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

第1回　2026/9/21

第1章　宇宙の階層構造（1）前半

Google Classroom



真貝　寿明
Hisaaki Shinkai



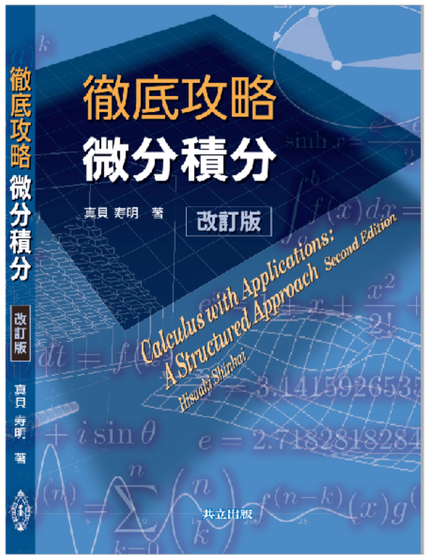
https://www.oit.ac.jp/labs/is/system/shinkai/mukogawa/

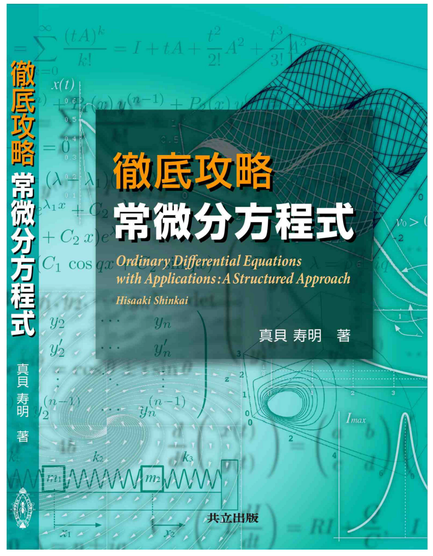
真貝の武庫川講義ページtop

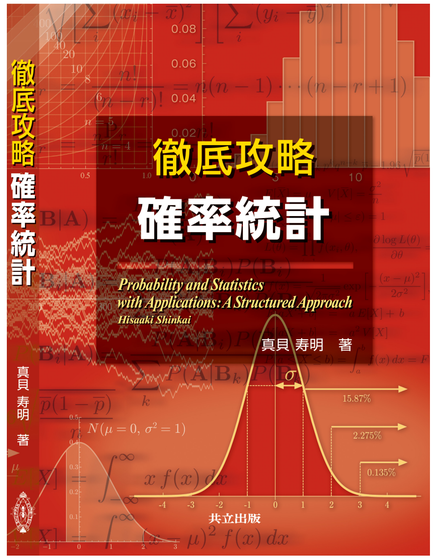
真貝寿明 Hisaaki Shinkai

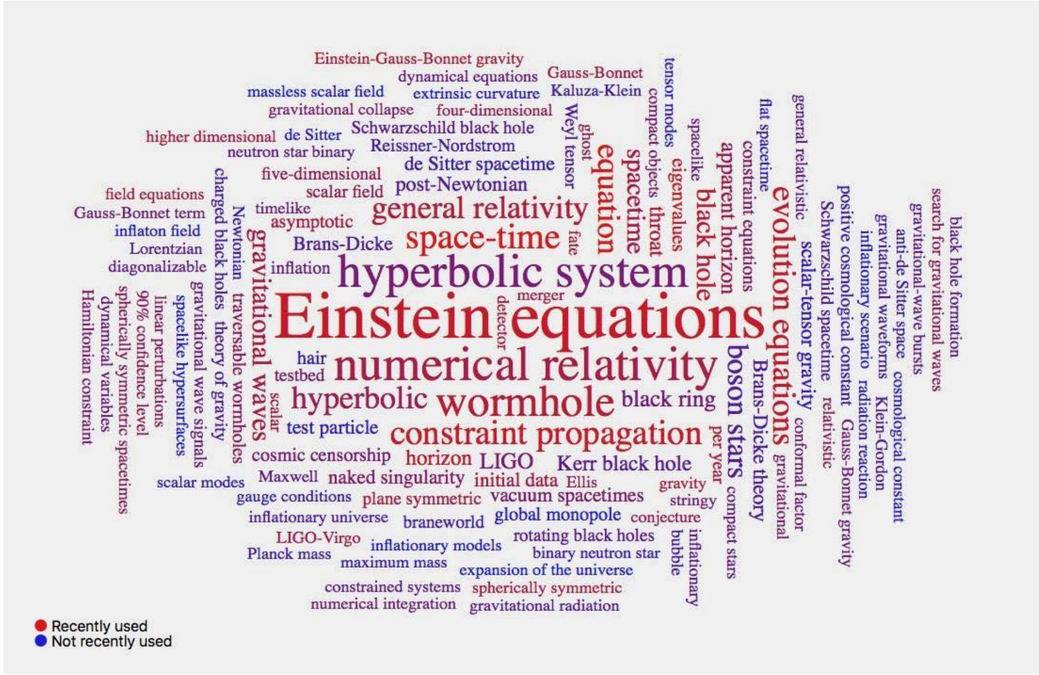


★ ふだんは大阪工業大（枚方），後期月曜だけ武庫川女子大
　武庫女の非常勤14年目
★ 専門は理論物理（相対性理論，ブラックホール・重力波）
★ 日本の重力波プロジェクトKAGRAの研究者代表 (2017-2021)





