

宇宙をひもとく物理学

真貝寿明（しんかいひさあき）



10月25日 なぜ円ではなく楕円か — ケプラーの惑星運動の法則

11月22日 光のドップラー効果 — 宇宙膨張の法則

12月27日 星は何を燃やしているのか — 特殊相対性理論

1月24日 時空のゆがみとブラックホール — 一般相対性理論

2月28日 光は波なのか粒子なのか — 量子論

3月28日 解明されている部分は5%? — 宇宙論

<http://www.oit.ac.jp/is/~shinkai/mainichi/>

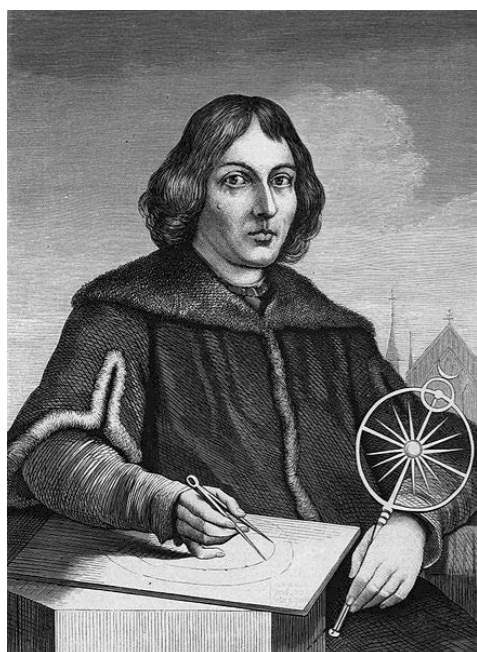
<http://www.oit.ac.jp/is/%7Eshinkai/mainichi/>

1. なぜ円ではなく楕円か：ケプラーの惑星運動の法則

近代物理学をつくりあげた登場人物たち

コペルニクス

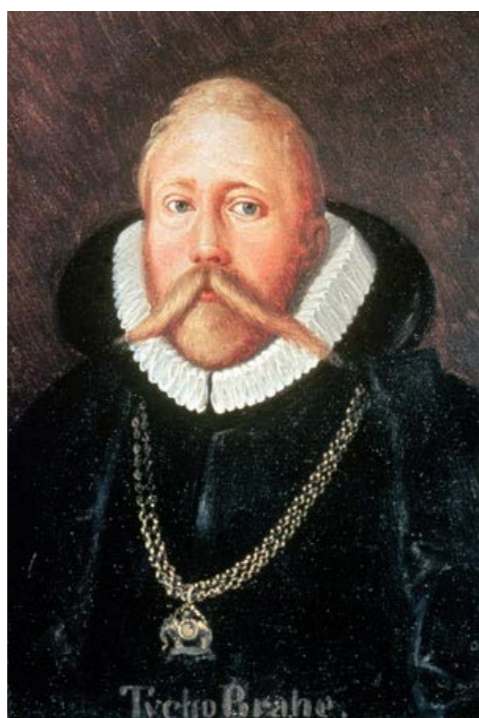
Nicolaus Copernicus
(1473-1543)



地動説

ブラーエ

Tycho Brahe
(1546-1601)



天体観測

ケプラー

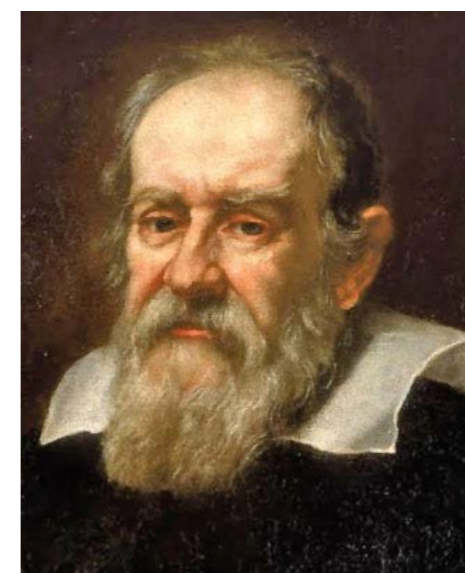
Johannes Kepler
(1571-1630)



惑星運動の法則

ガリレイ

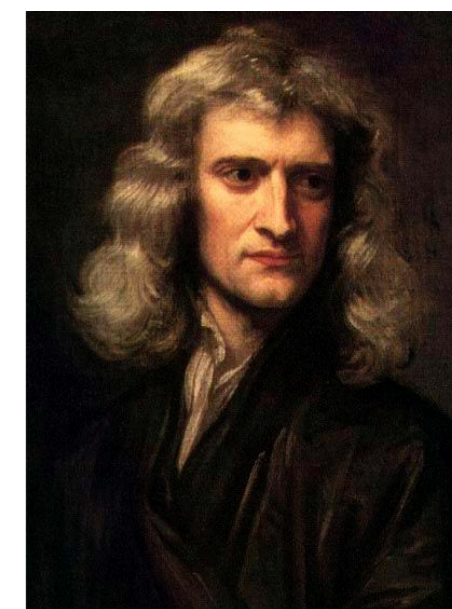
Galileo Galilei
(1564-1642)



慣性・自由落下運動
地動説の物理的根拠

ニュートン

Isaac Newton
(1642-1727)



運動の法則
万有引力

ケプラーによる惑星の運動法則（1609年, 1619年）

第1法則 楕円軌道の法則

惑星は太陽を1つの焦点とする楕円軌道を描く。

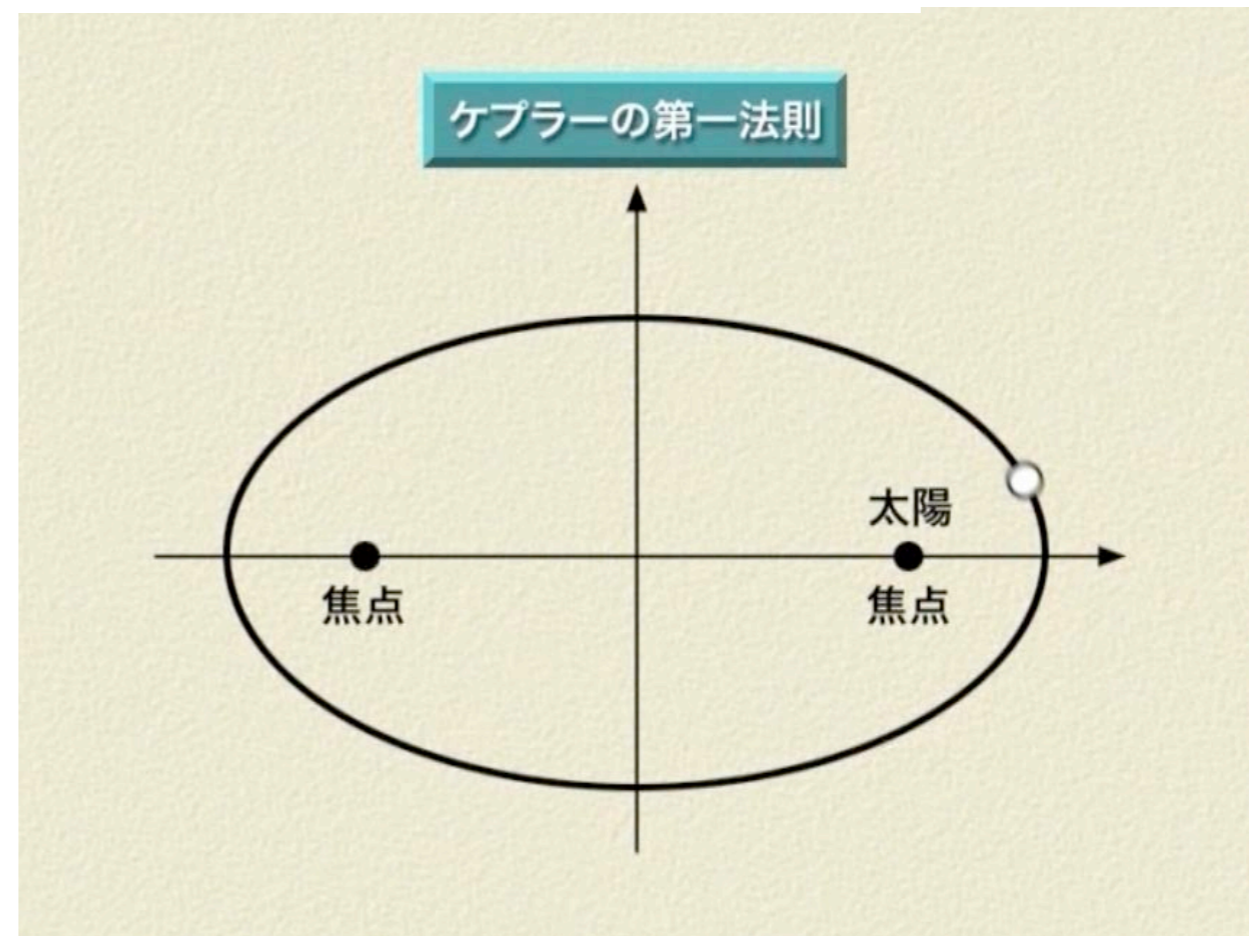
第2法則 面積速度一定の法則

太陽と惑星を結ぶ線分が単位時間に描く扇形の面積（面積速度）は、惑星それぞれについて一定である。

第3法則 調和の法則

惑星の公転周期 T の2乗と、惑星の描く楕円の長軸半径（長軸の長さの半分） R の3乗の比 T^2/R^3 は、惑星によらず一定である。

Johannes Kepler
(1571-1630)



ケプラーによる惑星の運動法則 (1609年, 1619年)

第1法則 楕円軌道の法則

惑星は太陽を1つの焦点とする楕円軌道を描く。

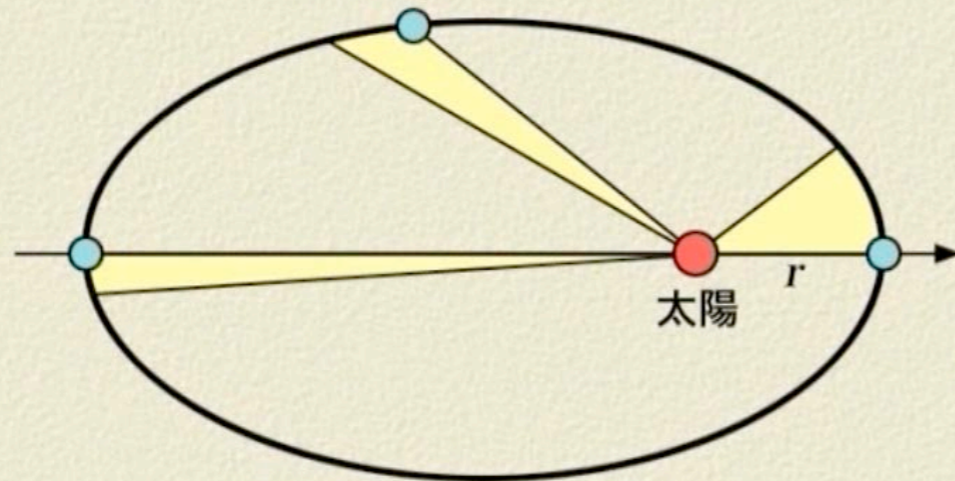
第2法則 面積速度一定の法則

太陽と惑星を結ぶ線分が単位時間に描く扇形の面積 (面積速度) は, 惑星それぞれについて一定である。

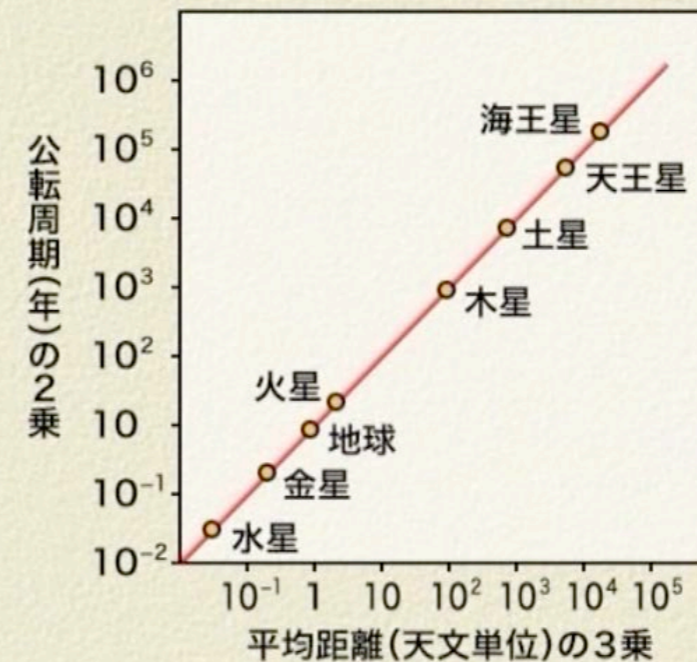
第3法則 調和の法則

惑星の公転周期 T の2乗と, 惑星の描く楕円の長軸半径 (長軸の長さの半分) R の3乗の比 T^2/R^3 は, 惑星によらず一定である。

ケプラーの第二法則



ケプラーの第三法則



月の満ち欠けと月齢



Date: 2005 Sep 1 02:23:28 UT



1朔望月 = 29.53日

毎日、月の出の時刻は
50分ずつ遅くなる

月の呼び名



十五夜
じゅうごや



居待月
いまちづき



十六夜
いざよい



寝待月
ねまちづき



立待月
たちまちづき



更待月
ふけまちづき

『月々に月見る月是多けれど月見る月はこの月の月』 (よみ人知らず)

餅つきをするウサギ(日本)
薬草を挽くウサギ(中国)



カニ
(南ヨーロッパ)



本を読むおばあさん
(北ヨーロッパ)



ロバ
(南アメリカ)



ワニ
(南アメリカ)



ほえるライオン
(アラビア)



髪の毛の長い女性
(東ヨーロッパ/北アメリカ)



ヒキガエルの頭と前足
(中国)

月の写真：©NAOJ

※影でない部分を見る



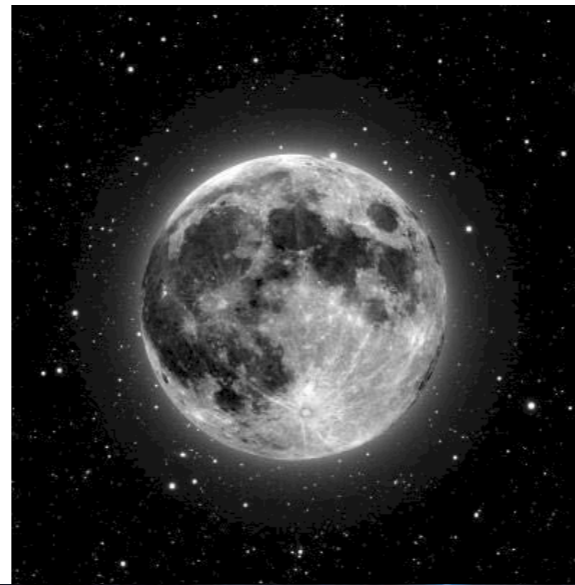
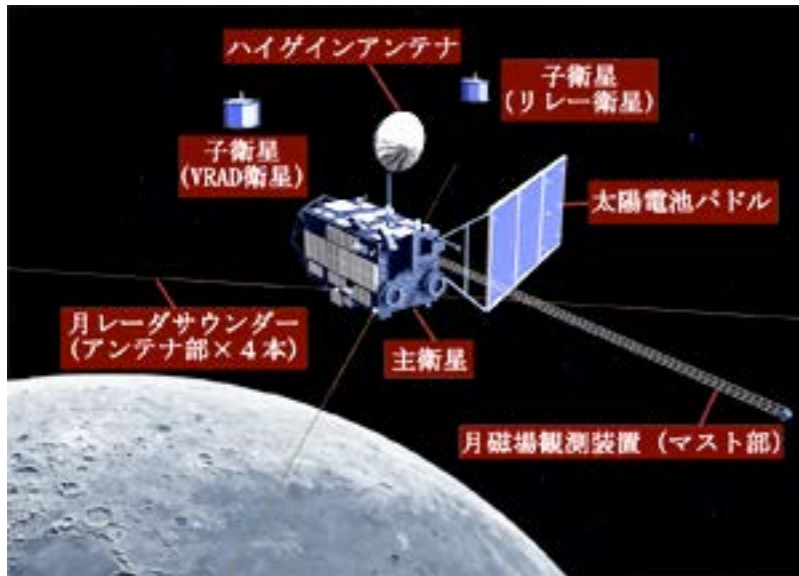
半徑 6378km



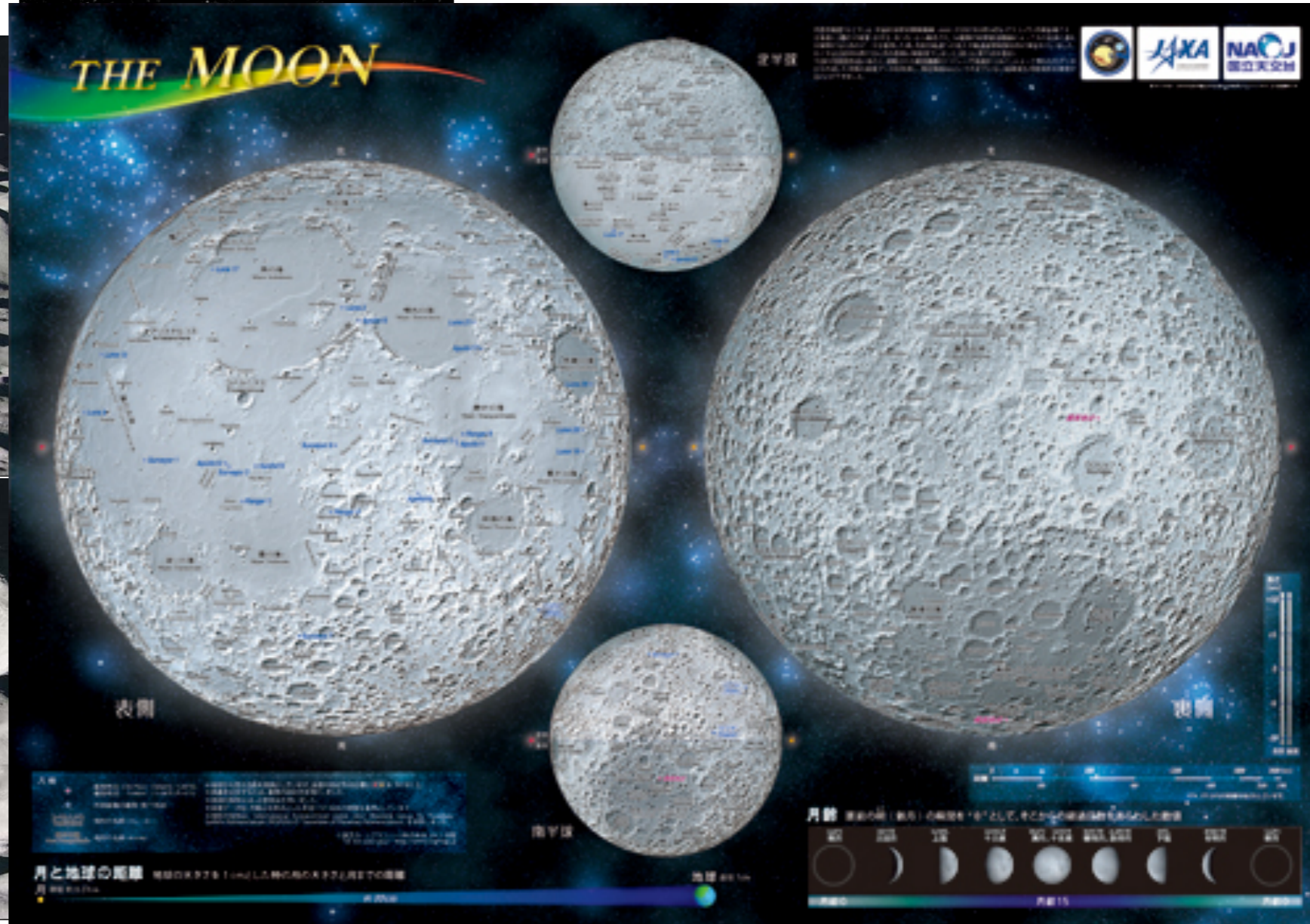
半徑 3474km

距離 388400km

月探査機かぐや(2007-2009)による月面撮影



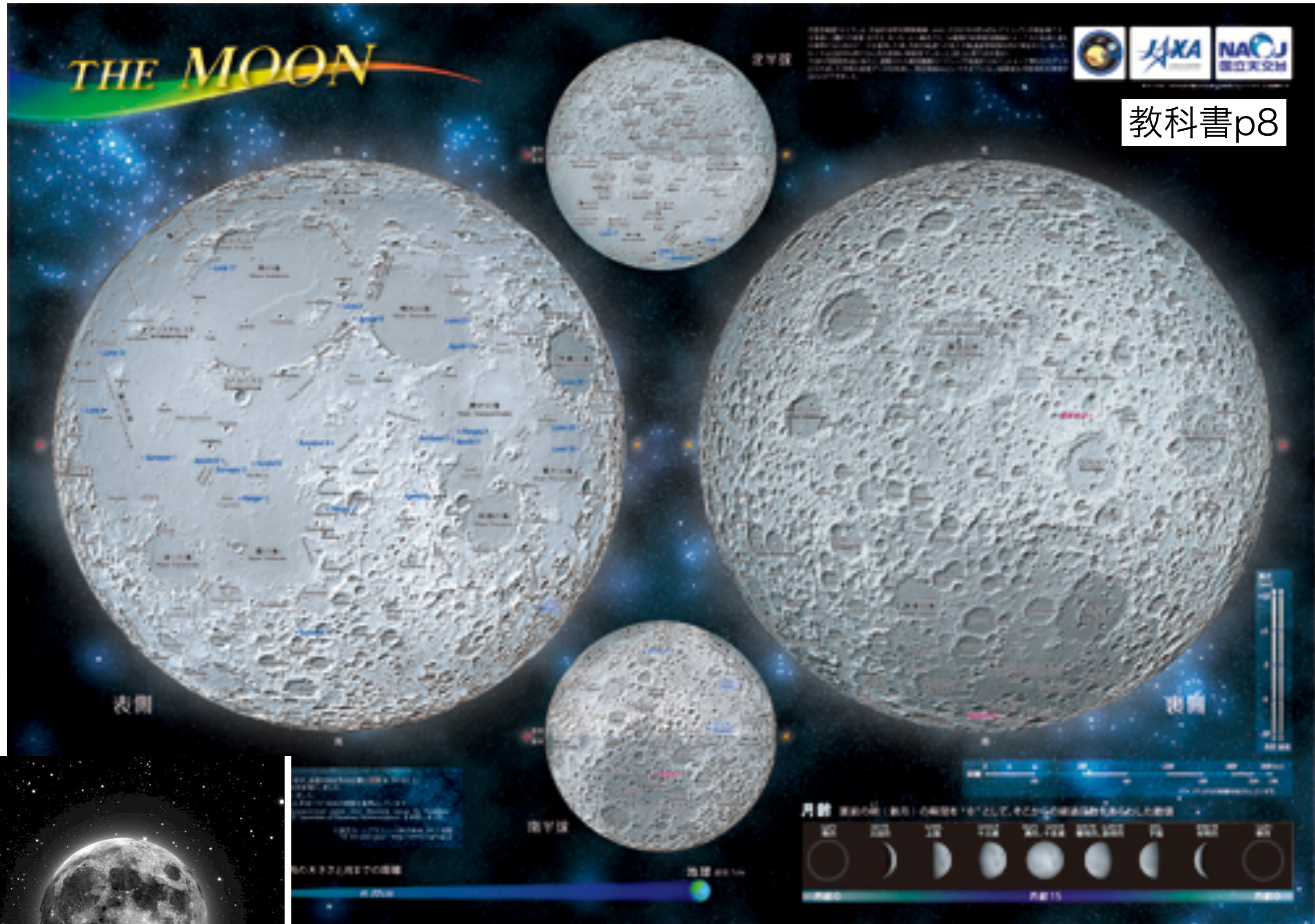
<http://wms2.wms.selene.darts.isas.jaxa.jp/>
<http://www.kaguya.jaxa.jp>



THE MOON



教科書p8





<http://www.kaguya.jaxa.jp>

月の裏側はでこぼこ。「海」がない。

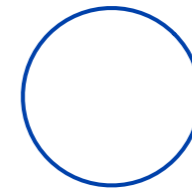
尼崎での満潮と干潮

気象庁の潮位表より

年/月/日 (曜日)	満潮								干潮							
	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位	時刻	潮位
2018/10/29(月)	19:15	150	21:09	138	*	*	*	*	3:43	26	15:42	112	*	*	*	*
2018/10/30(火)	11:32	140	19:06	129	*	*	*	*	4:42	33	16:52	125	*	*	*	*
2018/10/31(水)	15:21	140	*	*	*	*	*	*	5:50	42	*	*	*	*	*	*
2018/11/01(木) 	16:15	145	*	*	*	*	*	*	7:07	50	23:27	104	*	*	*	*
2018/11/02(金)	1:18	106	16:34	146	*	*	*	*	8:32	55	23:43	95	*	*	*	*
2018/11/03(土)	3:08	114	16:28	147	*	*	*	*	9:38	58	23:20	86	*	*	*	*
2018/11/04(日)	4:08	126	16:46	150	*	*	*	*	10:25	61	23:09	70	*	*	*	*
2018/11/05(月)	4:55	138	17:14	155	*	*	*	*	11:05	64	23:36	53	*	*	*	*
2018/11/06(火)	5:40	149	17:46	159	*	*	*	*	11:43	68	*	*	*	*	*	*
2018/11/07(水)	6:23	158	18:18	161	*	*	*	*	0:11	38	12:19	73	*	*	*	*
2018/11/08(木) 	7:06	161	18:50	160	*	*	*	*	0:48	26	12:55	79	*	*	*	*
2018/11/09(金)	7:49	160	19:20	155	*	*	*	*	1:27	20	13:30	87	*	*	*	*
2018/11/10(土)	8:34	155	19:47	148	*	*	*	*	2:07	20	14:05	96	*	*	*	*
2018/11/11(日)	9:22	148	20:05	139	*	*	*	*	2:48	24	14:39	106	*	*	*	*
2018/11/12(月)	10:18	139	20:00	130	*	*	*	*	3:31	32	15:16	114	*	*	*	*

