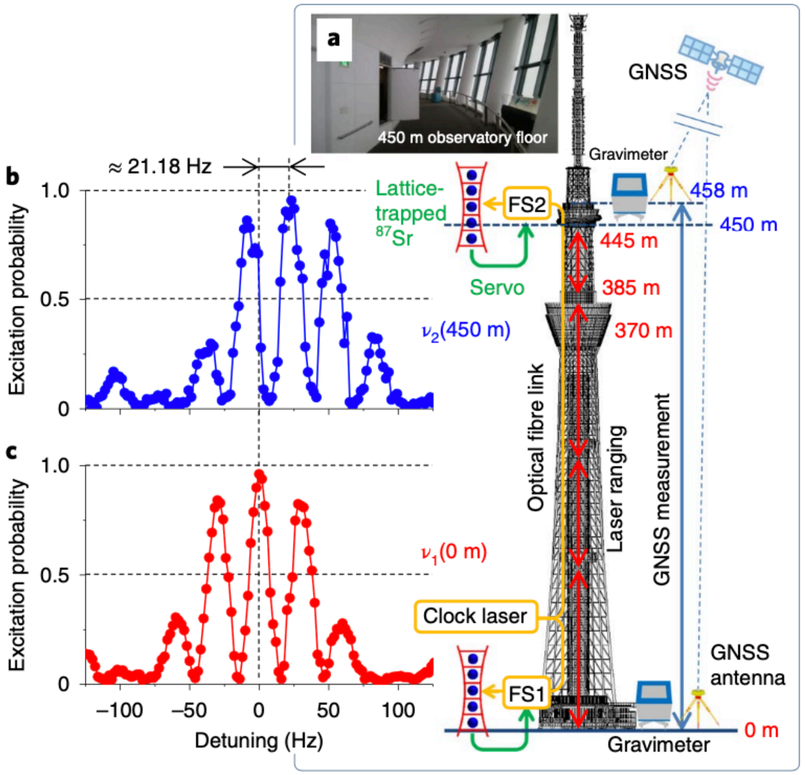
（300億年でずれは1秒以内）

スカイツリーの上下で時間の進み方が違う

アインシュタインの相対性理論によれば,
重力の強いところでは時間の進み方が遅くなる

地上と450mの展望台に光格子時計を設置して検証

図 6: 東京スカイツリーでの一般相対論検証実験の概要．地上階と展望台に設置した 2 台の可搬型光格子時計を光ファイバーでつなぎ，周波数比較を行った．一方，2 台の時計の標高差を従来の測量手法（GNSS 測量およびレーザー測距）によって計測した．時計遷移を分光して得られたスペクトルでは、標高差 450 メートルに相当する約 21 ヘルツの周波数シフトが観測された．



Nature Photonics, 14 (2020) 411

nature photonics
LETTERS
https://doi.org/10.1038/s41566-020-0619-8
Check for updates

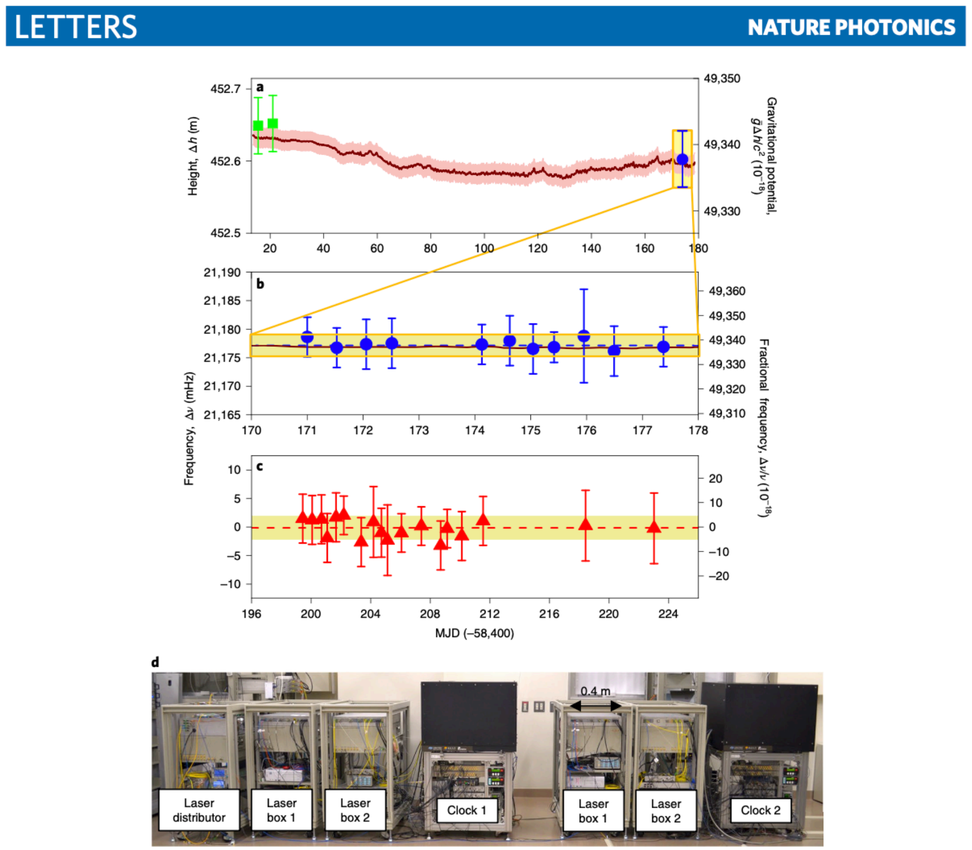
Test of general relativity by a pair of transportable optical lattice clocks

Masao Takamoto[1,2], Ichiro Ushijima[3], Noriaki Ohmae[1,2], Toshihiro Yahagi[4], Kensuke Kokado[4], Hisaaki Shinkai[5] and Hidetoshi Katori[1,2,3]✉

スカイツリーの上下で時間の進み方が違う

アインシュタインの相対性理論によれば,
重力の強いところでは時間の進み方が遅くなる

地上と450mの展望台に光格子時計を設置して検証



1 週間の計測．平均して，差が

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = (49337.8 \pm 4.3) \times 10^{-18}$$

レーザー測距では

$$\frac{g\Delta h}{c^2} = (49337.1 \pm 1.4) \times 10^{-18}$$

相対性理論の正しさを

$$(1.4 \pm 9.1) \times 10^{-5}$$

の精度で検証したことになる

もっとも精密な時計＝光格子時計



Physics Today 2020 July

冷蔵庫サイズの時計で，高度差450mを ±数cm で測定できる.

光格子時計の社会実装に向けた大きな一歩.
今後，地殻変動や火山活動の監視など，相対論的測地技術の実用化が期待される.

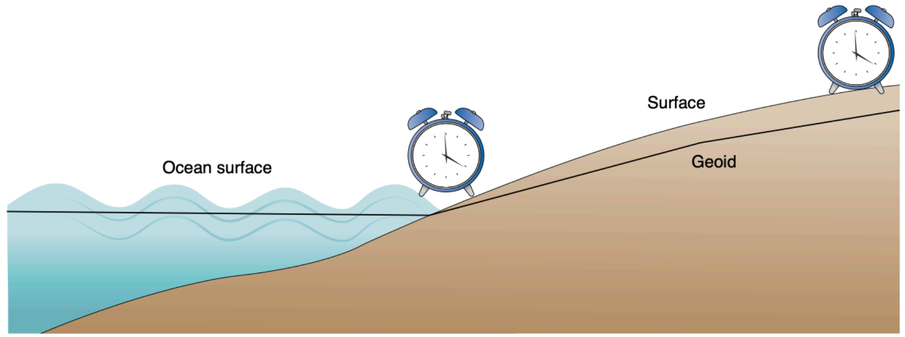


Fig. 1 | Illustration of how in the future relativistic geodesy might be done with clocks. The geoid is an equipotential surface of the Earth's gravitational potential, indicated by the black line. While the mean ocean surface is closely aligned with the geoid, the surface of land can significantly differ. Placing one clock at sea level and one at an inland location allows to determine the geoid height via a frequency comparison between the clocks.

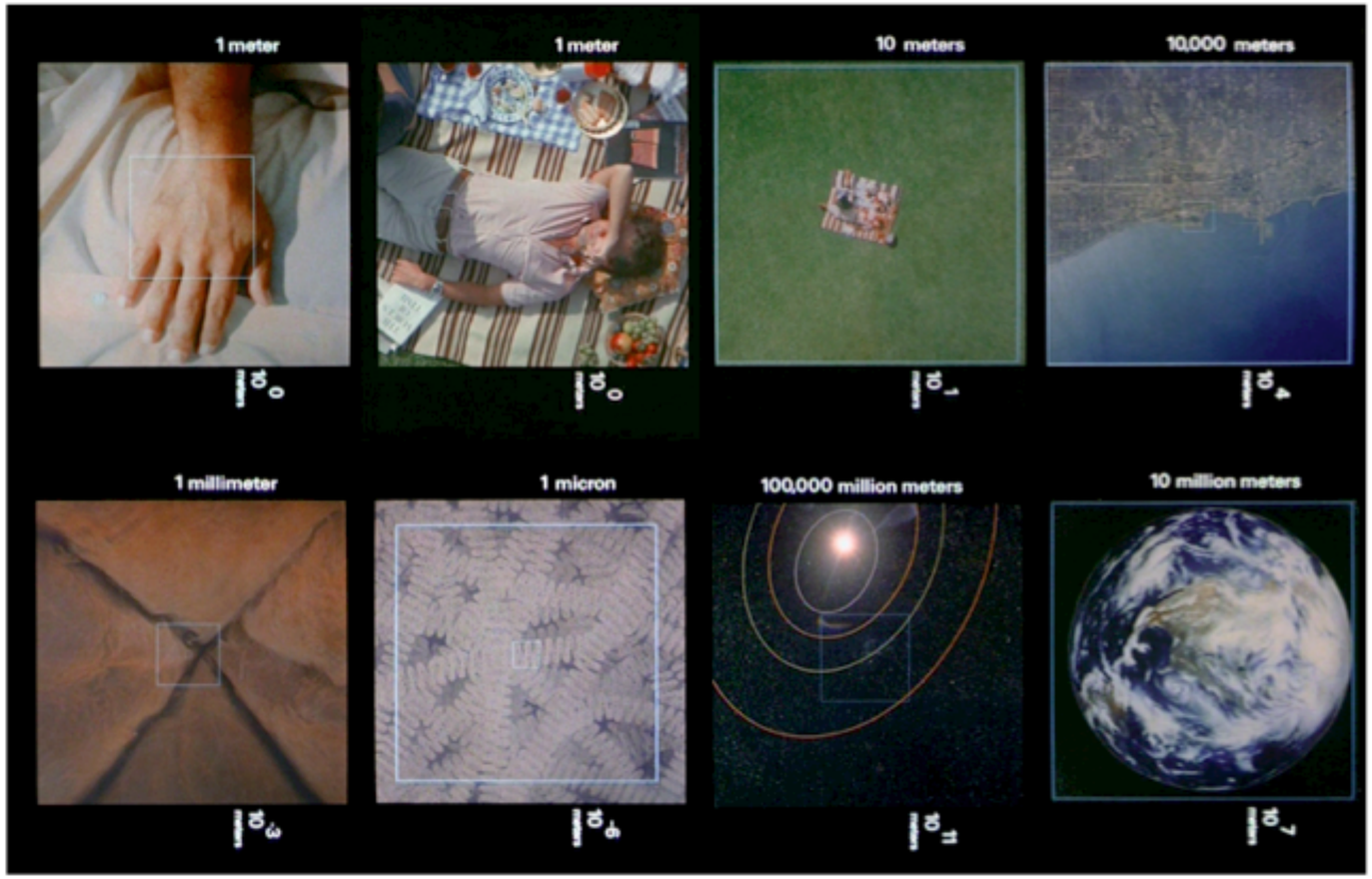
K.Bongs & Y.Singh, Nature Photonics 14 (2020) 408

10進数　大きさを表す接頭語

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}	0.000000000000000000000001	ヨクト	yocto	y		

Powers of Ten



『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　　40桁

前回のミニッツペーパーから

【1-1】この講義を選択した動機など，お願いします．

宇宙について関心があったから

単純に面白そうだったから

これまで宇宙についてあまり関心を持ったことがなかったため、逆にどのような世界なのか知りたいと思い、この講義を選択した。

以前から宇宙に興味があり、星や惑星、宇宙の成り立ちなどについて知ることが好きだったため、この授業を選んだ。特に、普段は知ることのできない宇宙の現象を、最先端の物理学の視点から学べることに魅力を感じた。授業を通して、宇宙についての知識を深めるとともに、これまで知らなかった宇宙の仕組みや現象について理解したいと考えた。

宇宙や天文について興味があり、普段はあまり詳しく知らないことを基礎から学んでみたいと思ったためこの講義を選択した。特に、月や惑星、太陽などがどのように動いているのかについて知りたい。

宇宙のことは人が作り上げた前提の上でたくさんの考察があると思っています。だから、その前提全てが覆ることもあるだろうし、1つの発見で全てが説き明かされるかもしれないと思うと宇宙って面白いなと常々思っていたので、受講して何かが得られるのではないかなと思い選択しました。

空きコマの中で一番面白そうな授業と感じ、自分の学科では絶対に学ぶことができない分野だと思い受講しました。中学生の時の理科で天体がすごく面白く感じたことや得意であったことも影響しています。宇宙の起源は調べたらすぐに出てくる時代ですが自分の力で学んで理解したいなと思ったため受講しました。

前回のミニッツペーパーから

【1-1】この講義を選択した動機など，お願いします．

もともと宇宙や星について詳しいわけではないが、普段見ることのできない宇宙のことを知るのが面白そうだと思い、この講義を選択した。ニュースなどで宇宙に関する話題を見かけることもあるので、講義を通して宇宙についての知識を増やしたいと思った。

私はずっと文系として授業を受けてきていますが、科学分野、特にまだ議論の残る分野についてずっと興味がありました。高校時代にはパリティ対称性の破れやボース＝アインシュタイン凝縮、生態学などに興味を持って調べていたことがあります。どちらかというと量子力学的な分野に興味を持っているのですが、宇宙の成り立ちや発達過程についても興味があるため、この講義を受講しようと思いました。

この講義を選択した理由は、普段あまり物理学について学ぶ機会がなく、宇宙やブラックホールなどについて知りたいと思ったからです。特に、宇宙がどのようにしてできたのか、なぜ宇宙が膨張していると分かったのか、ブラックホールがどのように発見されたのかに興味を持ちました。

星座やブラックホールなど、宇宙について前から興味があり、面白そうだと思ったので選択しました。特に、ブラックホールの中はどうなっているのか、宇宙はどこまで広がっているのかなど、普段生活していても分からないような不思議なことに興味があります。この講義を通して、宇宙について知らないことをたくさん知りたいと思っています。

前回のミニッツペーパーから

【1-1】この講義を選択した動機など，お願いします．

SF映画を観たばかりで、宇宙に対して興味が湧いたから。

元々宇宙に興味があって、最近宇宙兄弟のアニメを見て、この講義に興味を持ちました。
知識はあまりないですが、ついていけるように頑張ります。
おすすめの映画などかあれば知りたいです。

この講義を選んだきっかけは、漫画・アニメ「チ。―地球の運動について―」です。地動説を命がけで追い求めた人々の物語を見て、当たり前だと思っていた宇宙の姿も、誰かが必死に考え抜いた末にたどり着いたものなんだと知り、純粋に宇宙のことをもっと知りたいと思うようになりました。薬学部なので専門とは離れていますが、だからこそ普段の勉強とは違う視点で「世界の見方」を学べたらと思い履修しました。

量子力学や相対性理論について興味があったが、YouTubeで見る物や専門書で読むものはよく分からないものが多かったため、授業で直接教えてもらいたかったから。

幼少期、コズミックフロント（テレビ番組？）を見たことがあり、宇宙の話を聞くことは好きだが、小中学で習う宇宙の授業が苦手で、今になり知識として知りたいと思ったため。

星や月など元々宇宙が好きだったから。幼い頃の将来の夢が宇宙飛行士だったこともある。

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**?

私たちが住んでいる地球のすぐ外側には、どんな景色が広がっているのかが気になります。月や火星のむこう側、そしてもっと遠くの星のあいだには、見たこともないよう美しい世界があらかもしれないと思ったら、ワクワクします。宇宙は本当に広くて、私たちが知っていることは、ほんの少しだけに過ぎません。これからも新しい星や様々な出来事がたくさん見つかると思うと、とても楽しみです。
そして、もう1つ気になるのは宇宙人はいるのかなということです。これだけ広い宇宙なら、地球と同じように生き物が暮らしている星があってもおかしくありません。もし宇宙人がいるとしたら、どんな姿をしていて、どんな言葉や方法でおしゃべりをするのかが気になります。
宇宙の謎や自然の不思議は、分からないことばかりだからこそ、未来の発見が楽しみです。この授業でその不思議を少しずつでも知っていけたらと思います。

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**?

地球外生命体について

宇宙人はいるのか

宇宙に果てがあるのか、また果てに何があるのか。
地球以外に生命が存在する可能性はあるのか。

地球以外に生命体が存在するのか疑問に思ってます。

宇宙には地球以外にも、本当に生命が存在するのか疑問に思う。また、宇宙はどこまで広がっていて、その外側には何があるのか気になる。
地球とよく似た環境の惑星が、実際にどのくらいあるのかも知りたい。

この講義では、まだ分かっていないことに人類がどうやって迫ろうとしているのか、その考え方や方法を知りたいです。また、系外惑星の研究が進めば、いつか地球以外にも生命が見つかるのか、その可能性についても学んでいけたらと思います。

物理学

・月と地球をつなぐ宇宙エレベーターは完成させることができるのか
・タイムマシン（タイムトラベル）は実現可能なのか
この講義では宇宙についての科学的な視点を学びたいです。宇宙で起こっている現象を少しでも理解したいと考えています。また相対性理論について今のなんとなくの理解ではなくもう少し深い理解をしたいと思っています。
そして特に「どこでもドアやタイムマシンはできるのか」という講義回を楽しみにしています。

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

宇宙はどこまで続いているのか、宇宙の外には何があるのか、ブラックホールの中がどうなっているのか、宇宙がどのように始まったのか。
普段ニュースなどで聞く宇宙の話が、どのような観測や理論によって分かってきたのかを知りたいです。また、宇宙についてまだ分かっていないことや、現在どのような研究が行われているのかについても学びたいです。

宇宙はどこまで広がっているのか、また、宇宙の外には何があるのかということに疑問を持っている。また、ブラックホールや銀河、惑星などがどのように生まれ、変化していくのかについても興味がある。この講義を通して、普段は知ることのできない宇宙の仕組みや最新の研究について学び、宇宙に対する理解を深めたい。

宇宙はどのような経緯で誕生し、今に至るのか詳しく教えて欲しいです。

宇宙はとても広いですが、宇宙の外には何があるのか、宇宙はどこまで続いているのか疑問に思う。また、地球以外にも生命が存在する可能性があるのかも気になる。この講義を通して、普段はあまり考えることのない宇宙の仕組みや、星や自然についての知識を身につけたい。

宇宙に果てはありますか？

宇宙はどのようにして始まり、これからどうなっていくのか疑問に思っています。また、ブラックホールの中がどうなっているのかも気になります。この講義を通して、宇宙についての知識を身につけるだけでなく、物事を論理的に考える力も身につけたいです。

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**?

天文学

これから先星座の数は変化するのか

私たちが普通に生活していても知ることがないようなちょっとした豆知識や毎日の天体観測することが楽しくなるようなお話が聞きたいです。

キラキラしているようにみえるから星が好き！や月が可愛い！とかの理由で宇宙が好きなので詳しいことはあまり分かってなくてこの講義で宇宙について詳しくなりより好きになりたいと思っています。

私は文系なので宇宙に関しては本当に何も知らないが、この授業で宇宙について1つでも多く知識が身についたらいいなと思う。

前回のミニッツペーパーから

【1-4】（本日の講義から）「Powers of Ten」の映画で描かれた
一番大きなスケールと一番小さなスケールの差は，結局何桁あったでしょうか．

【話題】

Powers of Ten

教科書p27

コラム 6　『Powers of Ten』

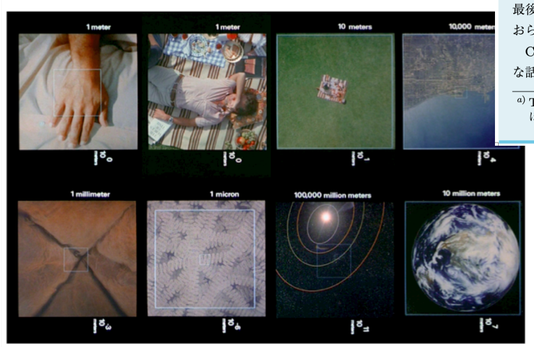
家具デザインで有名なチャールズ・イームスとその妻レイによって 1968 年につくられた教育映画『Powers of Ten』を鑑賞しよう [a]．タイトルの Powers とは「力」ではなく「べき乗」という意味であり，「10 のべき乗 (10^n)」という意味である．

映画の前半は，10 秒ごとにスケールを 10 倍にしていく映像である．最初，シカゴの公園に寝転がっている男性を真上からとらえている映像から始まり，正方形に区切られた映像は縦・横が 1 m × 1 m の範囲を示している．10 秒かけてカメラは上空へ移動して，その範囲は 10 m × 10 m へ．そして，その 10 秒後にはさらに上空から 100 m × 100 m の範囲になる．これを繰り返し，宇宙の果てまでを描く映画である．（宇宙の大きさについては，現在私たちが得ている値と違う．）

映画の後半は，公園の映像から，今度は 1/10 ごとにミクロの世界をクローズアップしていく．この最後も原子核レベルに到達するが，当時はまだ，素粒子やクォークという概念はまだ一般には知られておらず，ここでも時代を感じさせる．

CG のなかった時代の古い映像作品だが，実写からアニメーションへのスムーズな移行は，当時大きな話題になったそうだ．

[a] The Films of Charles & Ray Eames - The Powers of 10 (1968)．Youtube で視聴可．次のサイトも楽しんでほしい．http://www.powersof10.com/



ここで，Youtubeの「Powers of Ten」（9分）を
視聴してもらうのでも結構です．授業で流す映像は英語です．
https://www.youtube.com/watch?v=0fKBhvDjuy0

45

宇宙　10^{24}m

原子　10^{-16}m

10のマイナス乗を何桁とすればいいのかわからなかったです。

10^{2}m と 10^{-2}mでは何桁違う？

100 と 0.01 では何桁違う？

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わかりませんでした．

Topic　太陽が消えても…

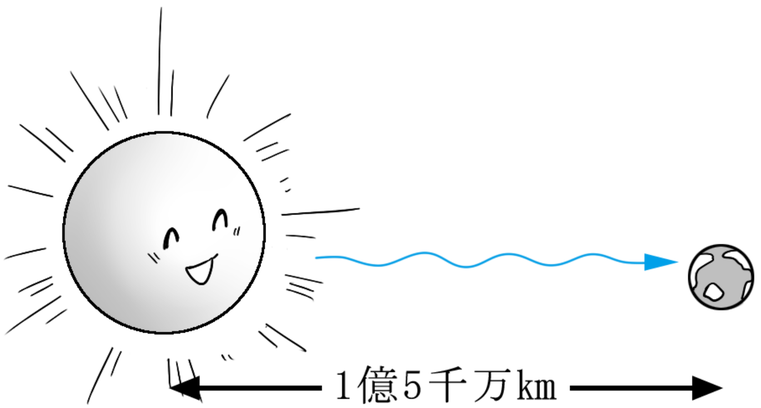
地球上では，光速は無限に速く感じられるが，宇宙空間では，光でさえも伝わるのには時間がかかる．太陽から出た光が地球に届くまでには，

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

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．

光速 30万 [km/s] x ■ [s] = 距離 [km]



伝わるまでには時間がかかる　光速(2)



642光年
ベテルギウス

252光年
ベラトリックス

1975光年
アルニラム

692光年
ミンタカ

735光年
アルニタク

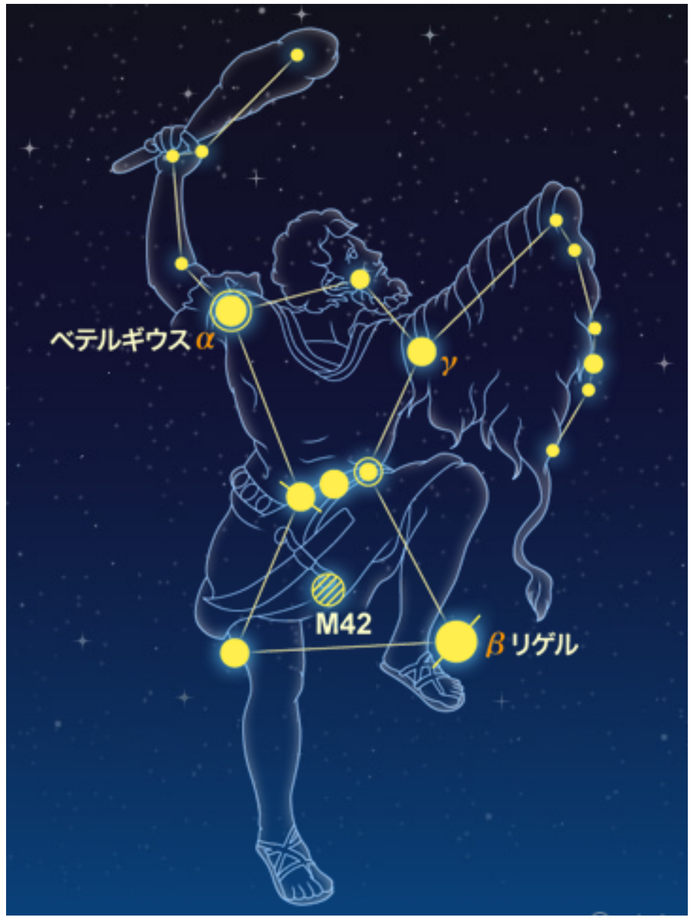
646光年
サイフ

772光年
リゲル

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.