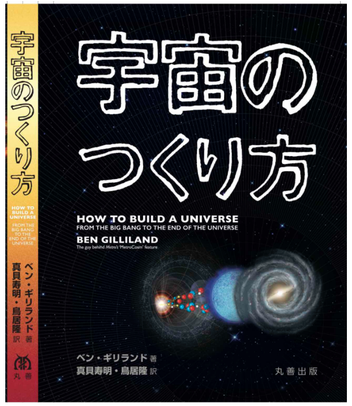




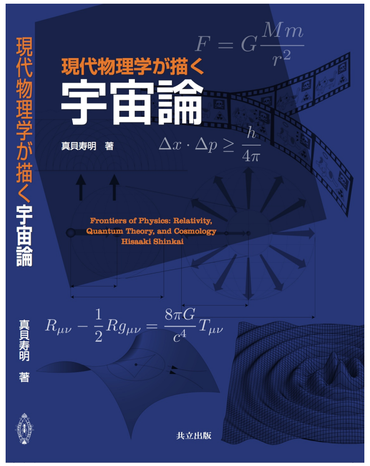
Word Cloudで，論文の概要のワードを抽出したもの

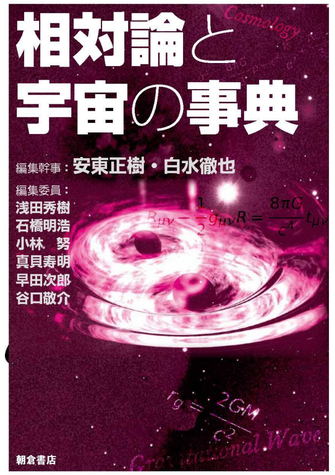
真貝寿明　著作・翻訳

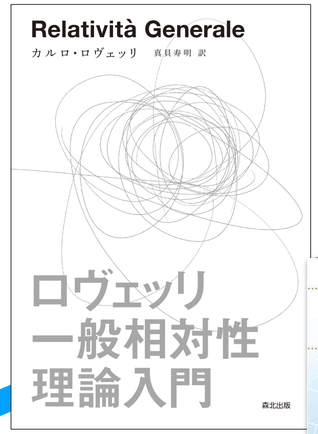
物理の面白さを伝えたい