1日に約2回、満潮と干潮が交互にやってくる。
 満月や新月のときは、干満の差が大きな「大潮」
 上弦や下弦の月のときは、干満の差が小さな「小潮」

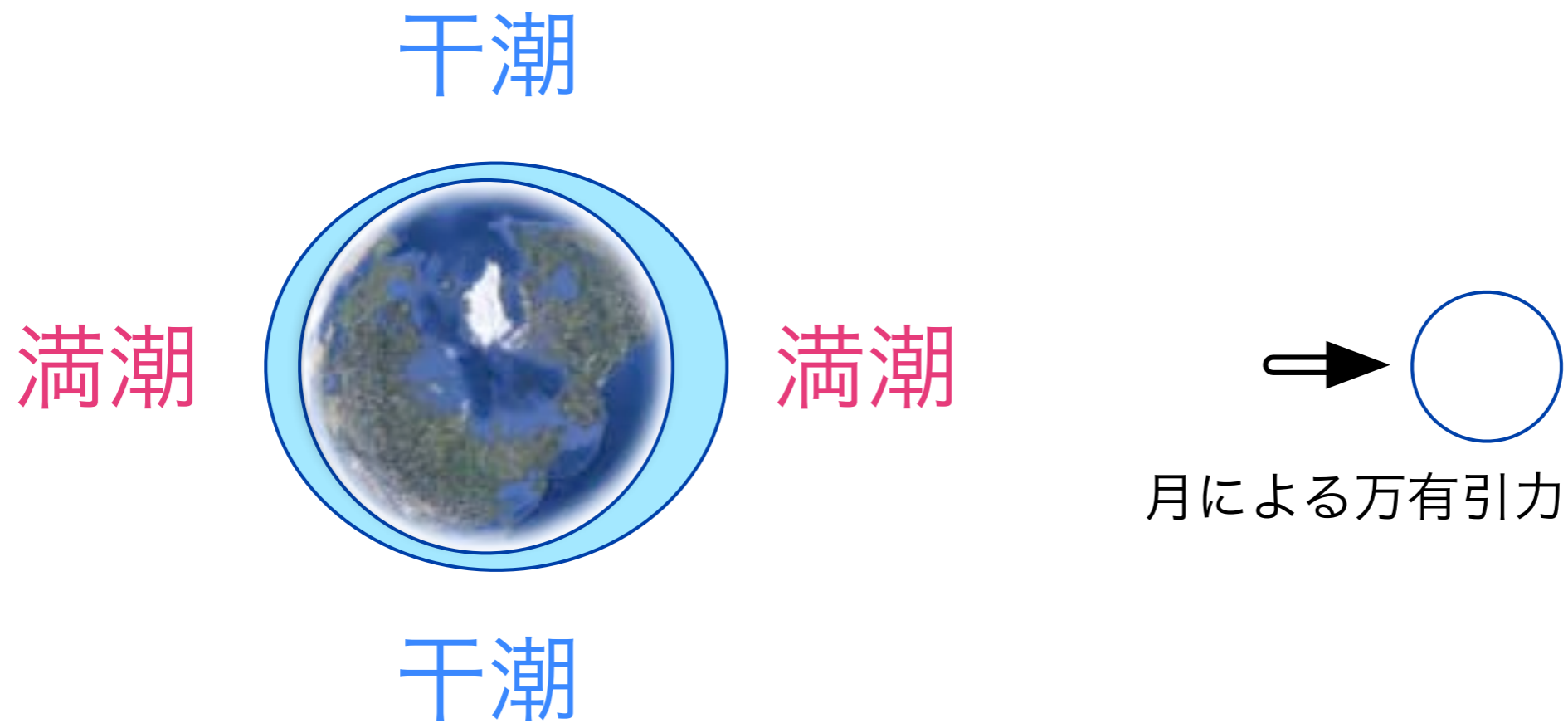
潮の満ち引きの原因は月の重力



潮の満ち引きの原因は月の重力



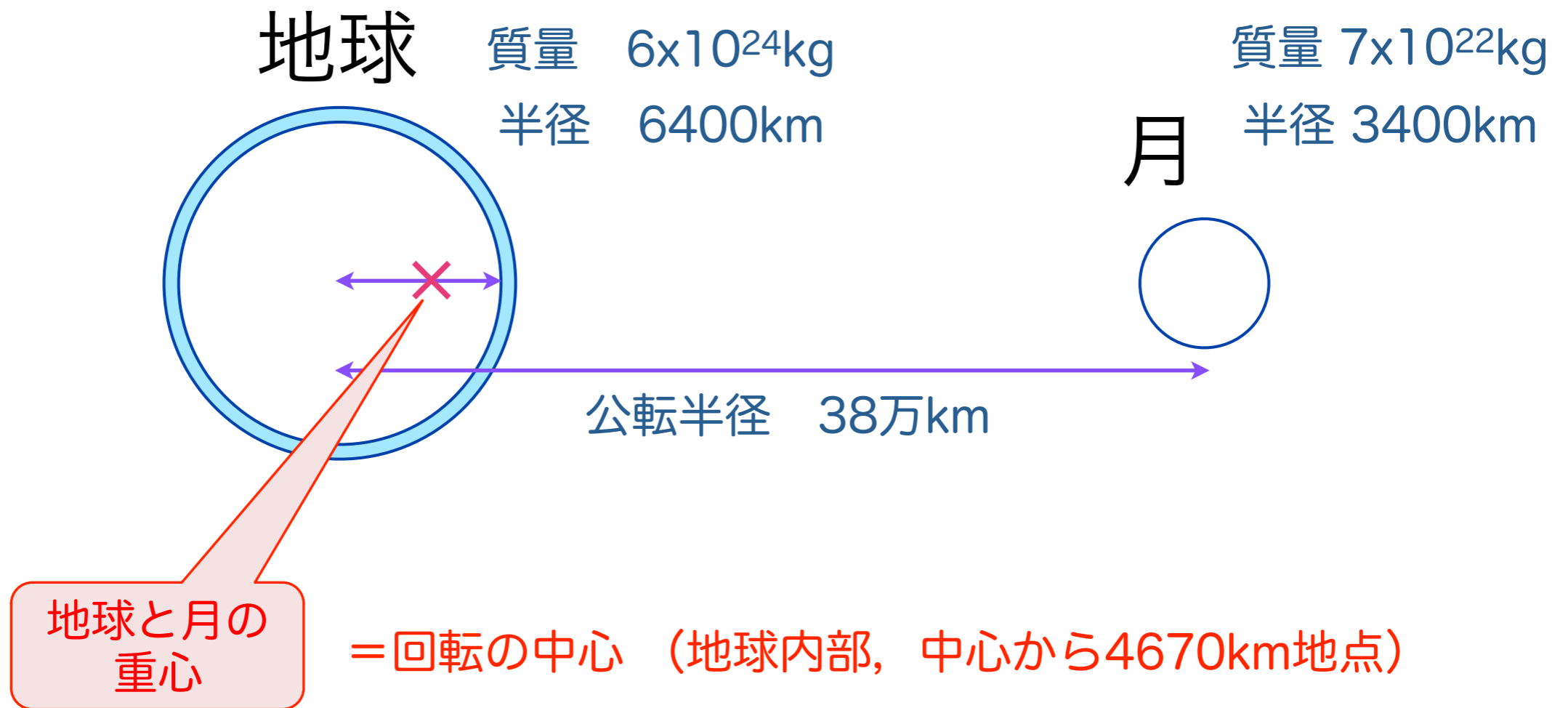
潮の満ち引きの原因は月の重力



地球の自転によって、一日に2回、潮の干満がおきる。
新月のときは、月の方向に太陽もあるので、大潮になる。

潮の満ち引きの原因は月の重力

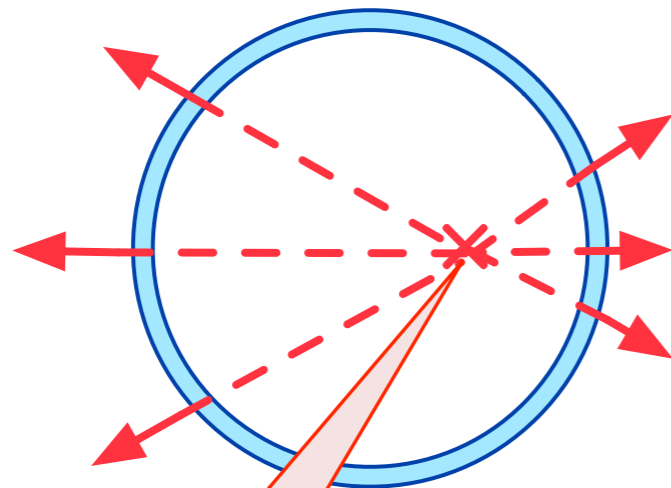
なぜ月の反対側でも満潮？



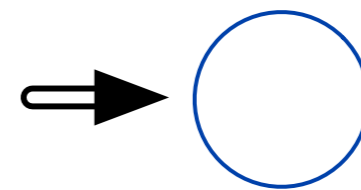
潮の満ち引きの原因は月の重力

なぜ月の反対側でも満潮？

地球

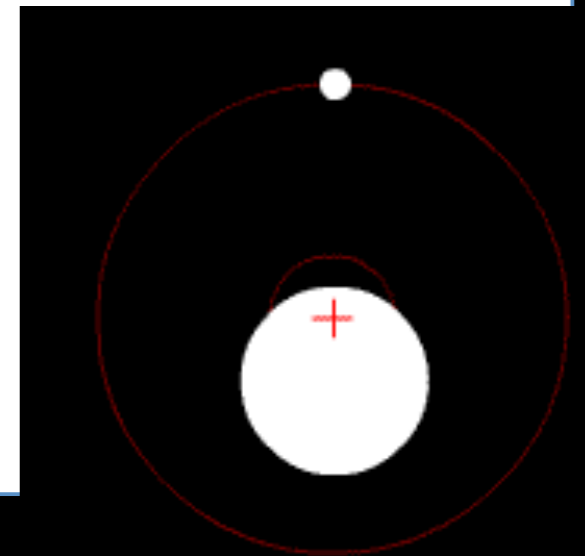


月



地球と月の
重心

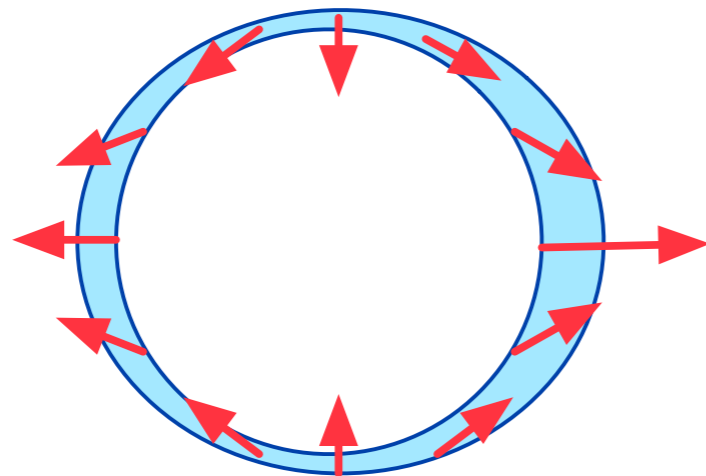
=回転の中心 (地球内部,
中心から4670km地点)



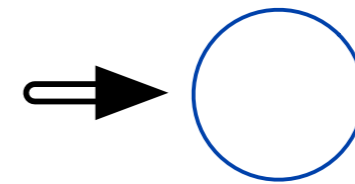
潮の満ち引きの原因は月の重力

なぜ月の反対側でも満潮？

地球

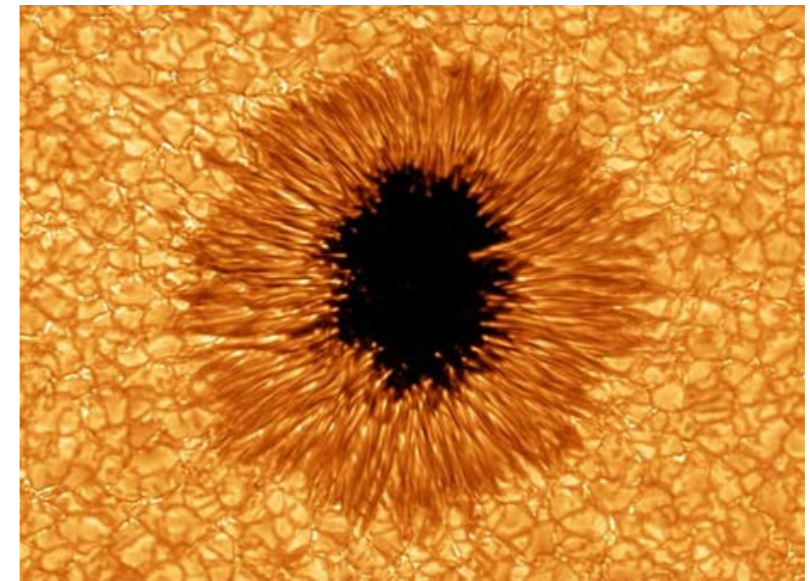
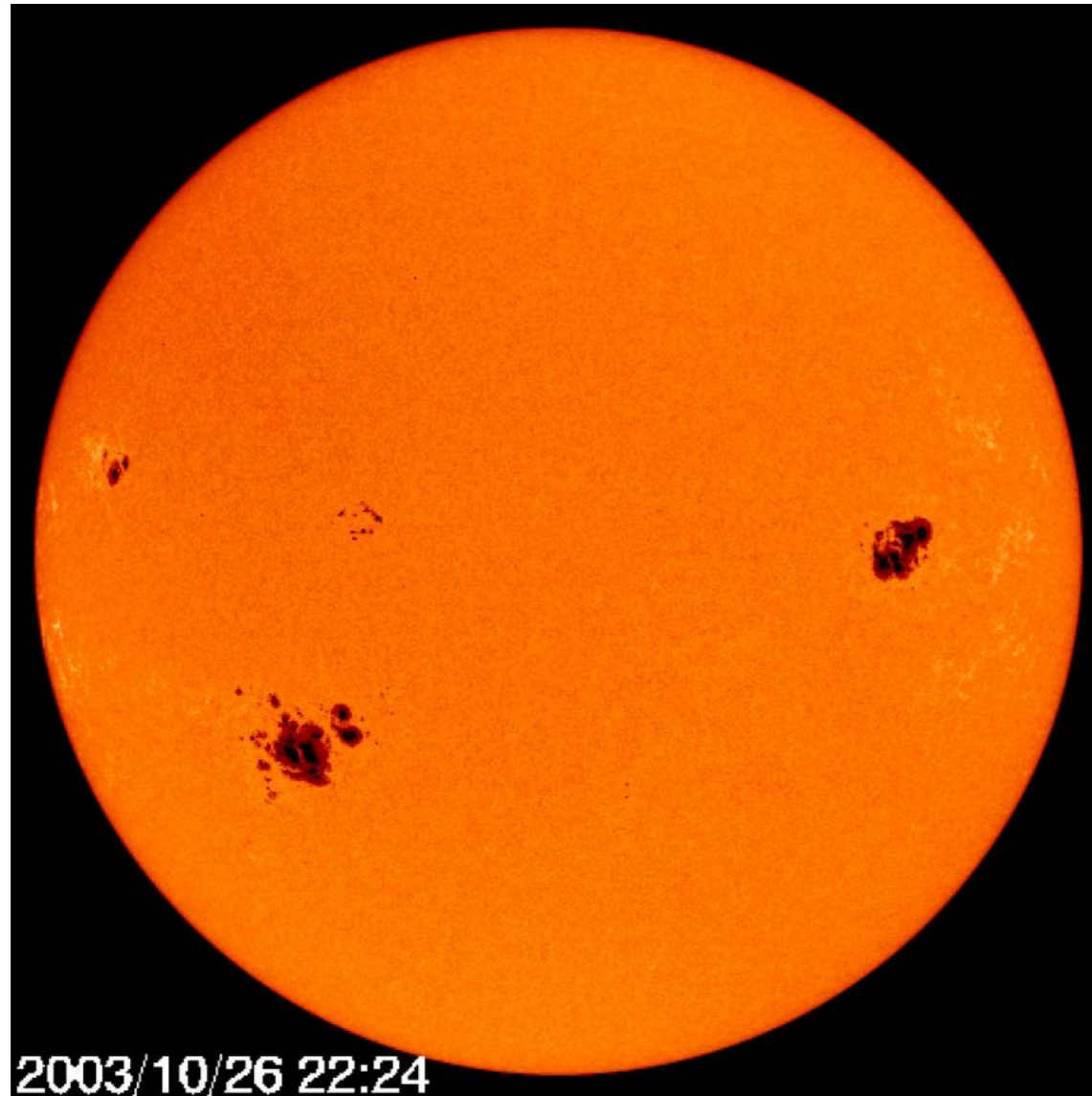


月



潮汐力+遠心力 で、月と反対側にも満潮が生じる

太陽黒点 (sunspot)



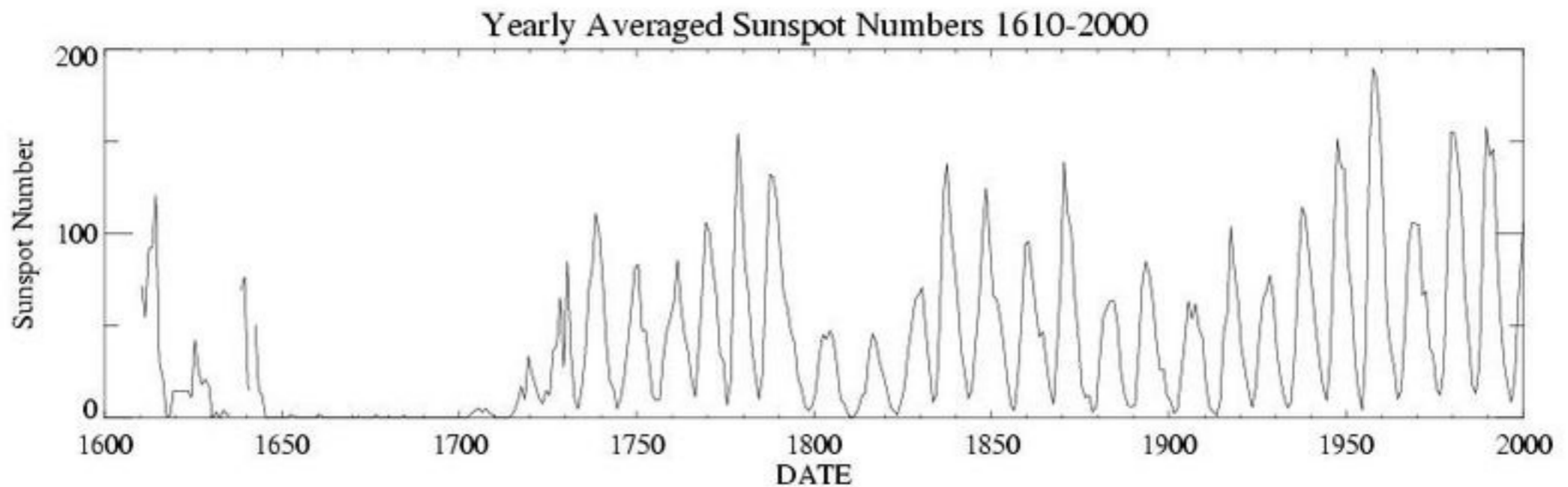
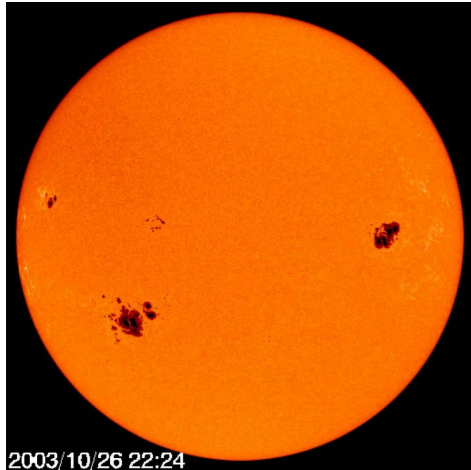
黒点でみる太陽の自転

天球上の東西を左右にあわせてあります
スケッチ：鈴木美好

黒点でみる太陽の自転(1990)

スケッチ 鈴木美好

50秒



1615 ~ 1715
マウンダー極小期

1790 ~ 1820
ダルトン極小期

小氷河期

かつて、テムズ川はよく凍り付き、人々はスケートをして楽しんだ。



Frost Fair 1694



London Bridge Frost Fair 1814

<http://janeaustensworld.wordpress.com/2009/01/>

1615 ~ 1715
マウンダー極小期

1790 ~ 1820
ダルトン極小期

SWC 宇宙天気情報センター
Japan Space Weather Information Center

NICT 情報通信研究機構

RSS 用語集 English

トピックス データ配信サービス リンク集

HOME 臨時情報 最新の宇宙天気データ 予報 宇宙天気ニュース お問い合わせ

HOME >> 最新の宇宙天気データ >> 太陽黒点情報

宇宙天気情報 BOX

無線通信 衛星運用 電力・磁気探査 GPS 航空機関係 **黒点** 27日周期 宇宙環境

小・中・大・携
最新状況
(11:23)

今日、M1.4の中規模フレアが発生しました。また、X1.6の大規模フレアが昨日発生しています。

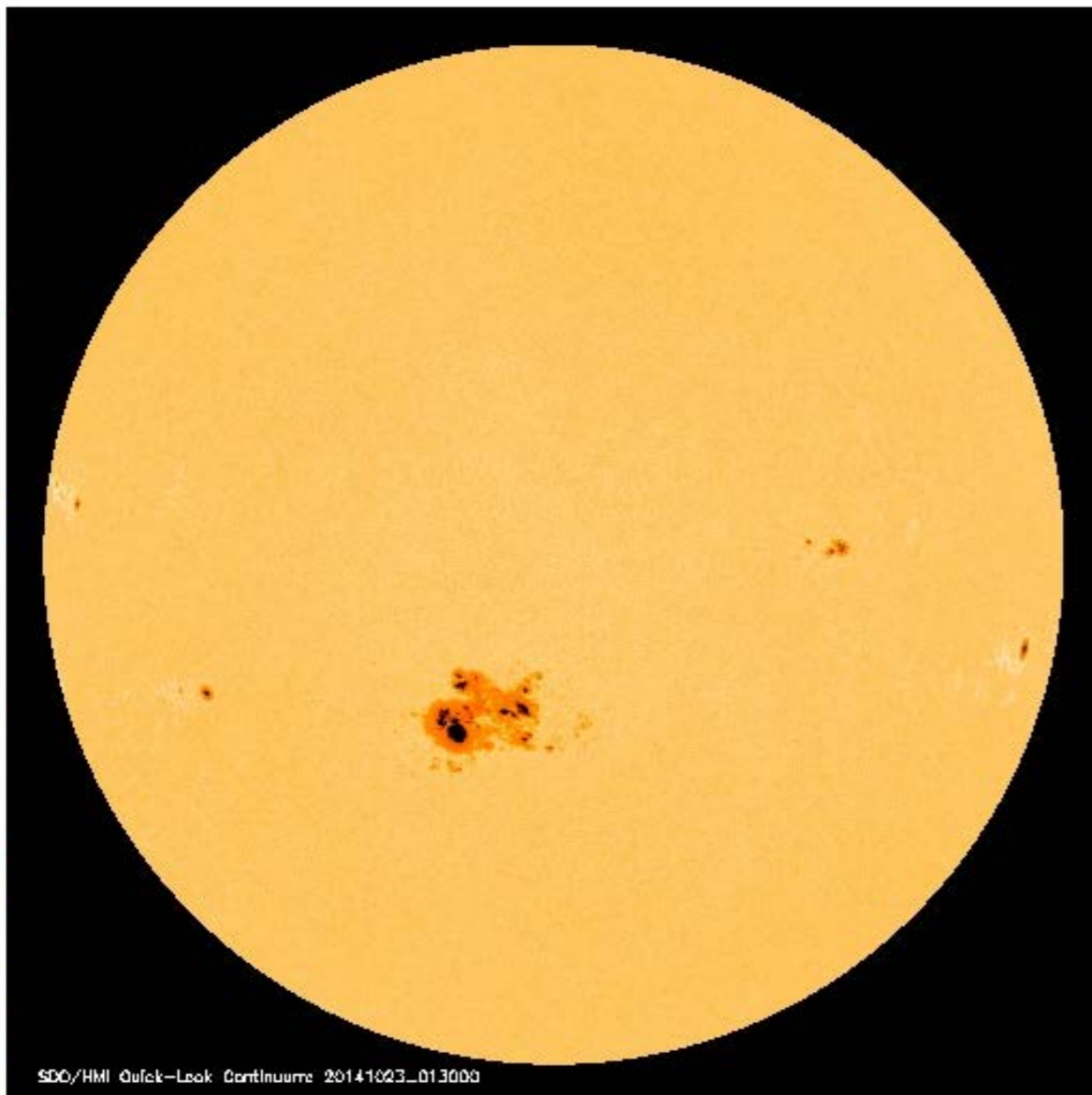
太陽風は速度、南向き磁場ともに静かです。

磁気圏は静かです。

放射線帯電子が非常に強くなっています。太陽放射線は静穏です。

黒点情報

2014/10/23 11:32:18 JST



フレア (GOES)

発生日	JST	検出
10/23	06:02	C6.5
	03:00	C9.5
	02:30	C5.5
	01:53	C5.8
	00:51	M1.4
10/22	23:02	X1.6
	21:00	C3.2
	18:06	C4.6
	16:38	C3.3

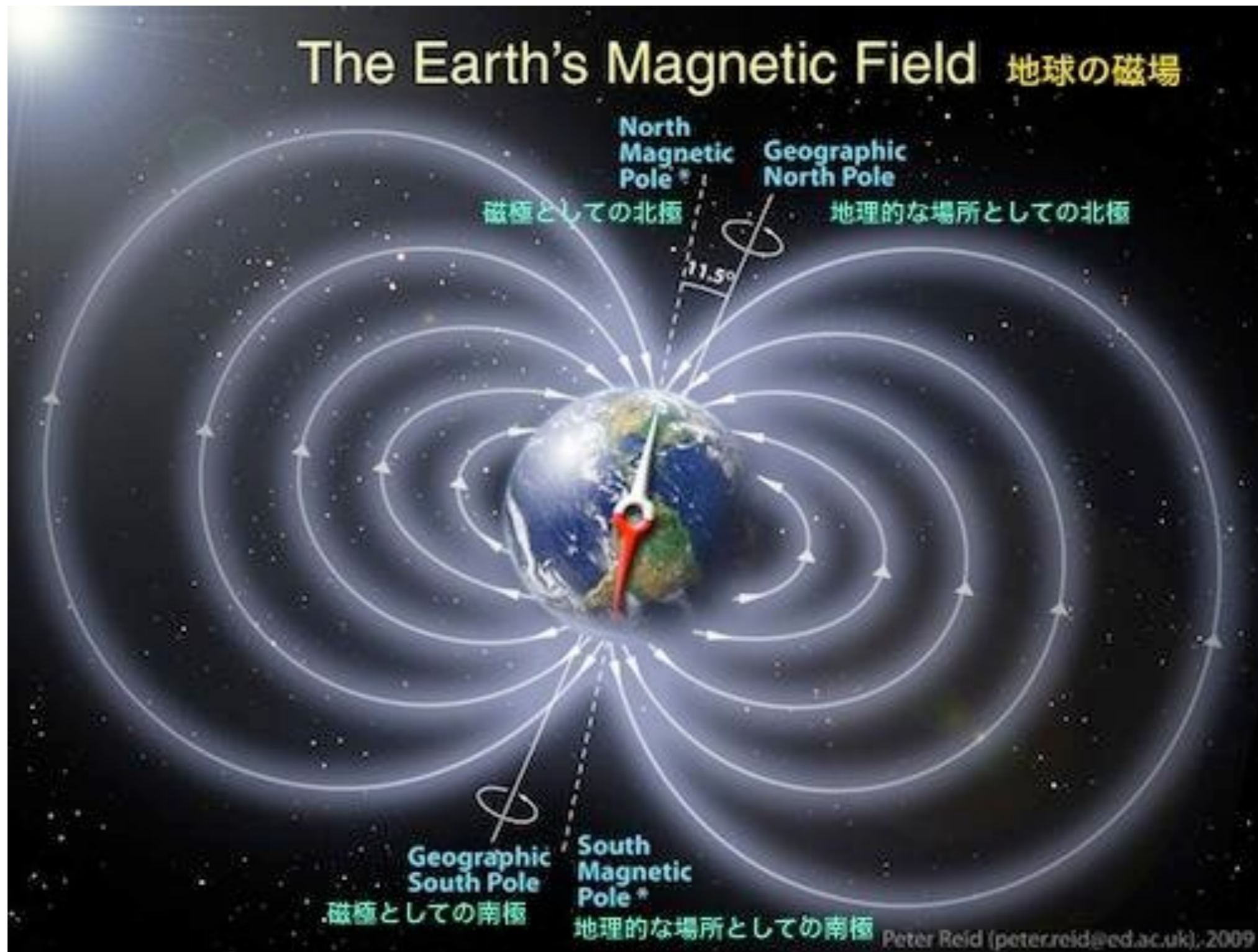
SDO/HMI Quik-Look Continuum 20141023_013000

SDO衛星のHMIカメラによる太陽黒点 ©SDO (NASA)

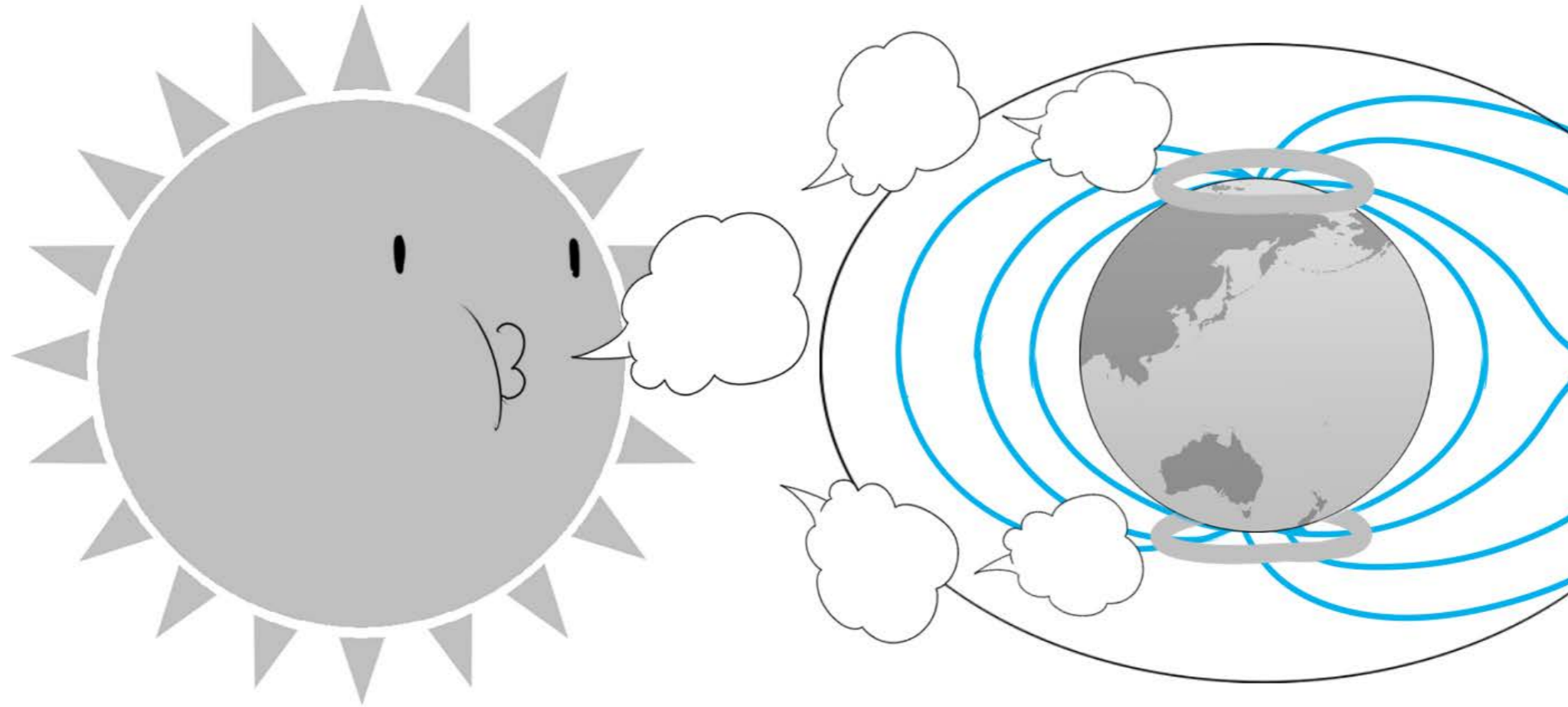
「日食グラス」で見ることが
できます。絶対に裸眼で太陽
を見てはいけません。



地球磁場とオーロラ



地球磁場とオーロラ





Aurora, Stars, Meteor, Lake, Alaska

<http://apod.nasa.gov/apod/ap071009.html>



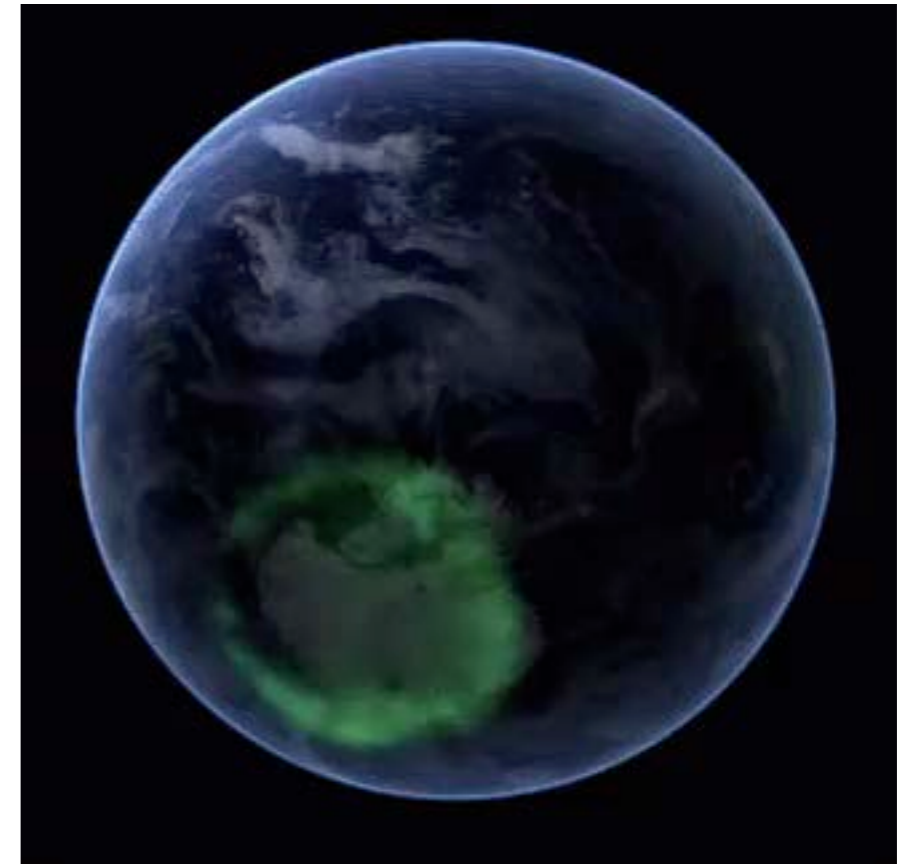
Northern Lights

<http://apod.nasa.gov/apod/ap040730.html>

Astronomy Picture of the Day



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Polarlicht_2.jpg



[http://en.wikipedia.org/wiki/Aurora_\(astronomy\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Aurora_(astronomy))