オリオン座がなくなる



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）

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下さい。

●教材提供●
日本宇宙少年団おおいた分団
山本幸司氏　　冨成一郎氏
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

http://edu.jaxa.jp/materialDB/downloadfile/79037.pdf

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

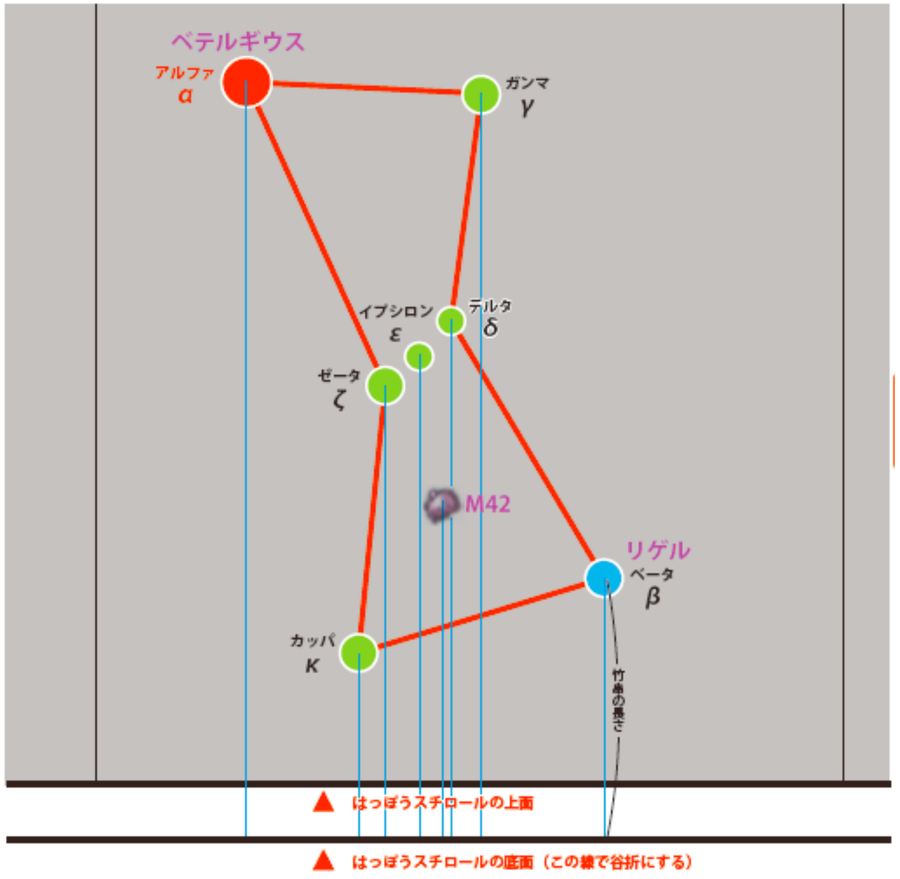
距離 1 は「天文年鑑 2012 年版」（誠文堂新光社）より引用
ただし、さそり座 ζ 星と HD161892 は、Hipparchos catalogue の年周視差データを利用

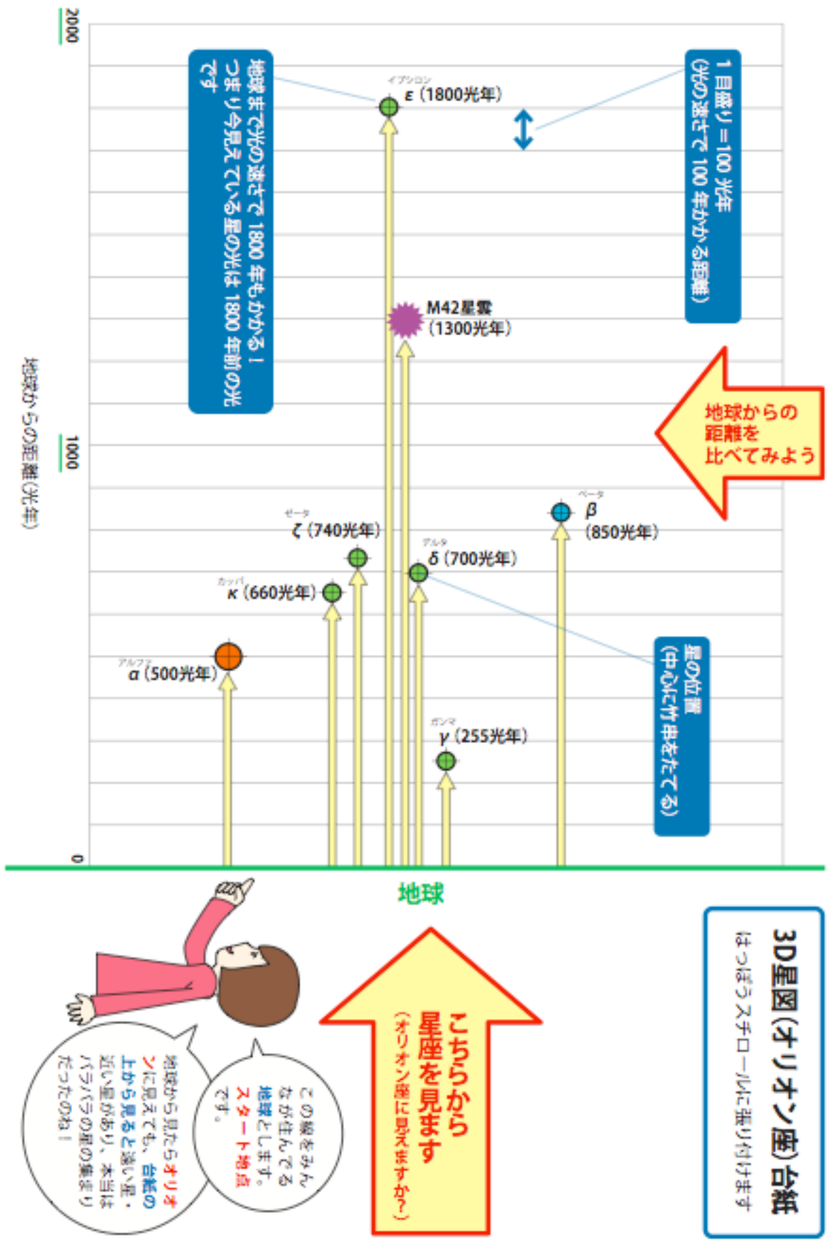
※　距離 1 の単位は　　1 光年＝ 9,460,000,000,000km（9 兆 4600 億キロメートル）
　　距離 2 は　　恒星までの距離 1 を 1 兆分の 1 のさらに 1 億分の 1 に縮小した距離

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。



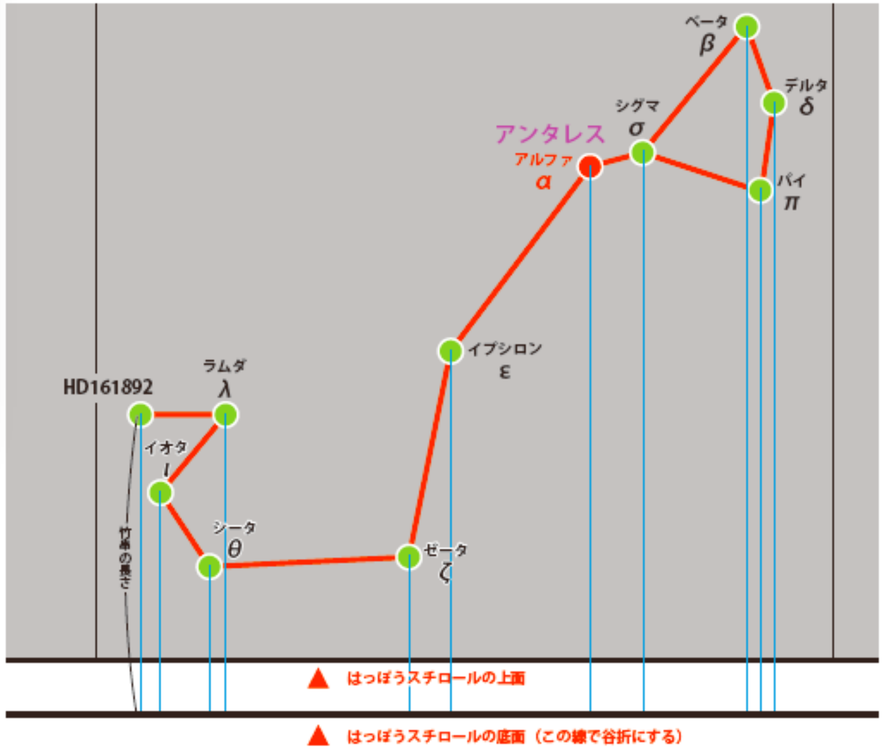


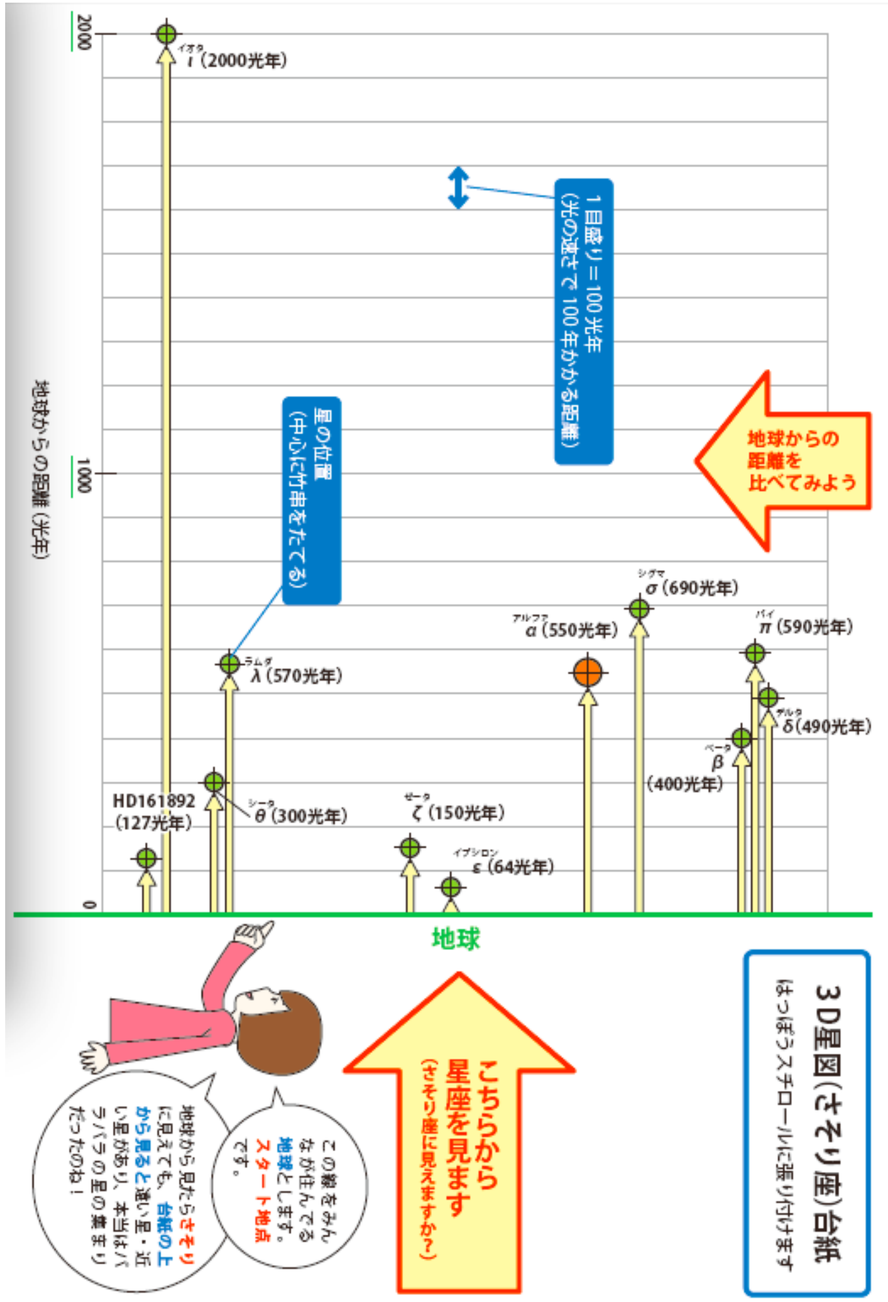


3　3D 星図（さそり座）を作ろう

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。

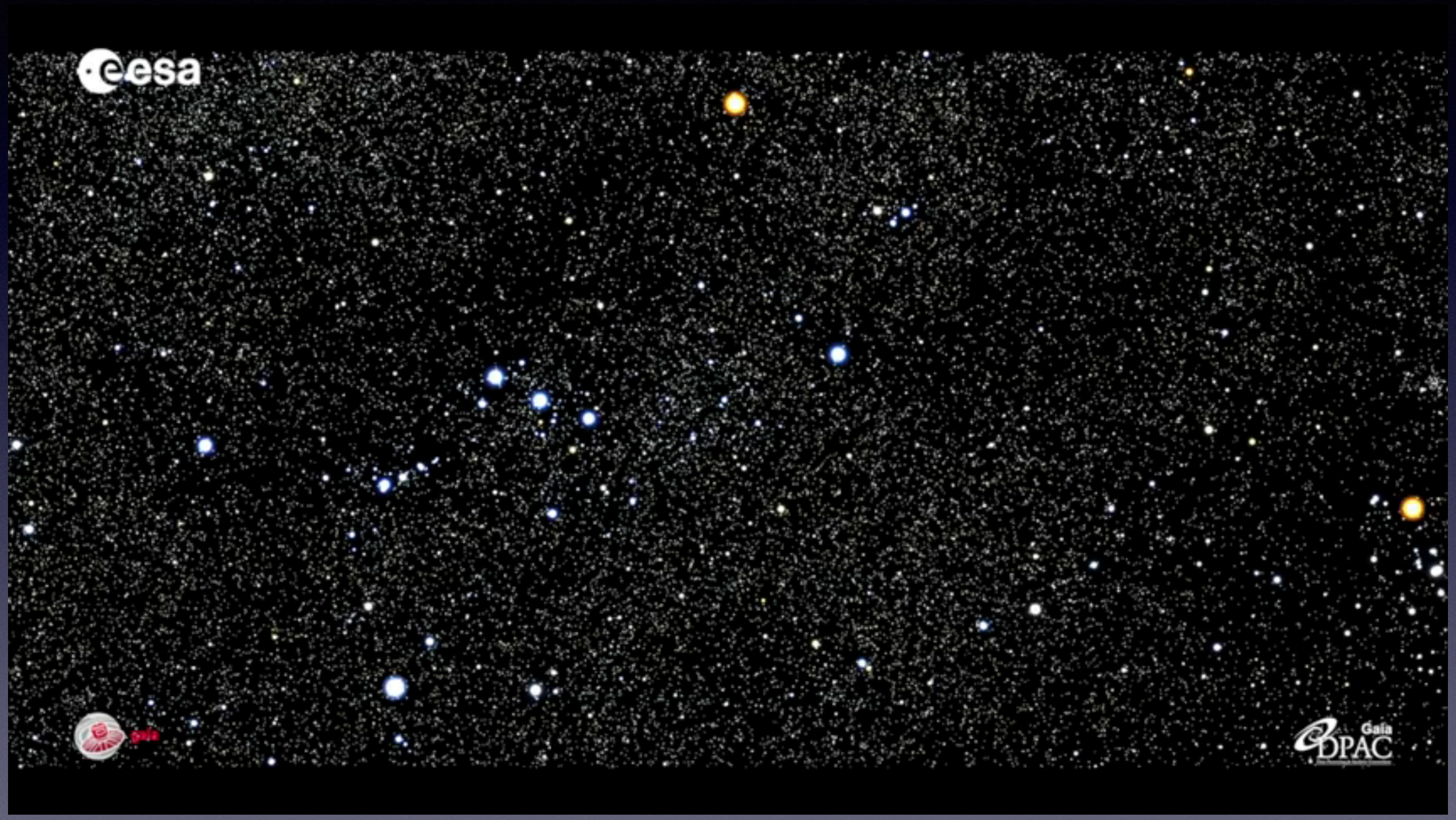






The future of the Orion constellation

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）

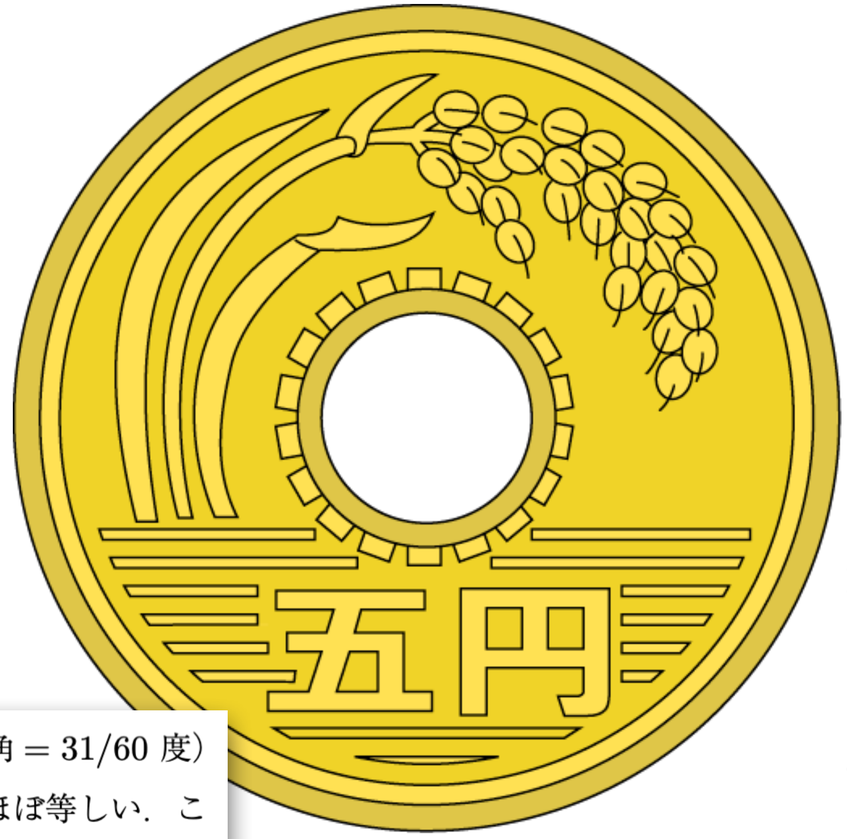


ベテルギウスは数百万年以内には超新星爆発を起こすと考えられているが，この動画では爆発は考慮していない．

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，1 m 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 $R_{月}$ は，

$$D_{月} \times \frac{31}{60} \frac{\pi}{180^\circ} = 2R_{月} \tag{1.5}$$

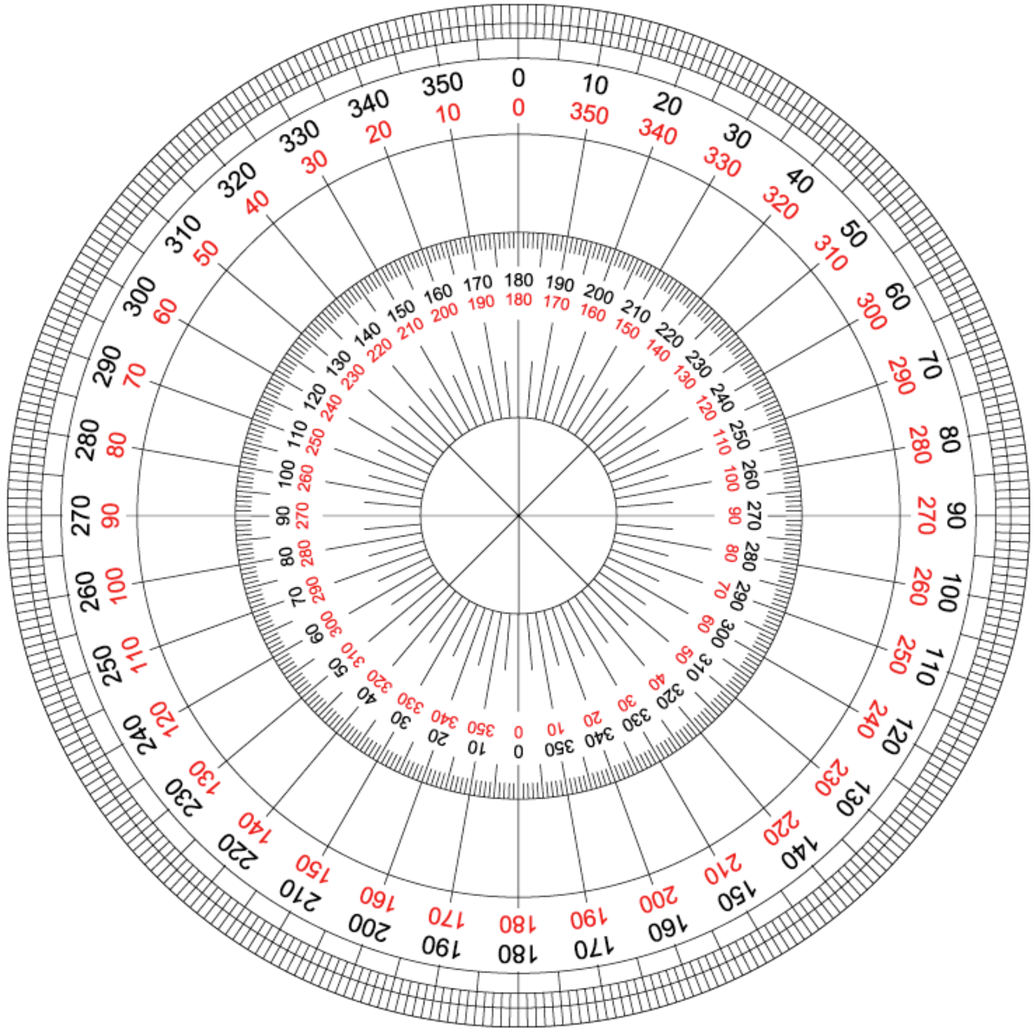
より，$R_{月} \approx 1677\,\mathrm{km}$ となる．（実際には 1730 km，地球のおよそ 1/4 である．）