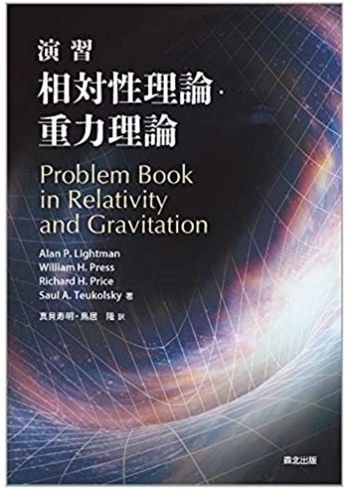


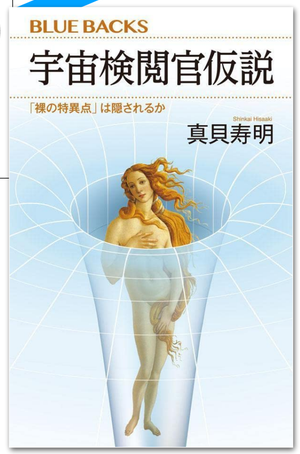






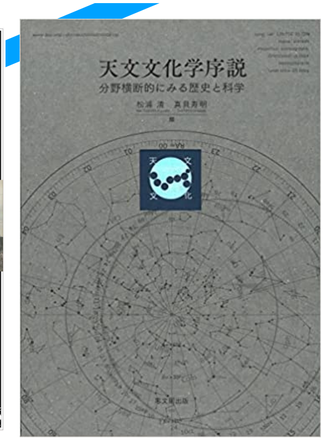
難しい本







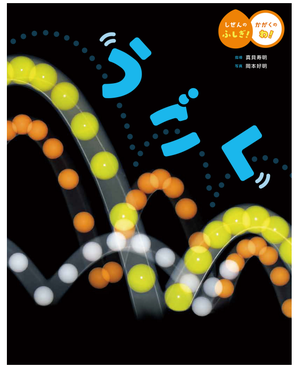




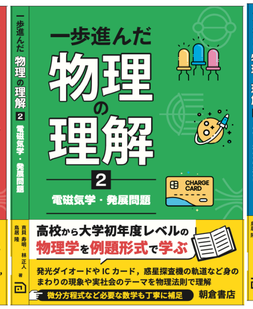




（重力波の項）