The Aurora

<http://www.youtube.com/watch?v=sBWPCvdv8Bk>

1:55

オーロラが見られることで有名な場所

N64.8度

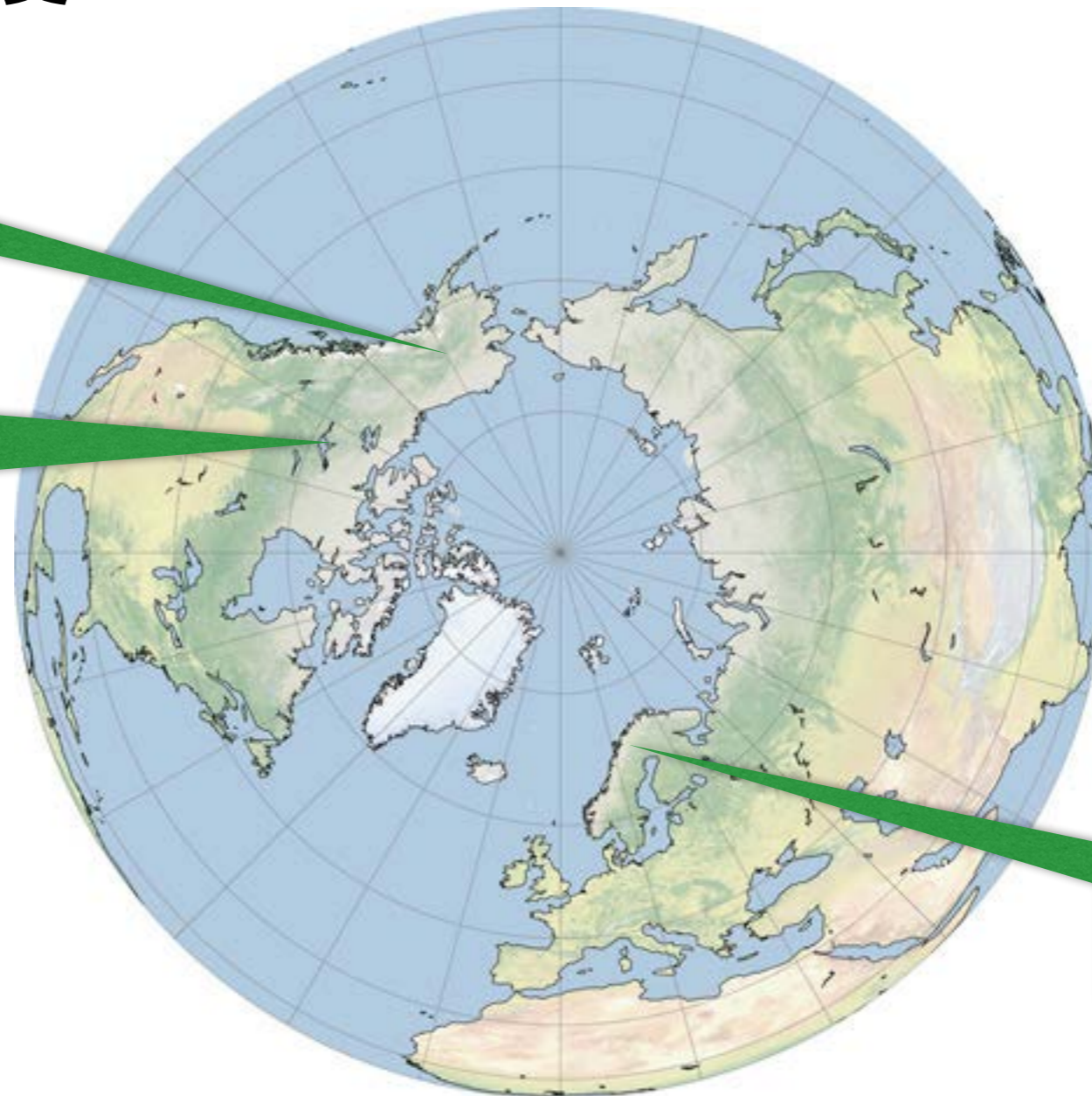
米アラスカ
Fairbanks

カナダ
Yellowknife

N62.4度

N67.5度

スウェーデン
Kiruna



巨大な太陽フレアで各地にオーロラ発生

Sun Flare made Aurora

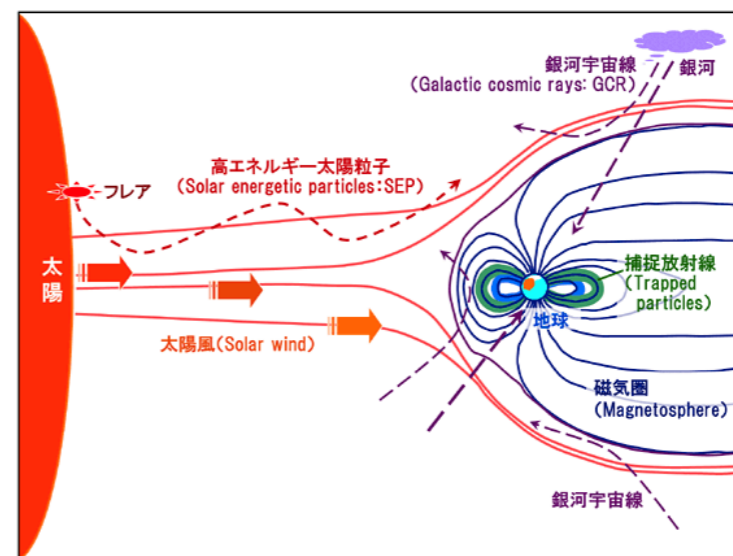
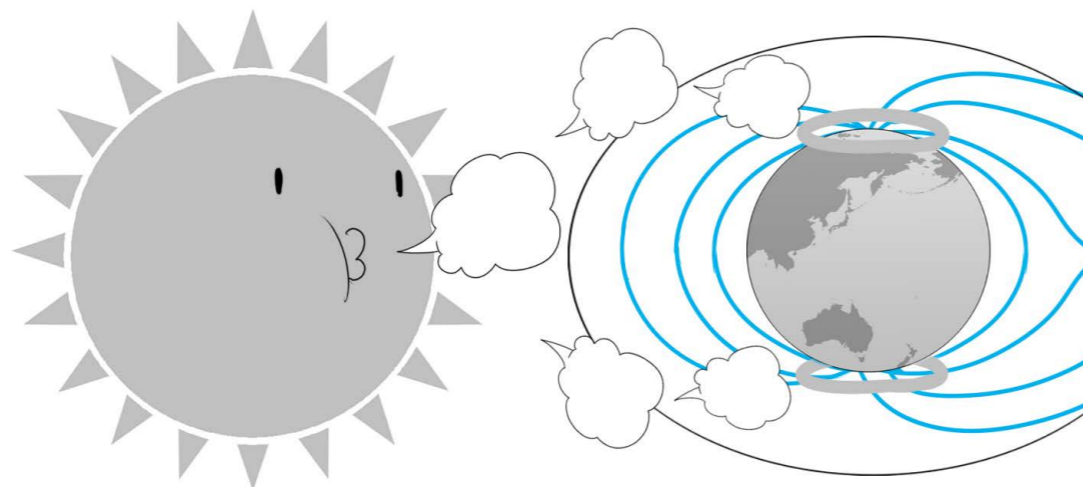
9月6日のX9.3クラスに続き、9月11日にはX8.2のフレアが発生した。巨大な太陽フレア由来と考えられるオーロラが、低緯度地帯でも観測された。



←南極 昭和基地 ↓ニュージーランド



http://swnews.jp/2017/swnews_1709081100.html

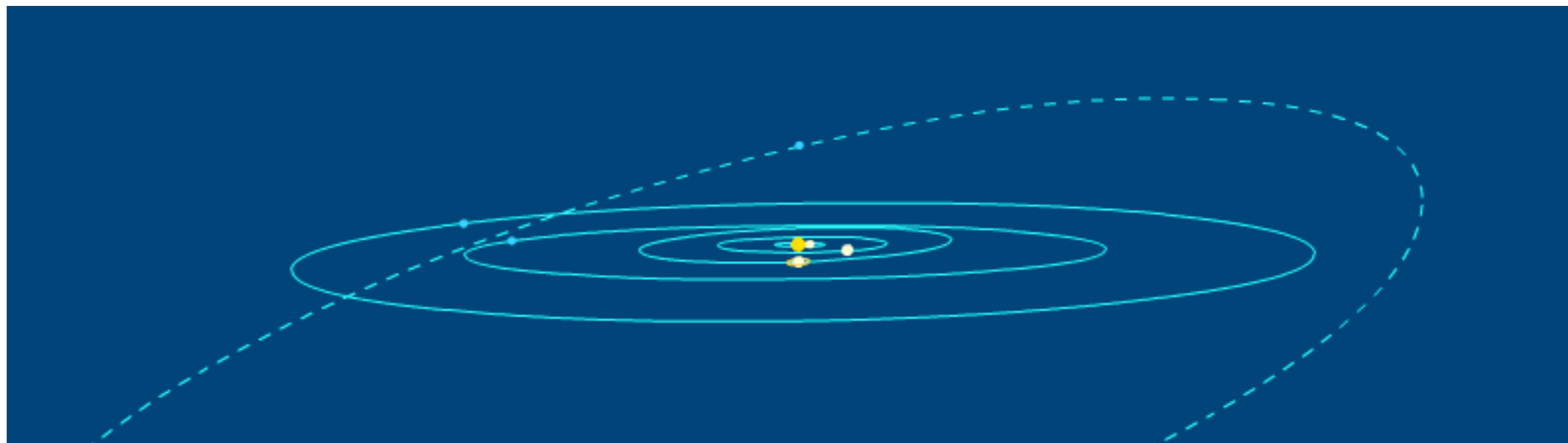
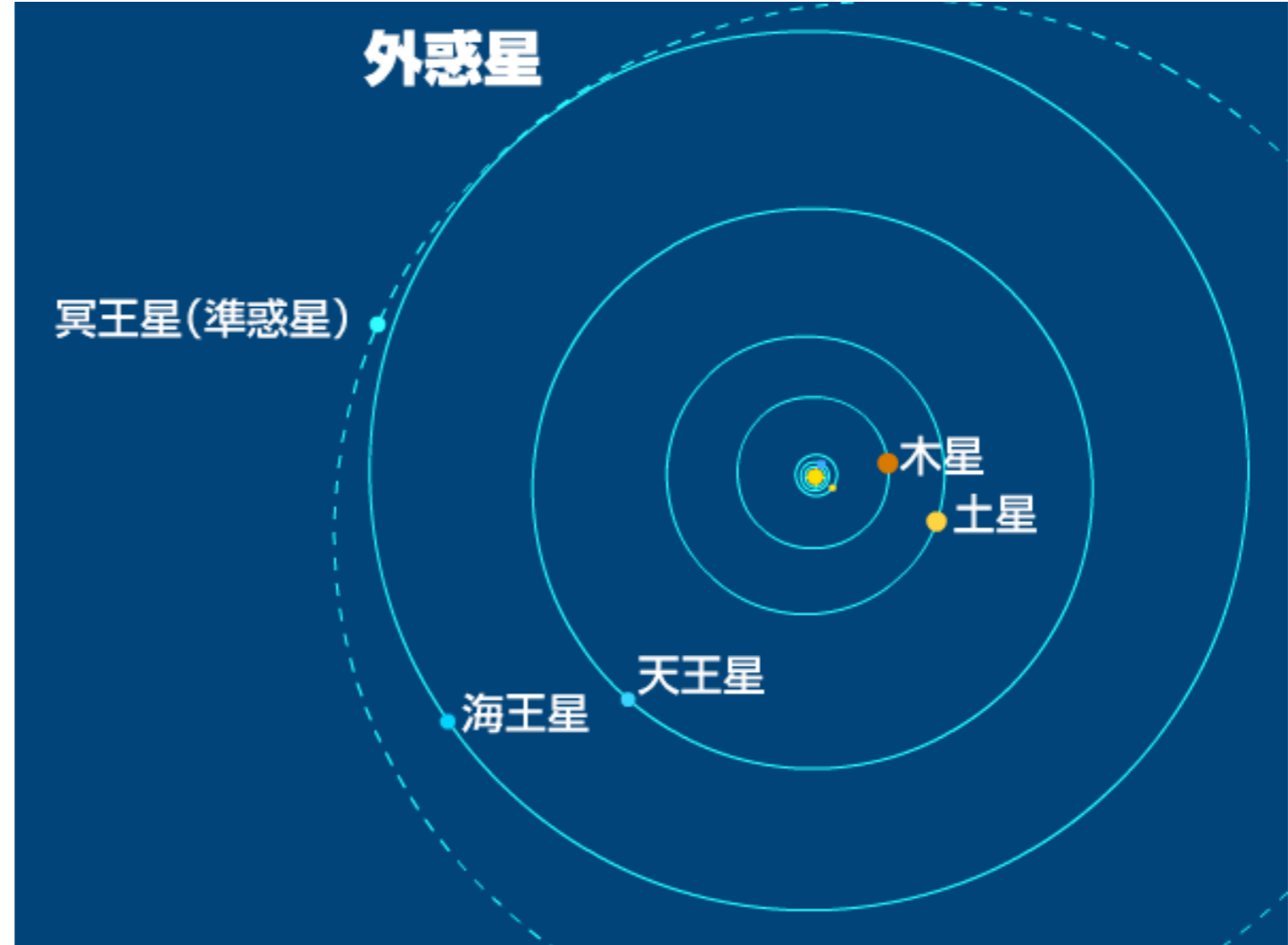
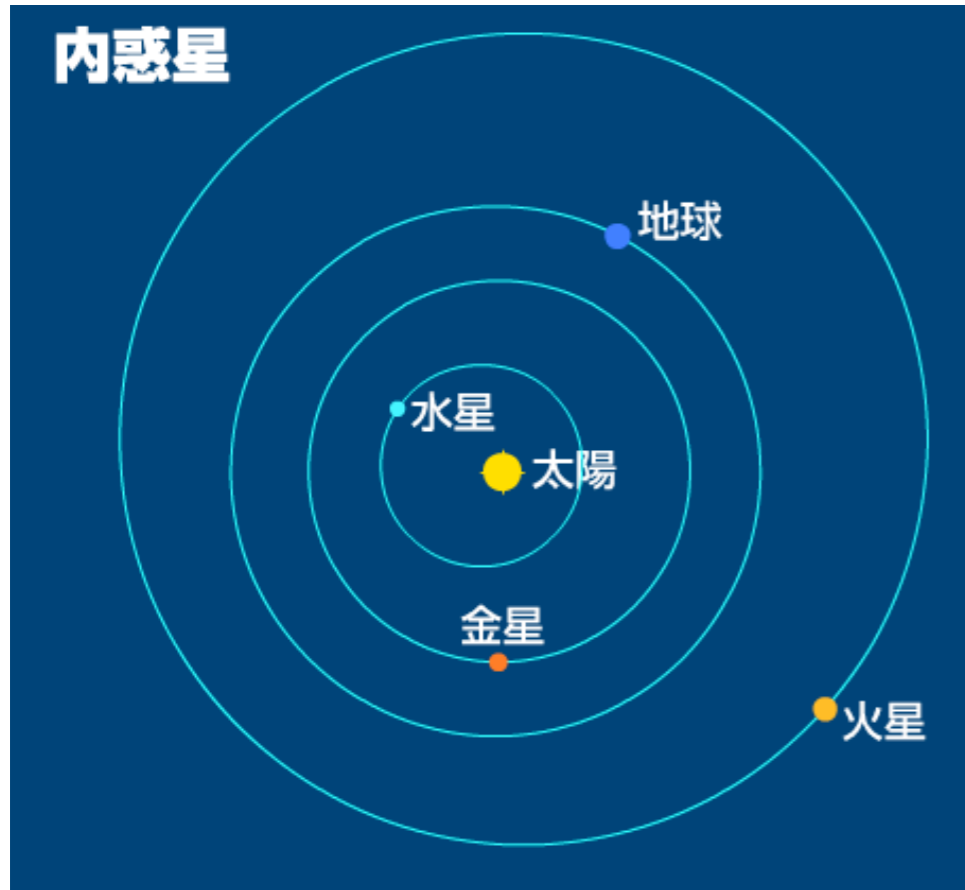


太陽系

Our Solar System



1. 宇宙の階層構造 >> 1.2 太陽系



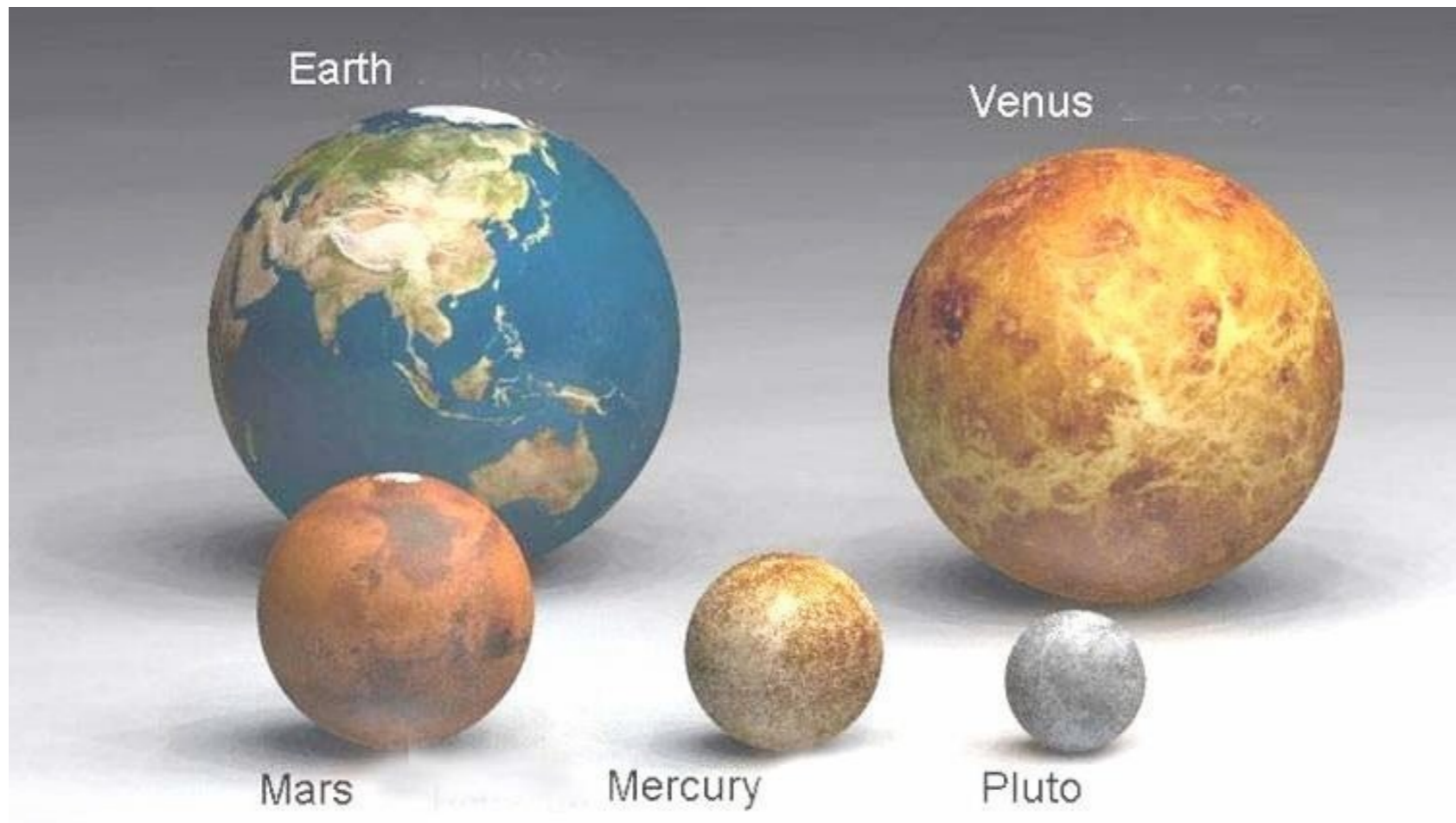
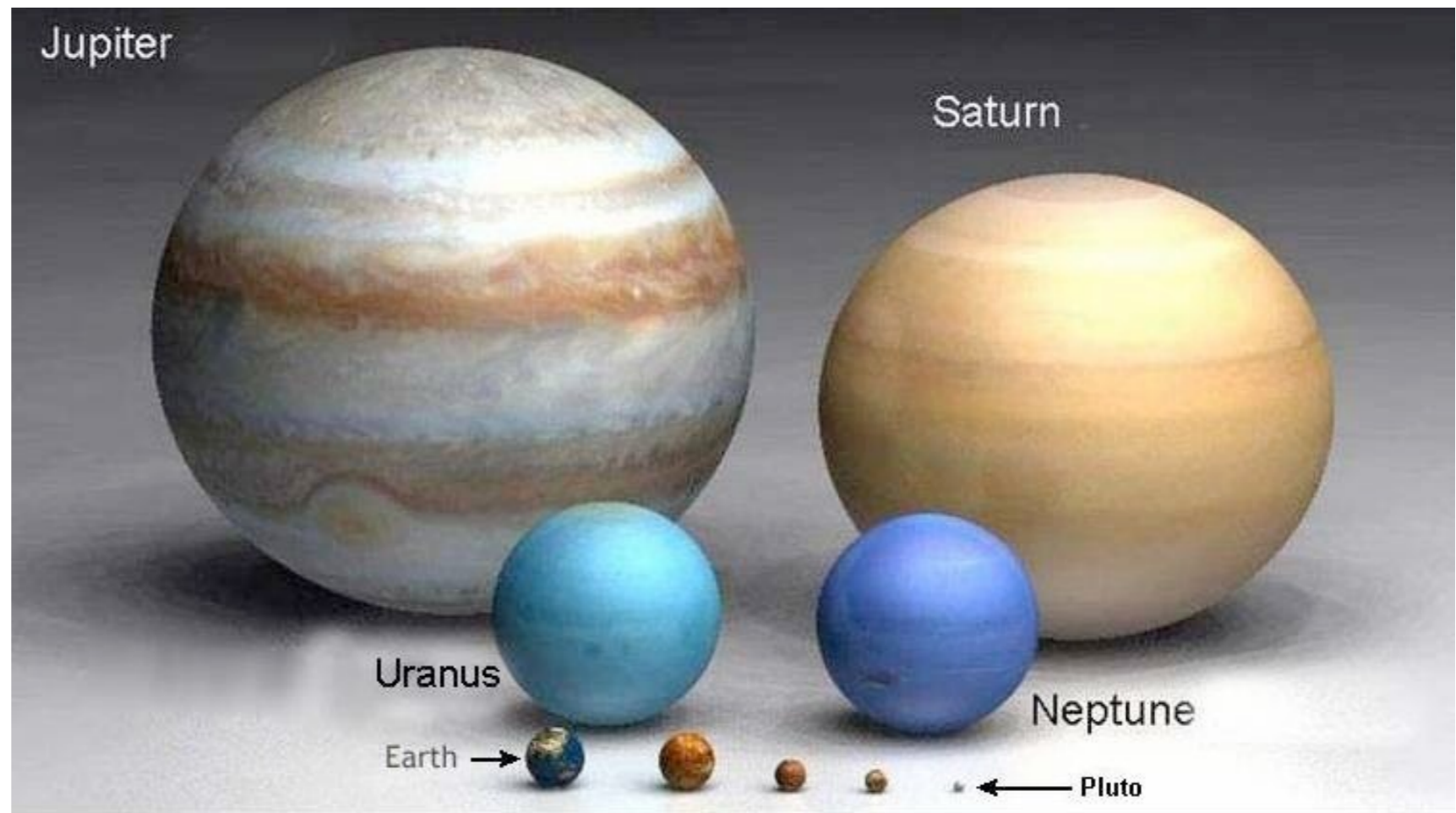
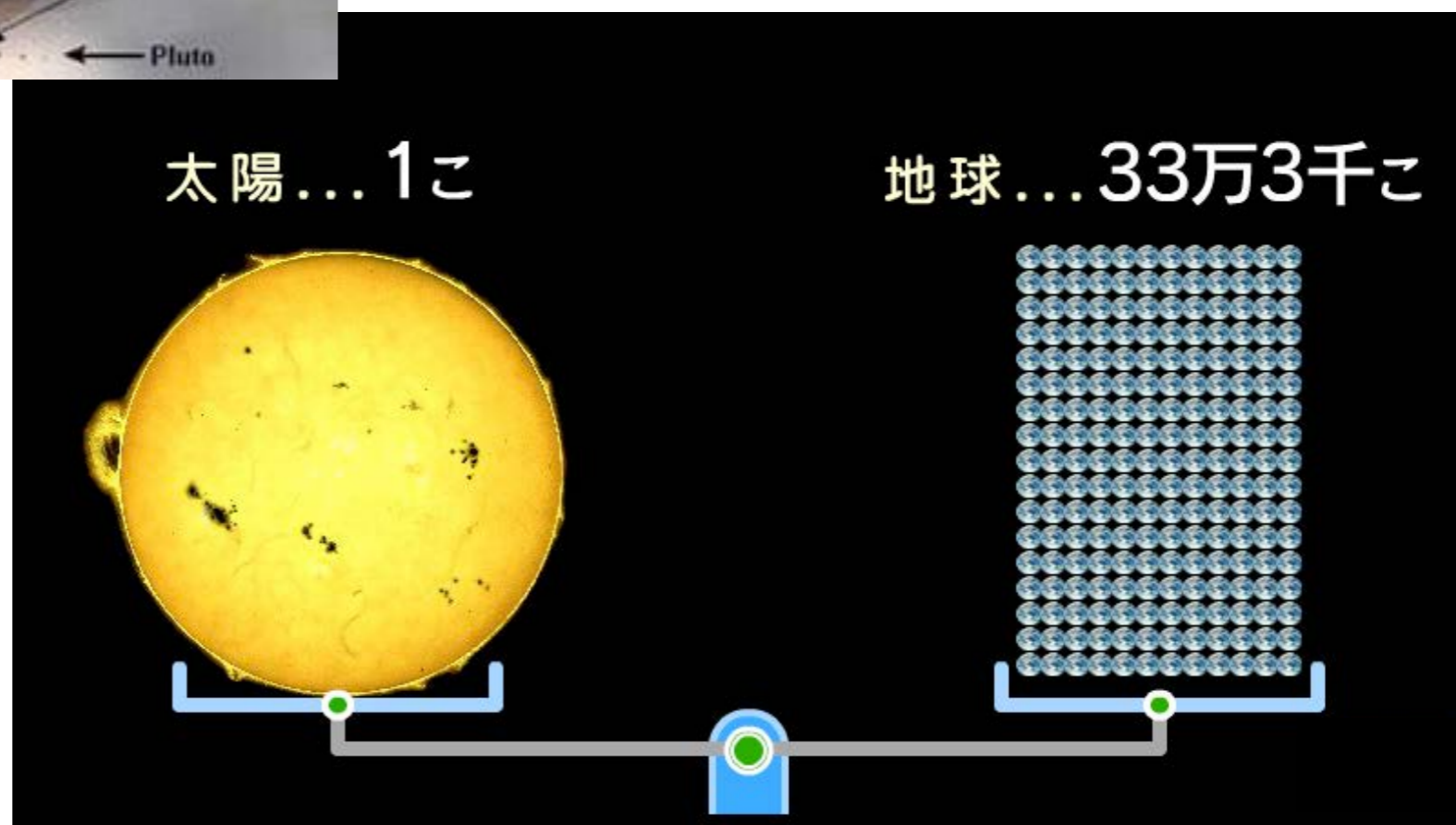
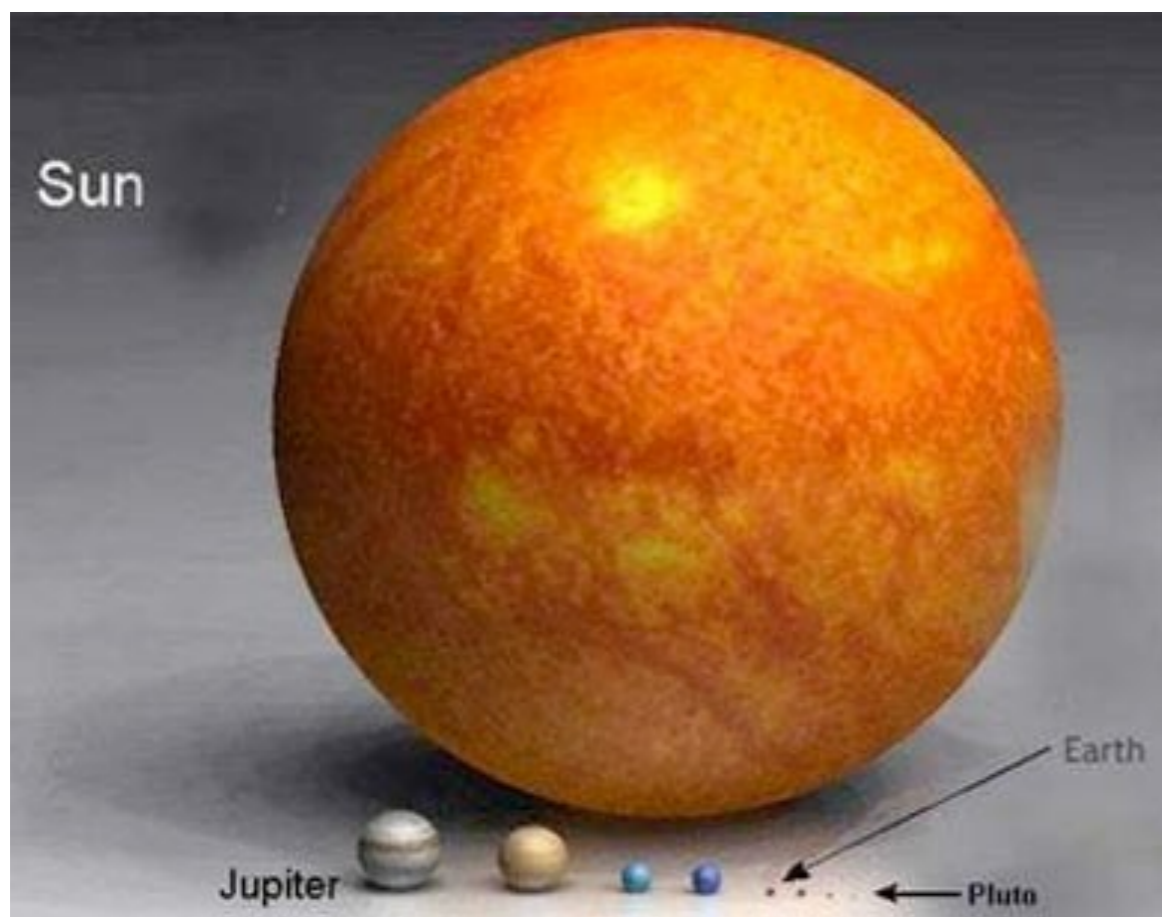


図 4: 太陽の質量は、太陽系全体の 99.85% を占めている。



Gustav Holst

A snippet of musical notation on a five-line staff, showing a treble clef, a key signature of one sharp (F#), and a 3/2 time signature. The notes are: G4, A4, B4, C5, B4, A4, G4.