【背景となる話】

角度の単位　　１度より小さい角度は　分と秒

１度＝60分　minute

１分＝60秒　second minute







半径　6378km

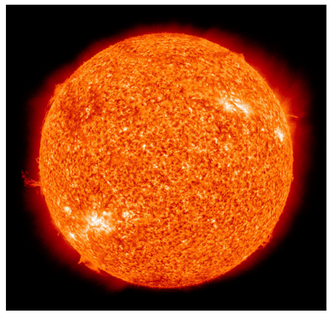


半径　1677km

距離　388400km

本当の距離はこの図の縮尺よりもずっと大きい

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，

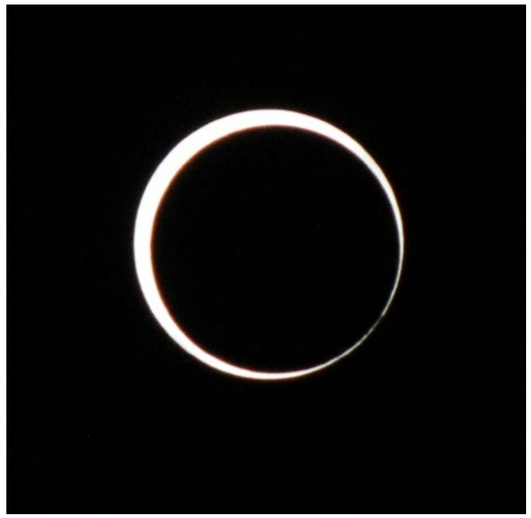
$$D_\odot \times \frac{32}{60}\frac{\pi}{180^\circ} = 2R_\odot \tag{1.6}$$

より，$R_\odot \approx 70$ 万 km となる．$\odot$ は太陽を表す記号である．

2012年5月21日　金環日食



京都府木津市　槌谷則夫氏撮影



京都府向日市　真貝撮影



2017年8月21日アメリカでの皆既日食





縣　秀彦氏撮影

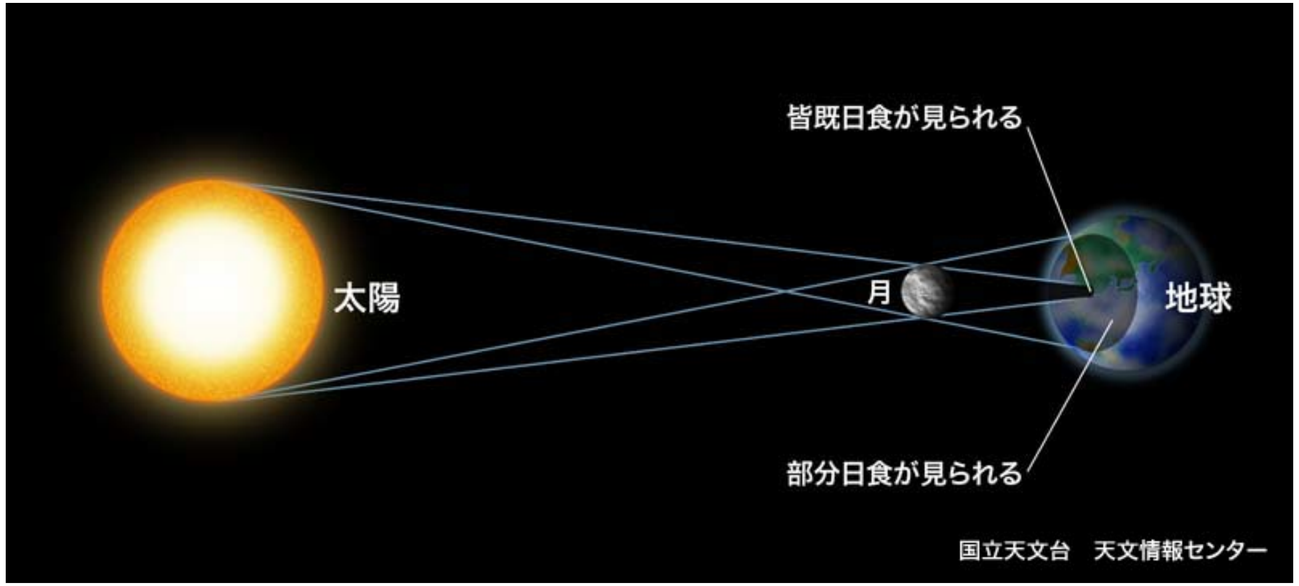
縣 秀彦
8月22日 ·

第2接触時にベーリ・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 ·

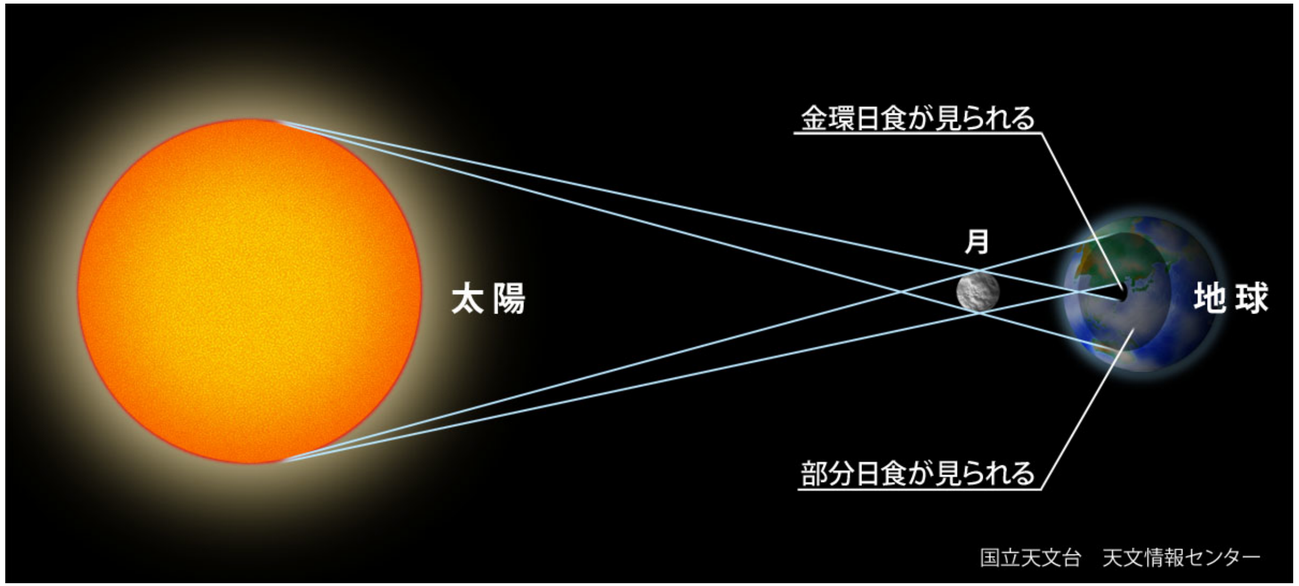
What a beautiful diamond ring !
ダイヤモンドリングも綺麗でした。

皆既日食・金環日食





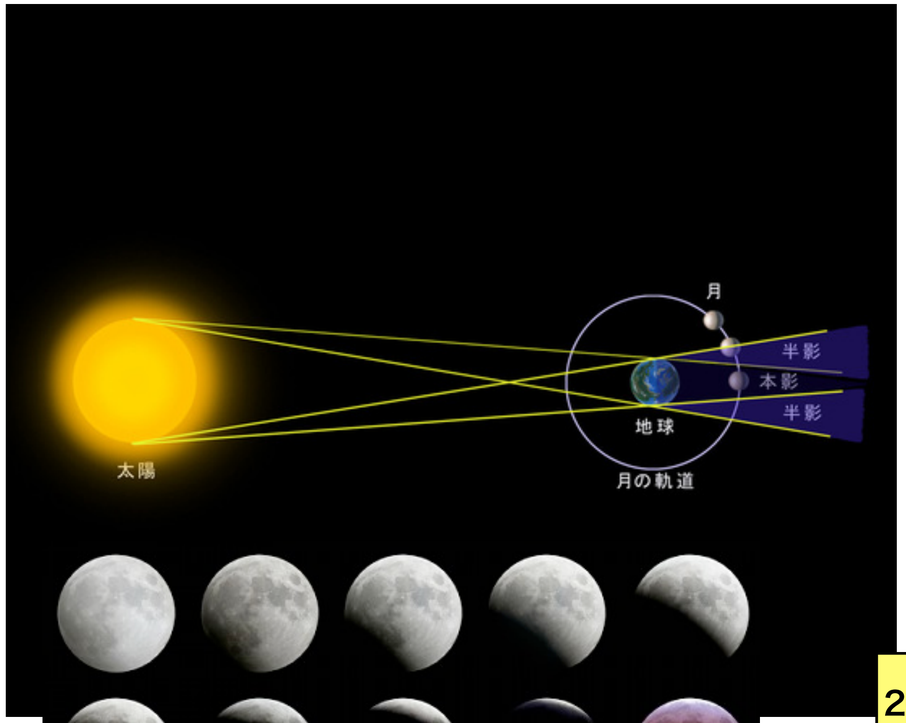
2009年7月22日　太平洋
2035年9月 2日　関東

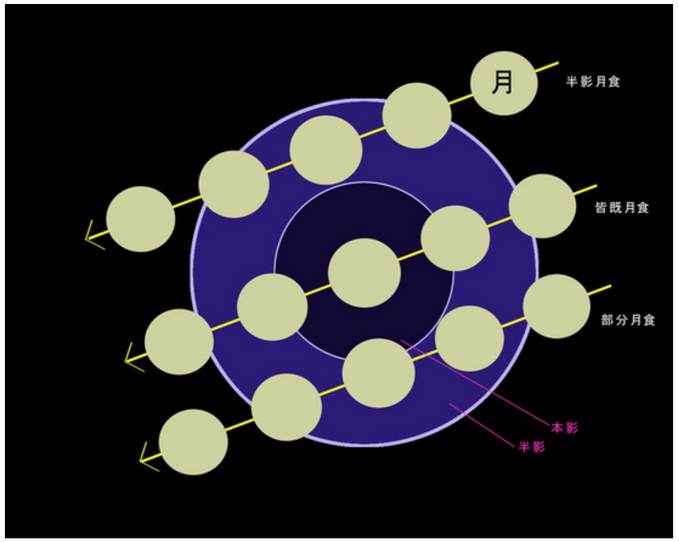




2012年5月21日　全国
2030年6月 1日　北海道

皆既月食







2025年3月14日	部分
2025年9月8日	皆既
2026年3月3日	皆既
2028年7月7日	部分
2029年1月1日	皆既
2029年6月26日	皆既

次



毎月，日食・月食が起きない理由

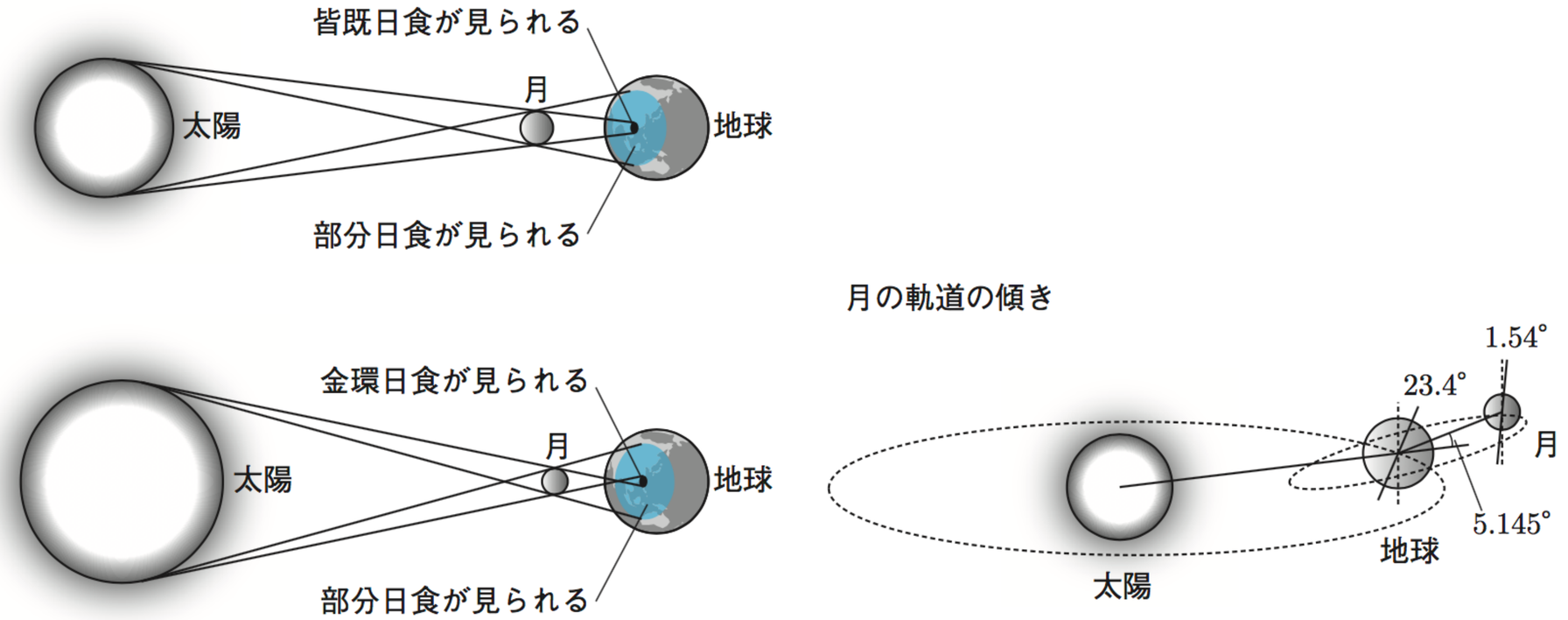


図 1.18 〔左〕皆既日食と金環日食の違いは地球と月・太陽の位置関係の違いで生じる．〔右〕日食や月食が毎月生じないのは，月の軌道面が地球の公転面に対して 5 度傾いているためである．

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

日食 リスト

月食 (lunar eclipse)
日食 (solar eclipse)

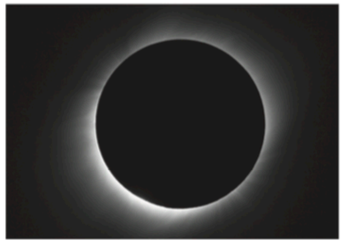


図 1.16　皆既日食で見られる太陽のコロナ（2009 年 7 月 22 日，大西浩次氏撮影）．



図 1.17　金環日食（2012 年 5 月 21 日，著者撮影）．

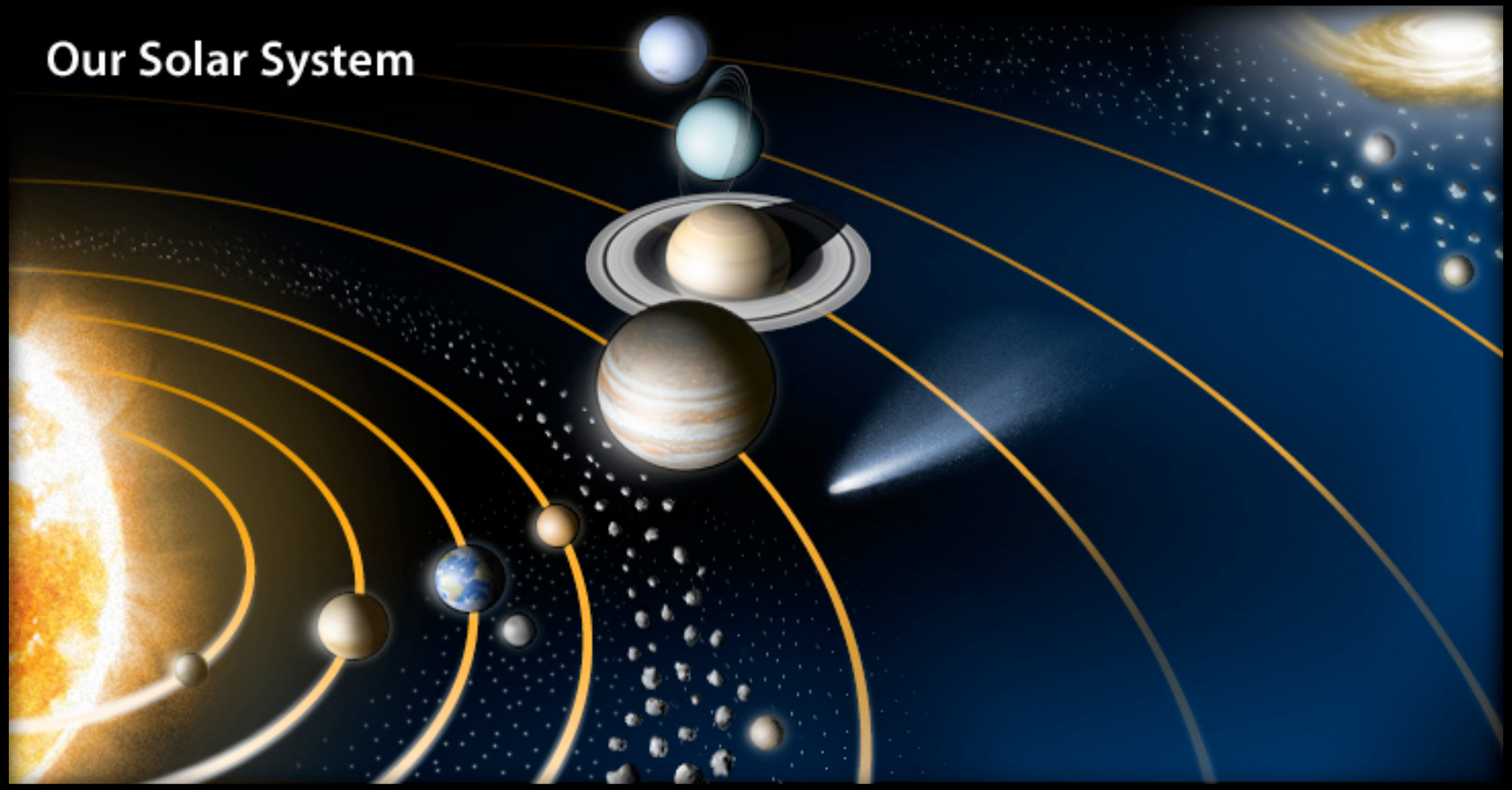
表 1.3　日本で見られる皆既・金環日食（2009 年 ～ 2035 年）

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）

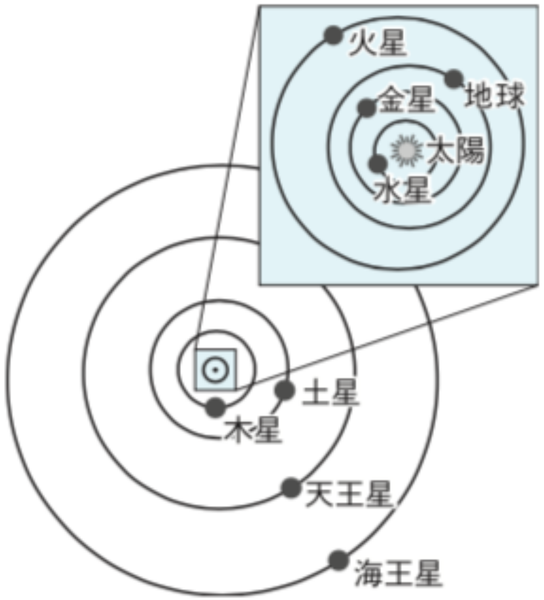
年月日	見える場所
2017 年 8 月 21 日	北太平洋中部に始まり北米大陸を横断，中部大西洋で終わる．
2019 年 7 月 3 日	南太平洋，南米のチリ，アルゼンチンで観測できる．
2020 年 12 月 14 日	太平洋西部に始まり南米大陸南部を通過，アフリカ南西岸沖まで．
2021 年 12 月 4 日	南極大陸の南米側で観測できる．
2023 年 4 月 20 日	南インド洋からオーストラリア北西岸，インドネシアを経て中部太平洋．九州・四国・東海・関東の南岸でもわずかに欠ける．
2024 年 4 月 8 日	中部太平洋に発し北米大陸東部を北上，ヨーロッパ沖に至る．
2026 年 8 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