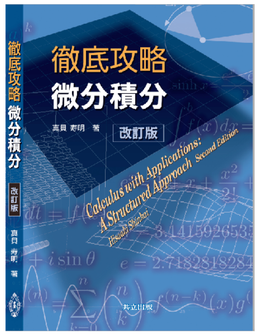


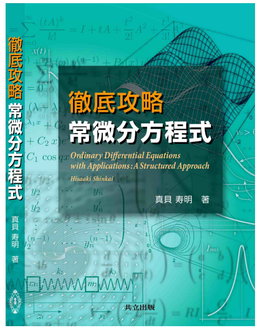


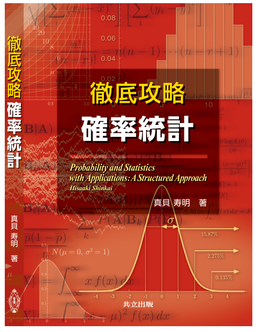




易しい本





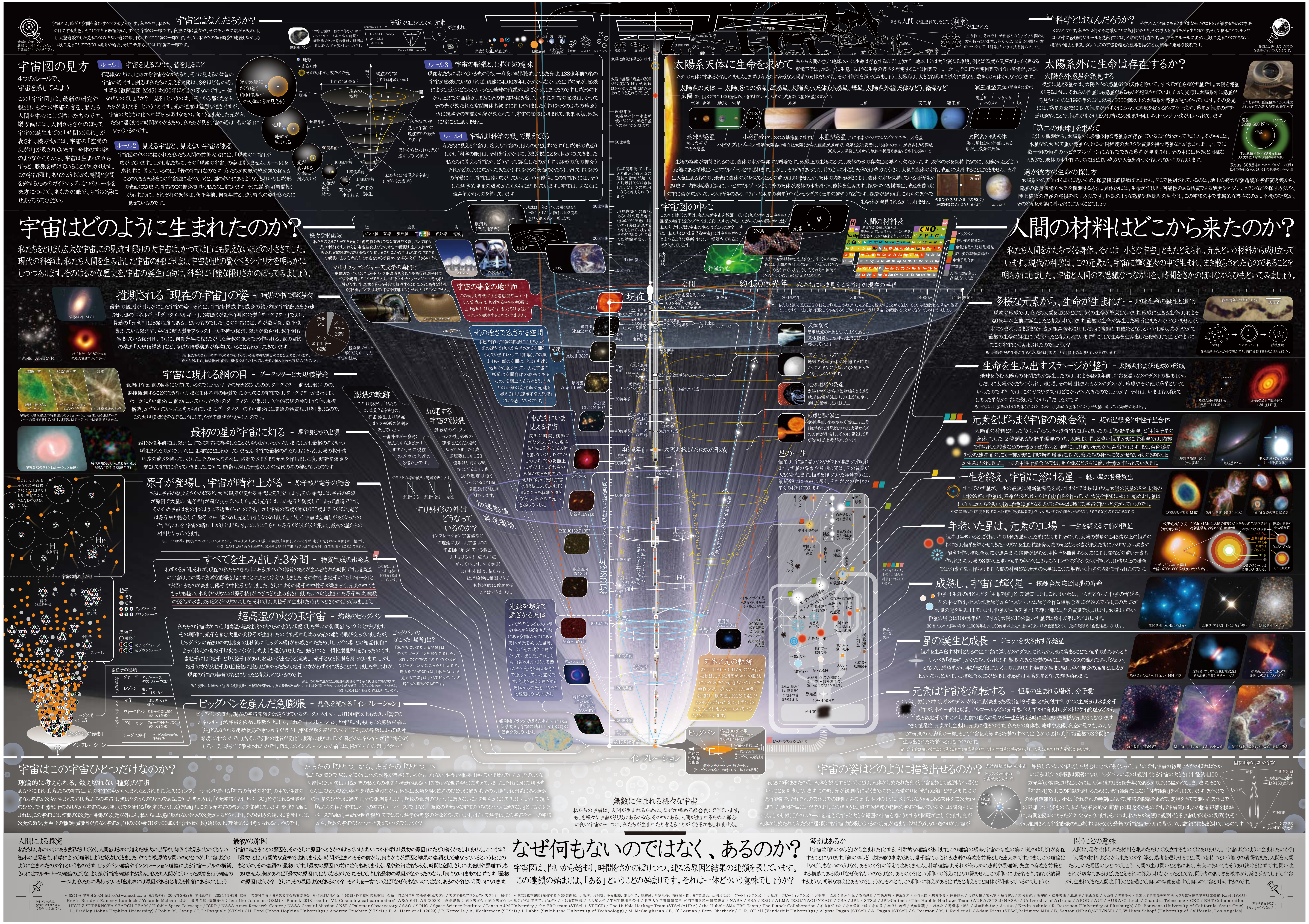


わかりやすく伝えたい

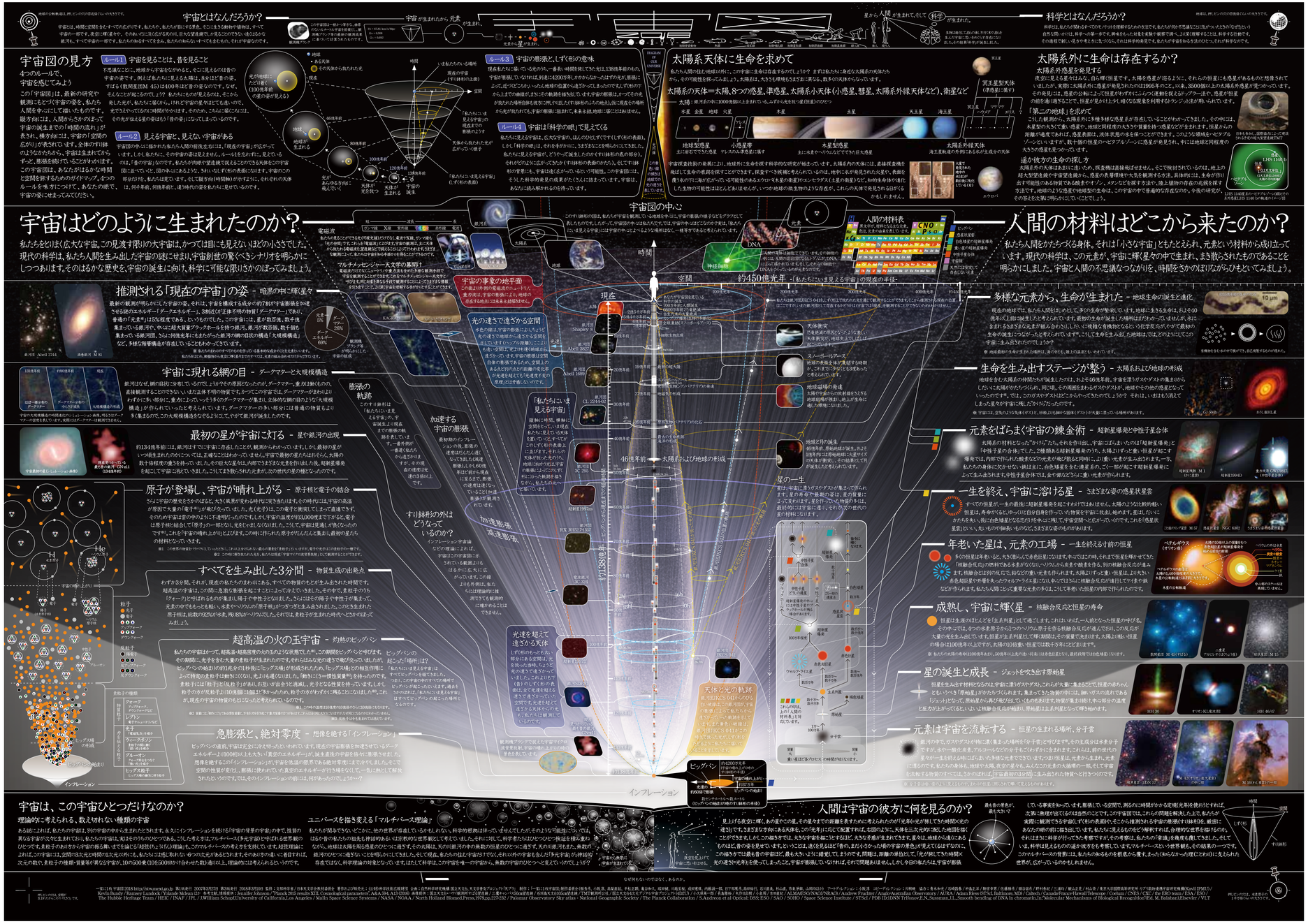
教科書　(共立出版, 2018)