BIOGRAPHY COMPOSITIONS JOURNAL RECORDINGS BIBLIOGRAPHY | EVENTS FAQ FORUM LINKS

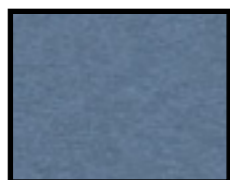
The Gustav Holst Website
BY KENRIC TAYLOR



Gustav Holst
1874–1934

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

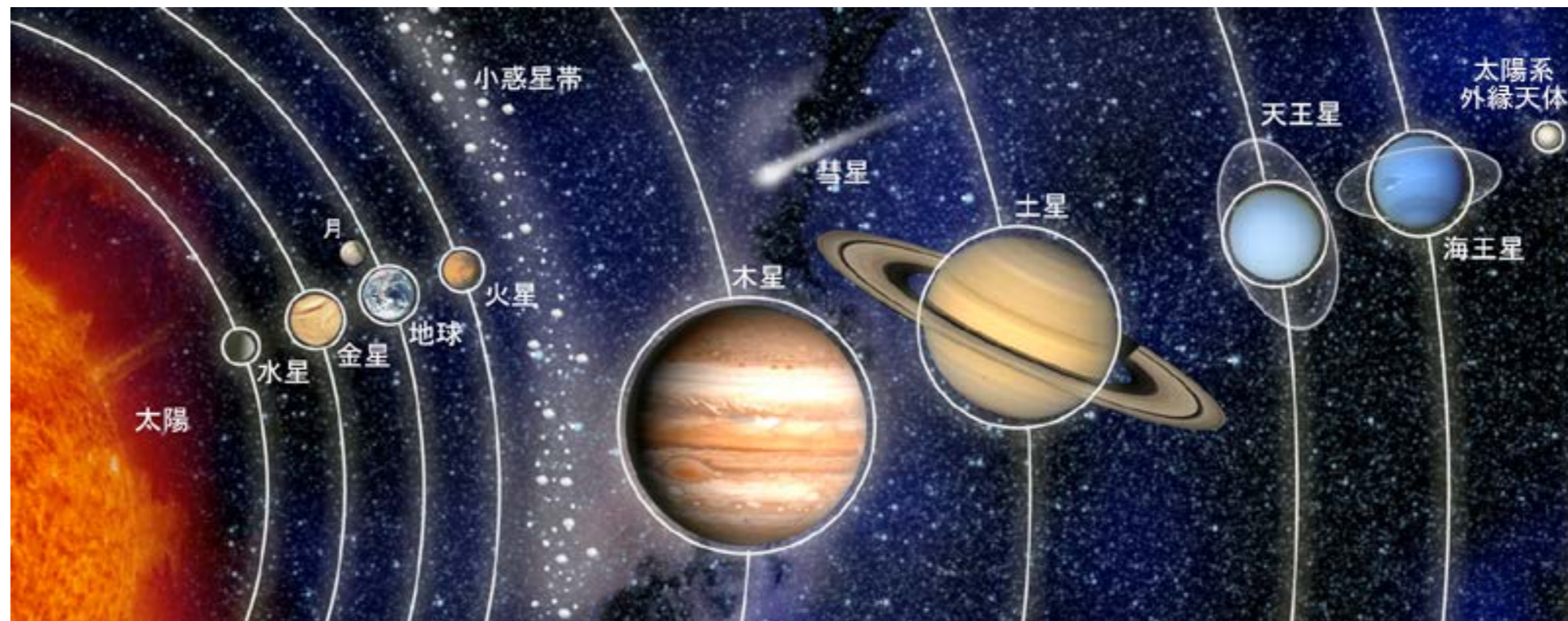
- 1 火星、戦争をもたらす者
- 2 金星、平和をもたらす者
- 3 水星、翼のある使者
- 4 **木星、快樂をもたらす者**
- 5 土星、老いをもたらす者
- 6 天王星、魔術師
- 7 海王星、神秘主義者



Leonard Slatkin: Philharmonia Orchestra

【2006年】

冥王星は、なぜ惑星から外されたか？



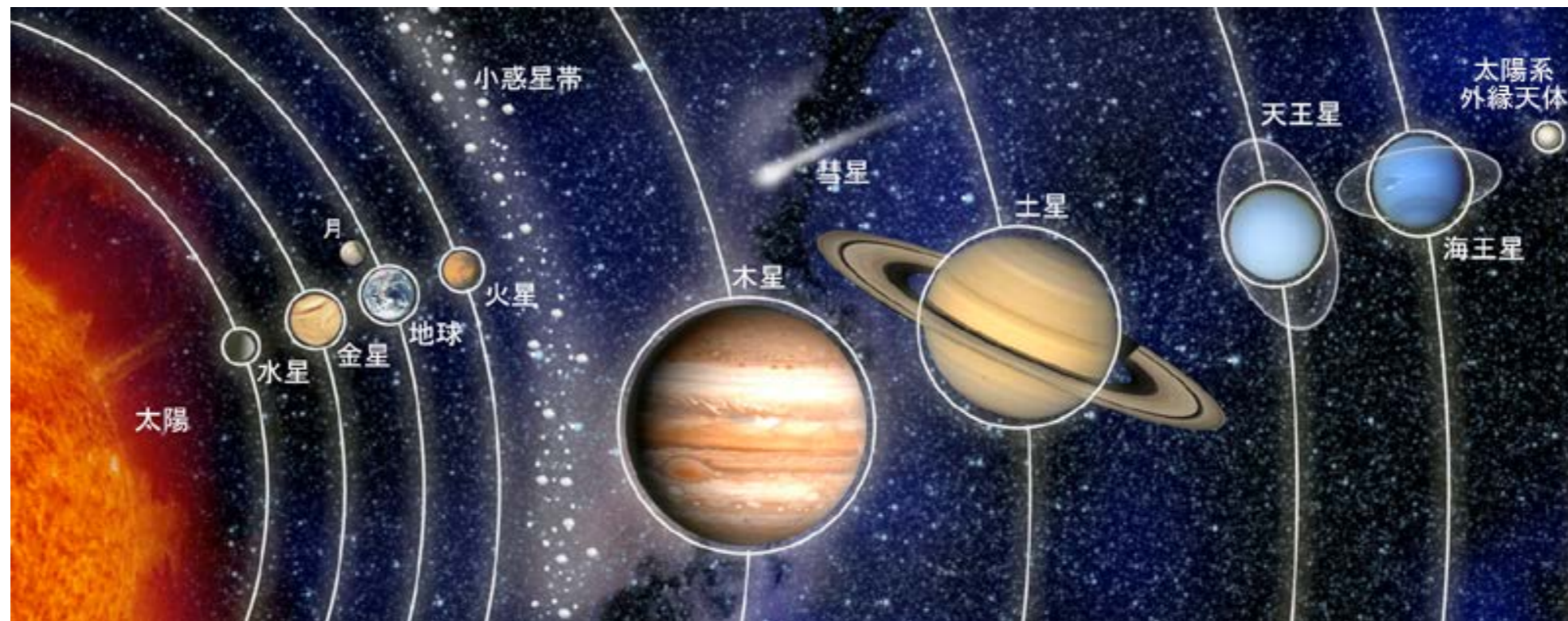
水，金，地，火，木，土，天，海，冥



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？



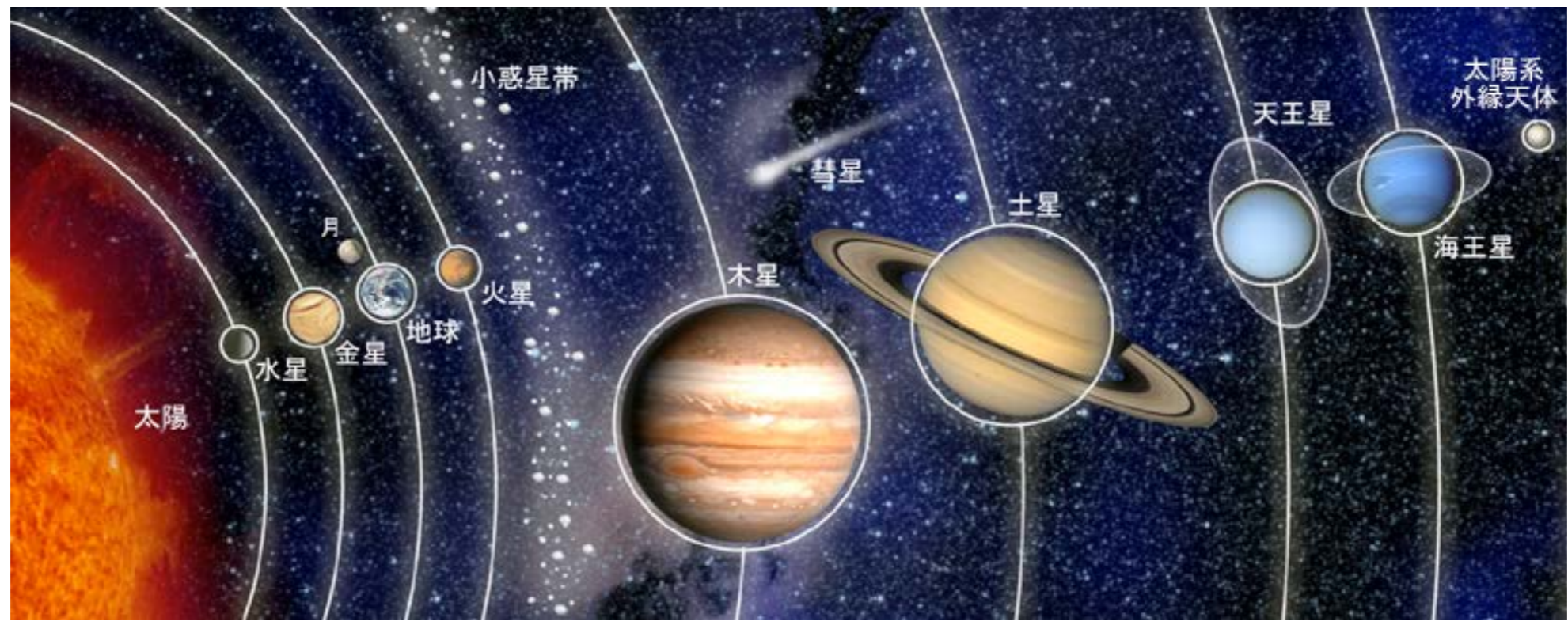
水, 金, 地, 火, 木, 土, 天, 海, ~~冥~~
ケレス

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

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。

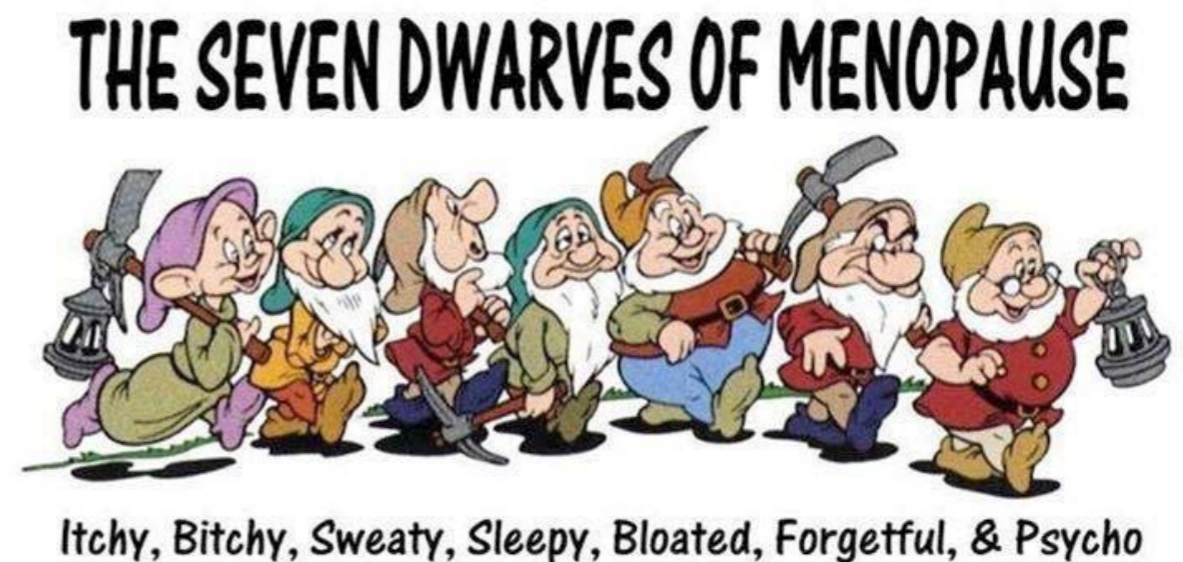
冥王星はアメリカ人にとって親しみのある惑星だったのである。しかし、学問的な議論には心理的な反対はかなわなかった。冥王星が準惑星 (dwarf) に降格することが決まると、ディズニー社は「プルートは白雪姫の『七人の小人 (dwarf)』たちとともにがんばる」との声明をだした。



1928年



1930年



すいせい

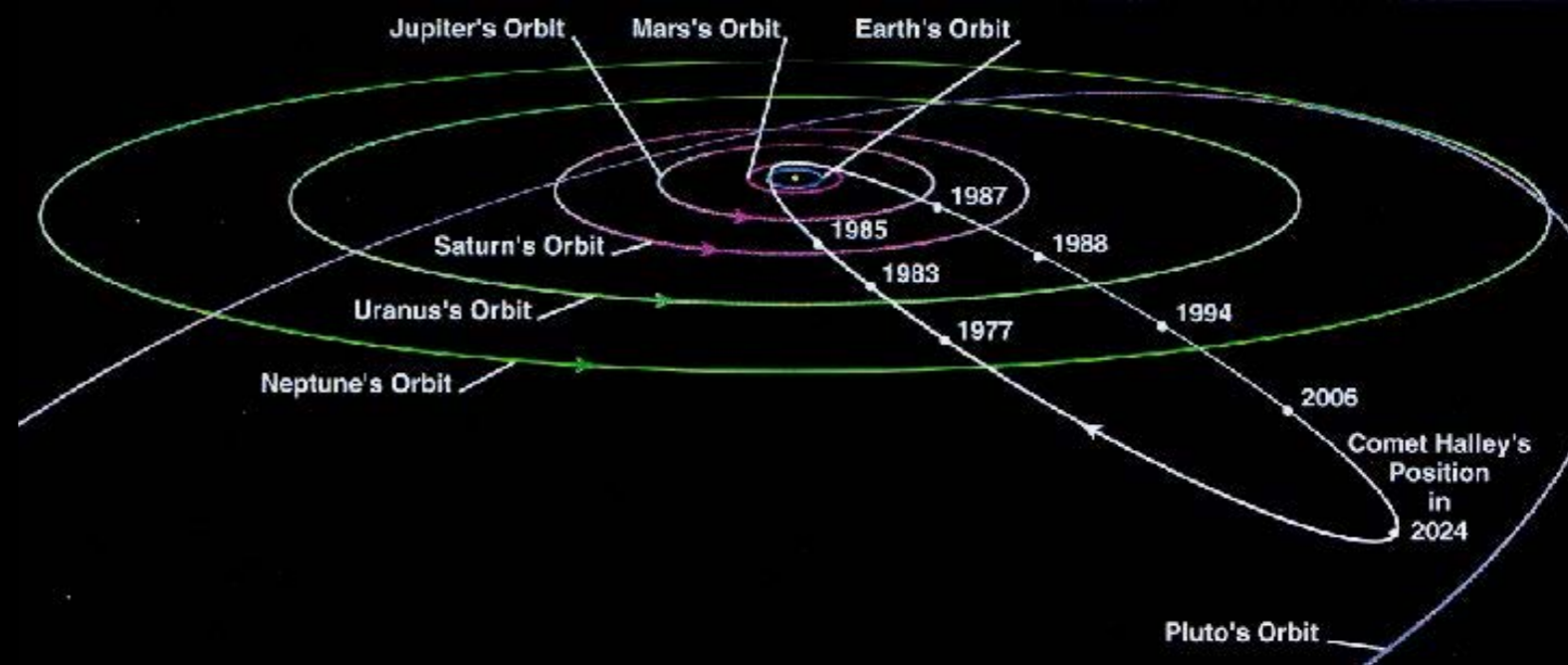
彗星

= ほうき星



すいせい ハレー彗星

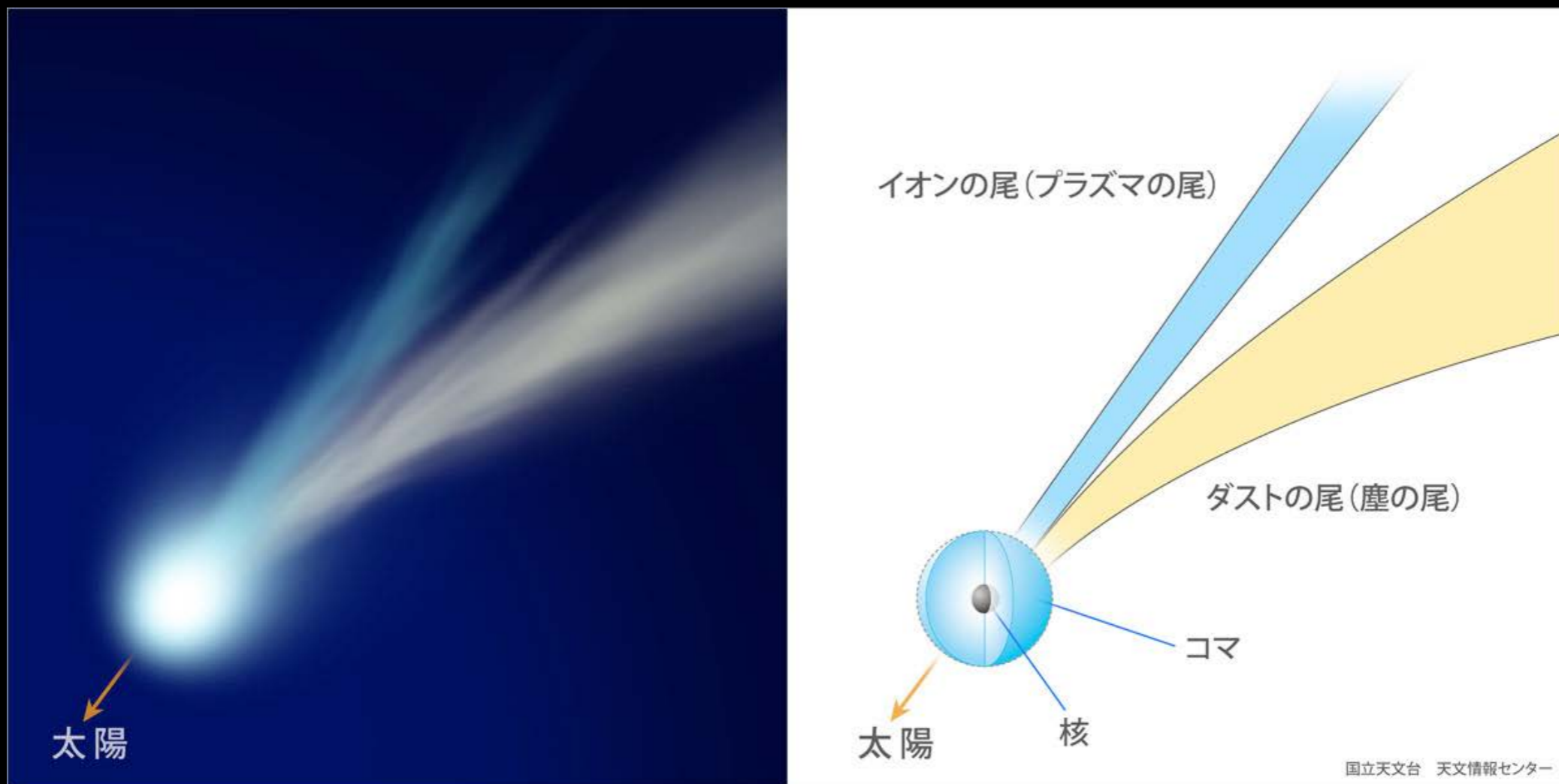
76年に一度，地球に近づく。
前回は1985年，次は2061年



すいせい

彗星（ほうき星）とは

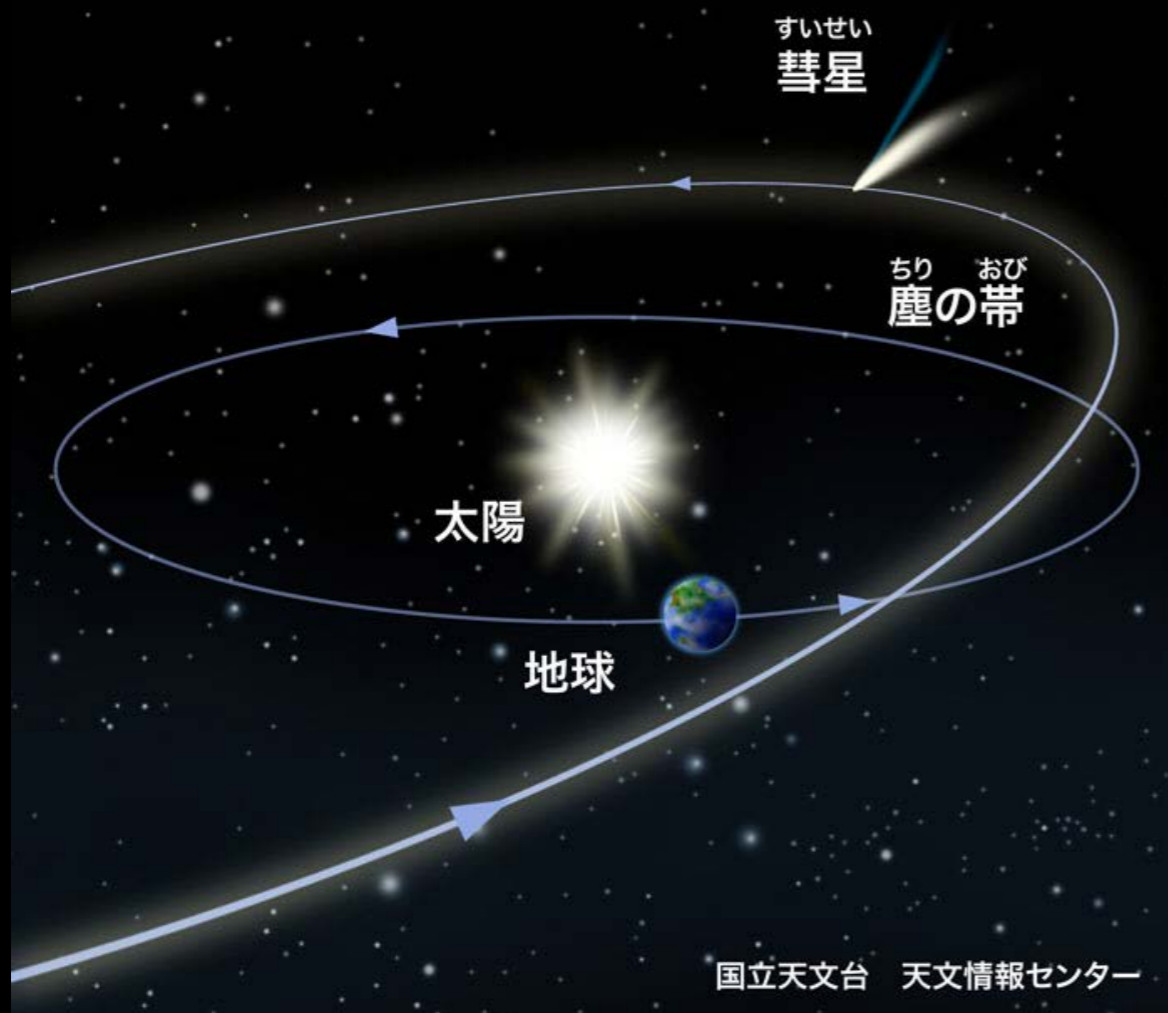
- ★太陽のまわりを動く大きさが数キロメートルから数十キロメートルのとても小さな天体。
- ★およそ8割が水（氷の状態）で、残りはガス・ちり。
- ★太陽に近づくと大きな尾ができる



すいせい

彗星の通ったところは

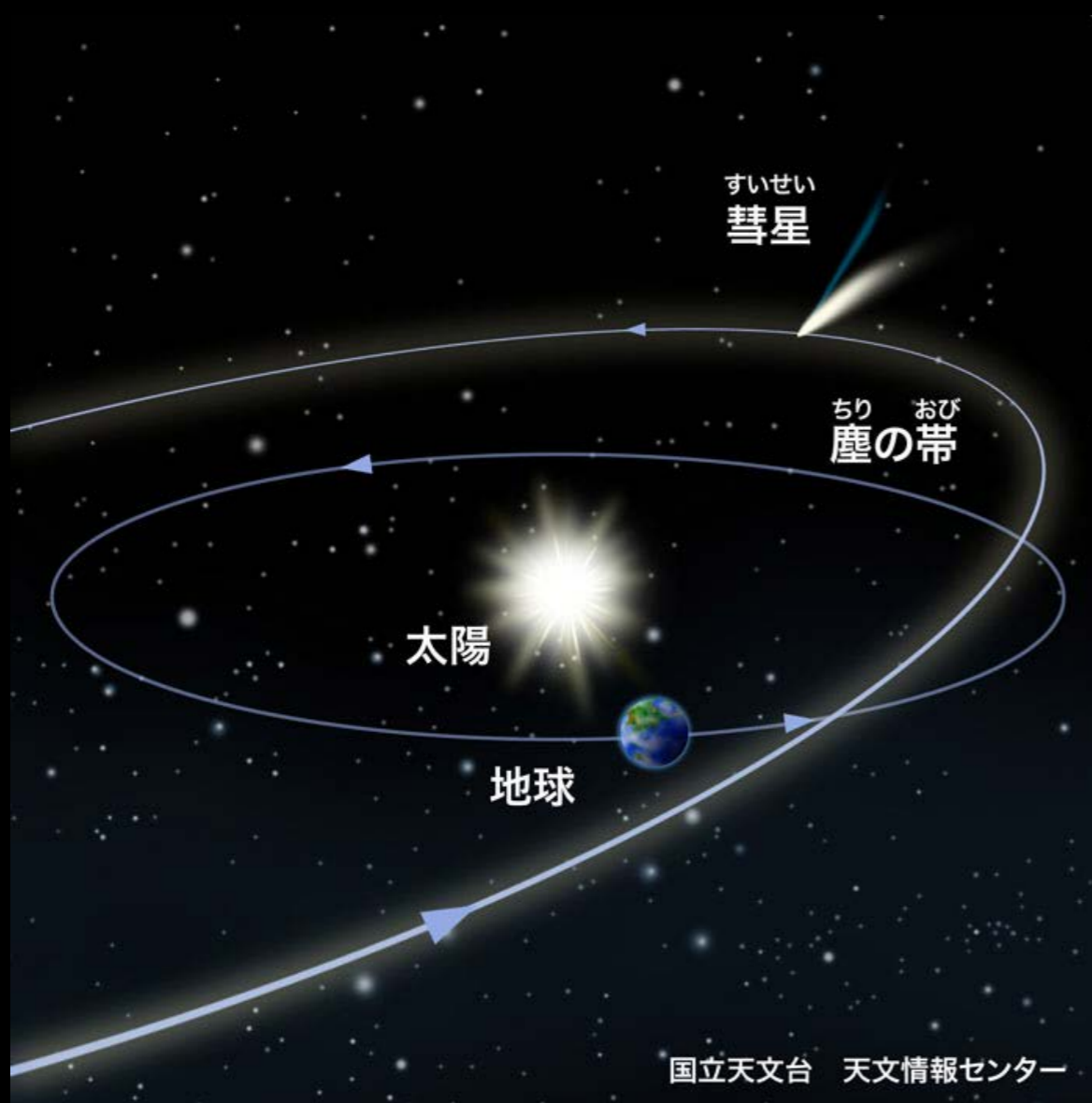
ちり・石がたくさん残る



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30個以上

★2018年は新月で☾



12月14日～15日

ふたご座流星群

★2018年は好条件○

★1時間に50個！



天の川銀河 (Milky Way, our galaxy)

THE MILKY WAY

NATIONAL GEOGRAPHIC

Home galaxy of Earth, the Milky Way is a spiral-shaped system of a few hundred billion stars. Bright regions of recently formed stars highlight its arms, while older stars explode or shed their outer layers as beautiful planetary nebulae, then fade away and die. A thick swarm of orange and red stars marks the galactic bulge, encompassing the star-packed galactic center. At its core may lie a black hole, a region so dense that not even light can escape its gravitational pull. All objects in the Milky Way orbit the galactic center, much like planets in Earth's solar system revolve around the sun. But the scale is staggering: Light from a star at one edge of the galaxy takes about 100,000 years to reach the opposite side.



GUIDE TO THE GALAXY

- 1 Far beyond the galactic disk, yet drawn by its gravity, some stars and planetary nebulae wander the galaxy's halo. Regions of dark matter—regions not felt through its gravitational effects—extend beyond that.
- 2 Thin clouds of interstellar dust block much of our night sky view of the Milky Way, which from our position in the galactic disk appears as a hazy band of light. Infrared satellites can see through the dust to reveal the galaxy's structure.
- 3 Earth's orbit around the sun lies at a skewed angle to the galactic plane.



A TURBULENT HEART

- 1 A graph based on a radio survey reveals the whirlpool motion of molecular gas in the inner part of our galaxy, gas swirling away from Earth (top left) and toward Earth (bottom right). The densest gas appears white; less dense, blue.
- 2 Massive amounts of orange are released near the center of the Milky Way, producing

This computer-generated image of the Milky Way—our perspective of a 3-D model newly compiled for NATIONAL GEOGRAPHIC—incorporates the actual positions of hundreds of thousands of stars and nebulae.

- Interstellar dust
- Interstellar gas and dust
- Galactic
- Thinner star regions
- Star dust
- Galactic bulge or center
- Star ring region

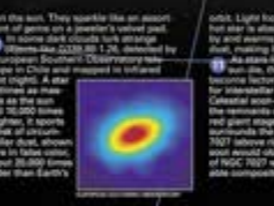


PLANETARY NEBULA NGC 9

Small, hot stars, which will cool and fade over time, come to their stellar ends, shedding their outer layers, which expand outward in opposite directions, like exhaust from a car's tailpipe. The ejected gas and dust form a glowing shell, known as a planetary nebula. The ejected gas and dust form a glowing shell, known as a planetary nebula. The ejected gas and dust form a glowing shell, known as a planetary nebula.



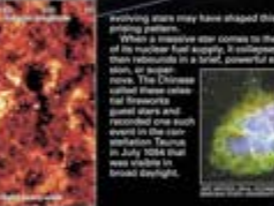
...of stars, which will cool and fade over time, come to their stellar ends, shedding their outer layers, which expand outward in opposite directions, like exhaust from a car's tailpipe. The ejected gas and dust form a glowing shell, known as a planetary nebula.



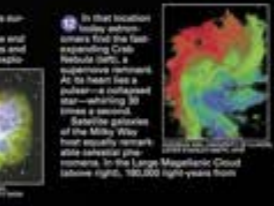
...of stars, which will cool and fade over time, come to their stellar ends, shedding their outer layers, which expand outward in opposite directions, like exhaust from a car's tailpipe. The ejected gas and dust form a glowing shell, known as a planetary nebula.



...of stars, which will cool and fade over time, come to their stellar ends, shedding their outer layers, which expand outward in opposite directions, like exhaust from a car's tailpipe. The ejected gas and dust form a glowing shell, known as a planetary nebula.



...of stars, which will cool and fade over time, come to their stellar ends, shedding their outer layers, which expand outward in opposite directions, like exhaust from a car's tailpipe. The ejected gas and dust form a glowing shell, known as a planetary nebula.



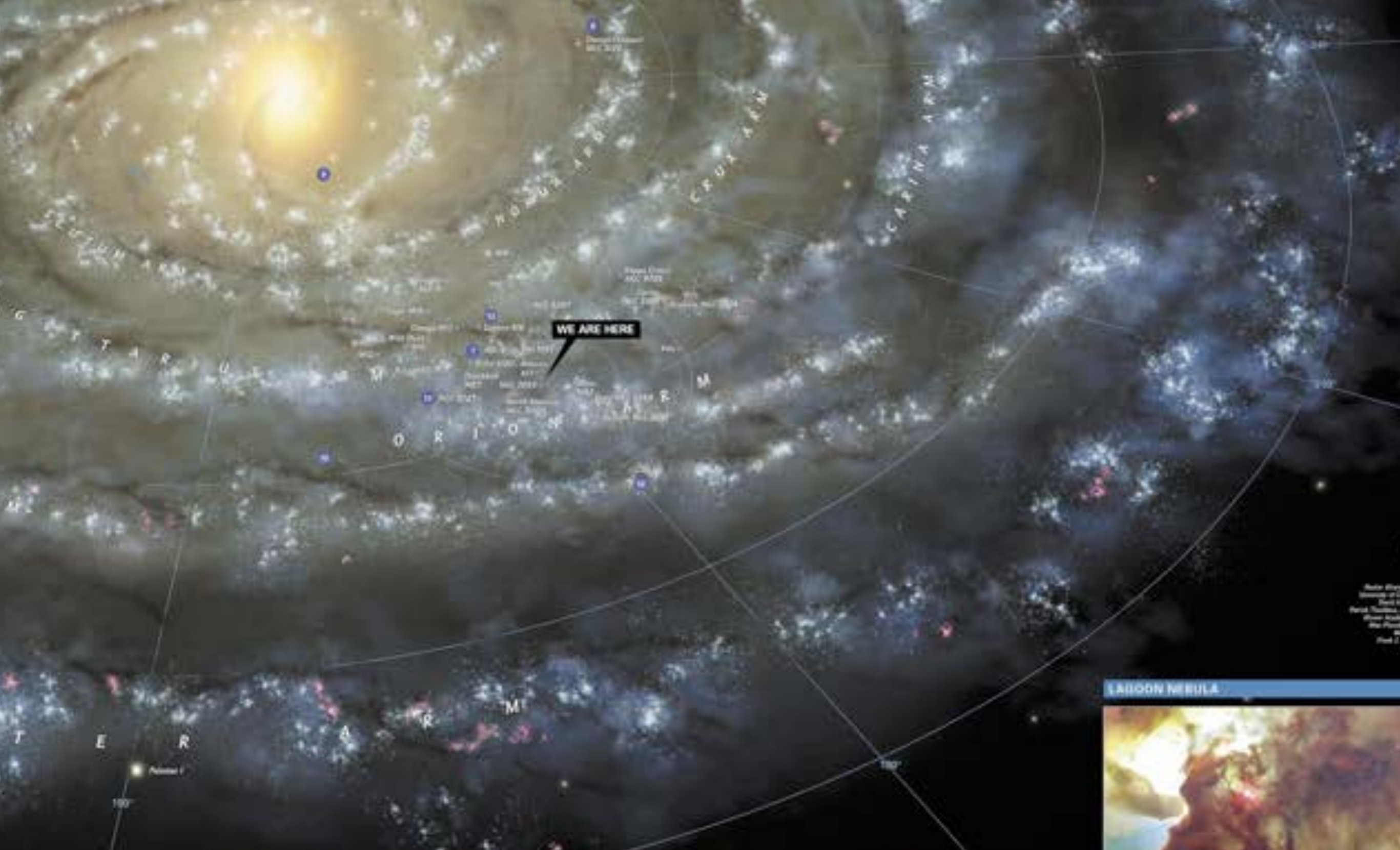
...of stars, which will cool and fade over time, come to their stellar ends, shedding their outer layers, which expand outward in opposite directions, like exhaust from a car's tailpipe. The ejected gas and dust form a glowing shell, known as a planetary nebula.