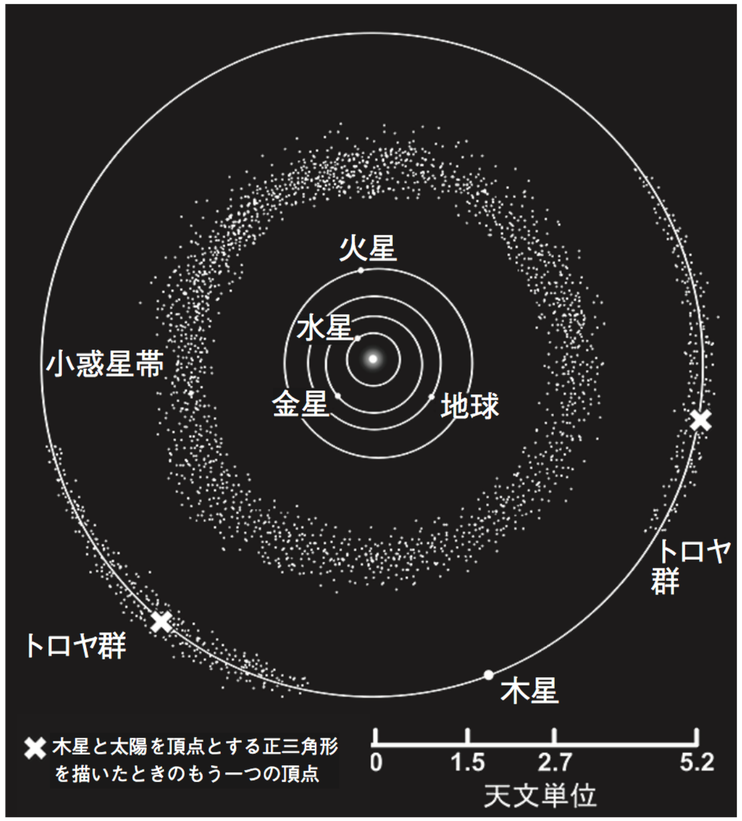
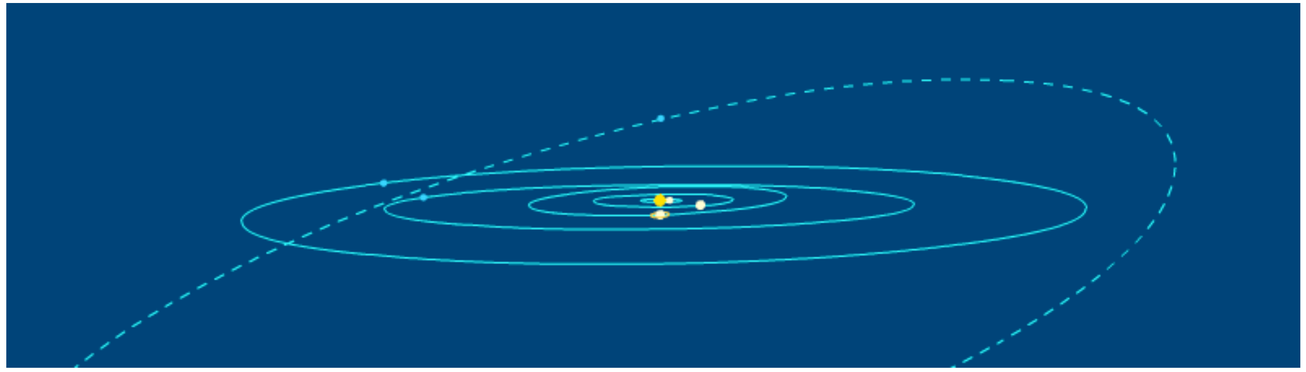
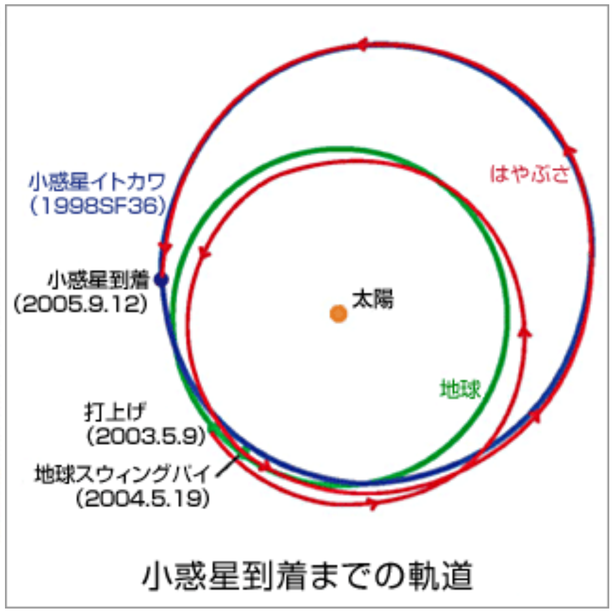


図 1.20　小惑星帯は火星と木星軌道の間にある．また，木星軌道にはトロヤ群と呼ばれる小惑星帯もある．トロヤ群は太陽と木星を 2 つの頂点として正三角形を描いたときの 3 つ目の頂点付近にある．

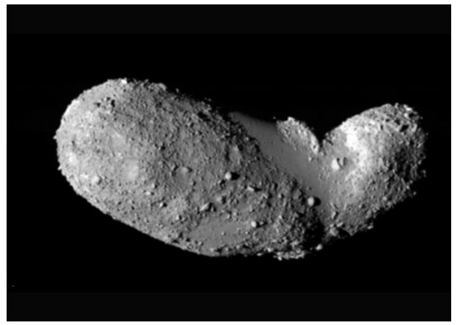


小惑星探査機 はやぶさ （2003年打ち上げ-2010年帰還）





小惑星到着までの軌道





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）

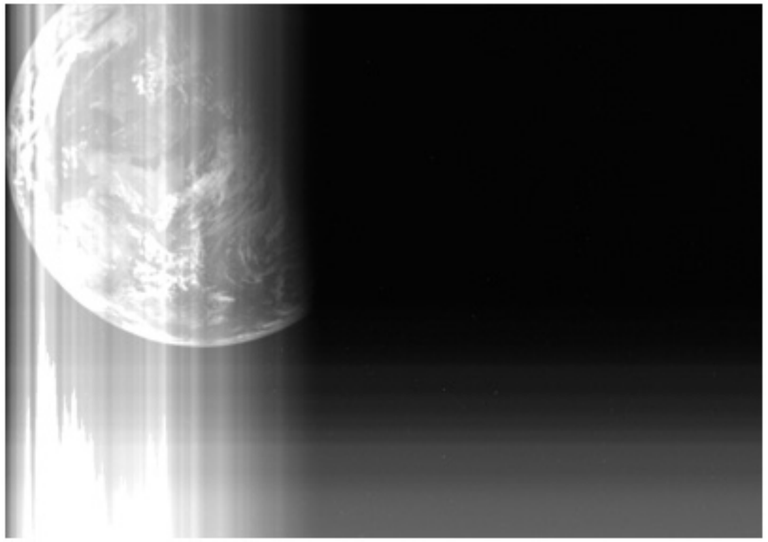


糸川英夫 (1912-1999)
「日本の宇宙開発・ロケット開発の父」



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

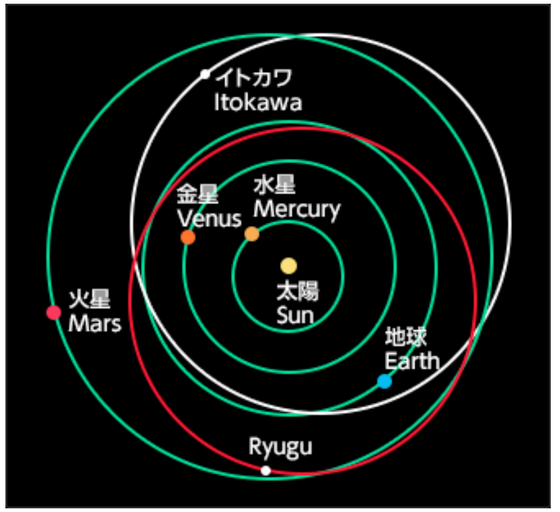
小惑星探査機 はやぶさ2 （2014年12月打ち上げ）

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．

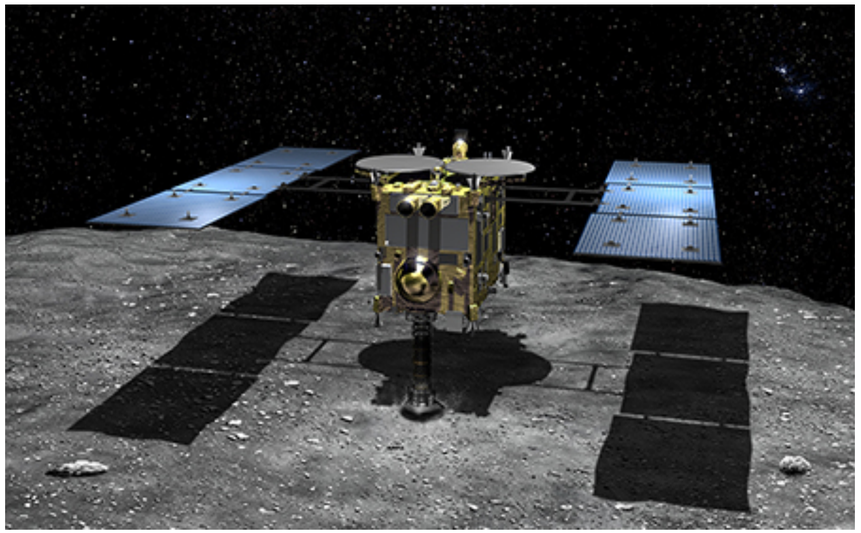
探査の候補となっているのは「1999 JU3」という小惑星で，地球に接近する軌道を持つ地球接近小惑星

（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．

リュウグウへ



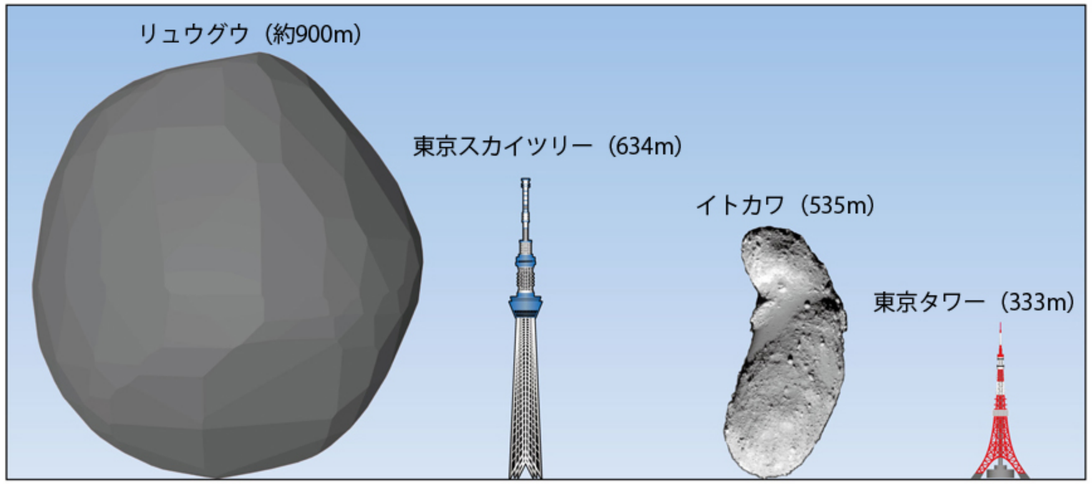
リュウグウと命名



12月6日帰還
ほぼ予定どおり

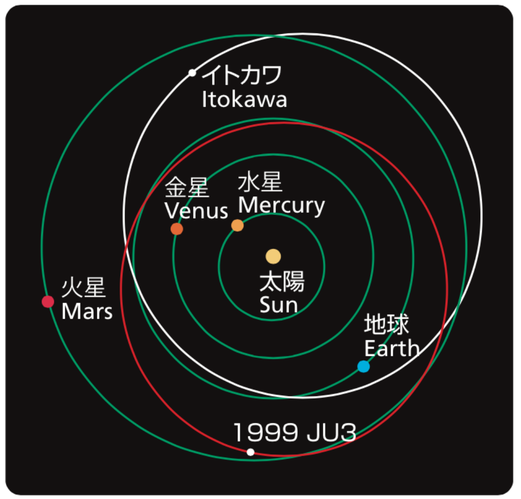
2014/11/30

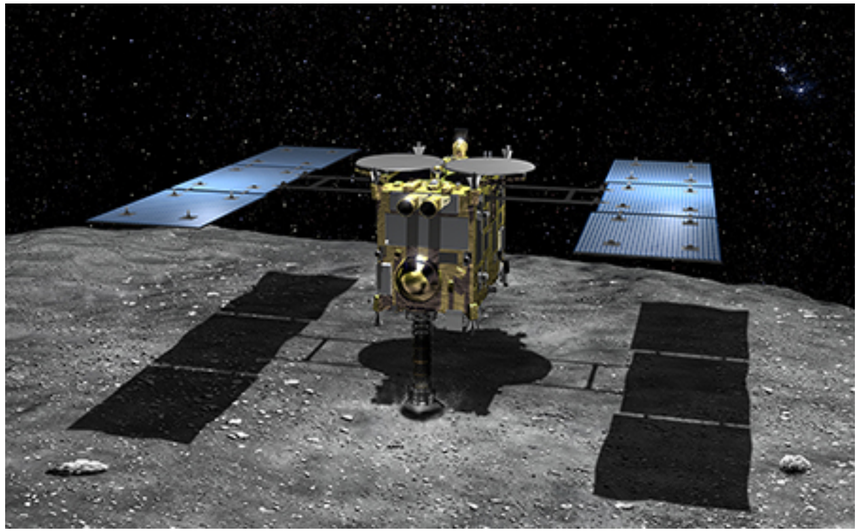
小惑星探査機 はやぶさ２ （2014年12月打ち上げ）



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

リュウグウへ



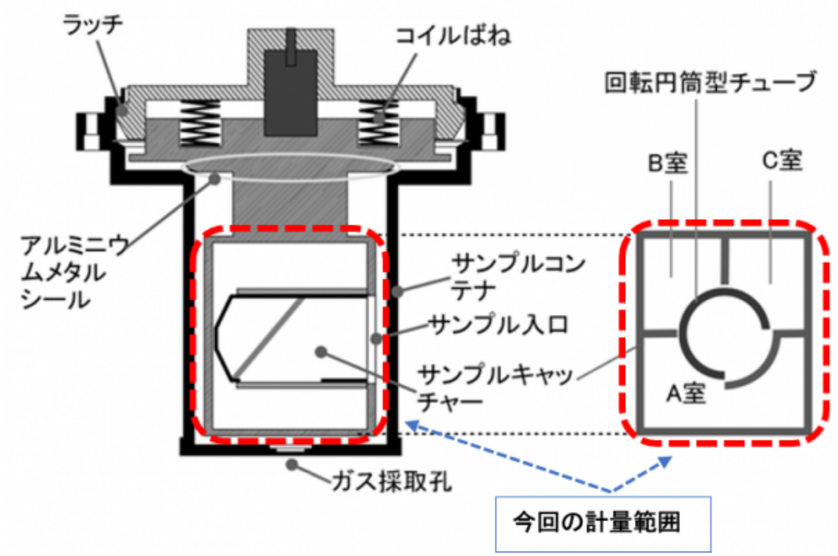




http://www.hayabusa2.jaxa.jp/galleries/

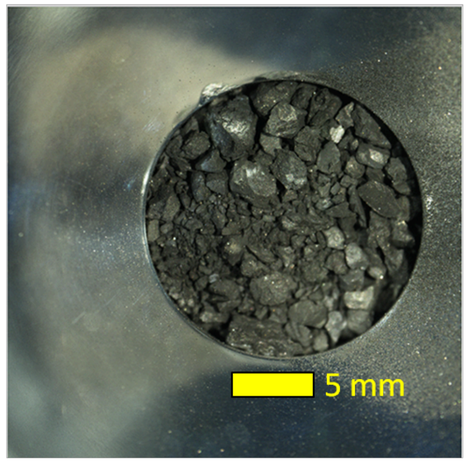
start on click 1:50’

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

JAXA

宇宙科学研究所
INSTITUTE OF SPACE AND ASTRONAUTICAL SCIENCE

ミッション　ギャラリー　読むISAS　トピックス　広報・イベント　宇宙科学研究所とは　研究者向け　ENGLISH

ホーム ▸ トピックス ▸ 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

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。

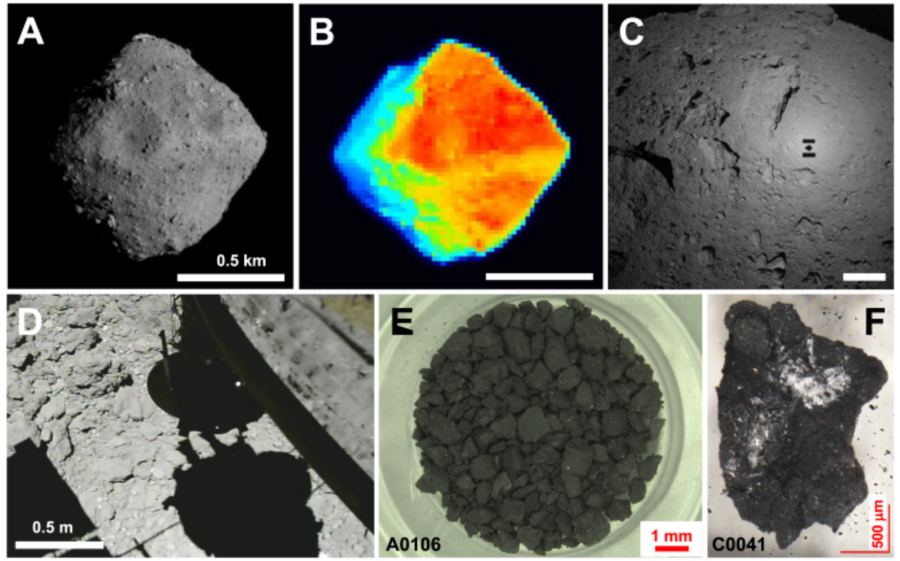
これは、2020年12月18日にJAXA相模原キャンパス内地球外試料キュレーションセンターにて、小惑星探査機「はやぶさ２」再突入カプセルより取り出したサンプルコンテナ内の「サンプルキャッチャー」全体としてサンプル込みで秤量することにより、打上げ前の「サンプルキャッチャー」重量との差分から、採取したサンプルのおおよその総重量（A、B、C室内サンプルの合計）を算出しました。これには12月14日にサンプルコンテナの底面に確認した「サンプルキャッチャー」外のサンプル量は含まれません。

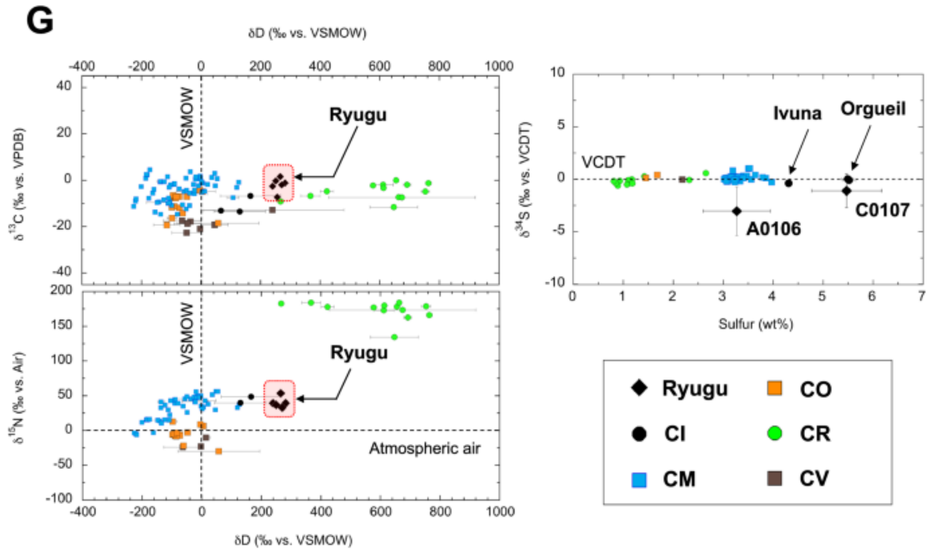
「はやぶさ２」設計時の目標サンプル収量として、初期分析で必要な科学分析を実施できるだけの量としていた0.1グラムを大きく超えるサンプル量が採取できていたことになります。

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

小惑星リュウグウの砂にアミノ酸分子

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ているが，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

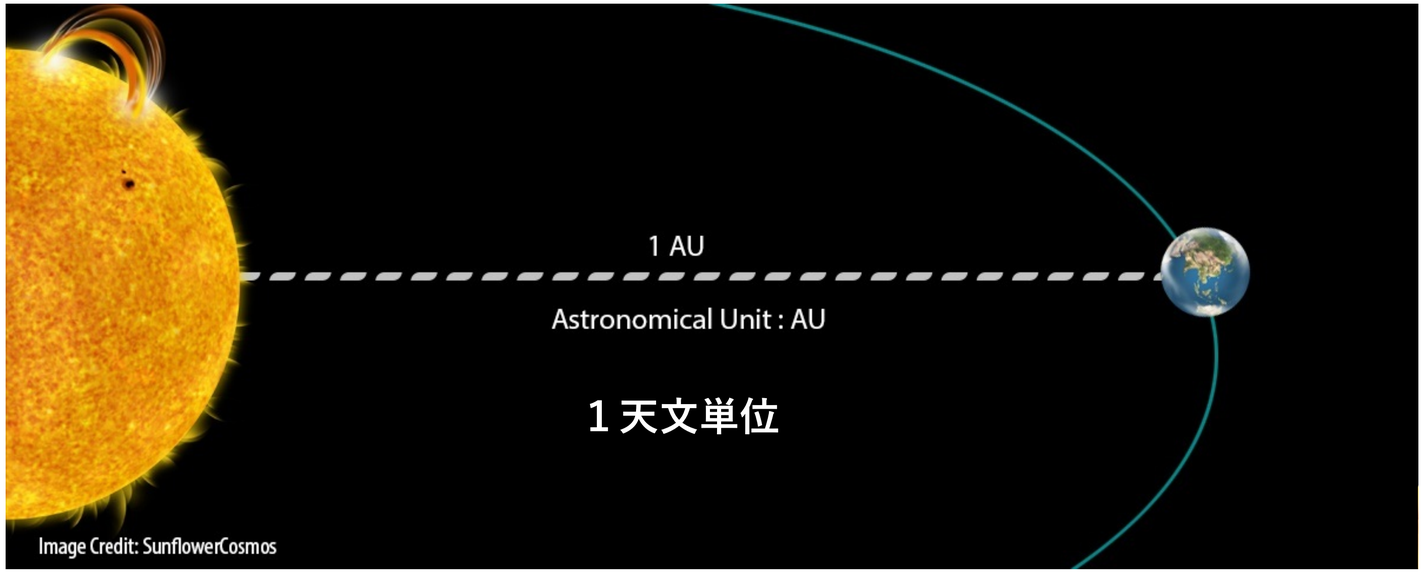
Yoshinori Takano, Hiroshi Naraoka, Jason P. Dworkin, Toshiki Koga, Kazunori Sasaki, Hajime Sato, Yasuhiro Oba, Nanako O. Ogawa, Toshihiro Yoshimura, Kenji Hamase, Naohiko Ohkouchi, Eric T. Parker, José C. Aponte, Daniel P. Glavin, Yoshihiro Furukawa, Junken Aoki, Kuniyuki Kano, Shin-ichiro M. Nomura, 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

https://doi.org/10.1038/s41467-024-49237-6

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



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

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
GILBERT M. GROSVENOR, PRESIDENT
NATIONAL GEOGRAPHIC MAGAZINE
WILBUR E. GARRETT, EDITOR
RICHARD J. DARLEY, CHIEF CARTOGRAPHER
JOHN F. SHUPE, ASSOCIATE CHIEF CARTOGRAPHER
WASHINGTON JULY 1981
Design: John F. Dorr
Art: Lloyd K. Townsend
Research: Charles F. Case, Jenny B. Rogers

PLUTO

PLUTO
The outermost, smallest, and coldest planet appears to be a snowball of methane and water mixed with rocks. For a 20-year period during each revolution, Pluto passes inside Neptune's orbit. DISTANCE FROM SUN: 3,900,000,000 km. REVOLUTION AROUND SUN: 248 years. ROTATION: 6.4 days. DIAMETER: 2,500 (?) km. DENSITY: approximately that of water. MASS: 0.002 × that of Earth. SURFACE TEMPERATURE: minus 230°C.

NEPTUNE
Seen by telescope as a fuzzy disk, this little-known twin of Uranus probably has methane clouds at the top of its atmosphere and may possess a ring system not yet observed. DISTANCE FROM SUN: 4,497,000,000 km. REVOLUTION AROUND SUN: 165 years. ROTATION: 18(?) hours. DIAMETER: 49,500 km. DENSITY: 1.7 × that of water. MASS: 17 × that of Earth. TEMPERATURE: minus 200°C at cloud tops.