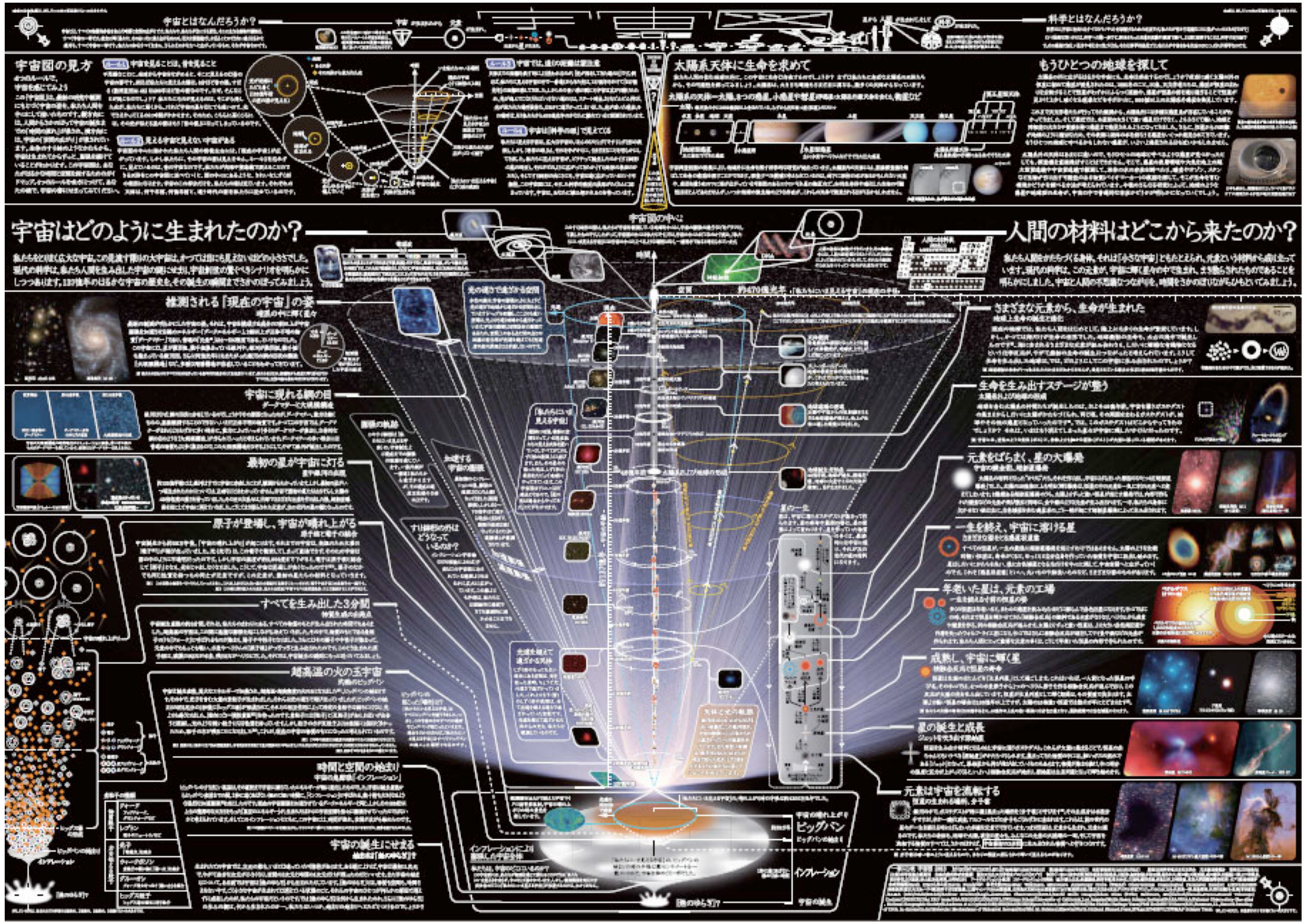


242ページ，2300円+税

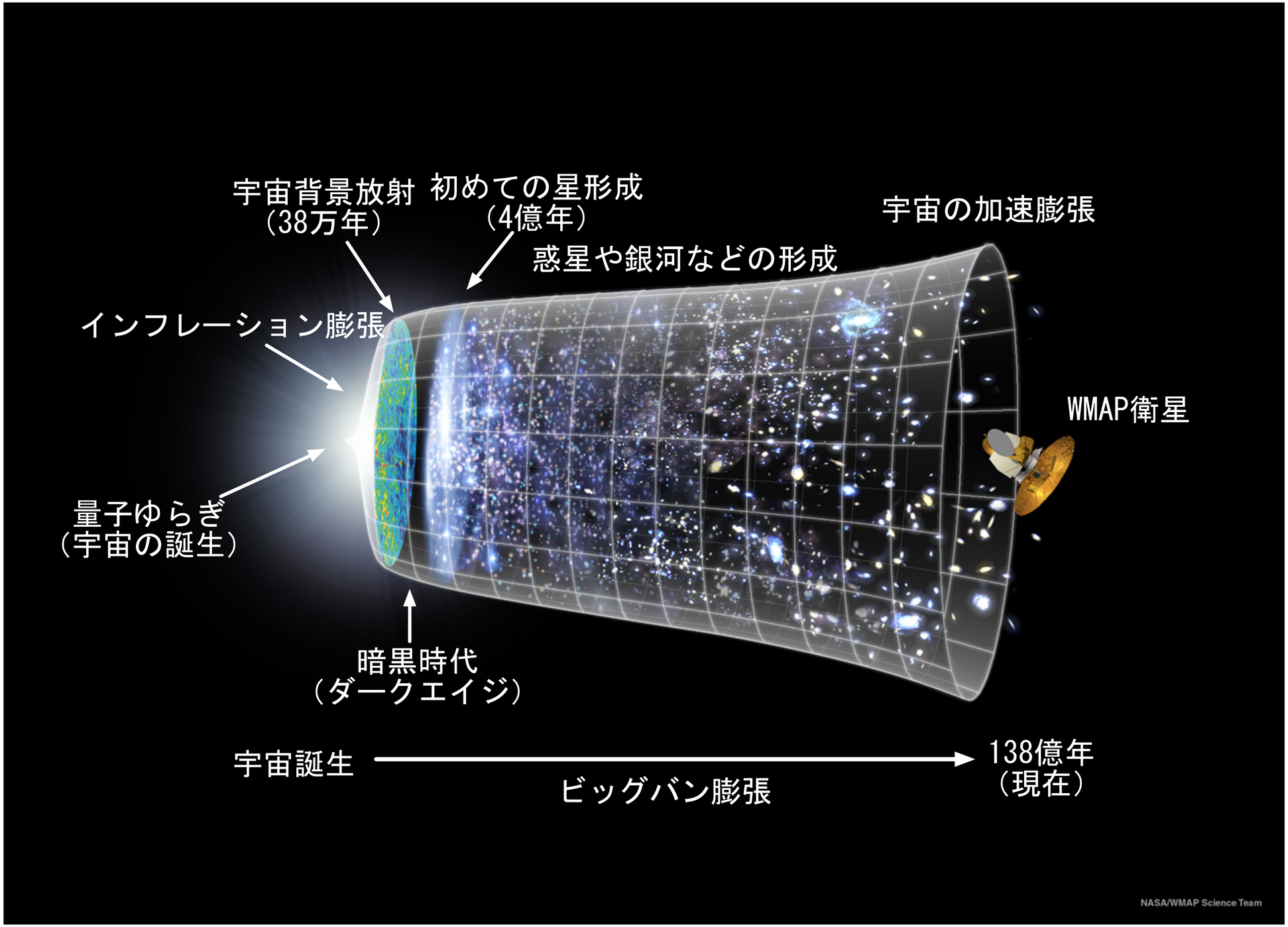


文部科学省　一家に一枚　宇宙図 2024


宇宙とはなんだろうか？
宇宙が生まれたから 元素が生まれ、
星から 人間が生まれ、そして 科学が生まれた。
科学とはなんだろうか？
宇宙図の見方
4つのルールで、宇宙を感じてみよう
この「宇宙図」は、最新の研究や観測にもとづく宇宙の姿を、私たち人間を中心にして描いたものです。縦方向には、人間からさかのぼって宇宙の誕生までの「時間の流れ」が表され、横方向には、宇宙の「空間の広がり」が表されています。全体の7引林のようなかたちから、宇宙は生まれてからずっと、膨張を続けていることがわかります。