...of stars, which will cool and fade over time, come to their stellar ends, shedding their outer layers, which expand outward in opposite directions, like exhaust from a car's tailpipe. The ejected gas and dust form a glowing shell, known as a planetary nebula.

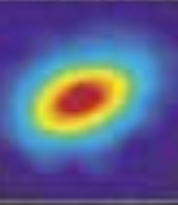


...of stars, which will cool and fade over time, come to their stellar ends, shedding their outer layers, which expand outward in opposite directions, like exhaust from a car's tailpipe. The ejected gas and dust form a glowing shell, known as a planetary nebula.



WE ARE HERE

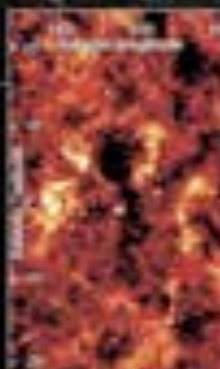
like an absorb
star's velvet past.
is lurk strange
0.126, detected by
Observatory telescope
in infrared



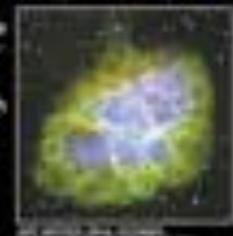
orbit. Light from the
hot star is absorbed
by and warms the
dust, making it glow.
As stars like the
sun die, they
become factories
for interstellar dust.
Celestial soot—the
remnants of its red
giant stage—
surrounds the tiny hot central star of NGC
7527 (above right). Blown outward, the
soot would obscure our view of the center
of NGC 7527 were it not for this remarkable
composite image in infrared and



visible light from
the Hubble Space
Telescope.
Densities of inter-
stellar dust brighten
up over huge regions
along the central plane
of the Milky Way,
are not dust 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 sur-
prising pattern.
When a massive star comes to the end
of its nuclear fuel supply, it collapses and
then rebounds in a brief, powerful explo-
sion, or super-
nova. The Chinese
called these celest-
rial fireworks
pistol stars and
recorded one such
event in the con-
stellation Taurus
in July 1054 that
was visible in
broad daylight.



In that location
today astron-
omers 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 remark-
able celestial phe-
nomena. In the Large
Magellanic Cloud
180,000 light-years from



Earth, clumpy, filamentary
clouds of hydrogen gas
reveal their steady march in
a radio wave from the Aus-
tralian Telescope Compact
Array. The blue half of the
cloud (below) is pointing toward the Earth
while the top (red) turns away.
Glittering along the spiral arms of
the galaxy, bright emission nebulae
mark regions where new stars are form-
ing. The Lagoon Nebula (below, left),
6,500 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

LAGOON NEBULA



the sky than does the full moon. Where
there's was once only a year dark cloud,
radiation from the brightest and most
massive young star in the nebula, Her-
schel 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
surface of giant interstellar clouds.

Photo: Steve
Gardner (2)
David A.
Prialé, Thomas
Hess, and
the Planck
Team

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

もっと暗い場合

← -1等星
 -2等星

7等星 →
 8等星 →

星の明るさ（見かけの等級，絶対等級）

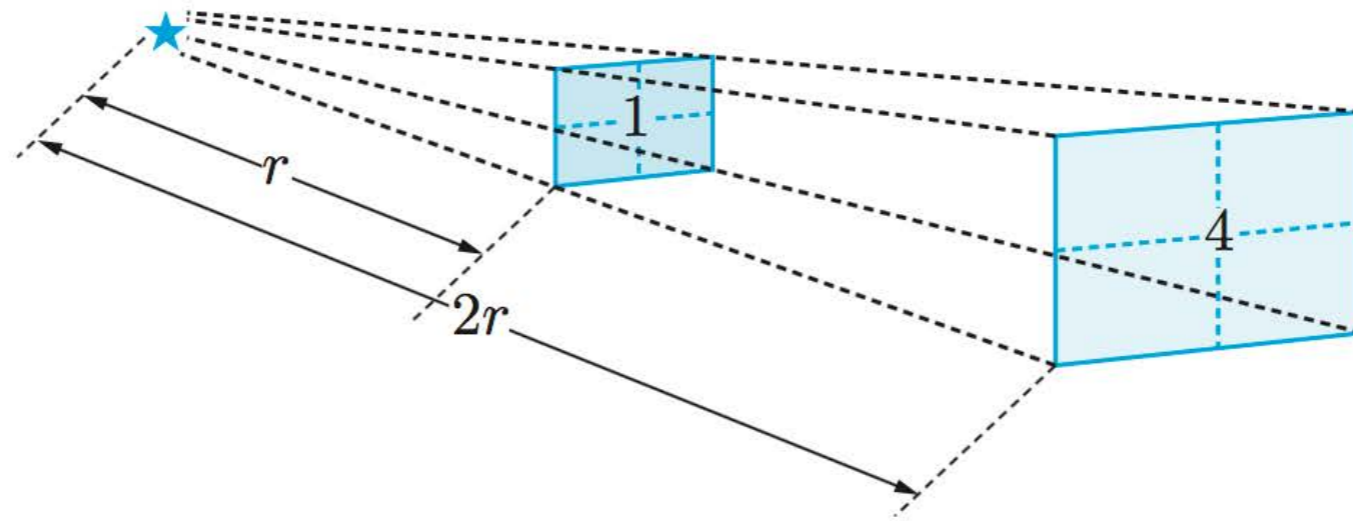


図 1.26 距離が倍になると，光の照射面積は 4 倍になるので，光量は $1/4$ になる．
すなわち，明るさは距離の 2 乗に比例して小さくなる．

同じような大きさと同じように明るい星でも
遠くにあれば暗い

星の明るさ（見かけの等級，絶対等級）

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



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 冨成一郎氏
大分天文協会

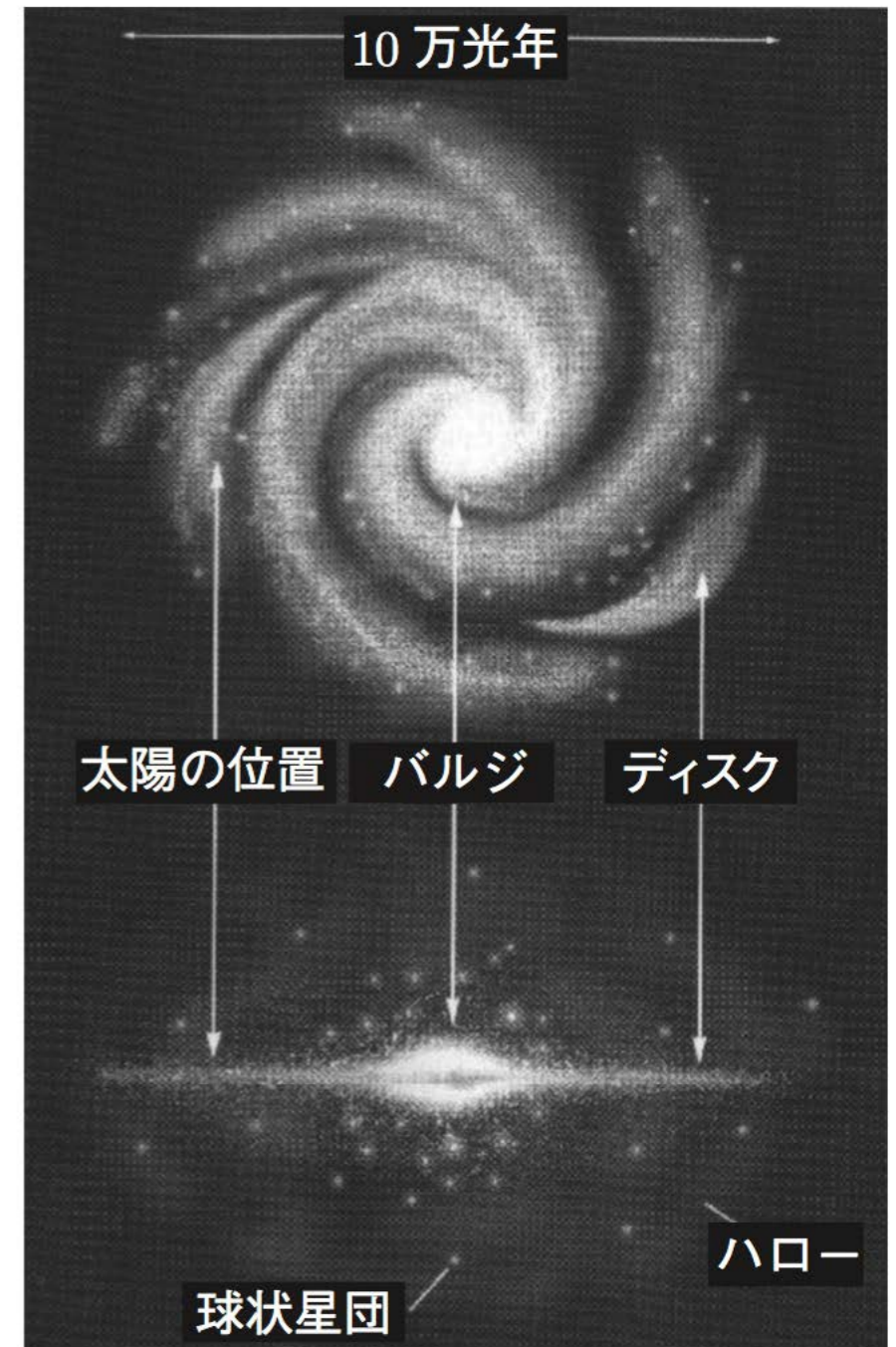
2012年4月1日 発行

目標とねらい

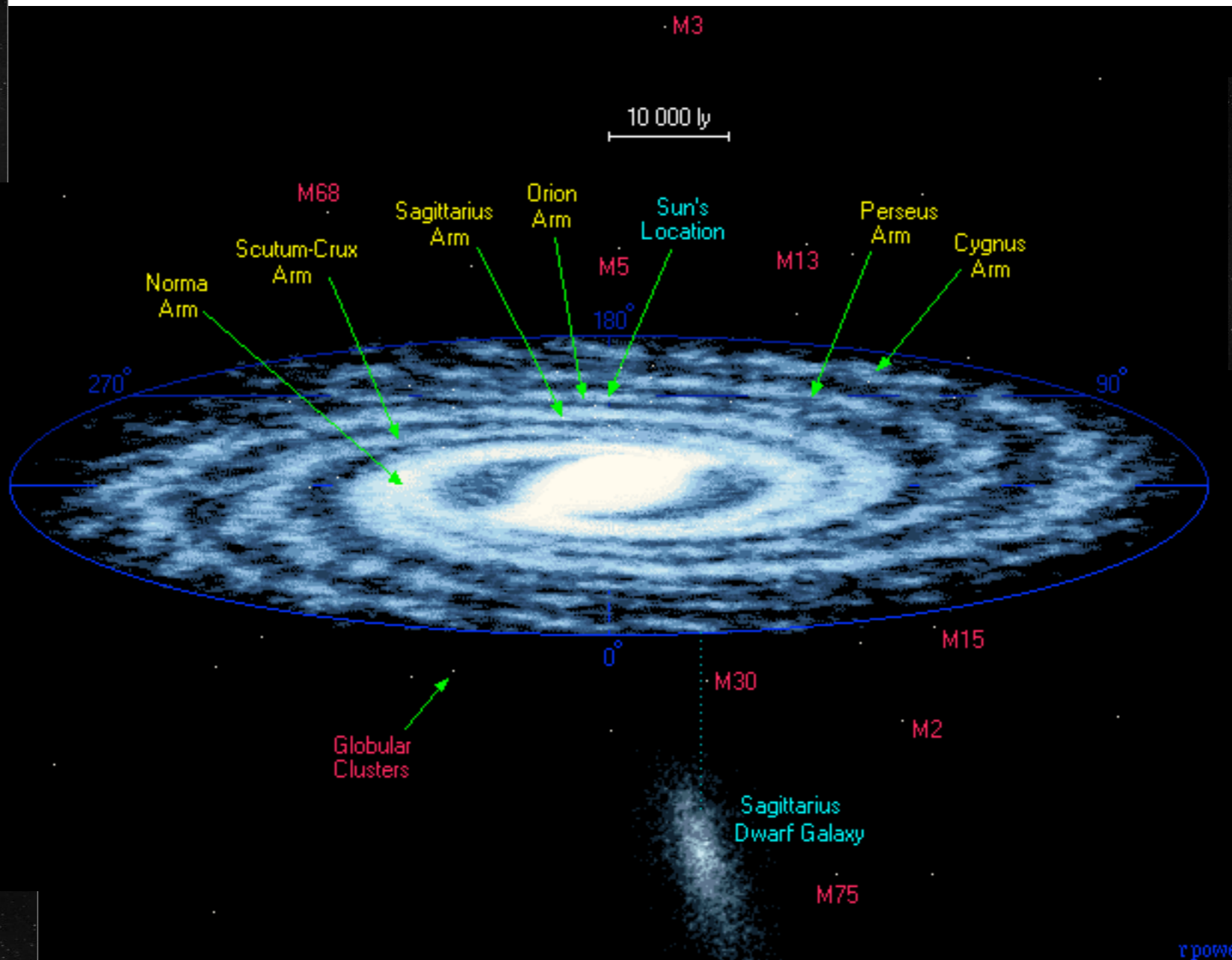
平面的に見える星座ですが、それを形作る星ぼしは、それぞれが遙かかなたにある恒星であり、そこまでの距離も皆異なっていて、立体的に分布していることを理解します。

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

天の川銀河系の大きさ



天の川銀河 (our Galaxy)



←球状星団(globular cluster)

Mitaka

4D2U
国立天文台 4次元デジタル宇宙プロジェクト

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

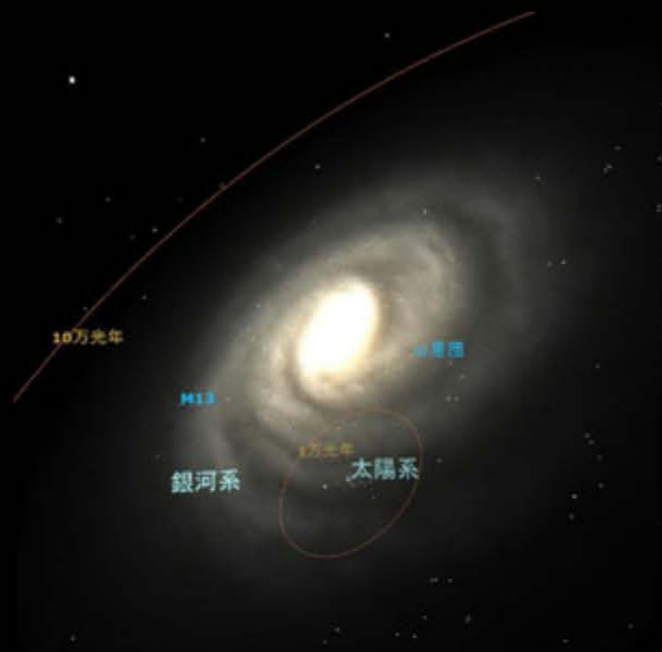
使用データ

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

2017/09/08

バージョン 1.4.1a と **Mitaka for VR バージョン 1.4.1a** を公開しました。
バージョン 1.4.1 の不具合修正版です。詳しくは[更新履歴](#)をご覧ください。

2017/09/01

バージョン 1.4.1 およびそのバーチャルリアリティ (VR) 対応版 **Mitaka for VR バージョン 1.4.1** を公開しました。
このバージョンでは、探査機の描画にノーマルマップの手法が適用されるようになりました。今年の9月に運用を終える土星探査機カッシーニも美しく再現されます。探査機の描画速度も大幅に向上しています。また、表示言語に中国語 (簡体字・繁体字) を追加しました。これで Mitaka が対応する言語は9か国語・11種類となります。最新版に対応した英語のマニュアルも同梱され、[英語ページ](#)でも同時リリースとなります。(ツイッターによる紹介は[こちら](#)。更新内容についての詳細は[更新履歴](#)をご覧ください。)

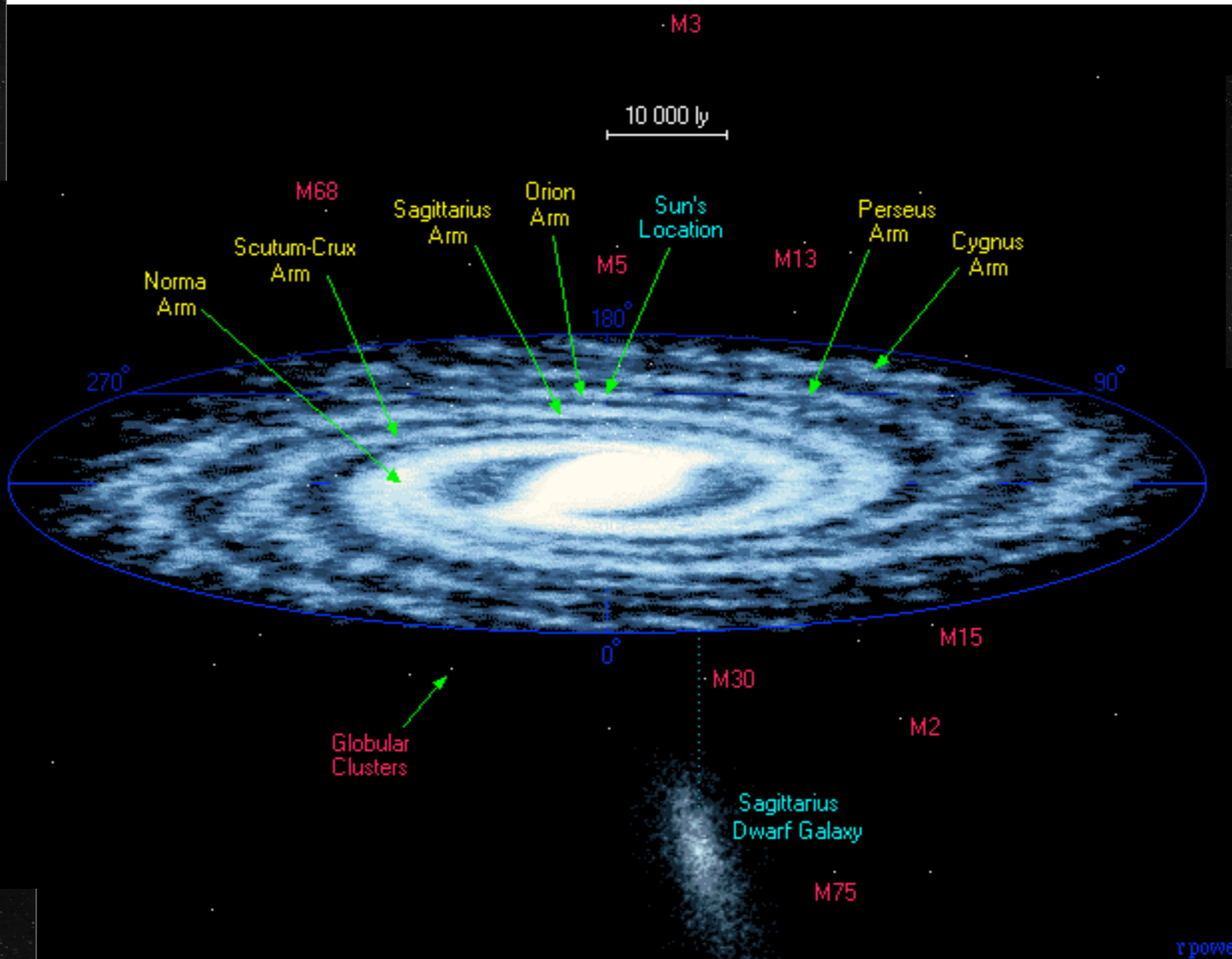
2017/09/01

Mitaka バージョン 1.4.0 と 1.4.1 が国立天文台ニューストピックスで紹介されています。
トピックス: [4次元デジタル宇宙ビューワー「Mitaka」、宇宙をよりリアルに描く最新版を公開](#)

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/>

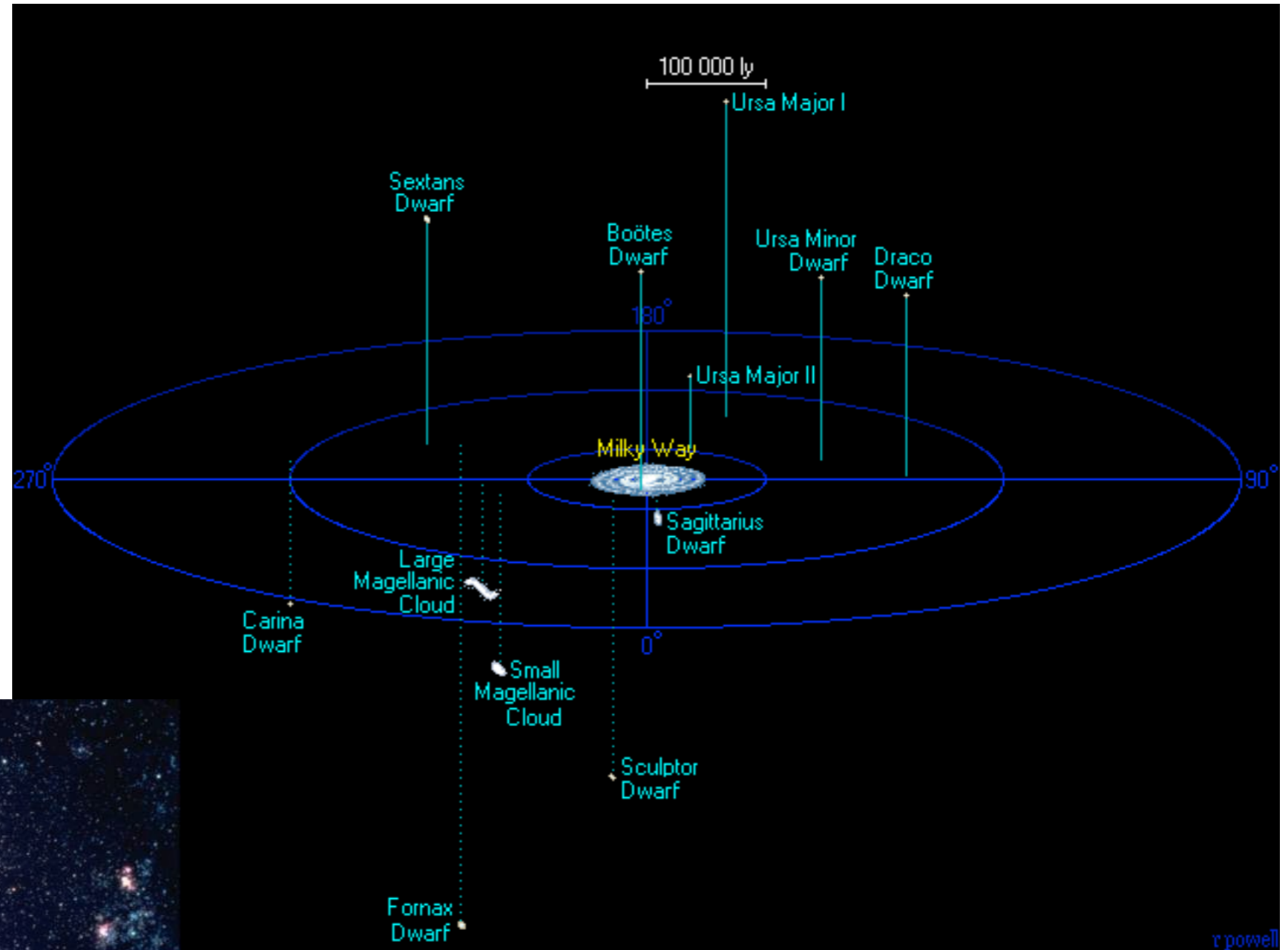
天の川銀河系の大きさ



←球状星団(globular cluster)

銀河群

距離 15.7万光年
(50 kpc)
大きさ 1.5万光年



←大マゼラン星雲
(Large Magellanic Cloud)

銀河群 (local group)

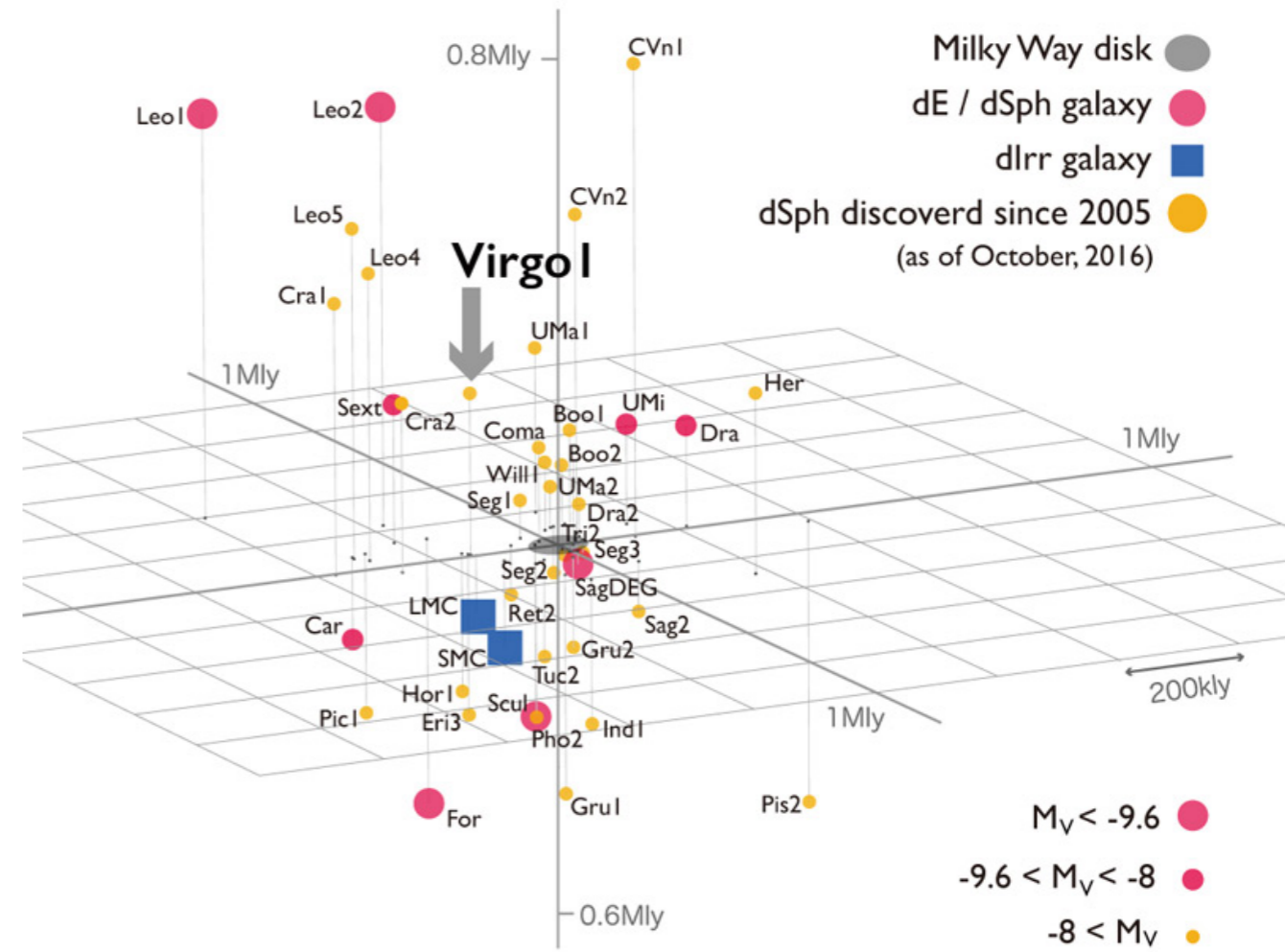
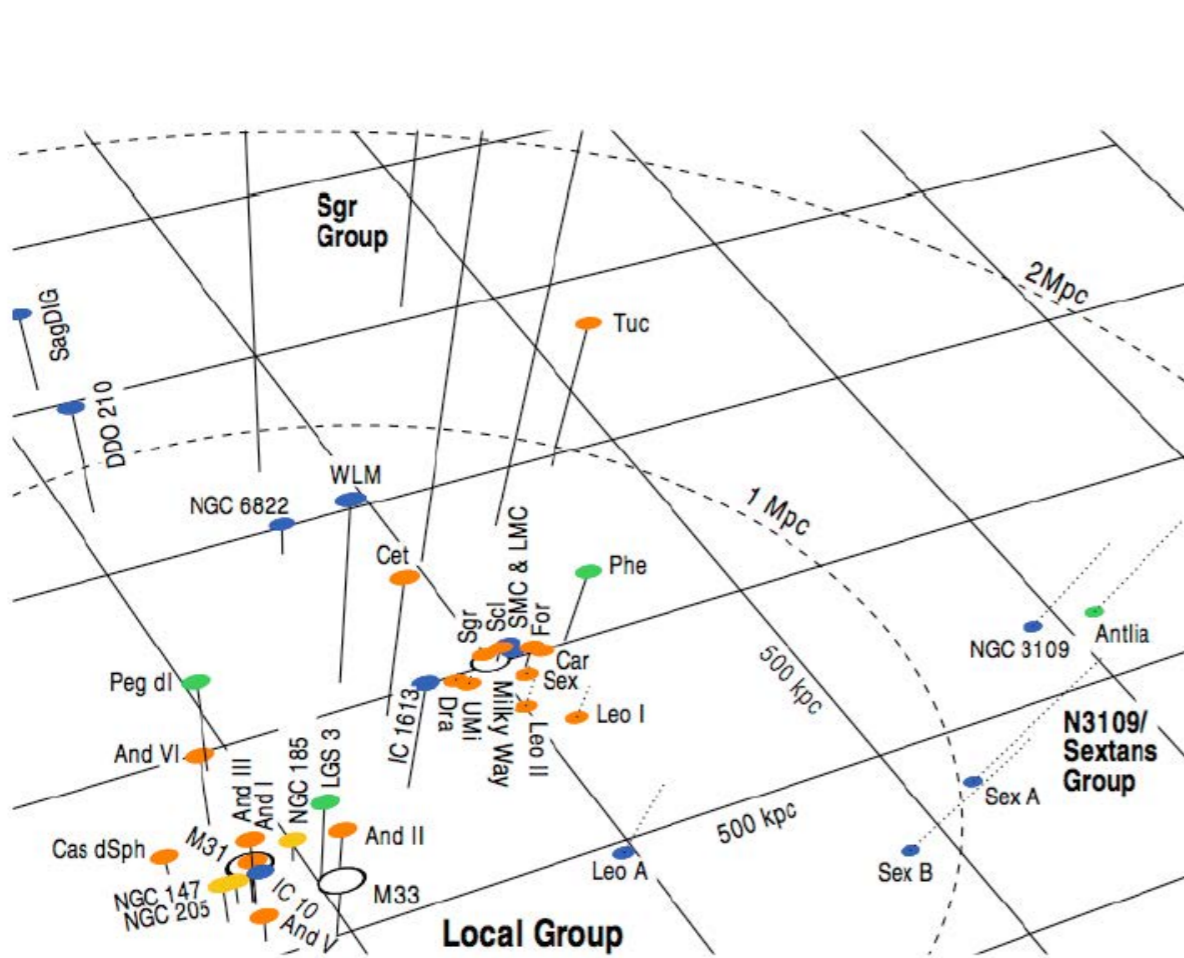
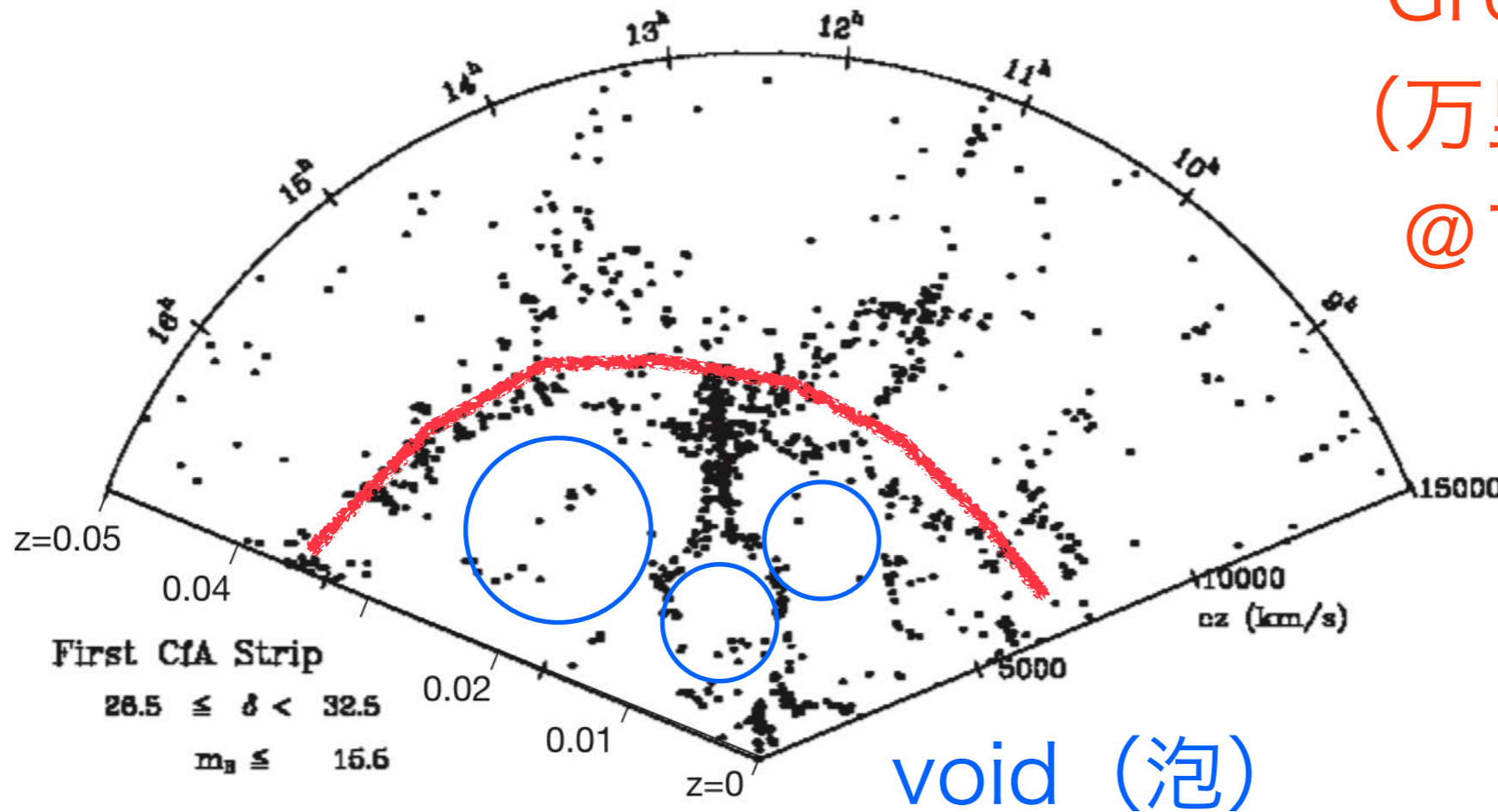