NEPTUNE

COMETS
Approaching the sun, these balls of ice and dust begin to vaporize, forming first a fuzzy, spherical head and then long streamers of gas and dust as a tail. The dual pressures of sunlight and solar wind push the tail so that it always points away from the sun.

SATURN
Countless icy particles orbiting like tiny moons make up the seven rings of the second largest planet. The two outer rings extend too far to show at the scale at bottom. Saturn moon Titan is the only one in the system known to have a significant atmosphere, mostly nitrogen. DISTANCE FROM SUN: 1,427,000,000 km. REVOLUTION AROUND SUN: 29.46 years. ROTATION: 10.7 hours. DIAMETER: 120,000 km. DENSITY: 0.7 × that of water. MASS: 95 × that of Earth. TEMPERATURE: minus 185°C at cloud tops.

SATURN

JUPITER
A rapidly swirling ball of gas compressed to liquid in the interior, the largest planet is one-tenth the size of the sun. A high-pressure storm, first observed 300 years ago, makes its Great Red Spot. Volcanoes on its satellite Io may feed fine particles into the faint ring that encircles the planet. DISTANCE FROM SUN: 778,300,000 km. REVOLUTION AROUND SUN: 11.86 years. ROTATION: 9.9 hours. DIAMETER: 142,800 km. DENSITY: 1.3 × that of water. MASS: 318 × that of Earth. TEMPERATURE: minus 130°C at cloud tops.

JUPITER

URANUS
Rotating on an axis tilted 98°, Uranus shines with a blue-green color because its atmosphere contains much methane. The nine narrow rings may be held in place by small moons orbiting at the edges of each ring. DISTANCE FROM SUN: 2,870,000,000 km. REVOLUTION AROUND SUN: 84 years. ROTATION: 17(?) to 24(?) hours. DIAMETER: 51,800 km. DENSITY: 1.2 × that of water. MASS: 15 × that of Earth. TEMPERATURE: minus 215°C at cloud tops.

URANUS

Pluto's orbit, 1979-99, projected into Neptune's orbit plane

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 CO_2, 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

MARS
The dry red planet displays polar caps of water and carbon dioxide, a volcano 24 km high, a canyon system 5,000 km long, windblown dunes, and dry channels, possibly carved by running water in the past. DISTANCE FROM SUN: 227,900,000 km. REVOLUTION AROUND SUN: 687 days. ROTATION: 24.5 hours. DIAMETER: 6,787 km. DENSITY: 3.9 × that of water. MASS: 0.1 × that of Earth. SURFACE TEMPERATURE: variable, averages minus 55°C.

VENUS
Earth's near twin in size possesses an atmosphere about 100 times denser than Earth's, which keeps its surface sizzling. Radar has penetrated the thick sulfuric acid clouds, revealing on the surface both impact craters and an immense volcano. DISTANCE FROM SUN: 108,200,000 km. REVOLUTION AROUND SUN: 225 days. ROTATION: 243 days. DIAMETER: 12,100 km. DENSITY: 5.3 × that of water. MASS: 0.8 × that of Earth. SURFACE TEMPERATURE: 480°C.

MARS
VENUS
MERCURY
SUN
EARTH
ASTEROID BELT

EARTH
The only planet known to support life, this water-drenched body is tectonically active, its surface broken into slowly drifting plates and shaken by earthquakes and volcanoes. DISTANCE FROM SUN: 149,600,000 km. REVOLUTION AROUND SUN: 365.3 days. ROTATION: 23.9 hours. DIAMETER: 12,756 km. DENSITY: 5.5 × that of water. MASS: 6 × 10^{21} metric tons. SURFACE TEMPERATURE: variable, averages 15°C.

MERCURY
Heavily cratered and airless, this dead planet—much like Earth's moon—has changed little since volcanism ceased perhaps three billion years ago. DISTANCE FROM SUN: 57,900,000 km. REVOLUTION AROUND SUN: 88 days. ROTATION: 59 days. DIAMETER: 4,878 km. DENSITY: 5.4 × that of water. MASS: 0.055 × that of Earth. SURFACE TEMPERATURE: 430°C on day side, minus 150°C on night side.

INNER PLANETS

SOLAR PROMINENCE

SUNSPOTS

MERCURY VENUS EARTH MARS

Earth's Moon

Phobos Deimos

SUN
The gravitational attraction of this star, our sun, controls the orbits of the planets. A rotating nuclear furnace made up mostly of hydrogen and helium gases, it constantly emits energy. Periodically, magnetic fields develop on its surface in areas called sunspots, darker because they are cooler. Associated with these disturbances, which last for weeks, are arching streams of gas called prominences. Such activity affects Earth's magnetic field, atmosphere, and possibly weather. Maximum sunspot activity occurs during 11-year cycles; one peaked in 1980. PERIOD OF ROTATION: 25 days at equator. MASS: 333,000 times that of Earth. DIAMETER: 1,400,000 km. TEMPERATURE: 15,000,000°C in core; 5500°C at surface.

1979 J 3
Adrastea
Amalthea
1979 J 2
Io
Europa
Ganymede
Callisto
Leda
Himalia
Lysithea
Elara
Ananke
Carme
Pasiphae
Sinope

JUPITER

SATURN

1980 S 28
1980 S 27
1980 S 26
1980 S 1
1980 S 3
Mimas
Enceladus
Tethys
1980 S 13 (Probable moon)
Dione
1980 S 6
Rhea
Titan
Hyperion
Iapetus
Phoebe

URANUS

Miranda
Ariel
Umbriel
Titania
Oberon

NEPTUNE

Triton
Nereid

PLUTO

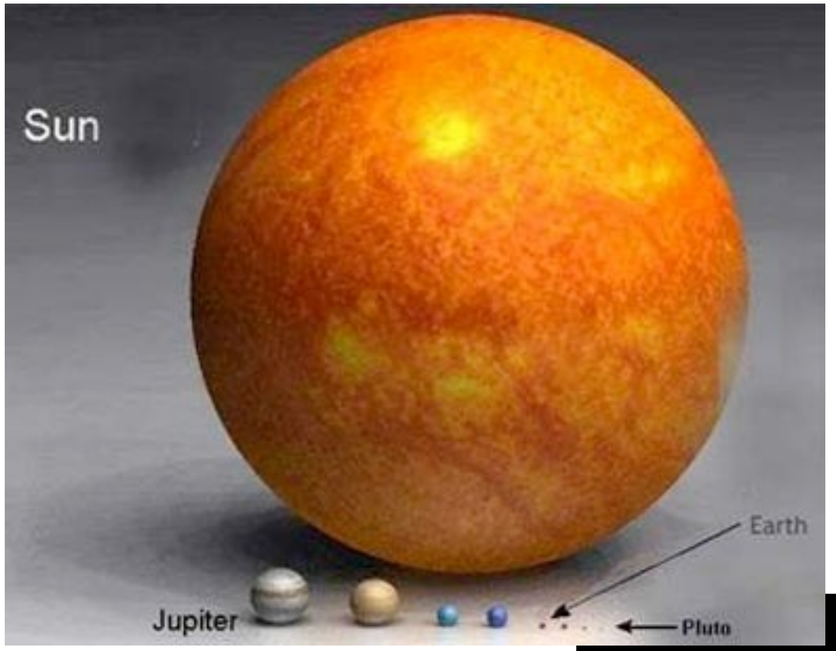
Charon

The sun and planets with their satellites (as of March 1981) are shown in comparable sizes.

For complete map list write to the National Geographic Society, Washington, D. C. 20036.

Copyright (c) 1999 by National Geographic Society, All Rights Reserved

図 4: 太陽の質量は，太陽系全体の 99.85%を占めている．



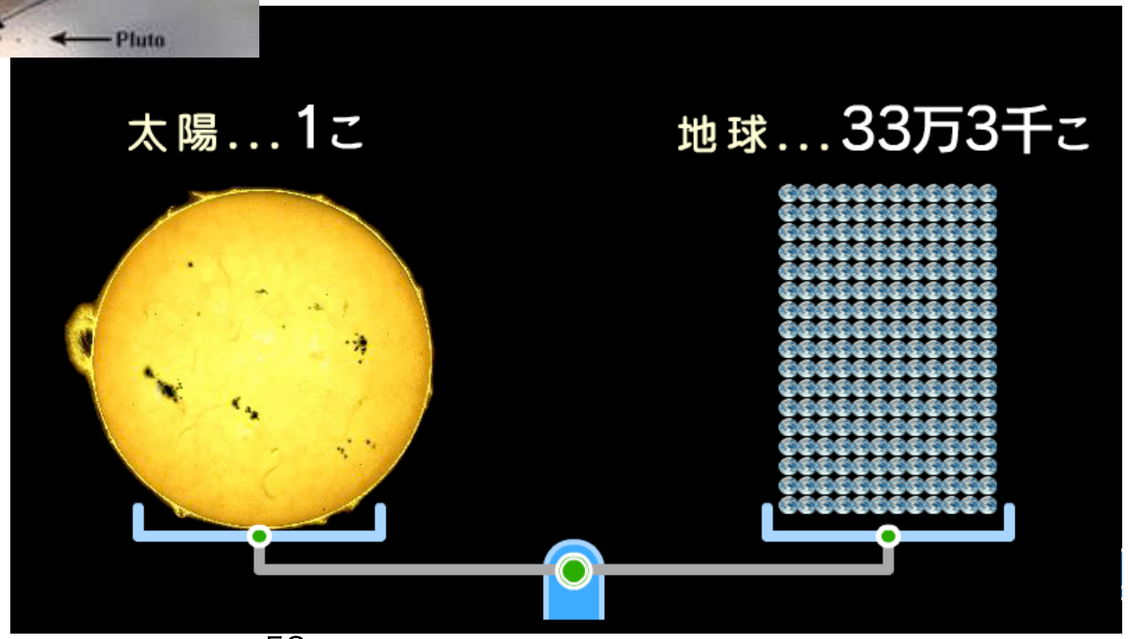
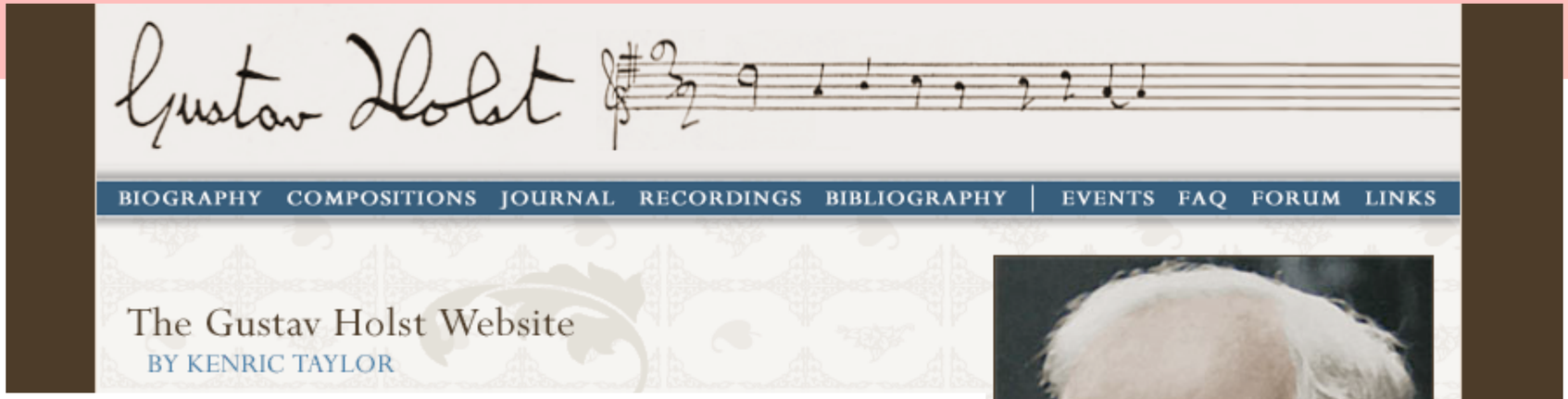


表 1.6 太陽系の惑星と準惑星．a は軌道長半径．離心率はどれだけ円軌道からずれているかを示す（§2.2.2 参照）．ハウメアの楕円体の大きさは 1960×1518×996 km.

	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}	–
惑星	水星	Marcury	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
準惑星	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	??	4.0×10^{21}?	
	エリス	Eris	68.05	305.45	0.163	??	1.66×10^{22}?	



大管弦楽のための**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、快楽をもたらす者**
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



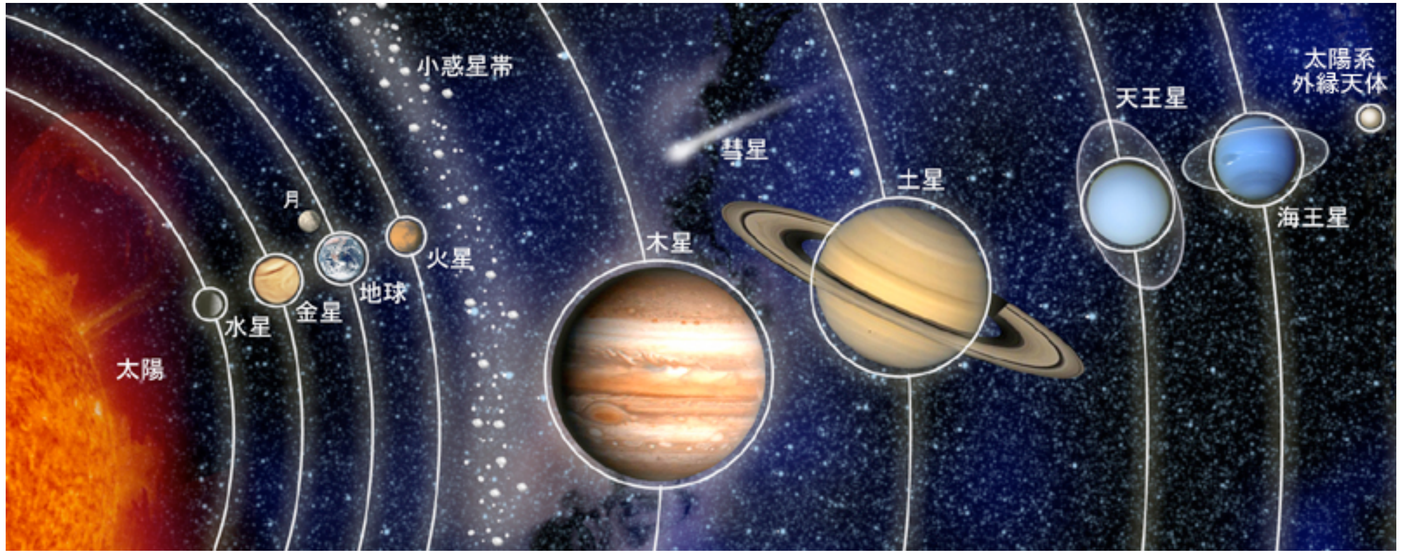
Gustav Holst
1874–1934



Leonard Slatkin: Philharmonia Orchestra

【話題】

2006年, 冥王星は, なぜ惑星から外されたか？



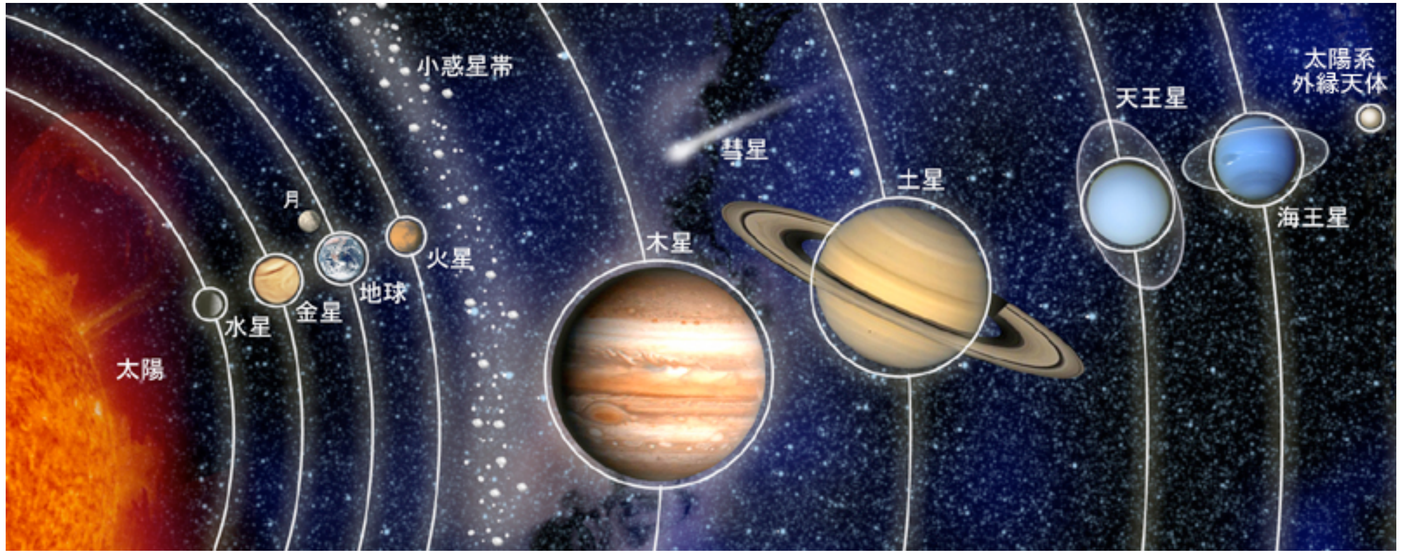
水, 金, 地, 火, 木, 土, 天, 海, 冥



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．

【話題】

2006年, 冥王星は, なぜ惑星から外されたか？



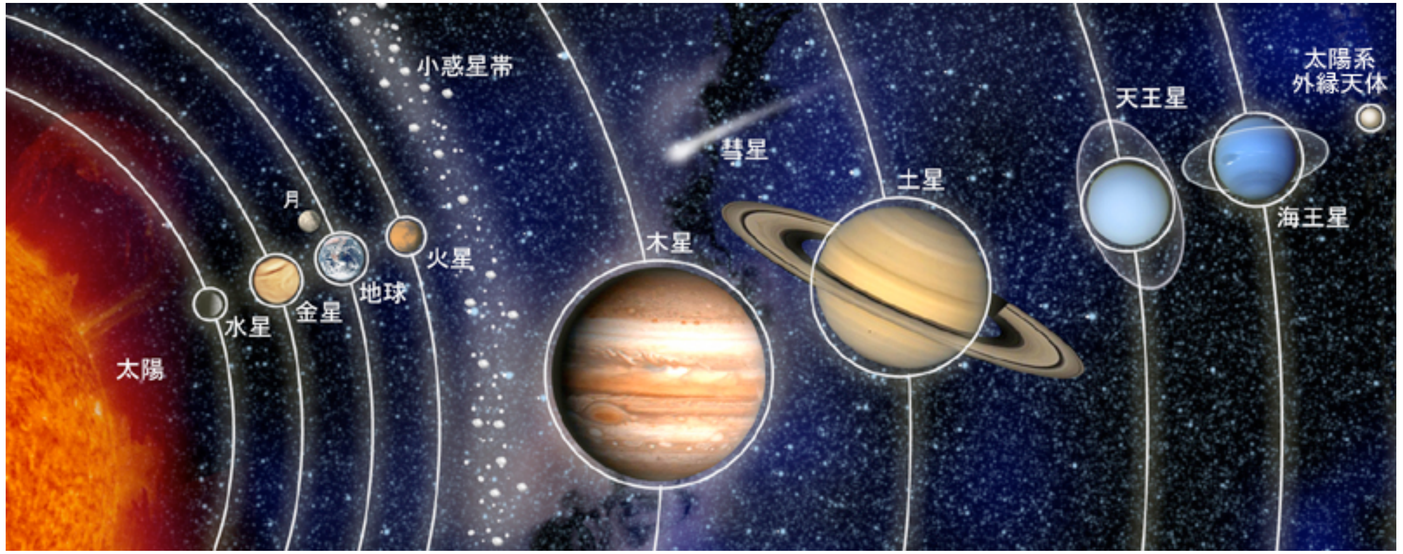
水, 金, 地, 火, 木, 土, 天, 海, ~~冥~~

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.

【話題】

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 1960×1518×996 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	Marcury	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	??	4.0×10^{21}?	
エリス	Eris	68.05	305.45	0.163	??	1.66×10^{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．

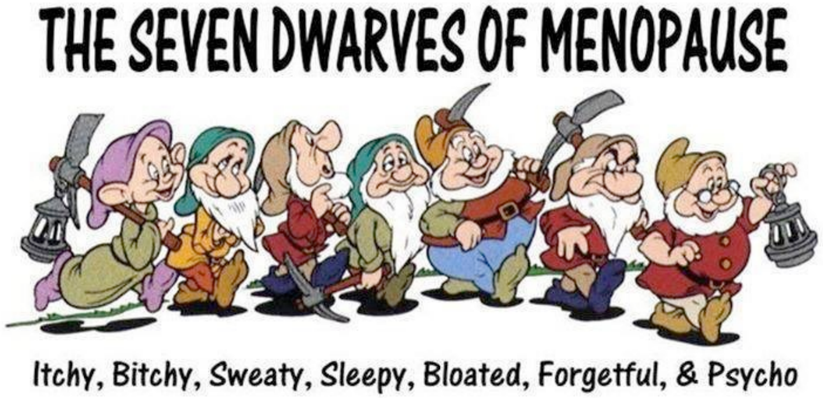
冥王星はアメリカ人にとって親しみのある惑星だったのである．しかし，学問的な議論には心理的な反対はかなわなかった．冥王星が準惑星 (dwarf) に降格することが決まると，ディズニー社は「プルートは白雪姫の『七人の小人 (dwarf)』たちとともにがんばる」との声明をだした．



1928年



1930年



火星は生命に適した環境だった

NASA Rover Finds Conditions Once Suited for Ancient Life on Mars



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

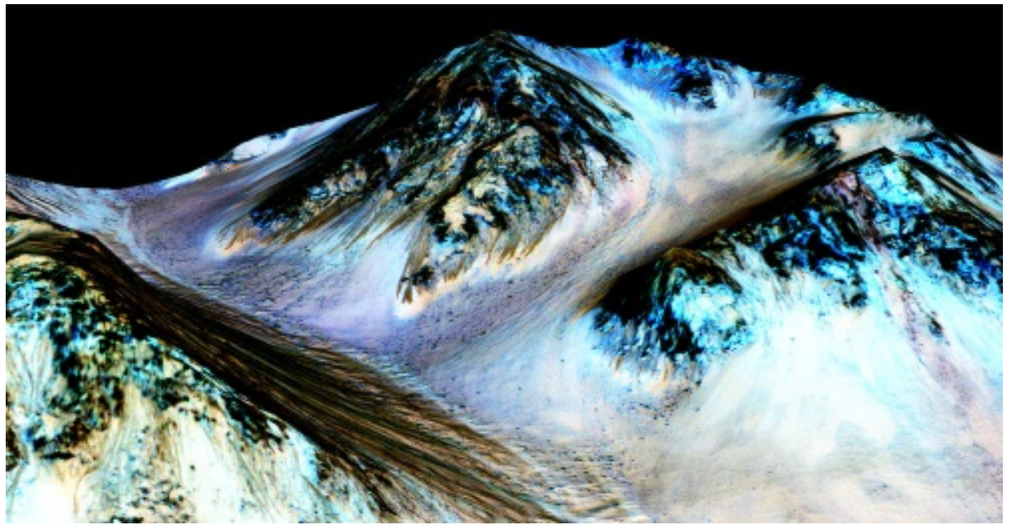
火星に液体の水を発見

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に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）

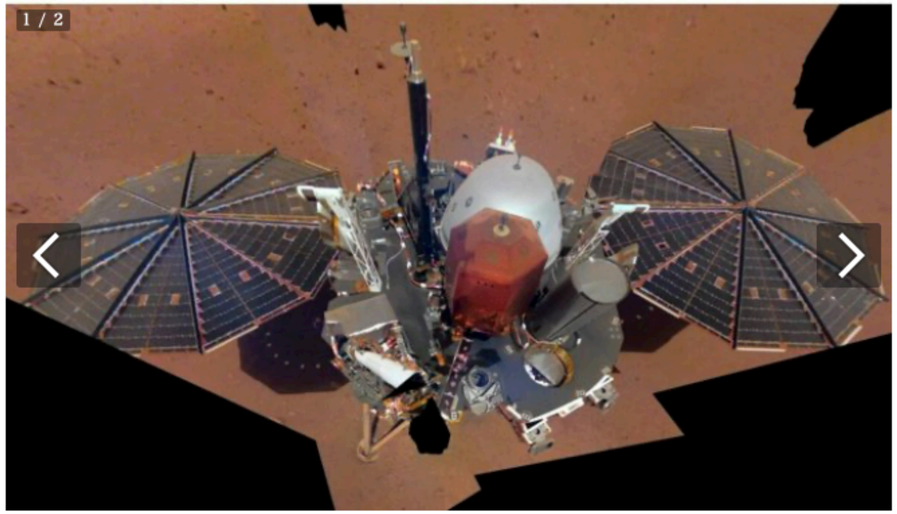
http://www.nasa.gov/press-release/nasa-confirms-evidence-that-liquid-water-flows-on-today-s-mars

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

現在の火星地下に水が存在か？ 地震波の解析

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

Ikuo 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.