図 1.32 天の川銀河近傍の銀河. どちらの図も中心に天の川銀河. [左] グレベルが 2000 年に発表した局部銀河団の分布図 [astro-ph/0008249]. 左下の方にアンドロメダ銀河. 記入されている長さの単位の 500 kpc は 161 万光年に相当する. [右] すばる望遠鏡のグループが 2016 年に発表した図. 天の川銀河の近傍には暗くて小さい銀河が多数存在していることが明らかになってきた. 記入されている長さの単位の 200 kyr は 20 万光年のこと.

銀河団 (cluster), 宇宙の大規模構造

Great Wall
(万里の長城)
@128Mpc



Margaret Geller

図 1.34 1989年に報告された CfA サーベイの図。扇子を広げたように、見かけの範囲を狭く、奥を深く銀河をサーベイした結果の図である。中心はかみのけ座銀河団 (Coma cluster)。1つ1つの点が銀河であり、全部で 1027 個のデータがある。右側の距離の目盛りは赤方偏移から測った後退速度を示している。左側の目盛りは赤方偏移 z を記入した。 $z = 0.03$ と記された距離が 128 Mpc に相当する。[CfA が提供している図を加工]

1027個の銀河分布を観測 (1989)

銀河団 (cluster), 宇宙の大規模構造

(Sloan Digital Sky Survey, SDSS)

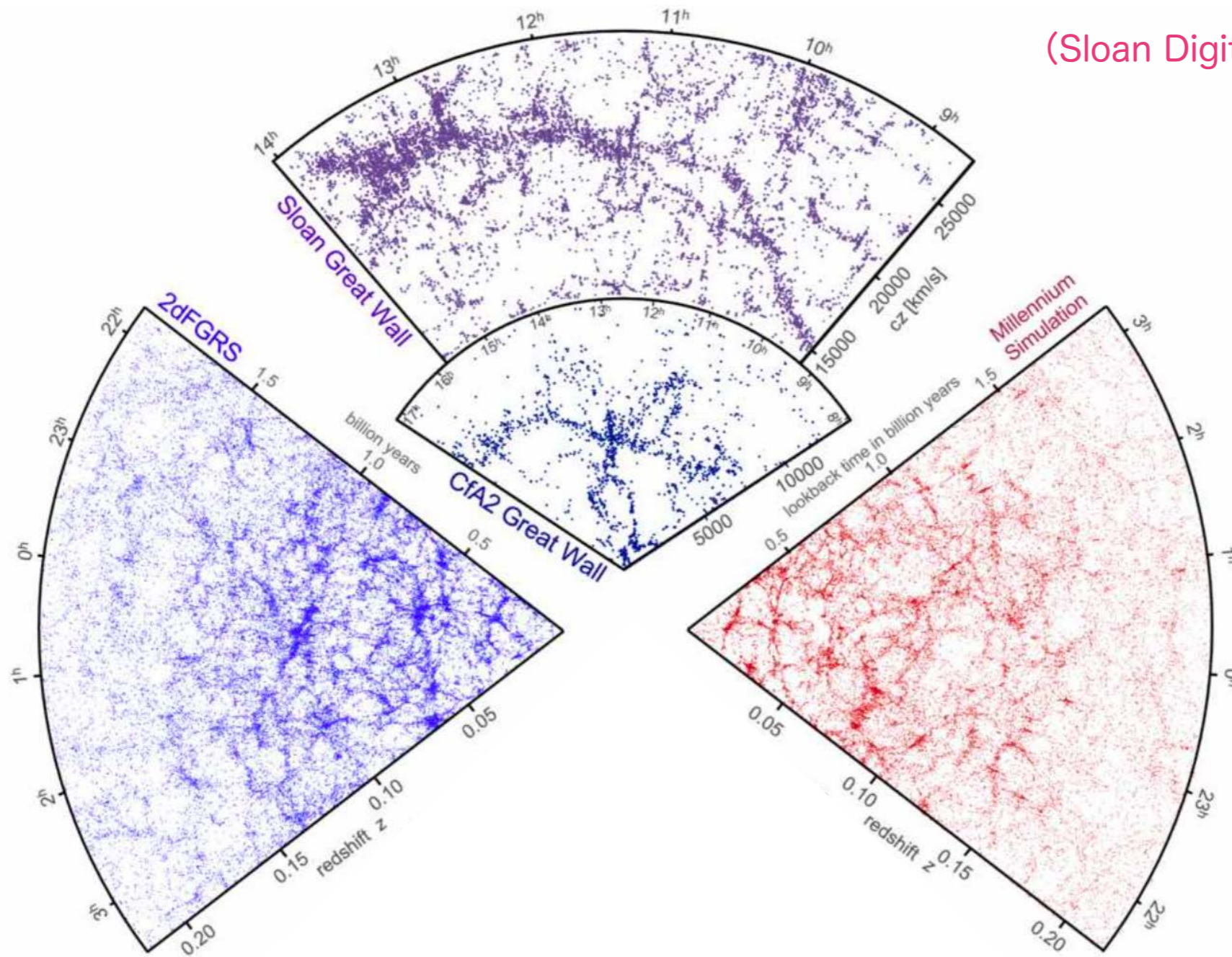


図 1.35 銀河の分布観測とシミュレーションによる疑似分布を並べたもの。〔上〕SDSS サーベイによる銀河の分布図と図 1.34 を重ねたもの。SDSS は、北天から見える 65 万個以上の銀河を 2 億光年まで示している。1.3 億光年の距離に及ぶ 1 万個以上のグレートウォール (万里の長城) も新たに発見された。〔左〕2dFGR サーベイによる銀河の分布図。南天の 22 万個以上の銀河を 2 億光年まで示している。〔右〕ミレニアム・シミュレーションという数値計算結果を似せて示したもの。[Springel, Frenk, White の論文 (2006) を加工]

65万個の銀河分布を観測 (2006)

宇宙が膨張していることは どうしてわかったのか？

1929年 宇宙膨張の発見

Edwin Powell Hubble
(1889–1953)



ハッブルの宇宙膨張の法則 (1929年)

$$v = H_0 d \quad (5.9)$$

銀河の後退速度 = ハッブル定数 H_0 × 銀河までの距離

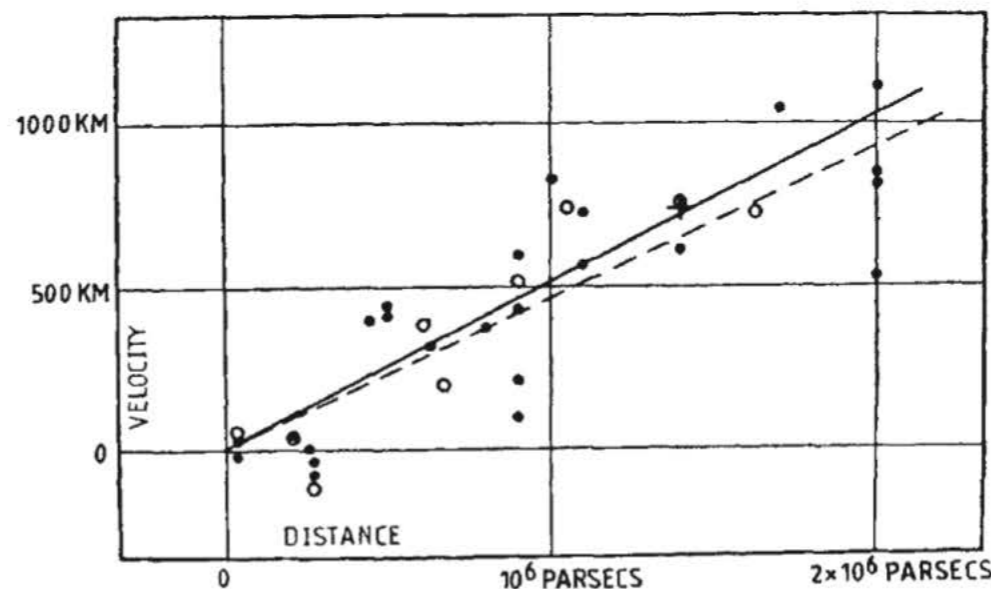


図 5.7 ハッブルが 1929 年に発表した図。横軸は距離，縦軸は銀河の後退速度。このグラフの傾きがほぼ一定になることが，ハッブルの法則である。ハッブルが報告した値は， $H_0 = 530 \text{ km/s/Mpc}$ だった。現在値は $H_0 = 68 \text{ km/s/Mpc}$ 。

光の「ドップラー効果（赤方偏移）」から

水・音・光

波に共通する特徴

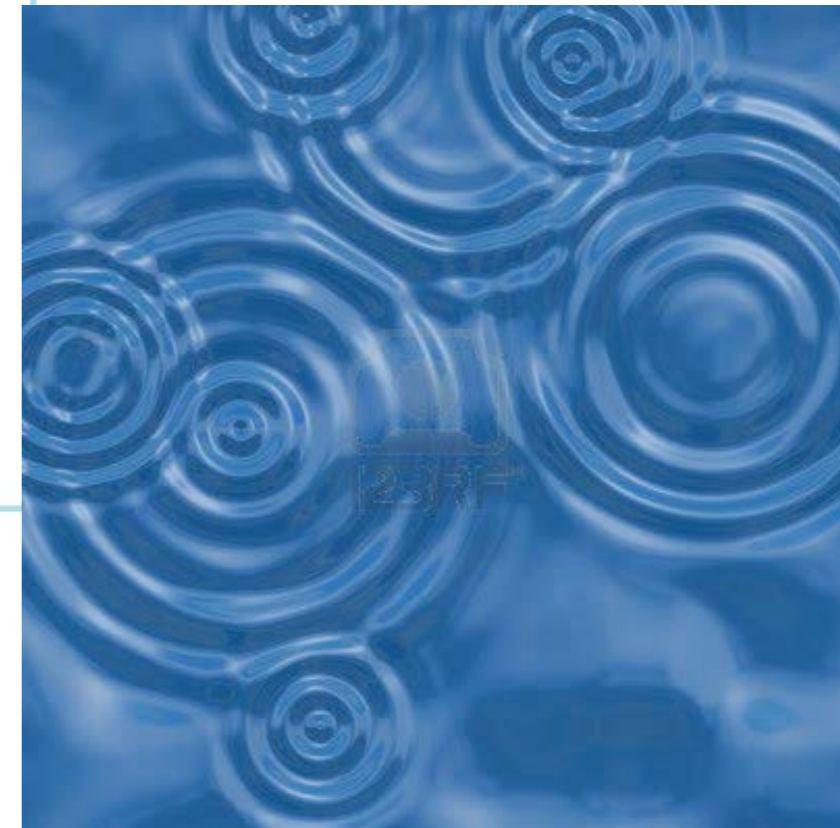
波の特徴

- ある時刻で全体像をとらえたとき、同じ形状の間隔を波長 λ (単位は [m]) という。波の振れる幅を振動中心から測った長さを振幅 A (単位は [m]) という。
- ある場所で止まって観測したとき、一定時間ごとに同じ形の振動を繰り返す。この時間を周期 T (単位は [s]) という。1秒間に何回振動するかという量を振動数 f (単位は [Hz]) という。

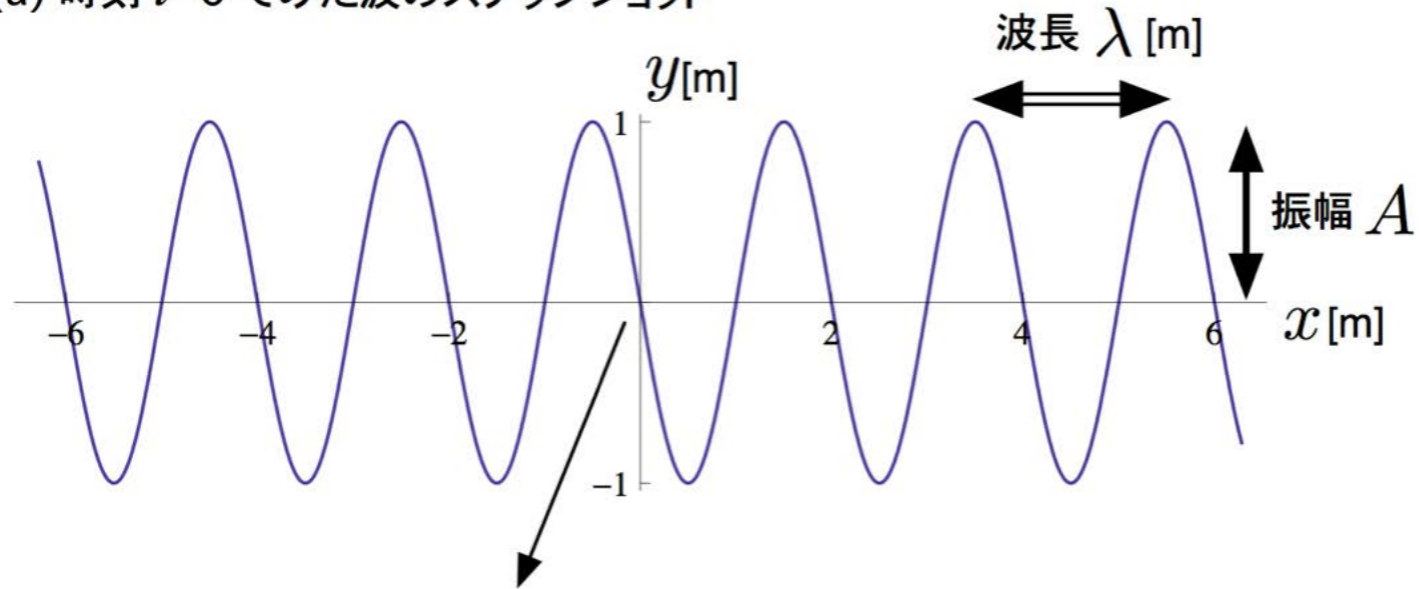
$$f = \frac{1}{T} \quad \text{振動数 [Hz]} = \frac{1}{\text{周期 [s]}} \quad (\text{A.18})$$

- 波の伝わる速さ v [m/s] を次のように決める。

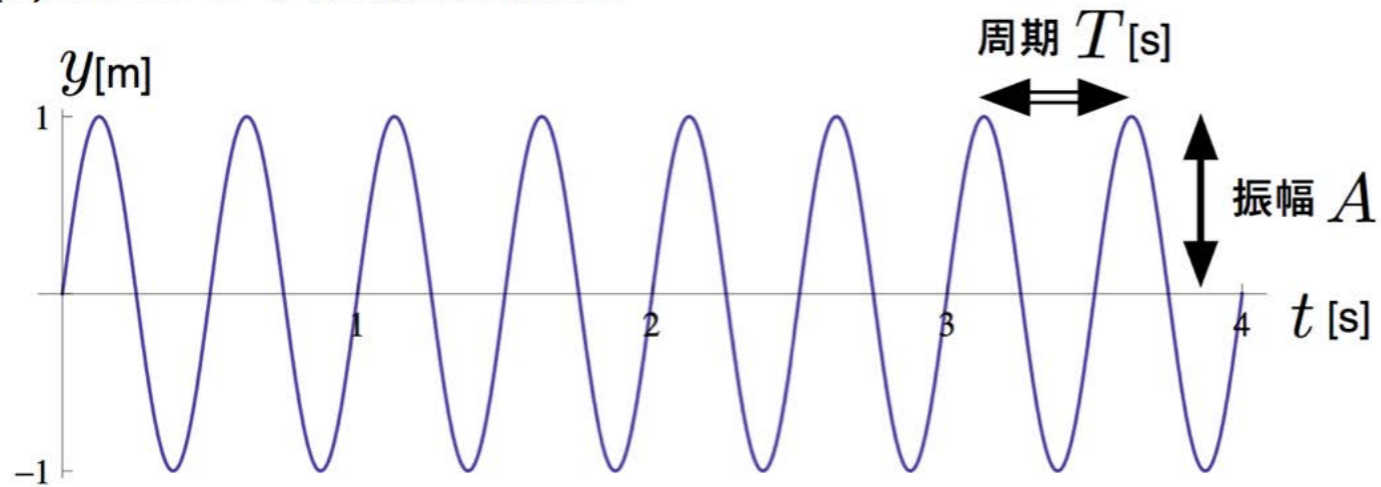
$$v = f\lambda \quad \text{速さ [m/s]} = \text{振動数 [Hz]} \times \text{波長 [m]} \quad (\text{A.19})$$



(a) 時刻 $t=0$ でみた波のスナップショット



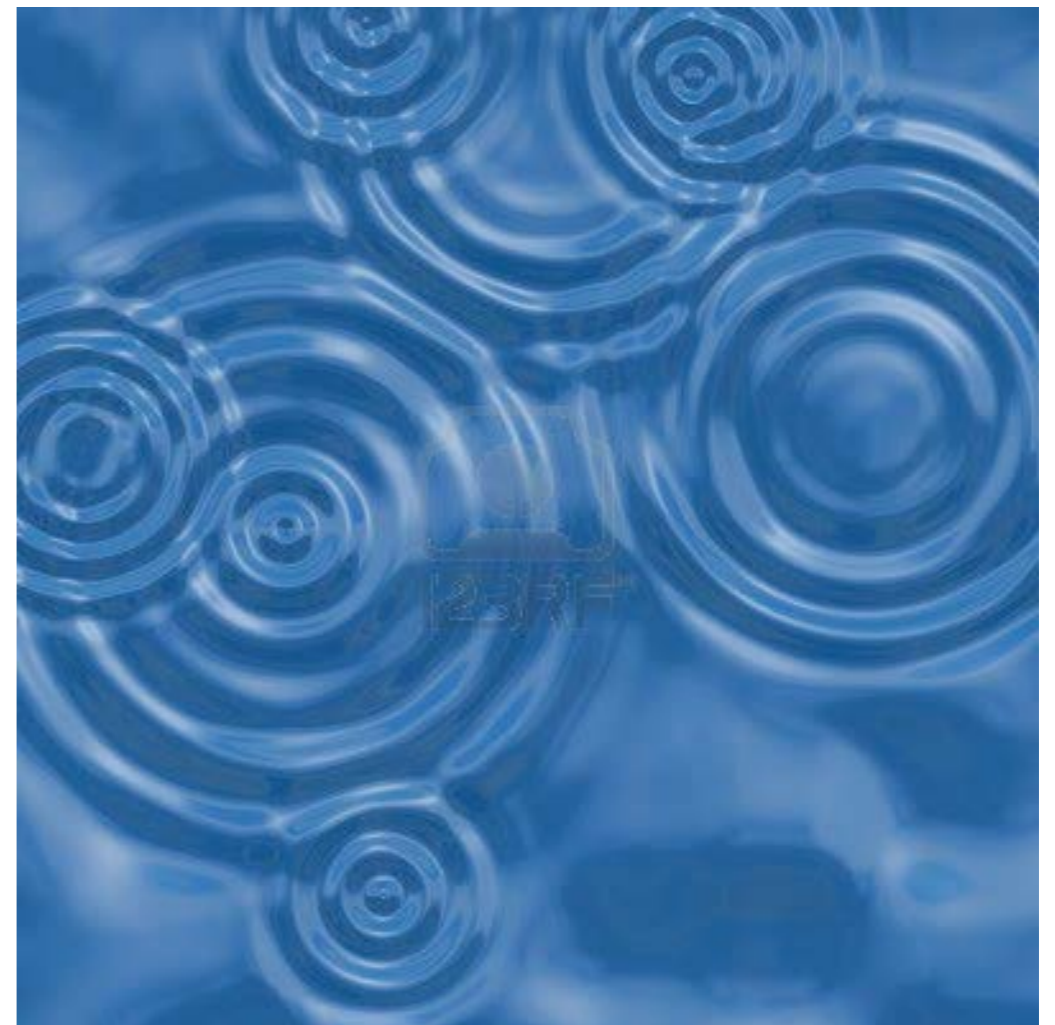
(b) 位置 $x=0$ でみた波の時間変化



「写真を撮る」
「全体図を知る」



「1カ所での動きを見る」



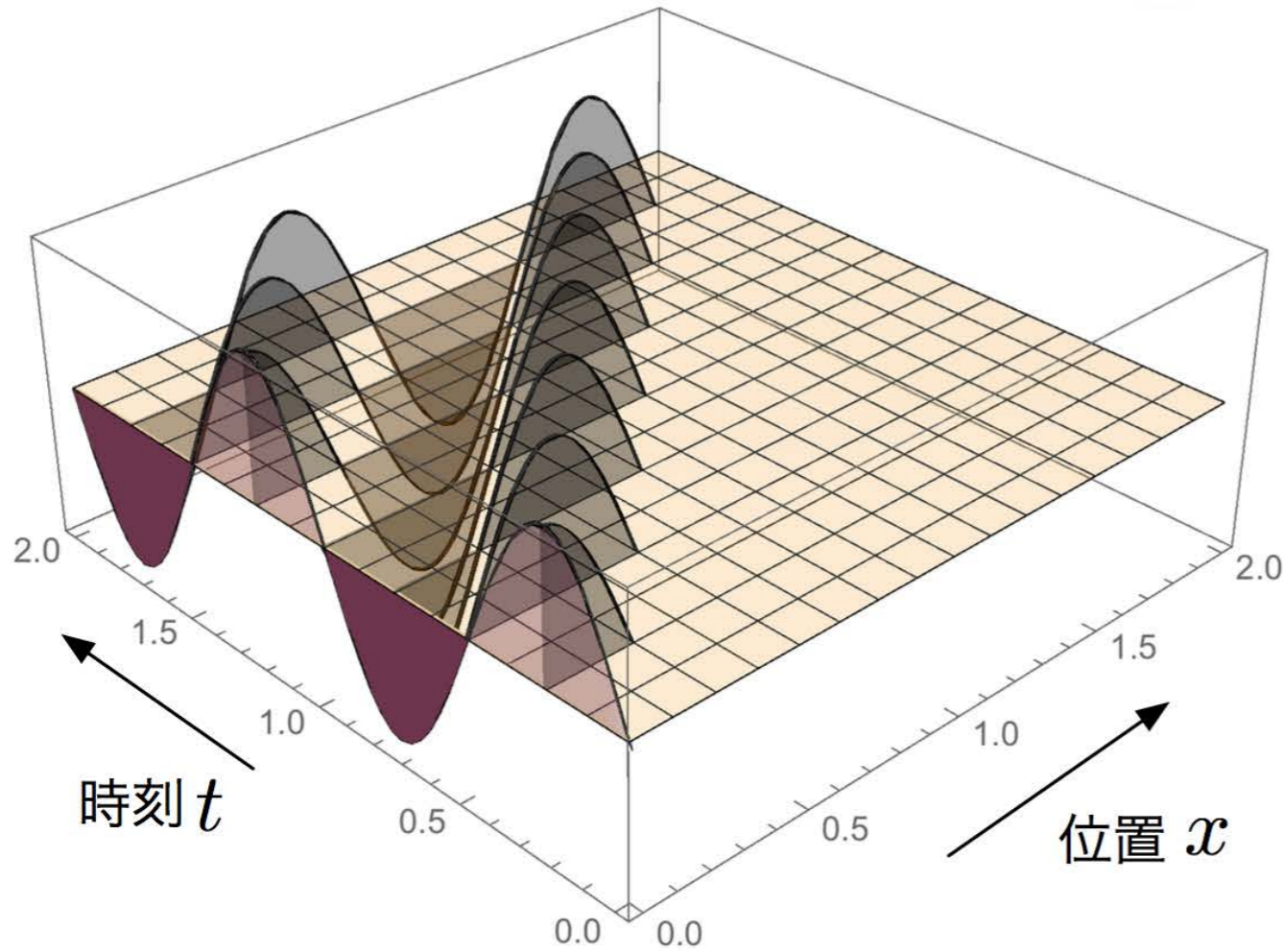
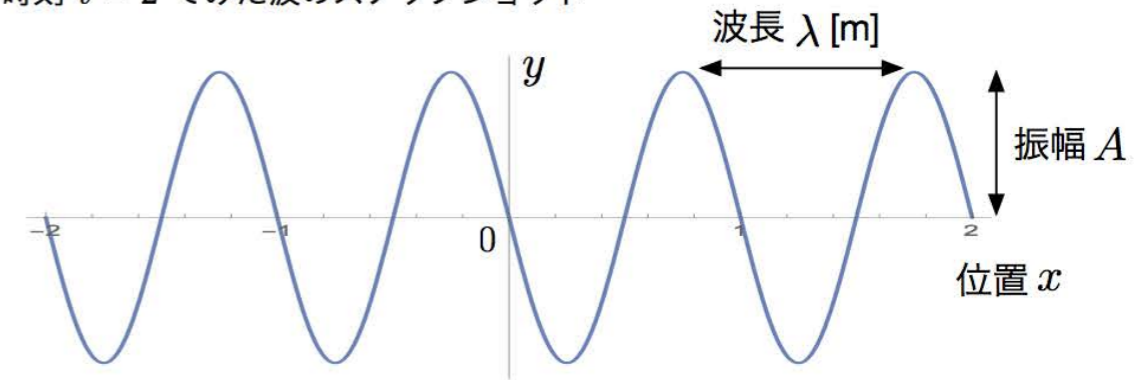
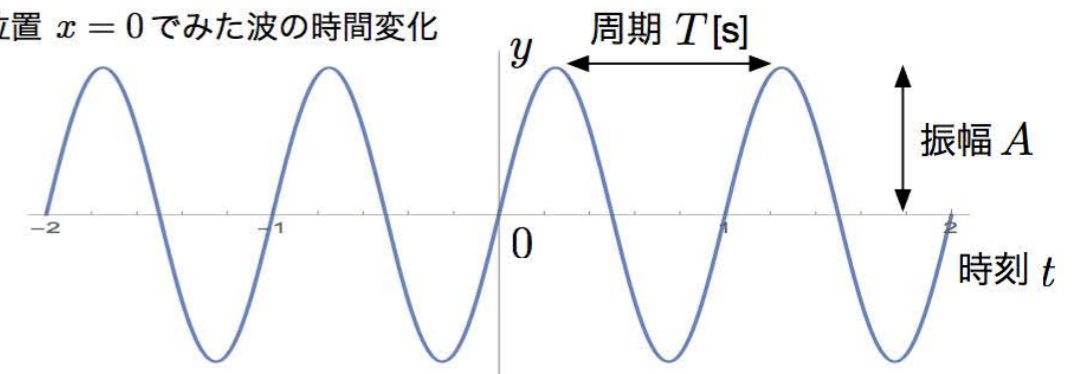
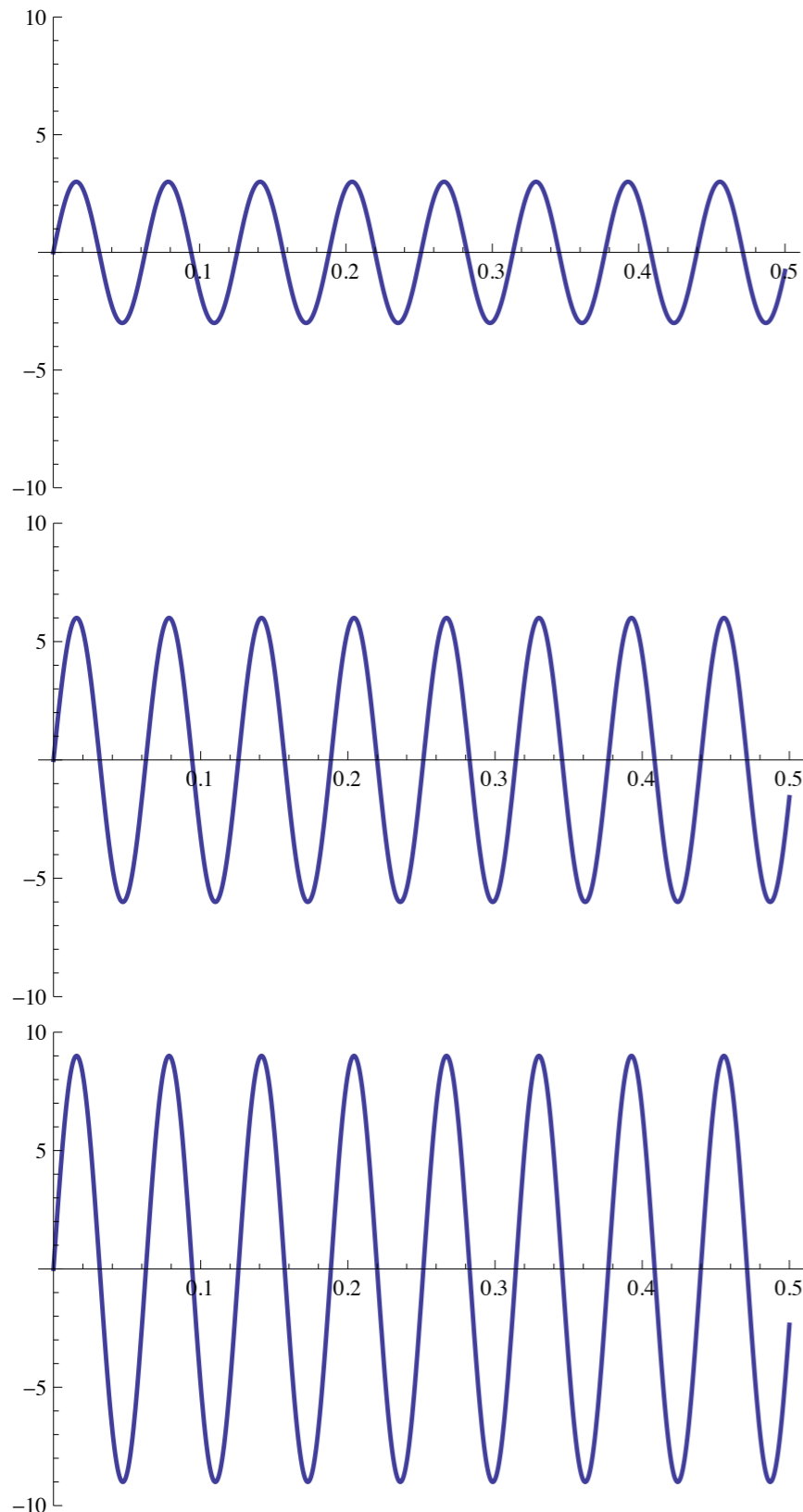
(a) 時刻 $t = 2$ でみた波のスナップショット(b) 位置 $x = 0$ でみた波の時間変化

図 A.6 正弦波の伝わる様子. ある時刻で写真を撮っても, 1 か所で止まって時間変化を観測しても, 周期的な変動になる. [左] 位置 $x = 0$ で単振動している波源から, x 軸の正の向きに正弦波の伝わる様子を $1/4$ 周期ごとの波形を並べて示した. [右] (a) x 方向に進む振幅 A , 波長 $\lambda = 1$ [m] の波を時刻 $t = 2$ でみた図. (b) は, この波を位置 $x = 0$ で観測したもの. 周期 $T = 1$ [s] であることがわかるので, この波の速さ v は, $v = \lambda/T = 1$ [m/s] である.