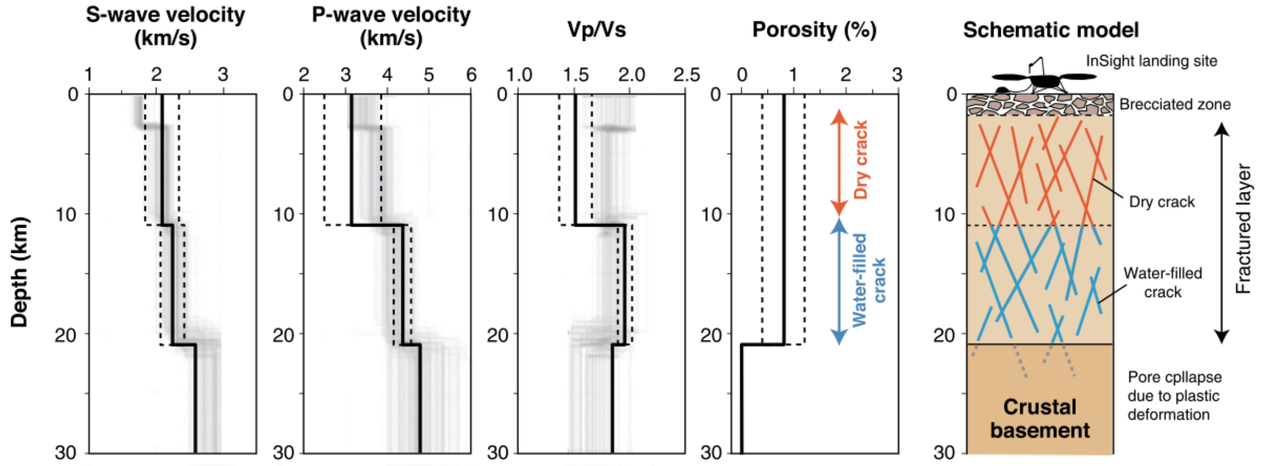


Figure 2. Calculated velocity structure in Martian crust. Model assumed a water-rich fracture layer underlying a dry fracture layer and that these layers have constant porosity of 0.4%–1.2% down to ~20 km depth. Seismic velocities for water- and gas-filled cracks were calculated from the effective medium 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).

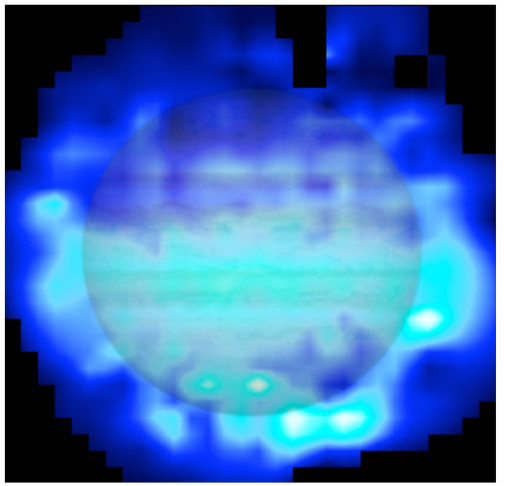
https://doi.org/10.1130/G52369.1

https://digital.asahi.com/articles/ASS9T2SQ9S9TPLBJ001M.html?iref=pc_photo_gallery_breadcrumb

木星の水はシューメーカー・レヴィ彗星がもたらした

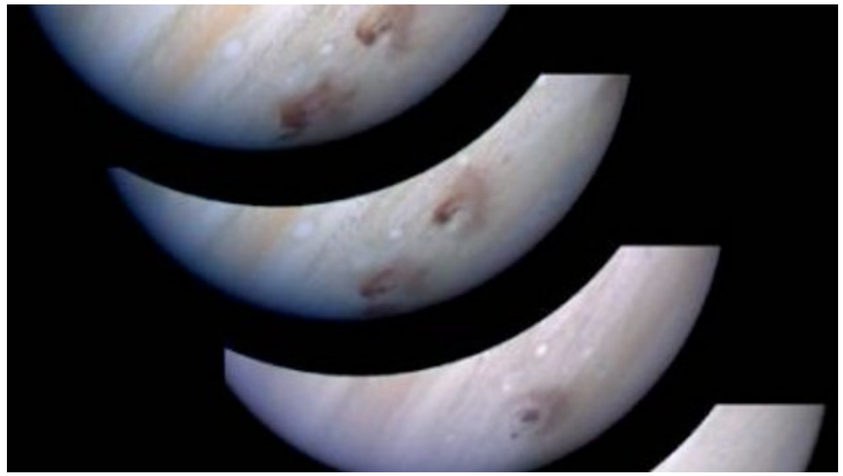
Herschel links Jupiter's water to comet impact

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)

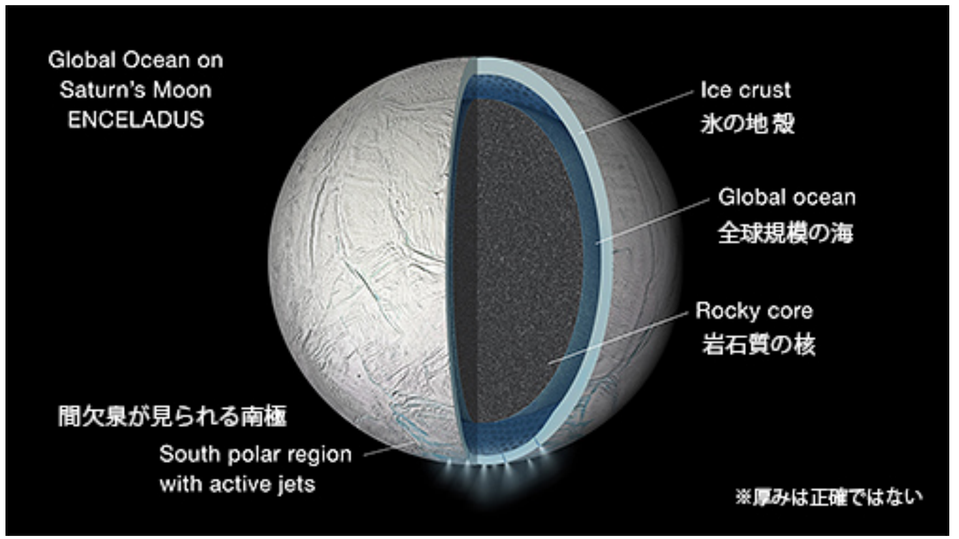
土星の衛星エンケラドスの地表下に全球規模の海

Cassini Finds Global Ocean in Saturn's Moon Enceladus

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に仮定して調べた．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）

Icarus
Volume 264, 15 January 2016, Pages 37–47

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. Loredo[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

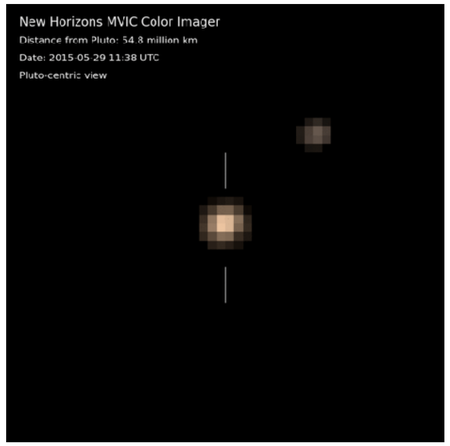
ニューホライズンが冥王星に最接近

New Horizons Approaches Pluto

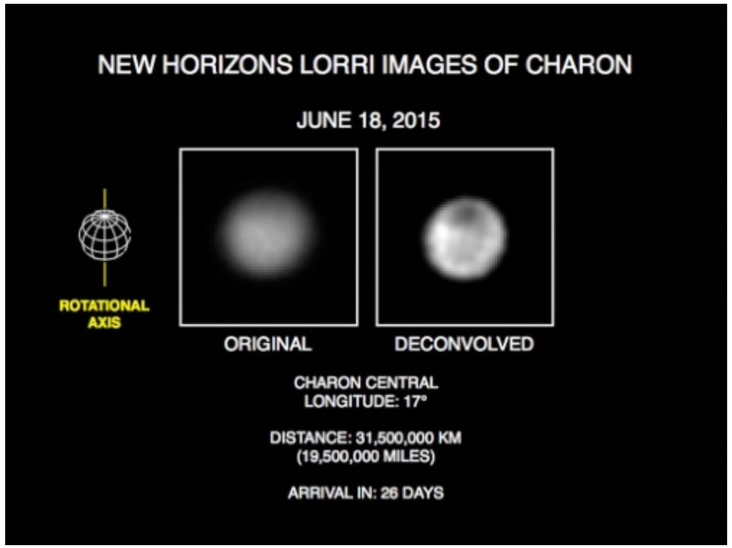
準惑星に分類されている冥王星に，探査機ニューホライズンが接近している．7月14日には，冥王星（半径2300km）の表面から12500kmの距離に近づいて観測を行う予定だ．

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

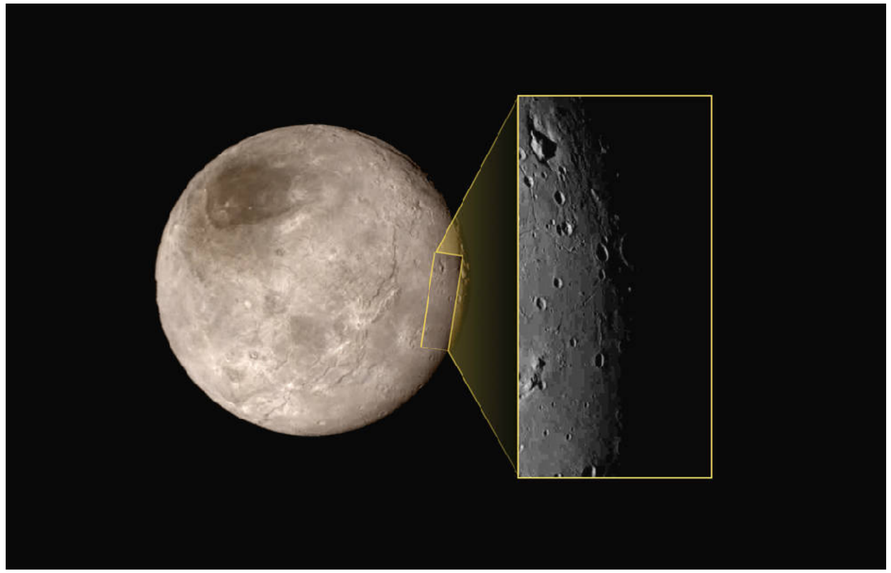
冥王星へ最接近, ニューホライズン機からの画像公開

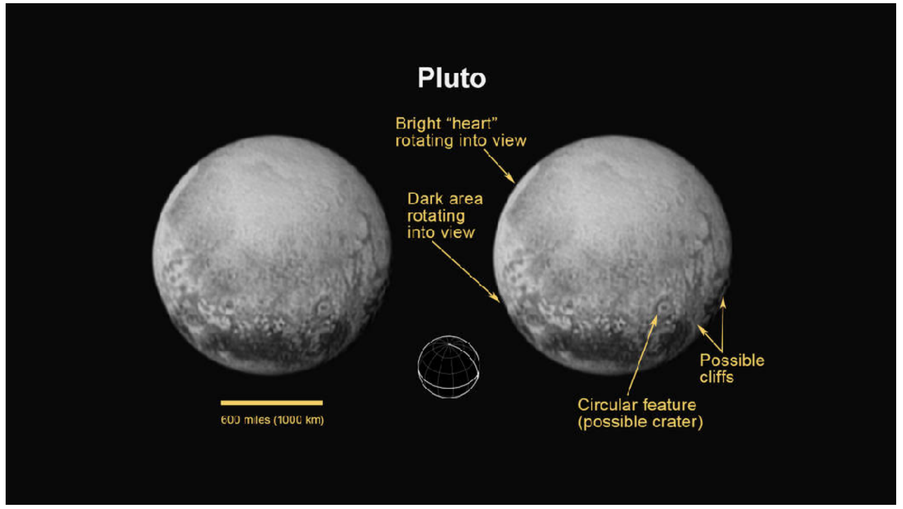
NASA releases New Pluto Images

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”







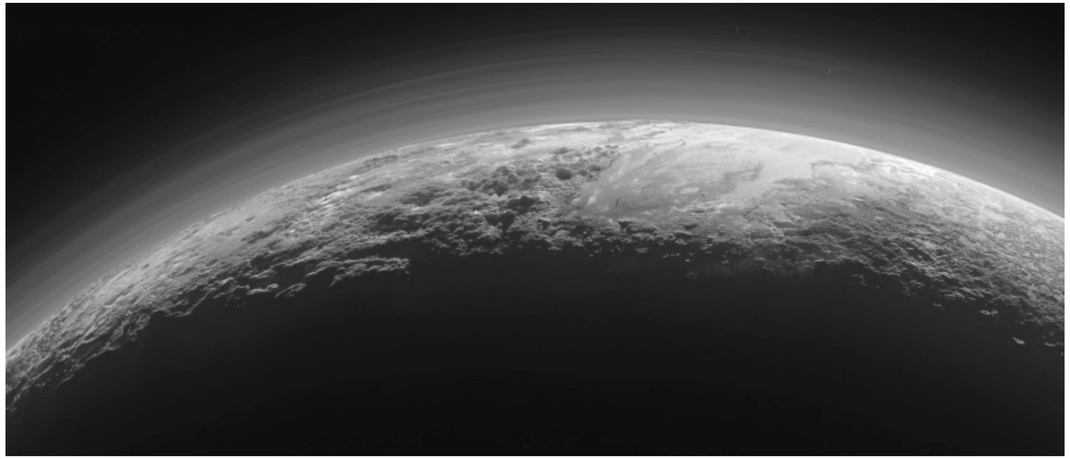
http://www.nasa.gov/mission_pages/newhorizons/main/index.html

逆光でとらえた冥王星に見られる窒素の循環

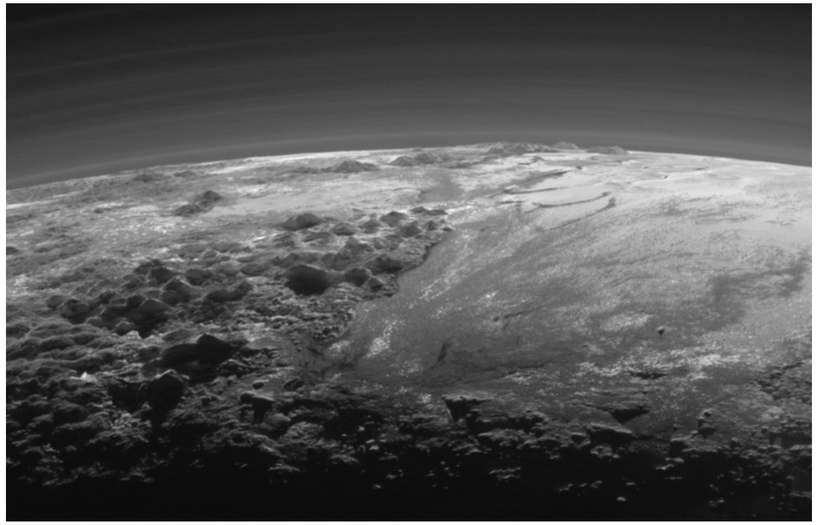
Pluto ‘Wows’ in Spectacular New Backlit Panorama

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．

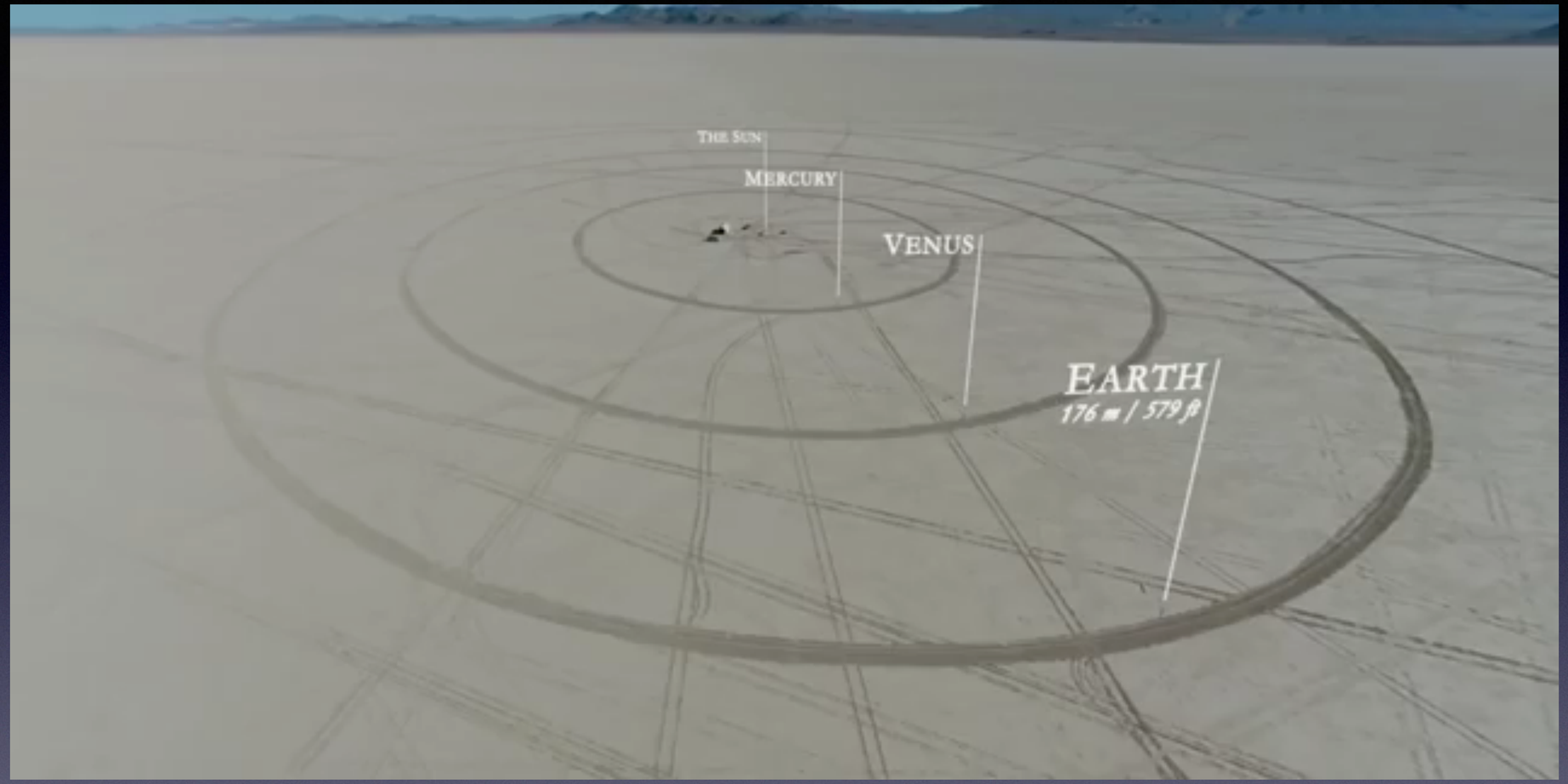


ニューホライズンズの最接近から15分後に約1万8000kmの距離から撮影された冥王星。右側がスプートニク平原でその西（左）側に3500m級の山々（ノルゲイ山地）が見える（共に名称は非公式）



http://www.astroarts.co.jp/news/2015/09/18pluto/index-j.shtml
http://www.nasa.gov/feature/pluto-wows-in-spectacular-new-backlit-panorama

To Scale: The Solar System



On a dry lakebed in Nevada, a group of friends build the first scale model of the solar system with complete planetary orbits: a true illustration of our place in the universe.

https://www.youtube.com/watch?v=zR3Igc3Rhfg

5m33s

太陽系小天体

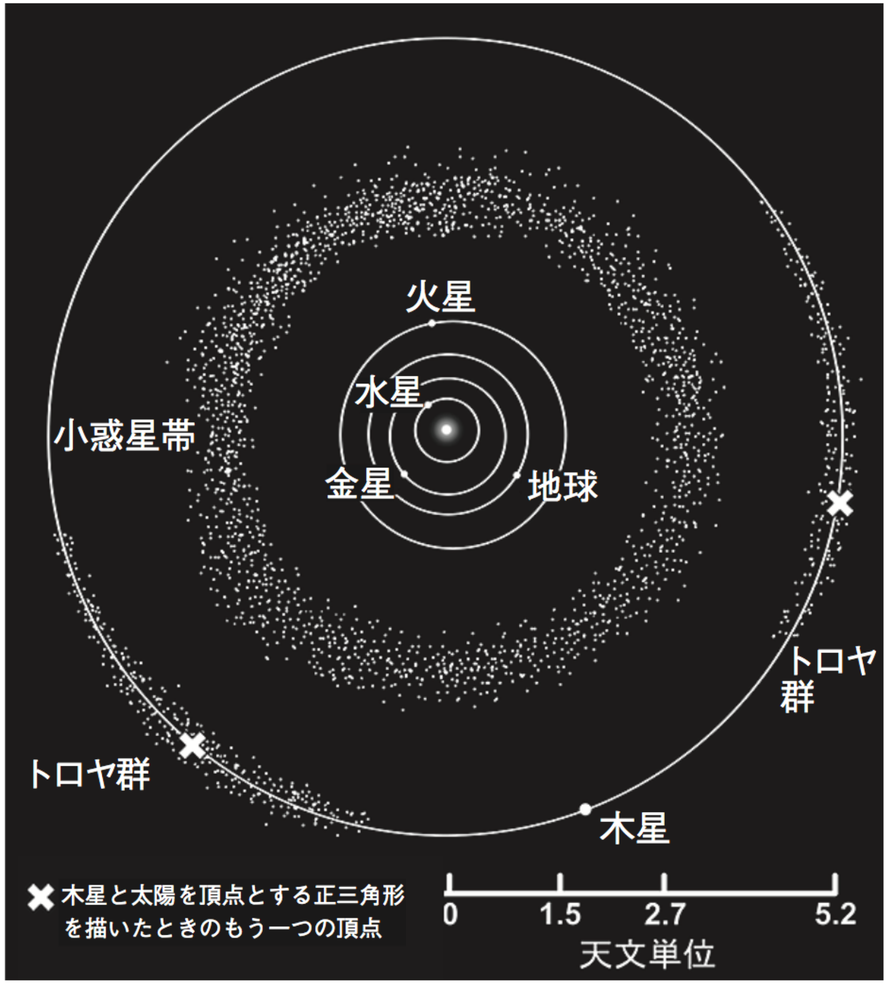


図 1.20　小惑星帯は火星と木星軌道の間にある．また，木星軌道にはトロヤ群と呼ばれる小惑星帯もある．トロヤ群は太陽と木星を 2 つの頂点として正三角形を描いたときの 3 つ目の頂点付近にある．

彗星

＝ほうき星

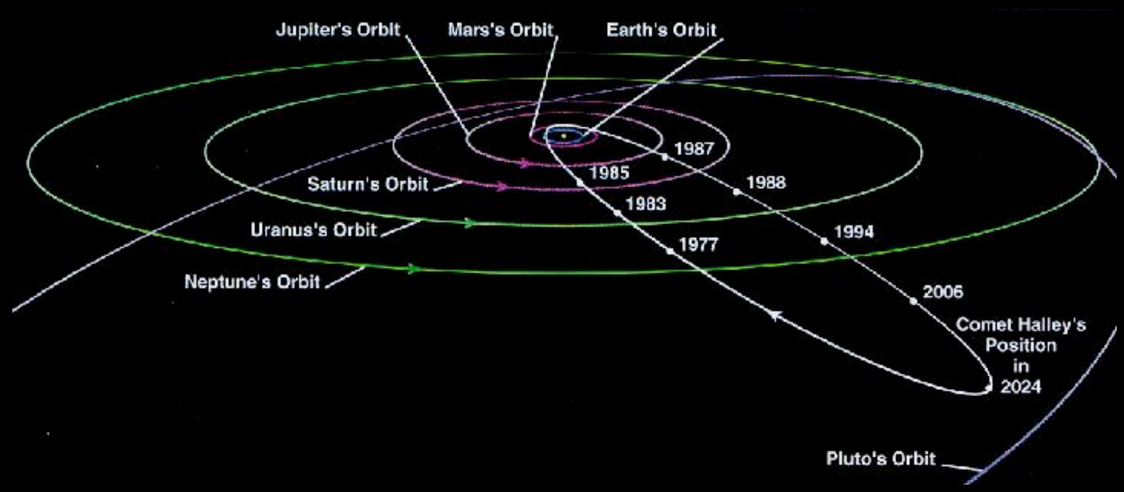


ハレー彗星（すいせい）

76年に一度，地球に近づく．

前回は1985年，次は2061年






Bewitched


Nicole Kidman
Will Ferrell







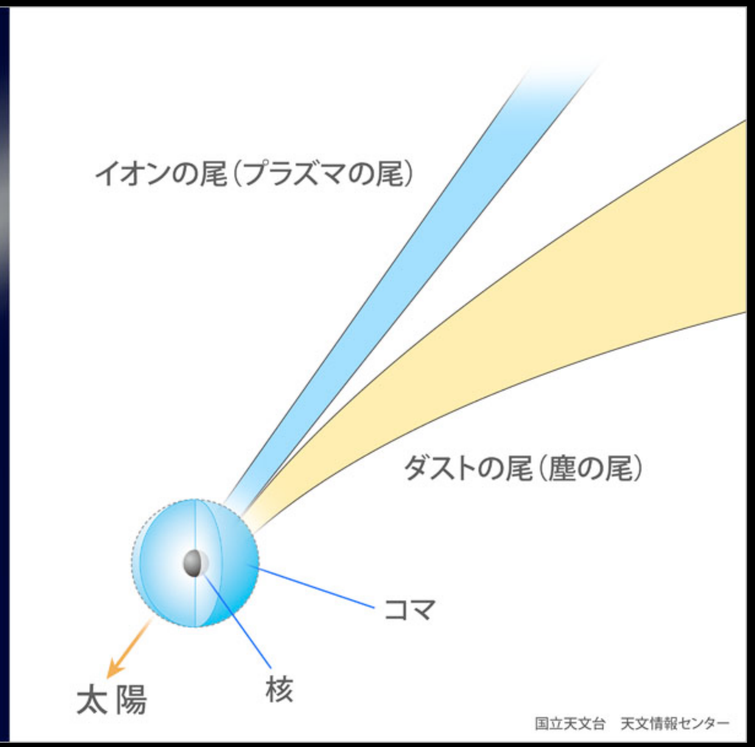
すいせい
彗星（ほうき星）とは

★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.

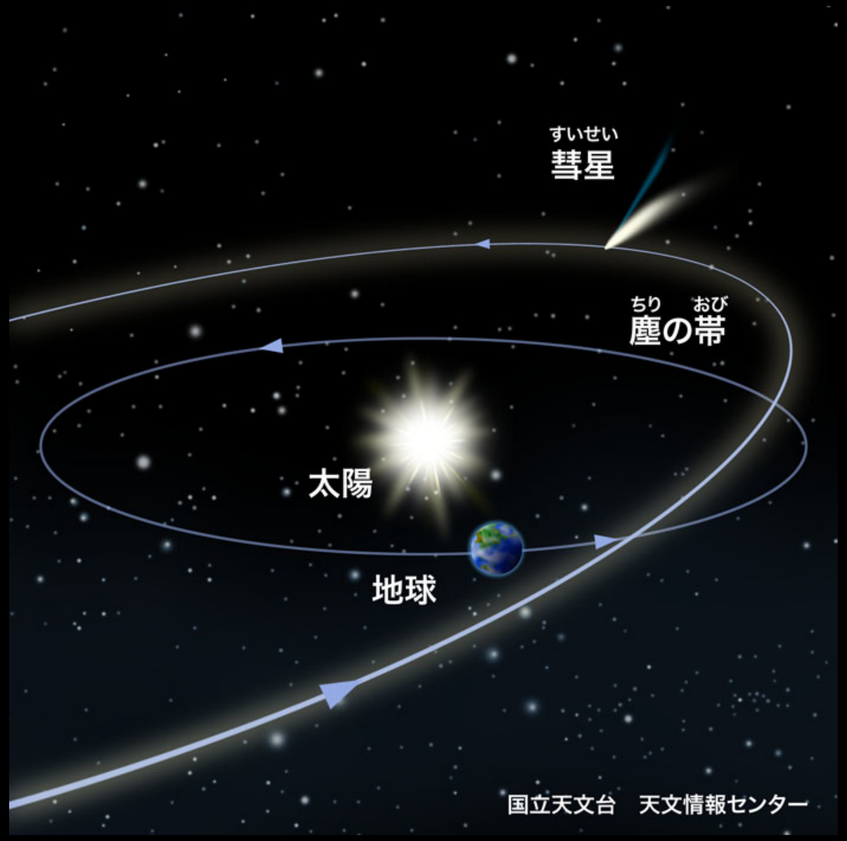
★およそ8割が水（氷の状態）で，残りはガス・ちり.

★太陽に近づくと大きな尾ができる





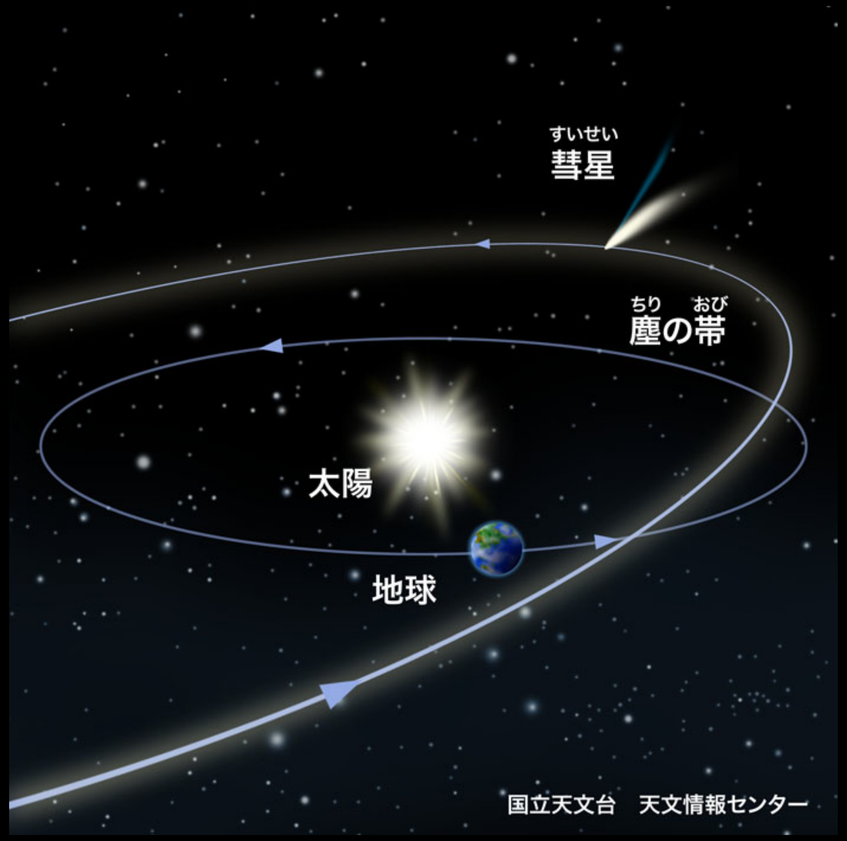
彗星の通ったところは
ちり・石がたくさん残る



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40個以上

★2026年は良好





https://www.astron.pref.gunma.jp/events/080812perseus.pdf

10月21日-22日　極大

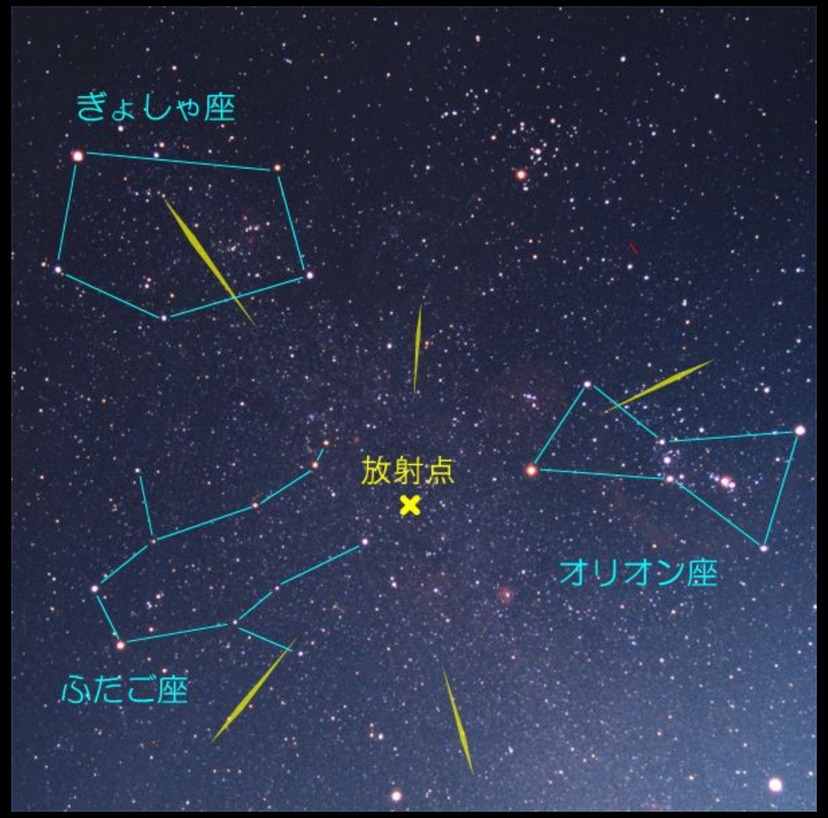
オリオン座流星群

★2026年は条件　良好

★1時間に10個

（昨年予報は，20個/時間）

もとは，ハレー彗星



https://www.astron.pref.gunma.jp/events/091020orion.html

11月17日極大

しし座流星群

★2026年は条件良好

★1時間に5個

（昨年予報は，20個/時間）



https://tenki.jp/forecaster/gureweather/2022/11/16/20532.html

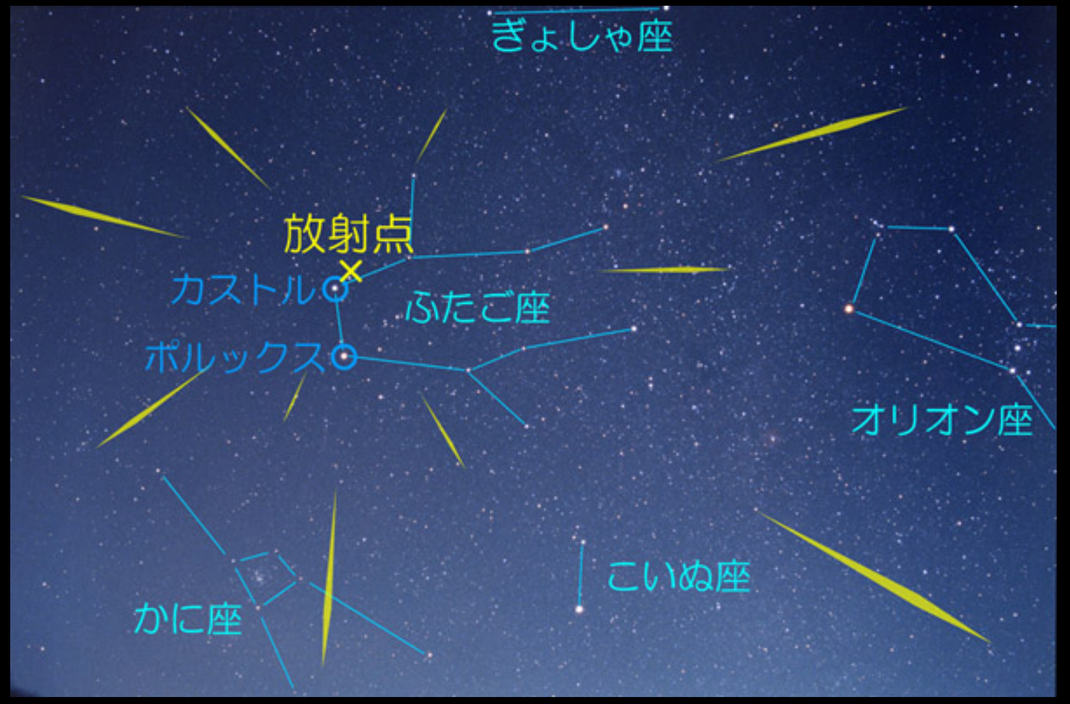
12月14日～15日

ふたご座流星群

★2026年は条件最良

★1時間に60個！

（昨年予報は，60個/時間）



https://www.astron.pref.gunma.jp/events/091213geminids.html

太陽系はどこまでか

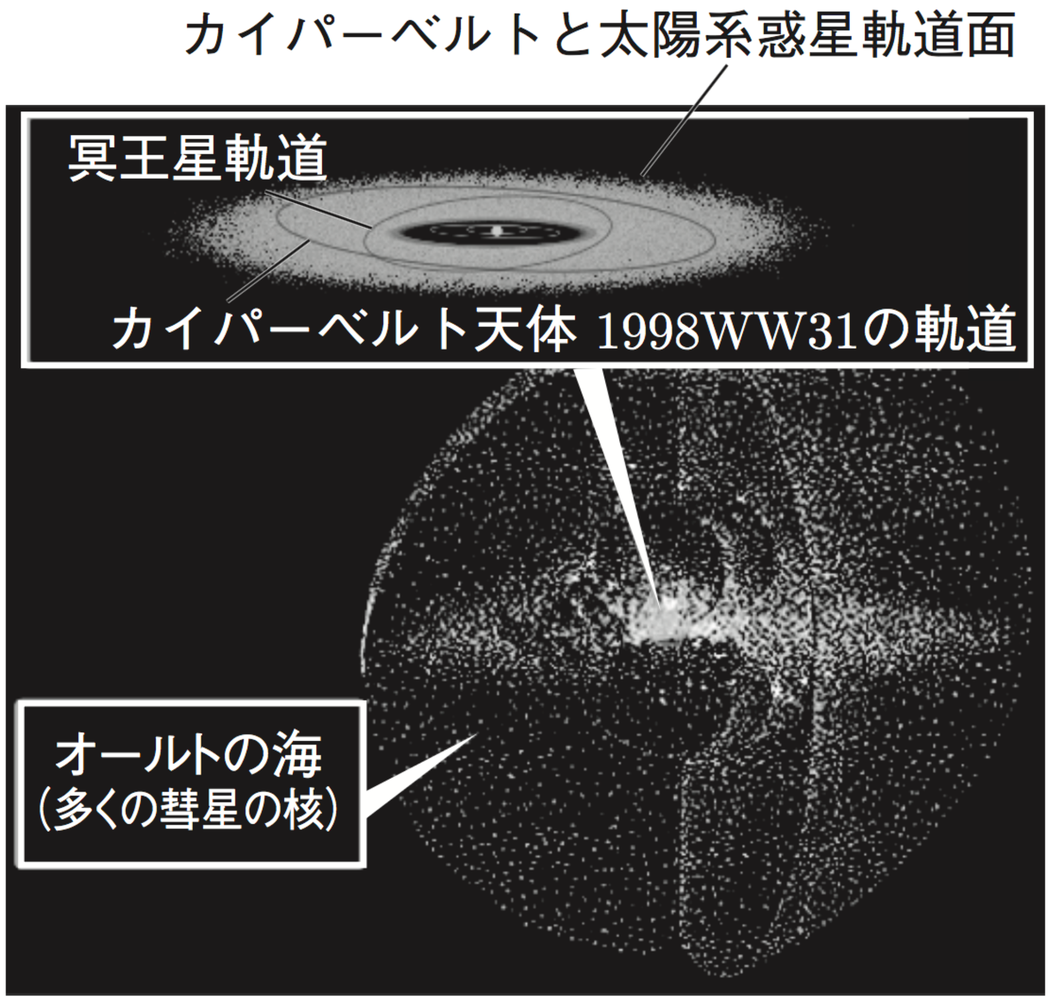


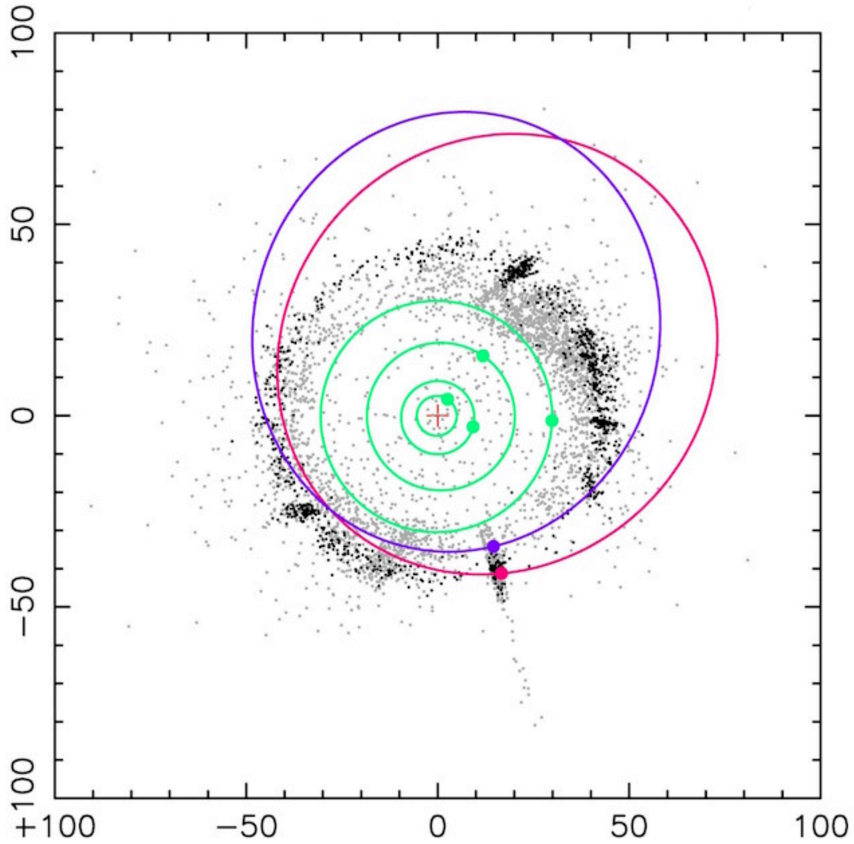
図 1.22　オールトの雲

太陽・地球間の距離
= 1 AU
(astronomical unit)

100〜1000 AU

カイパーベルトは予想外に広大か？ ―すばる望遠鏡 超広視野観測

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．

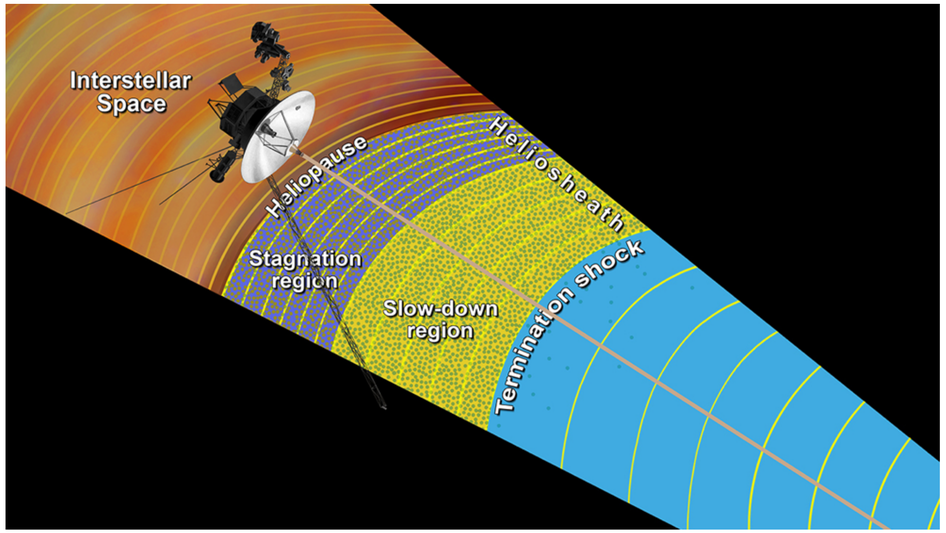
https://subarutelescope.org/jp/results/2024/06/25/3416.html　https://doi.org/10.1093/pasj/psae043