音の3要素 (1) 音の大きさ

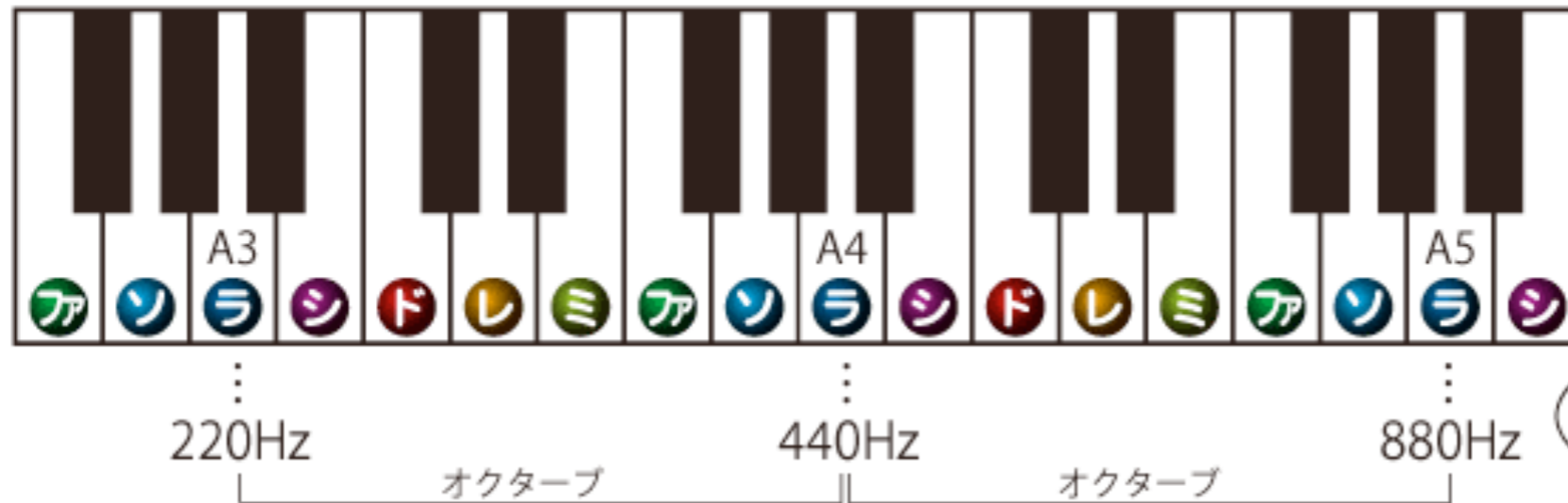
音の大きさ=振幅



【図6. 音圧と音圧レベル】



音の3要素 (2) 音の高低



高い音ほど速く振動しています

周波数を倍にすると1オクターブ高い音になります

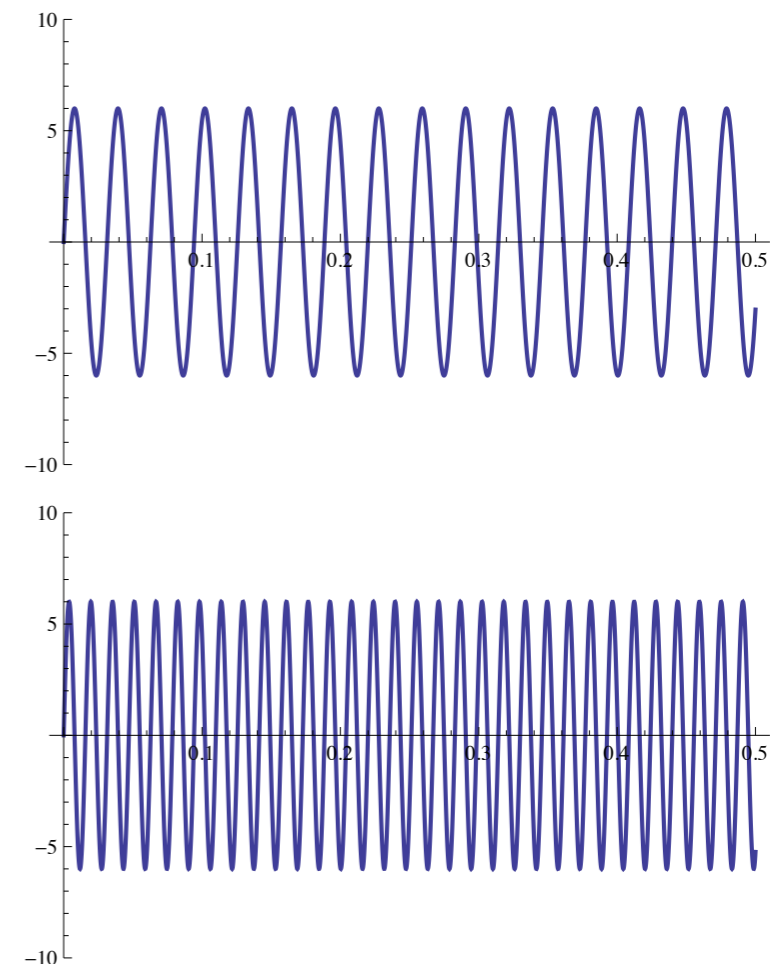
人間が聞く事ができる音は 20Hz から 20,000Hz

人間が聞くことが出来る音より

遅い振動は**低周波音**

速い振動は**超音波**

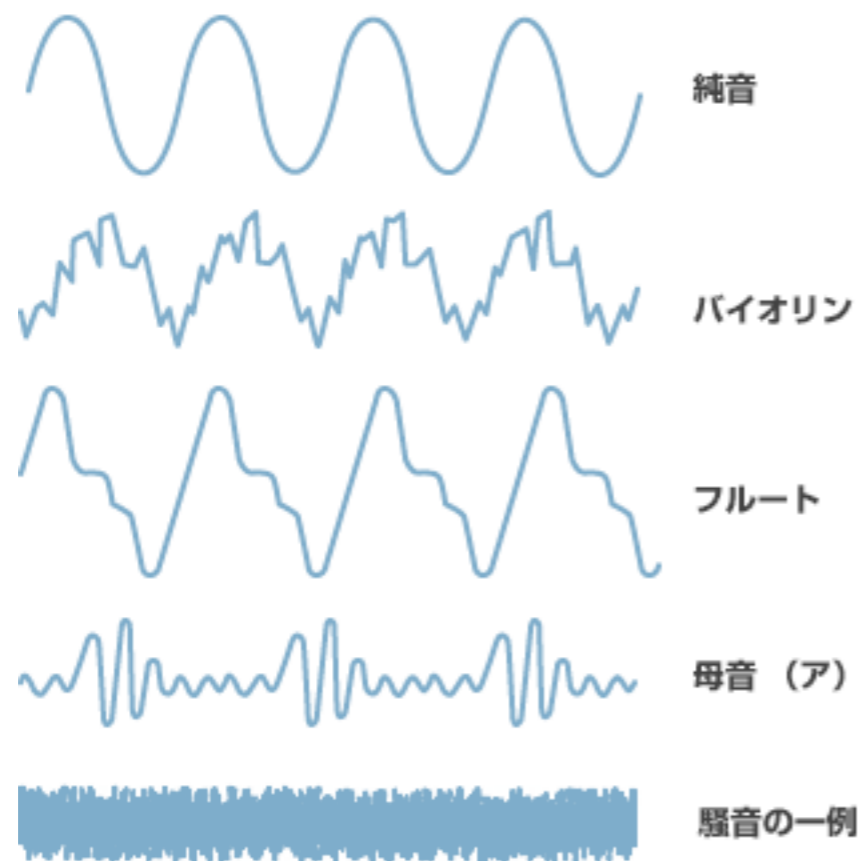
音の高低=振動数



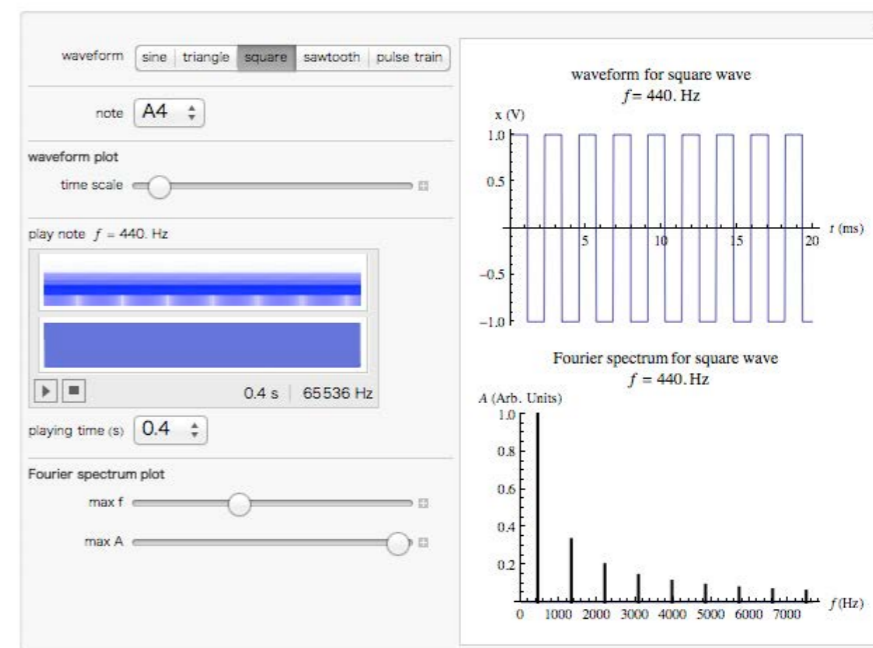
音の3要素 (3) 音色

音色=波形

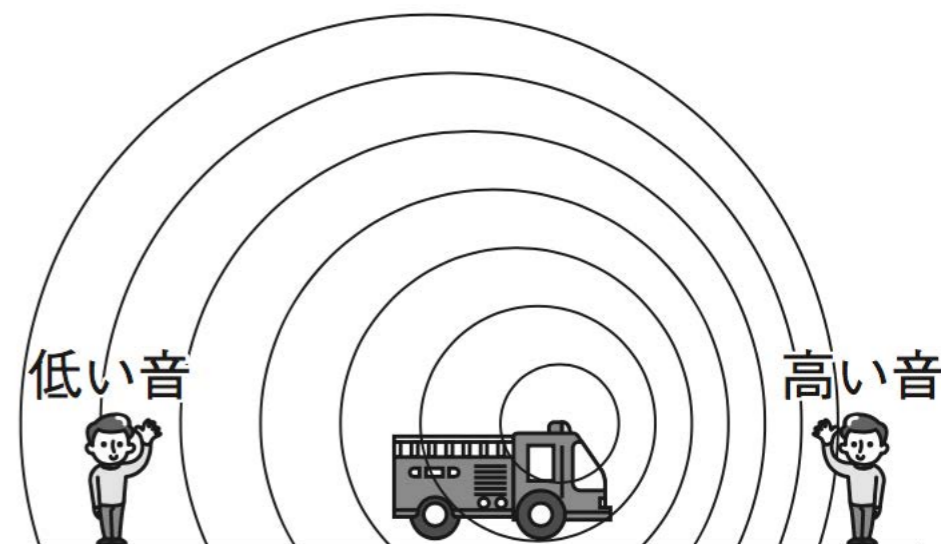
[図5.いろいろな音の波形]



Sounds of Waveforms



救急車が近づくときや遠ざかるときに、聞こえる振動数が変化する。また、電車に乗っていると踏み切りの音が近づくときと遠ざかるときで変化する。このように、音源や観測者が移動することによって、本来伝わる音が高くなったり、低くなったりする現象（振動数・周波数が変化する現象）をドップラー効果という。



ドップラー効果

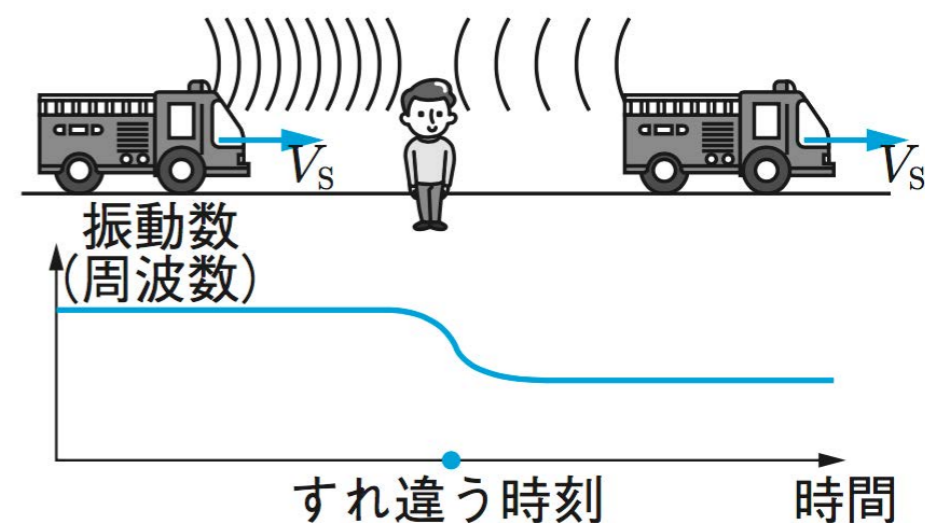
- 音速を V [m/s]、音源の移動速度を V_S [m/s]、観測者の移動速度を V_O [m/s] とする。音源の音の振動数を f_0 [Hz]、観測者の受け取る音の振動数を f' [Hz] の間には、

$$f' = \frac{V + V_O}{V - V_S} f_0 \quad (\text{A.23})$$

が成り立つ。 V_O と V_S の前の符号 (+, -) は、互いに近づくときの符号である。互いに離れるときは符号を逆にすればよい。

- 互いに近づくとき、音の周波数は大きくなり（すなわち音は高くなり）、遠ざかるときは音は低い音に変化する。

遠ざかるとき **低い音** 近づくとき **高い音**

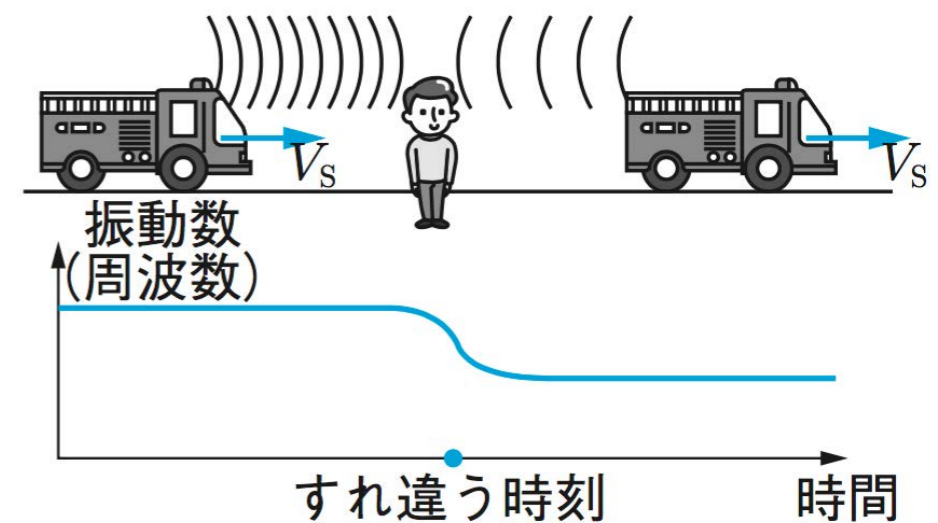
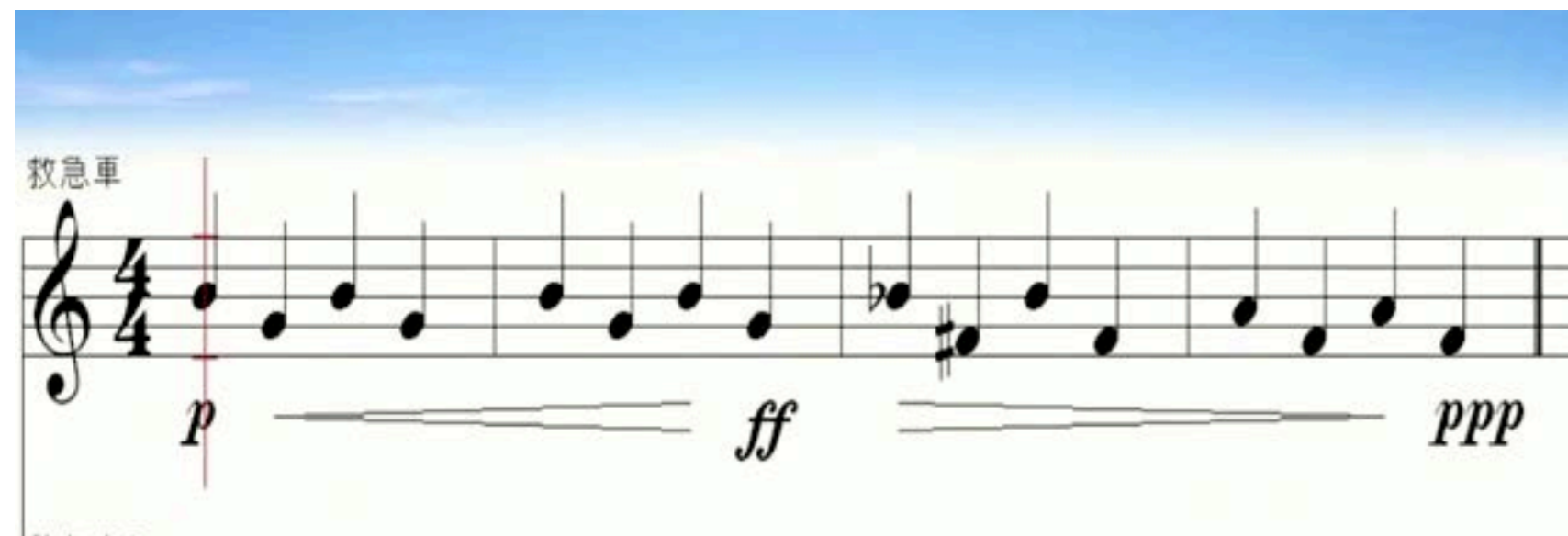


ドップラー効果



近づくとき
高い音
大きい音に

遠ざかるとき
低い音
小さい音に



ドップラー効果

- 音速を V [m/s], 音源の移動速度を V_S [m/s], 観測者の移動速度を V_O [m/s] とする. 音源の音の振動数を f_0 [Hz], 観測者の受け取る音の振動数を f' [Hz] の間には,

$$f' = \frac{V + V_O}{V - V_S} f_0 \quad (\text{A.23})$$

が成り立つ. V_O と V_S の前の符号 (+, -) は, 互いに近づくときの符号である. 互いに離れるときは符号を逆にすればよい.

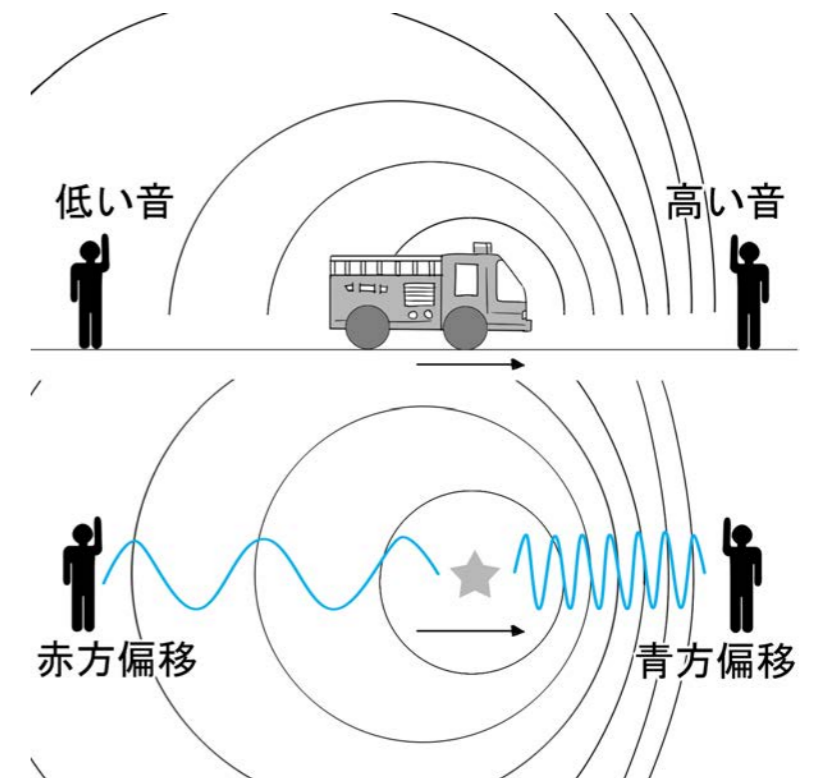
- 互いに近づくととき, 音の周波数は大きくなり (すなわち音は高くなり), 遠ざかるときは音は低い音に変化する.

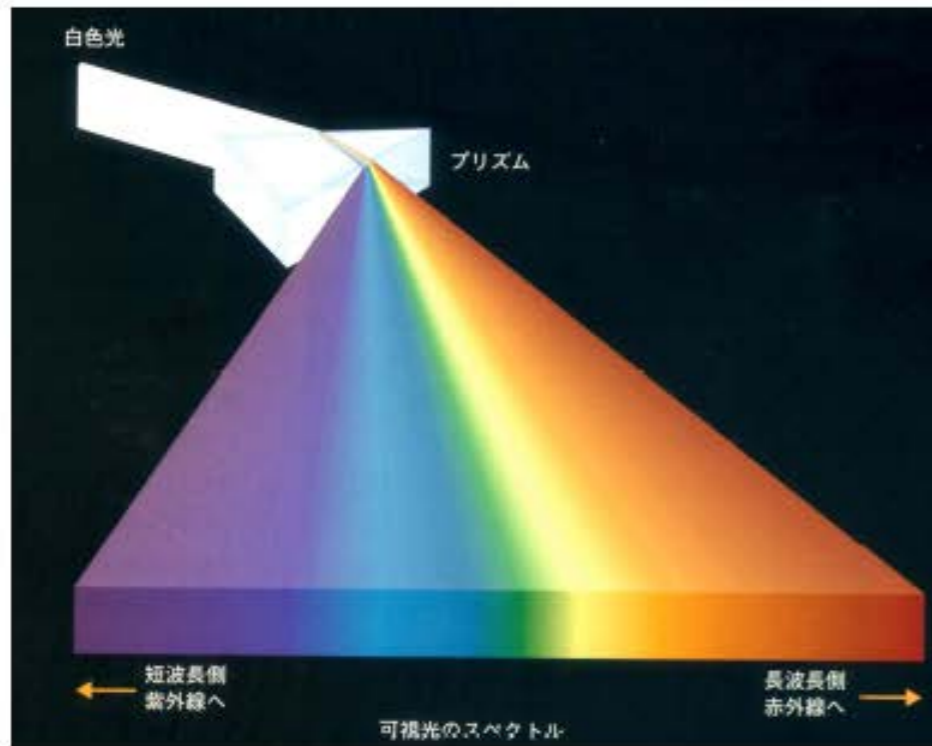
音源と観測者が相対的に近づく

= 音が高くなる

音源と観測者が相対的に遠ざかる

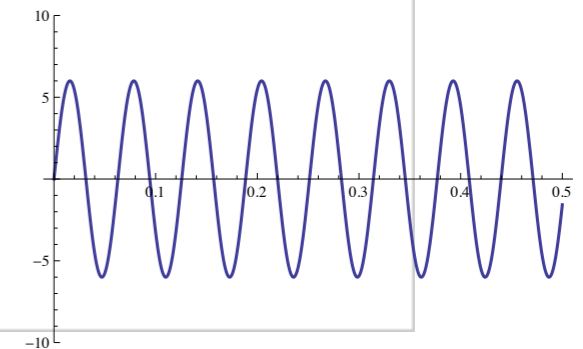
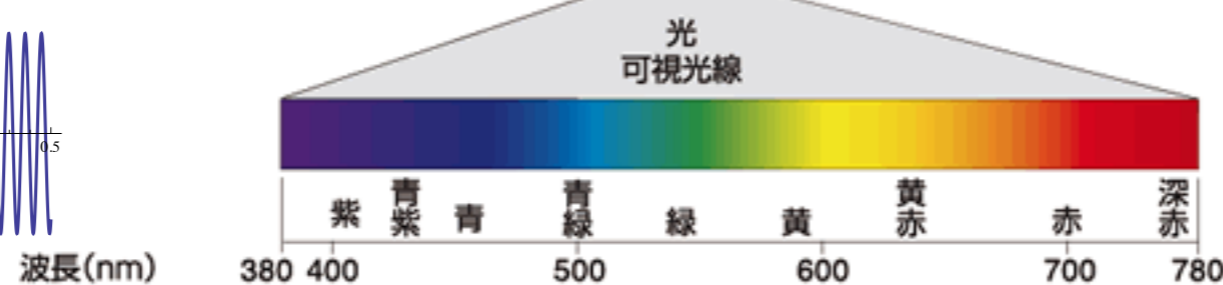
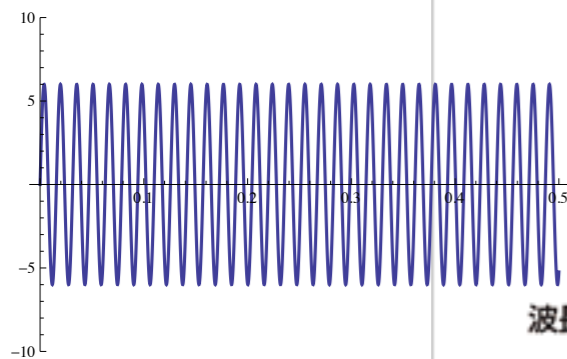
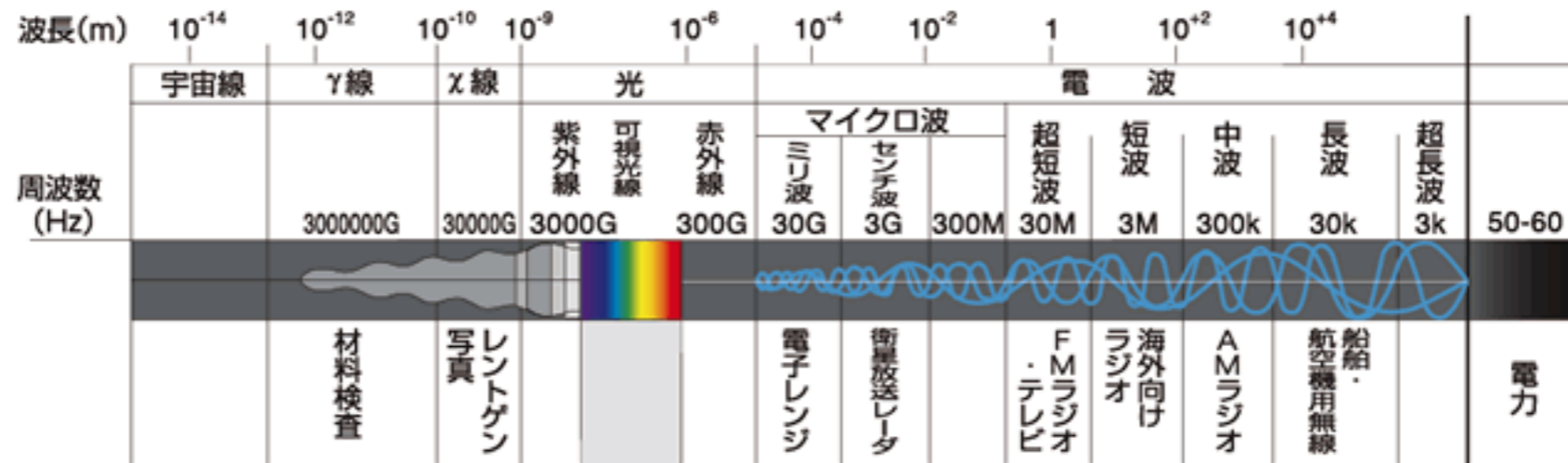
= 音が低くなる





●電磁波の分類

名称	波長(振動数)	おもな利用例	
γ線	$1 \times 10^{-10} \text{m}$ 以下	食品照射, 医療	
X線	$1 \times 10^{-11} \sim 1 \times 10^{-8} \text{m}$	X線写真, 医療	
紫外線	$1 \times 10^{-9} \sim 3.8 \times 10^{-7} \text{m}$	殺菌, 化学作用の利用	
可視光線	$3.8 \times 10^{-7} \sim 7.7 \times 10^{-7} \text{m}$	光学器械	
赤外線	$7.7 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-3} \text{m}$	赤外線写真, 暖房	
電波	マイクロ波	$10^{-4} \sim 1 \text{m}$ ($3 \times 10^8 \sim 3 \times 10^{12} \text{Hz}$)	携帯電話, 電子レンジ
	超短波	$1 \sim 10 \text{m}$ ($3 \times 10^7 \sim 3 \times 10^8 \text{Hz}$)	FMラジオ放送, テレビ放送
	短波	$10 \sim 10^2 \text{m}$ ($3 \times 10^6 \sim 3 \times 10^7 \text{Hz}$)	短波ラジオ放送
	中波	$10^2 \sim 10^3 \text{m}$ ($3 \times 10^5 \sim 3 \times 10^6 \text{Hz}$)	AMラジオ放送
	長波	$10^3 \sim 10^4 \text{m}$ ($3 \times 10^4 \sim 3 \times 10^5 \text{Hz}$)	飛行機の通信, 電波時計
	超長波	$10^4 \sim 10^5 \text{m}$ ($3 \times 10^3 \sim 3 \times 10^4 \text{Hz}$)	



光のドップラー効果

音源と観測者が相対的に近づく

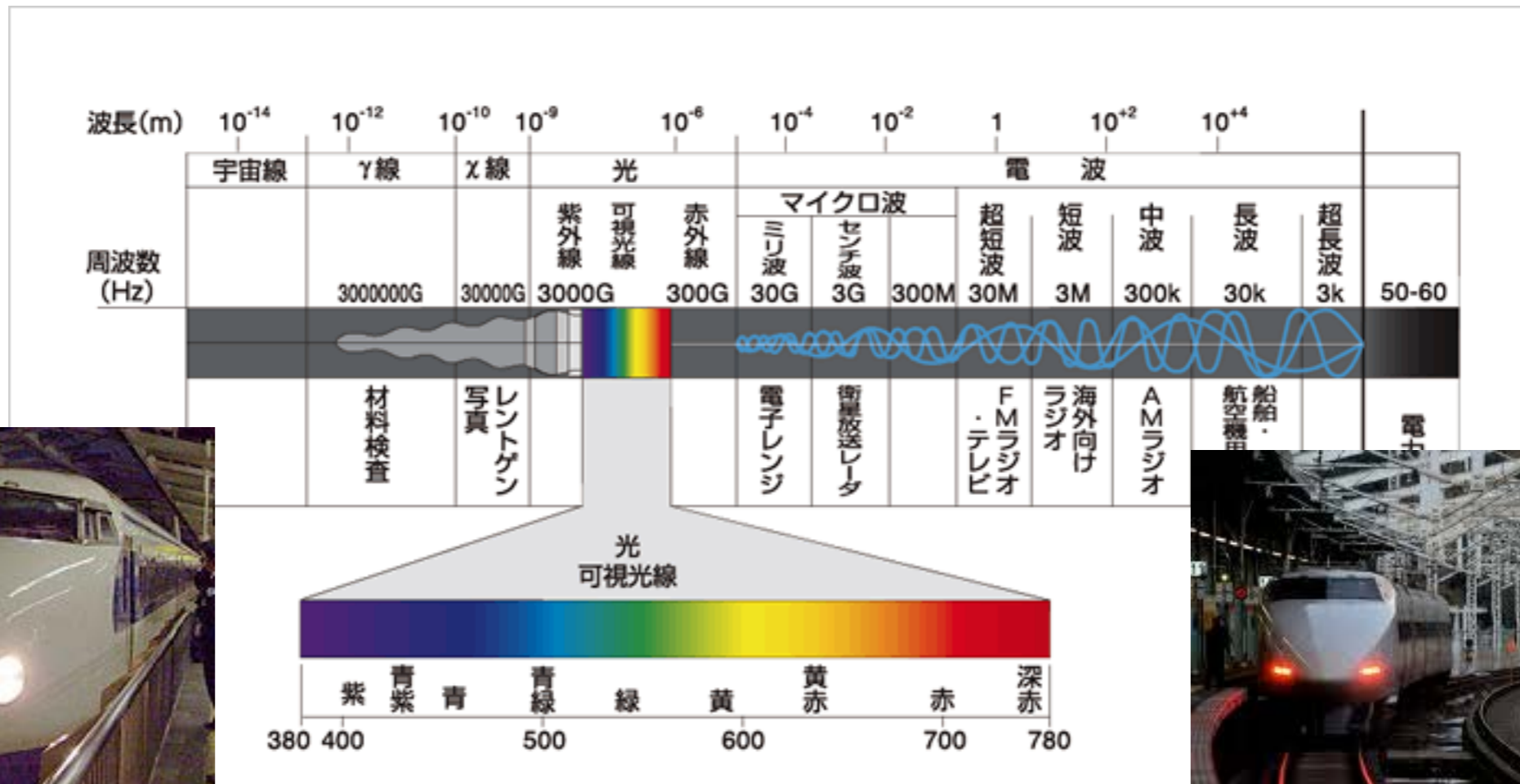
=音が高くなる

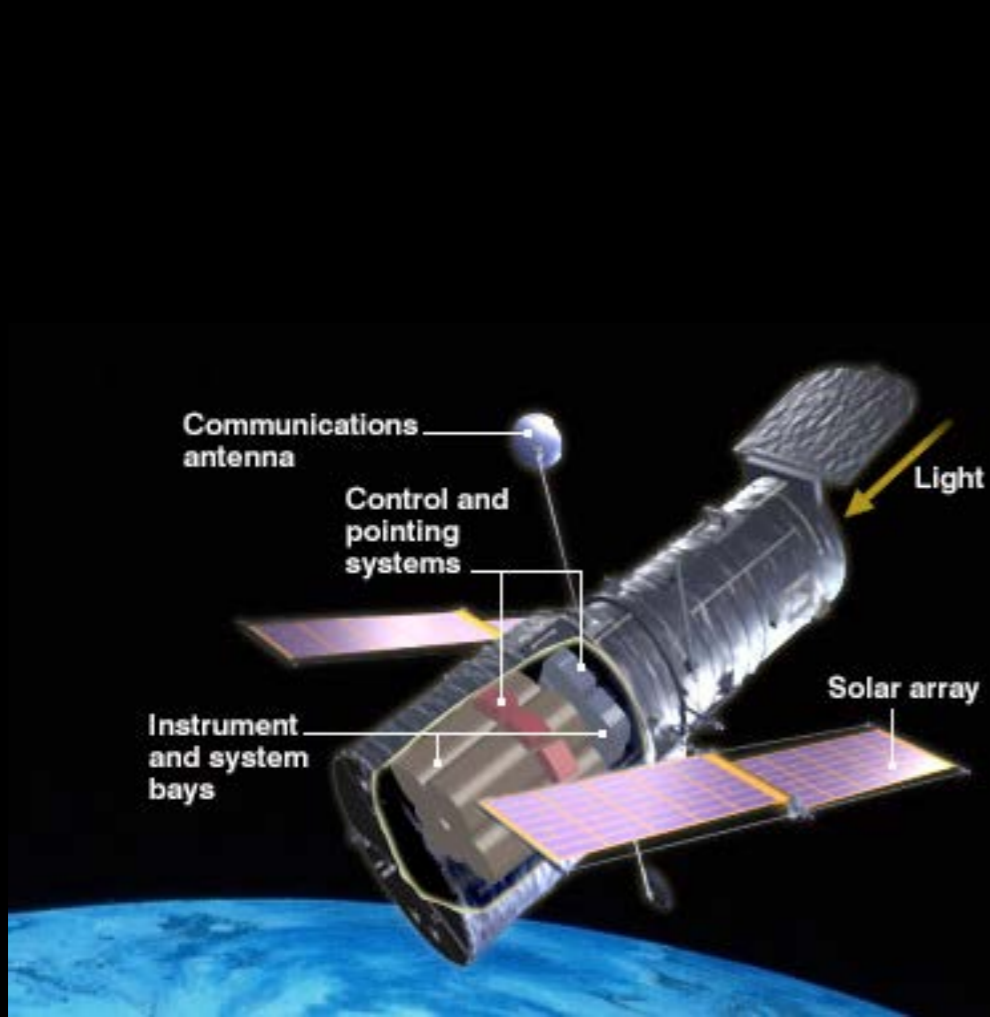
=色が青くなる

音源と観測者が相対的に遠ざかる

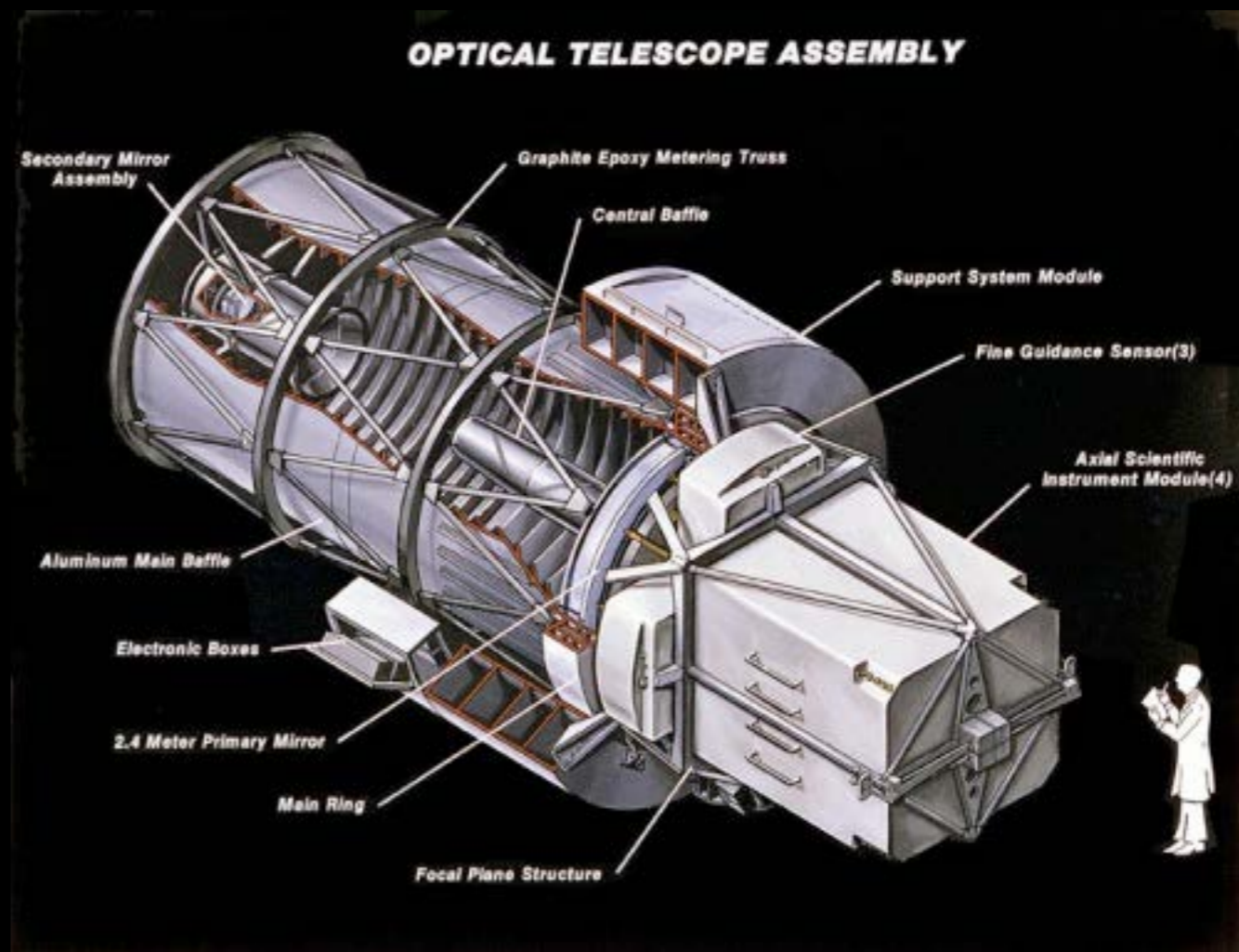
=音が低くなる

=色が赤くなる





宇宙にある ハッブル望遠鏡



宇宙が膨張していることは どうしてわかったのか？

1929年 宇宙膨張の発見

Edwin Powell Hubble
(1889–1953)



ハッブルの宇宙膨張の法則 (1929年)

$$v = H_0 d \quad (5.9)$$

銀河の後退速度 = ハッブル定数 H_0 × 銀河までの距離

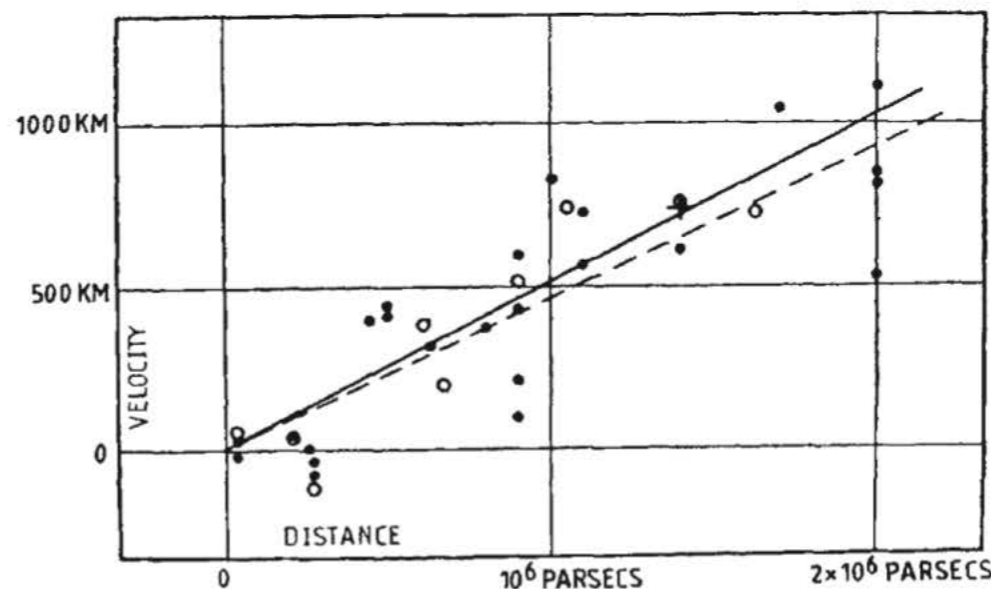
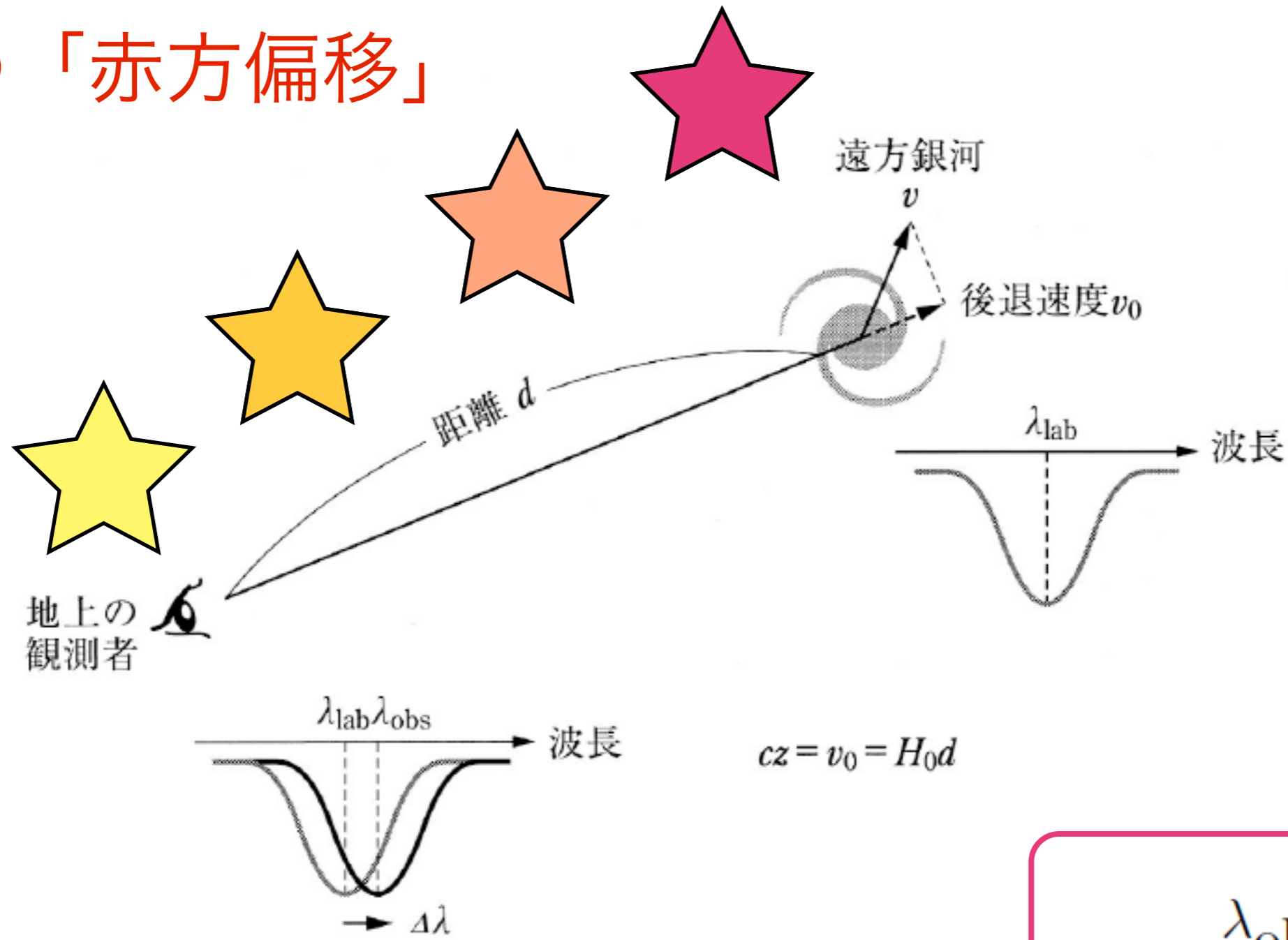


図 5.7 ハッブルが 1929 年に発表した図。横軸は距離，縦軸は銀河の後退速度。このグラフの傾きがほぼ一定になることが，ハッブルの法則である。ハッブルが報告した値は， $H_0 = 530 \text{ km/s/Mpc}$ だった。現在値は $H_0 = 68 \text{ km/s/Mpc}$ 。

光の「ドップラー効果（赤方偏移）」から

宇宙が膨張していることは どうしてわかったのか？

光の「赤方偏移」



赤方偏移パラメータ

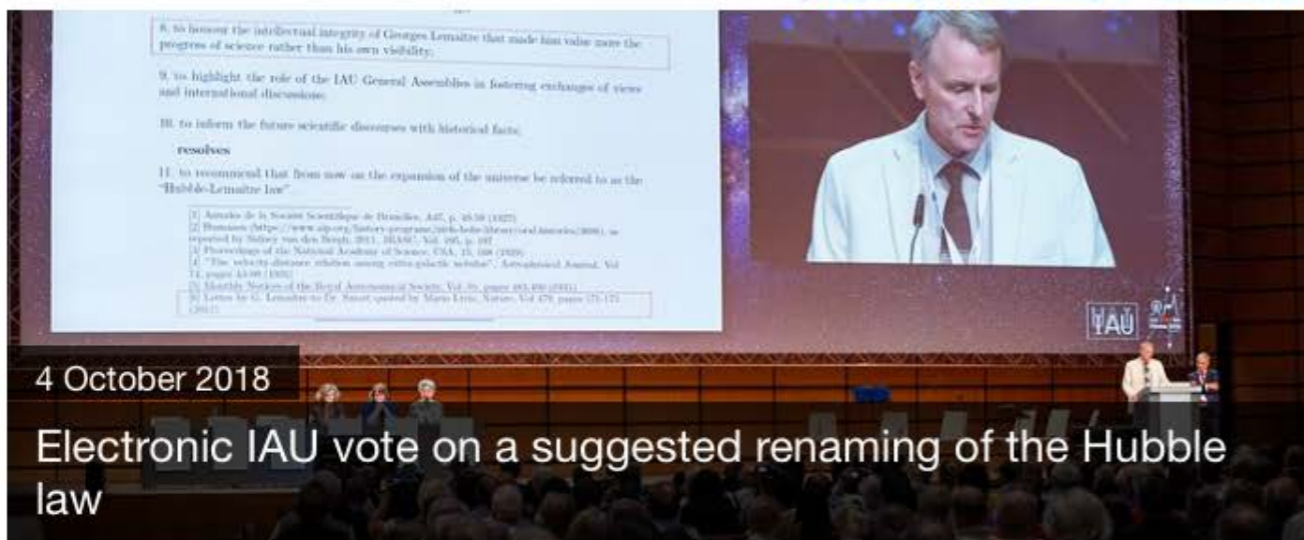
$$z \equiv \frac{\lambda_{\text{obs}} - \lambda_S}{\lambda_S}$$

Home / News / Announcements

/ Electronic IAU vote on a suggested renaming of the Hubble law

ann18048 — Announcement

Subscribe to the IAU e-Newsletter.



4 October 2018

Electronic IAU vote on a suggested renaming of the Hubble law

Click to Enlarge

During its XXX General Assembly in Vienna (in August 2018), the International Astronomical Union (IAU) put forward a draft resolution to rename the Hubble law as the “Hubble–Lemaître law”. The resolution was proposed to recognise Lemaître’s research on the expansion of the Universe, and to pay tribute to both Lemaître and Hubble for their fundamental contributions to the development of modern cosmology. This resolution has now been put to all IAU Junior and Individual Members via an electronic vote.

To acknowledge the fundamental scientific contributions of both Georges Lemaître and Edwin Hubble to the scientific theory of the expansion of the Universe [1] [2] [3] [4], the International Astronomical Union (IAU) has proposed a resolution (Resolution

B4...
law...
the...
pr...
A...
indicated that 74 per cent of the 655 attending individual members were in agreement with the proposed resolution. However, given the importance of the Hubble law, the IAU Executive Committee decided to put Resolution B4 to an

国際天文学連合

2018年10月 Hubble law

Search iau.org

Search

Twitter

Follow the IAU on social media



About the Announcement

Id:
ann18048

Images



PR Image ann18048a
IAU Resolutions being presented at the GA 2018

今後は、ハッブル・ルメートルの法則 と呼ぶことにする。



Vote on Resolution B4 "on a suggested renaming of the Hubble Law"

Dear IAU Member,

you are invited to express your vote on the Resolution B4 "on a suggested renaming of the Hubble Law" by ticking one of the following three options:

- I approve the Resolution B4
- I reject the Resolution B4
- I abstain

Please find more details about the vote and an announcement on this resolution here:

<https://www.iau.org/news/announcements/detail/ann18048/>

The Resolution will be approved by simple majority, abstentions do not count. The voting will close on October 26th at 23:59 pm UTC.

How do you vote regarding Resolution B4 "on a suggested renaming of the Hubble Law" ?

Please note you have 1 choice(s) in this vote. Also, you have to select a minimum of 1 choice(s).

This is compulsory to complete.

I approve the Resolution B4

I reject the Resolution B4

Abstain

Next step

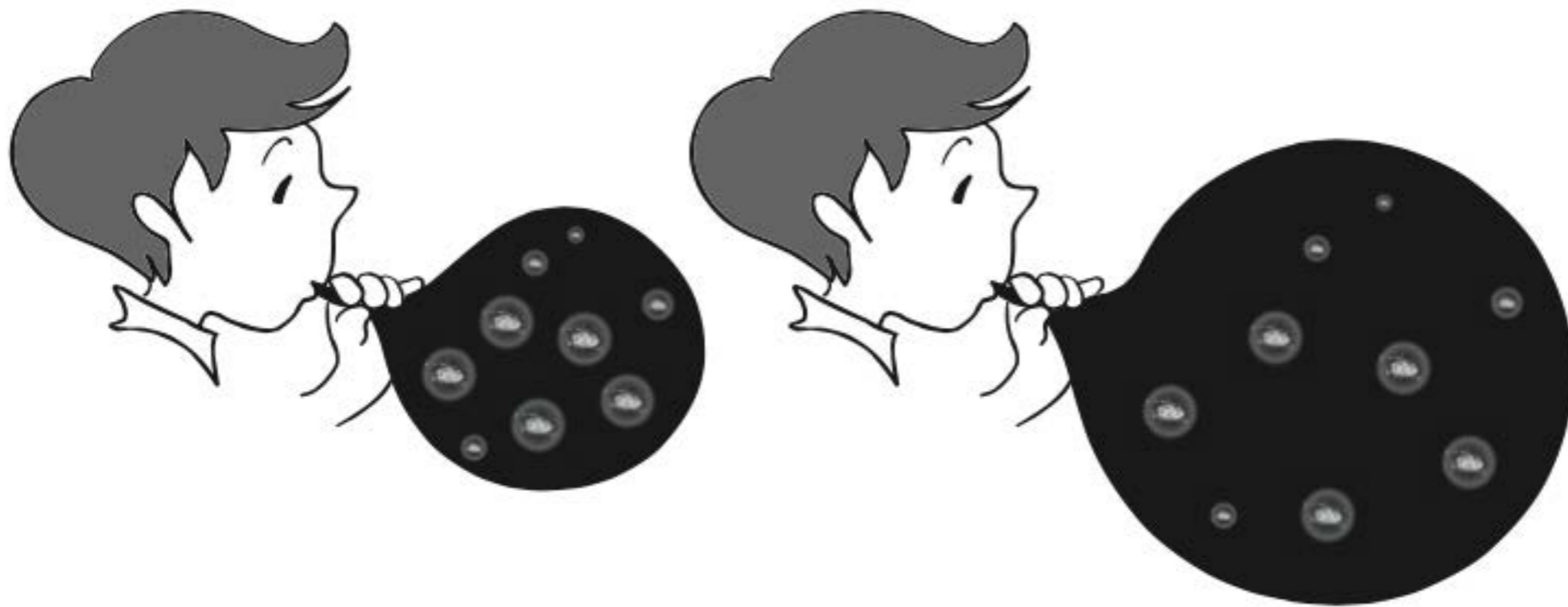


図42 遠方の銀河ほど速く遠ざかっている、というハッブルの法則は、我々が宇宙の中心にいないことを意味するわけではない。

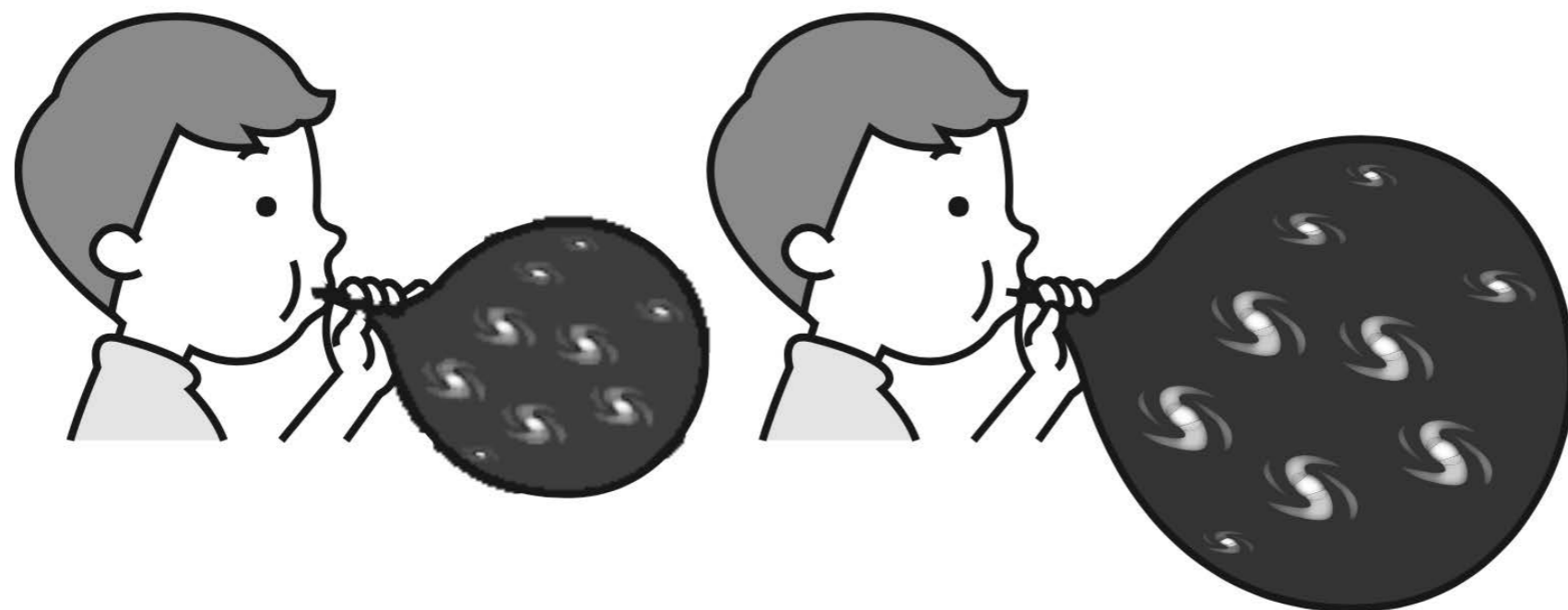


図 5.8 宇宙の中心はどこ？

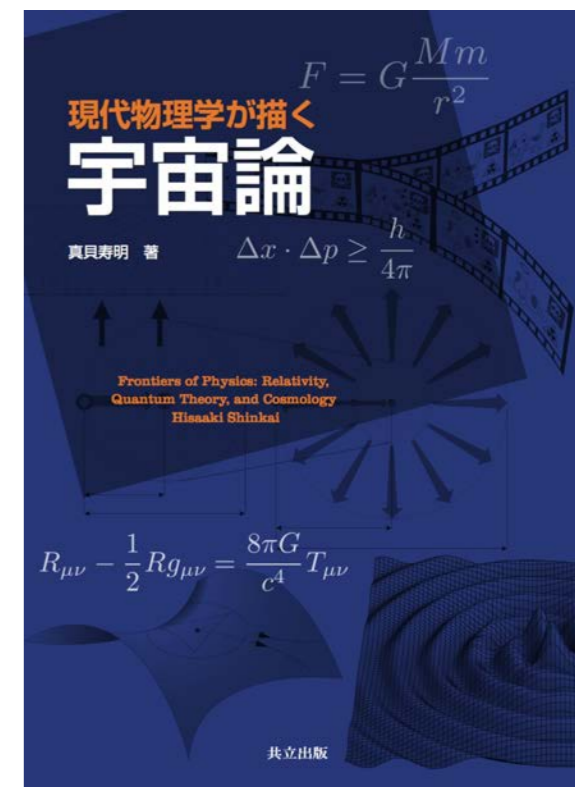


表 A.2 赤方偏移パラメータ z と対応する年代.

z	何年前か	宇宙年齢	
0	現在	137 億年	
0.023	3 億年前	134 億年	かみのけ座銀河団
0.05	7 億年前	130 億年	
1	77 億年前	60 億年	
7	129 億年前	8 億年	報告されている最遠方の銀河
10	132 億年前	5 億年	宇宙の再電離開始 (?)
20	135 億年前	2 億年	原始銀河の誕生 (?)
1090	137 億年前	38 万年	宇宙の晴れ上がり

赤方偏移パラメータ

$$z \equiv \frac{\lambda_{\text{obs}} - \lambda_S}{\lambda_S}$$

宇宙をひもとく物理学

真貝寿明（しんかいひさあき）



10月25日 なぜ円ではなく楕円か — ケプラーの惑星運動の法則

11月22日 光のドップラー効果 — 宇宙膨張の法則

12月27日 星は何を燃やしているのか — 特殊相対性理論

1月24日 時空のゆがみとブラックホール — 一般相対性理論

2月28日 光は波なのか粒子なのか — 量子論

3月28日 解明されている部分は5%? — 宇宙論

<http://www.oit.ac.jp/is/~shinkai/mainichi/>

<http://www.oit.ac.jp/is/%7Eshinkai/mainichi/>