【宇宙開発】

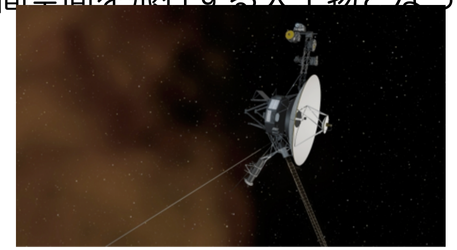
ボイジャー1号，人工物ではじめて太陽系を離脱

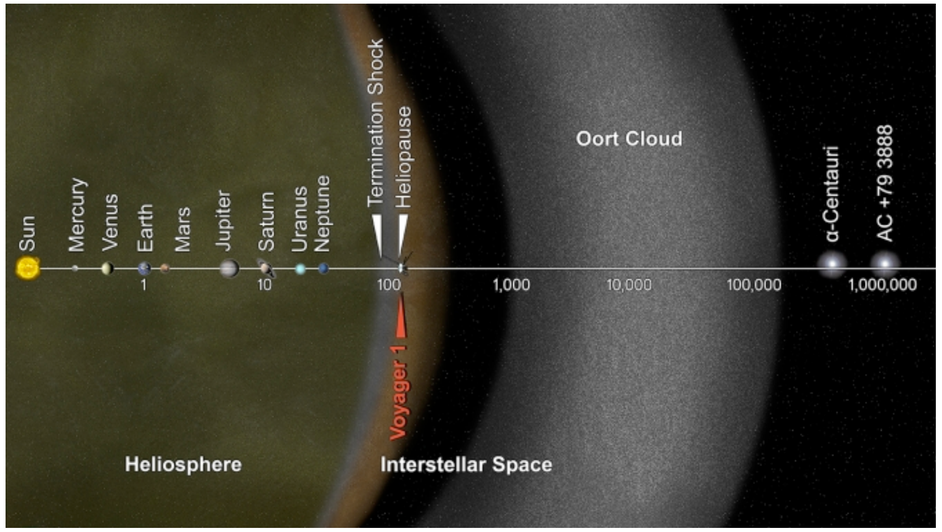
NASA Spacecraft Embarks on Historic Journey Into Interstellar Space

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．





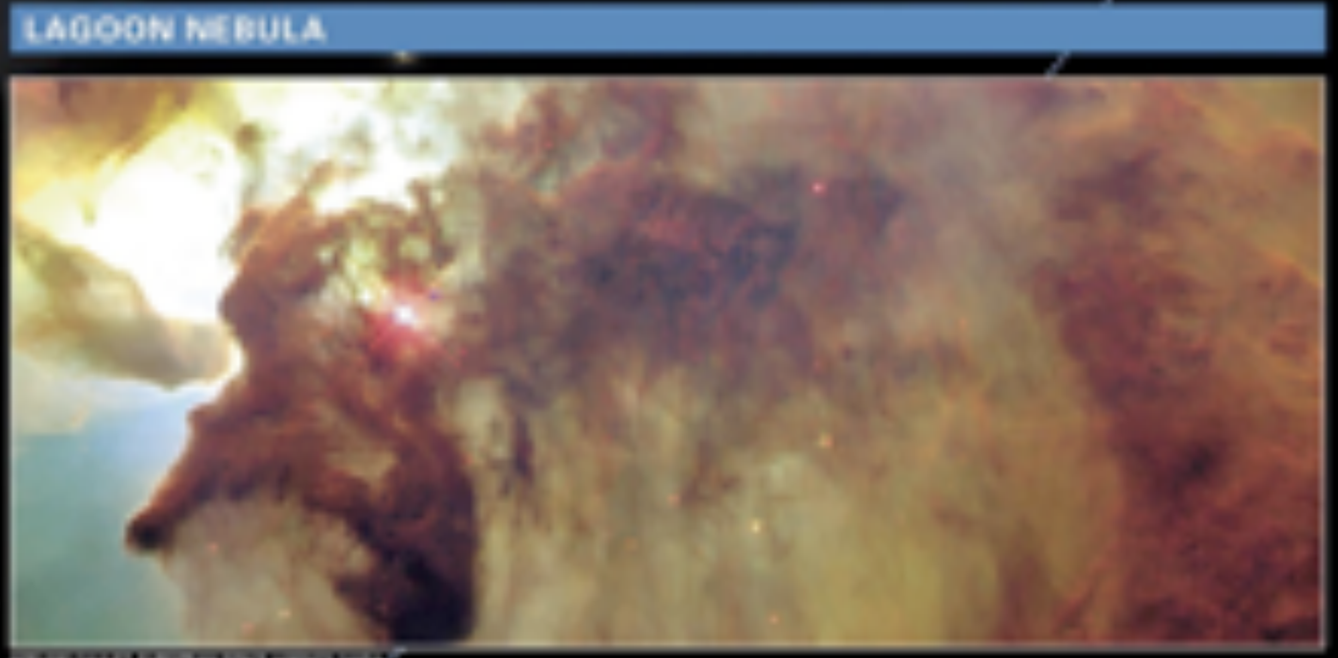
2012年3月に起こった太陽からの大規模な質量放出が13か月後の今年4月に探査機に到達した際，探査機の周囲のプラズマが振動し、その解析からプラズマの密度が太陽圏の果ての40倍も高いことが明らかになった．さらに過去にさかのぼって詳しく調べたところ、ボイジャー1号は2012年8月に．プラズマ密度の高い恒星間空間に達していたことがわかった．運用チームでは2012年8月25日を到達日としている．1号の2週間前に打ち上げられ別の方向に飛行を続けているボイジャー2号も，近い将来に恒星間空間に達するとみられている．

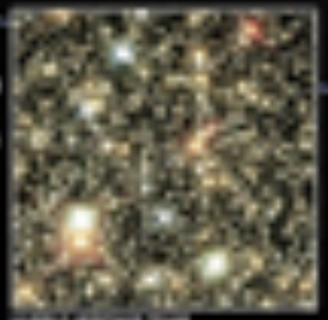
http://www.nasa.gov/mission_pages/voyager/index.html
http://www.nasa.gov/mission_pages/voyager/voyager20130912.html#.UjpM1hbOe_c
http://www.astroarts.co.jp/news/2013/09/13voyager/index-j.shtml

天の川銀河 (Milky Way, our galaxy)



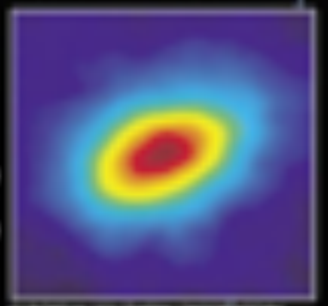






…scope focused on a rare Sagittarius star cloud … Sagittarius stars … times; most are older than the sun. They sparkle like an assortment of gems on a jeweler's velvet pad.

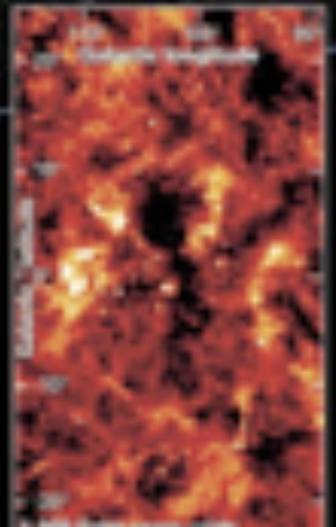
10 In some dark clouds lurk strange objects like G339.88-1.26, detected by a European Southern Observatory telescope in Chile and mapped in infrared light (right). A star 20 times as massive as the sun and 10,000 times brighter, it sports a disk of circumstellar dust, shown here in false color, about 20,000 times wider than Earth's orbit. Light from the hot star is absorbed by and warms the dust, making it glow.



11 As stars like the sun die, they become factories for interstellar dust. Celestial soot—the remnants of its red giant stage—surrounds the tiny hot central star of NGC 7027 (above right). Blown outward, the soot would obscure our view of the center of NGC 7027 were it not for this remarkable composite image in infrared and visible light from the Hubble Space Telescope.



Clouds of interstellar dust (right), strewn over huge regions along the central plane of the Milky Way, are not thick and smooth but seem as frothy as the head on a glass of beer. Supernova shock waves and stellar wind from evolving stars may have shaped this surprising pattern.

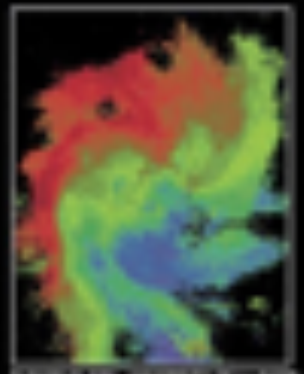


When a massive star comes to the end of its nuclear fuel supply, it collapses and then rebounds in a brief, powerful explosion, or supernova. The Chinese called these celestial fireworks guest stars and recorded one such event in the constellation Taurus in July 1054 that was visible in broad daylight.



12 In that location today astronomers find the fast-expanding Crab Nebula (left), a supernova remnant. At its heart lies a pulsar—a collapsed star—whirling 30 times a second.

Satellite galaxies of the Milky Way host equally remarkable celestial phenomena. In the Large Magellanic Cloud (above right), 180,000 light-years from Earth, clumpy, filamentary clouds of hydrogen gas reveal their stately march in a radio map from the Australia Telescope Compact Array. The lower half of the cloud (blue) is rotating toward the Earth while the topside (red) turns away.



13 Glistening along the spiral arms of the galaxy, bright emission nebulae mark regions where new stars are forming. The Lagoon Nebula (above), about 5,000 light-years distant, is easily detected with the naked eye as a fuzzy spot in the southern constellation Sagittarius. Wide-field images show that it covers more of the sky than does the full moon. Where there was once only a vast dark cloud, radiation from the brightest and most massive young star in the nebula, Herschel 36, heats and ionizes the gas across a wide region. Despite the brilliance of the Lagoon Nebula and similar objects like the famous Orion Nebula, such areas are usually little more than hot blisters on the flanks of giant interstellar clouds.

With new tools, astronomers are unraveling the nature of the Milky Way and measuring distances to stars and nebulae with greater accuracy. Still, they ask, how did the Milky Way form in the first place? How and when did the arms form? How many more planets circle nearby stars besides the 102 already discovered? And the biggest question of all: Do any of them harbor life?

天文学で使う距離の単位：AU, 光年，パーセク

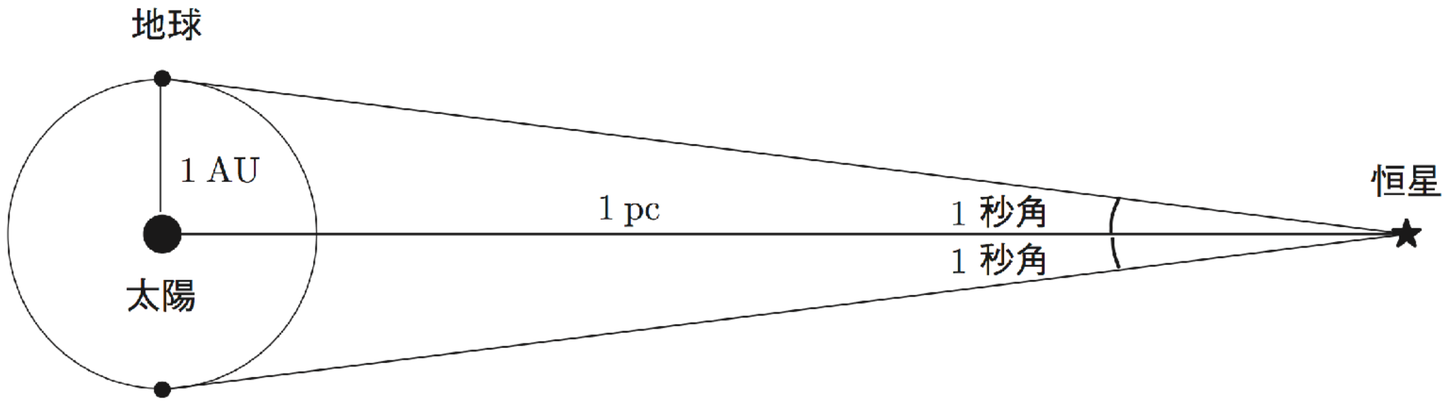


図 A.2　距離パーセク (pc) の定義．地球から見る星の位置が半年で 2 秒角ずれる場所までの距離を 1 pc とする．

教科書 見返し

天文学で用いられる距離の単位（§ A.1.5）

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）

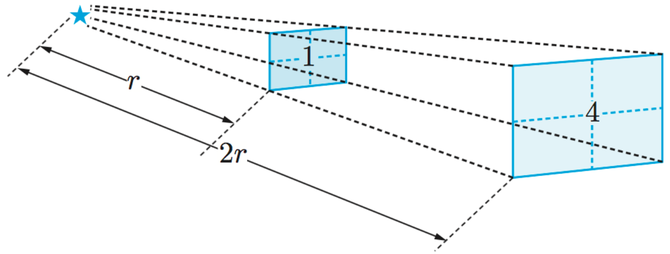


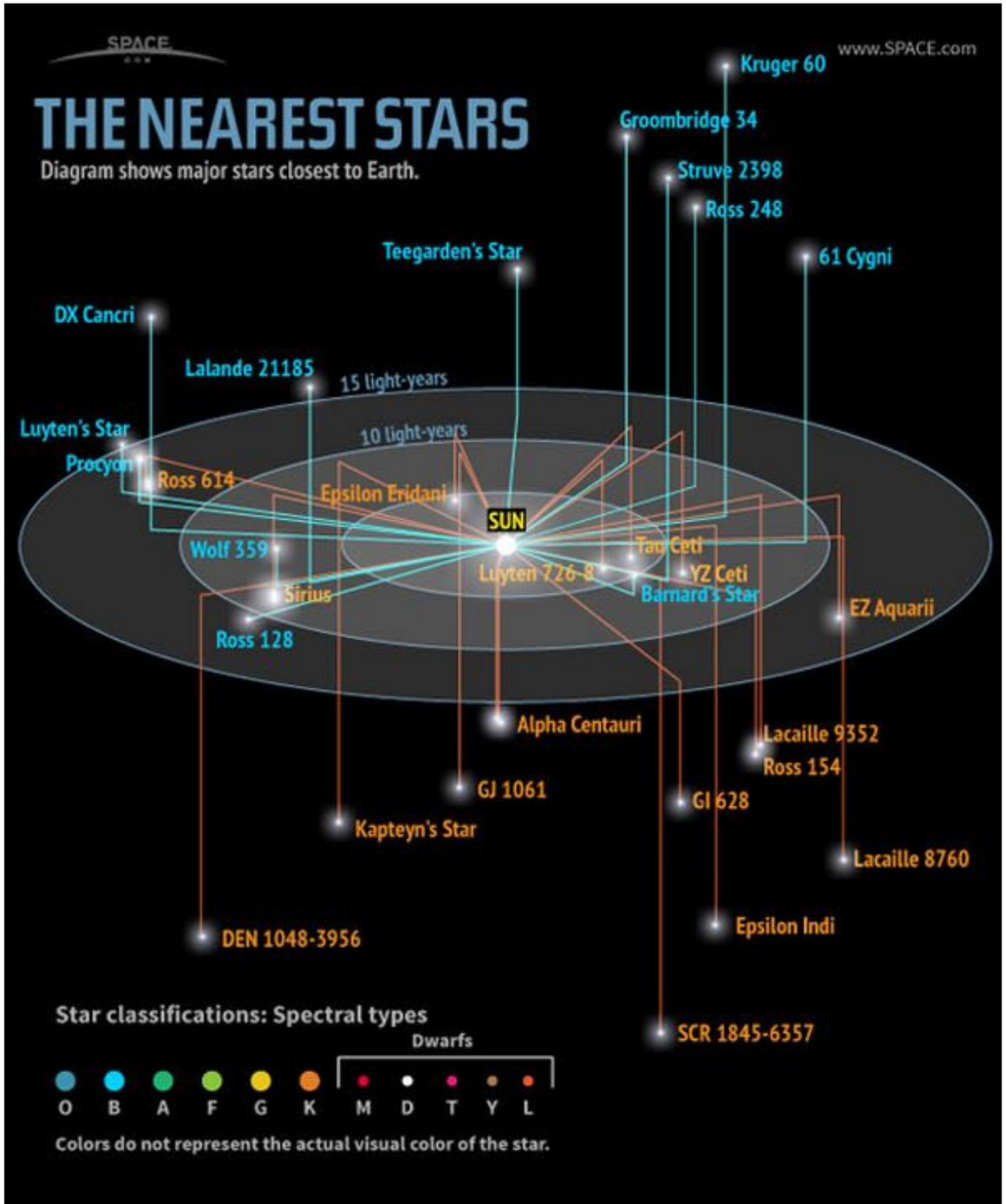
図 1.26　距離が倍になると，光の照射面積は 4 倍になるので，光量は 1/4 になる．すなわち，明るさは距離の 2 乗に比例して小さくなる．

同じような大きさで
同じように明るいの星でも
遠くにあれば暗い

表 1.8　恒星の見かけの等級と絶対等級の例 †.

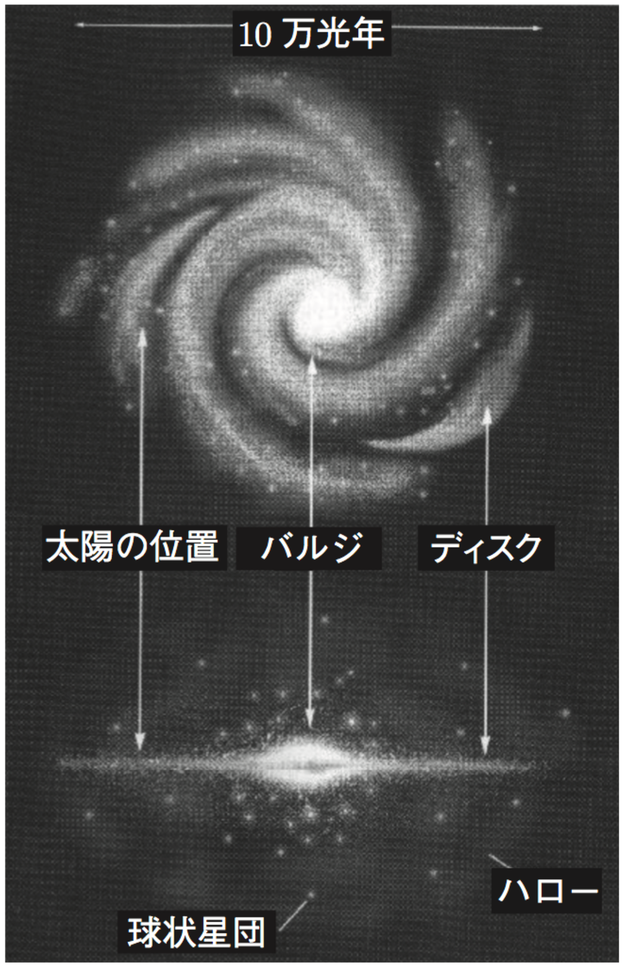
星	星座	距離（光年）	見かけの等級	絶対等級
シリウス	おおいぬ	8.60± 0.04	−1.47	1.42
ベテルギウス	オリオン	642 ±147	0.42	−5.50
プロキオン	こいぬ	11.46± 0.05	0.34	2.61
アンタレス	さそり	553.48±113.19	1.09	−5.06
ベガ（織女）	こと	25.03± 0.07	0.03	0.60
アルタイル（牽牛）	わし	16.72± 0.05	0.77	2.22
デネブ	はくちょう	1411.26±226.94	1.25	−6.93
北極星	こぐま	432.36± 6.4	2.00	−3.61
太陽	–	1 天文単位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

http://www.visualnews.com/2012/12/20/our-nearest-stars/



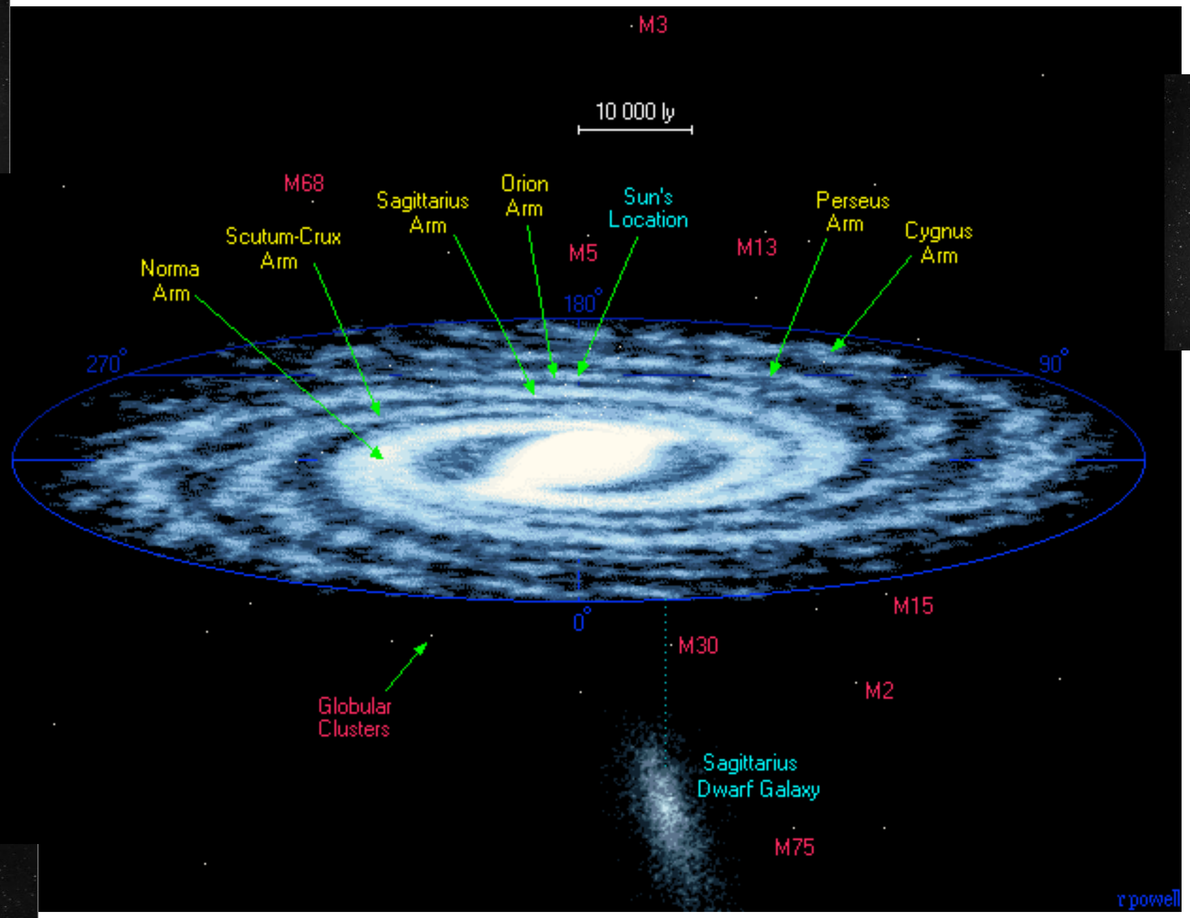
天の川銀河（our galaxy, Milkey Way）

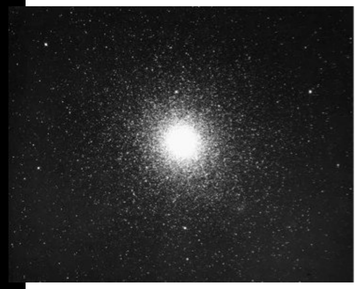


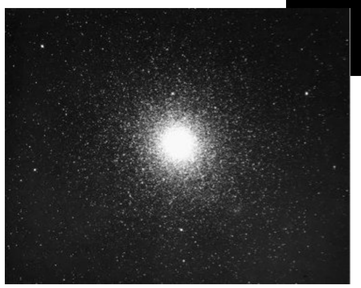


天の川銀河と球状星団









←球状星団(globular cluster)

http://www.atlasoftheuniverse.com/milkyway.html



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/

本日のミニッツペーパー記入項目

出席票を兼ねます.

【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）