この宇宙図は、あなたがはるか遠い時と空間を旅するためのガイドマップ。4つのルールを味方につけて、あなたの眼で、宇宙の姿にせまってみてください。
ルール1 宇宙を見ることは、昔を見ること
ルール2 見える宇宙と、見えない宇宙がある
ルール3 宇宙の膨張と、しずく形の意味
ルール4 宇宙は「科学の眼」で見てくる
太陽系天体に生命を求めて
太陽系外に生命は存在するか？
遠か彼方の生命の探し方
宇宙図の中心に
人間の材料表
人間の材料はどこから来たのか？
宇宙はどのように生まれたのか？
推測される「現在の宇宙」の姿 - 暗黒の中に輝く星々
宇宙に現れる網の目 - ダークマターと大規模構造
最初の星が宇宙に灯る - 星や銀河の出現
原子が登場し、宇宙が晴れ上がる - 原子核と電子の結合
すべてを生み出した3分間 - 物質生成の出発点
超高温の火の玉宇宙 - 灼熱のビッグバン
急膨張と、絶対零度 - 想像を絶する「インフレーション」
多様な元素から、生命が生まれた - 地球生命の誕生と進化
生命を生み出すステージが整う - 太陽系および地球の形成
元素をばらまく宇宙の錬金術 - 超新星爆発と中性子星合体
生を終え、宇宙に溶ける星 - さまざまな姿の惑星状星雲
年老いた星は、元素の工場 - 一生を終える寸前の恒星
成熟し、宇宙に輝く星 - 核融合反応と恒星の寿命
星の誕生と成長 - ジェットを吹き出す原始星
元素は宇宙を流転する - 恒星の生まれる場所、分子雲
宇宙は、この宇宙ひとつだけなのか？
人間は宇宙の彼方に何を見るのか？
文部科学省　一家に一枚　宇宙図 2018

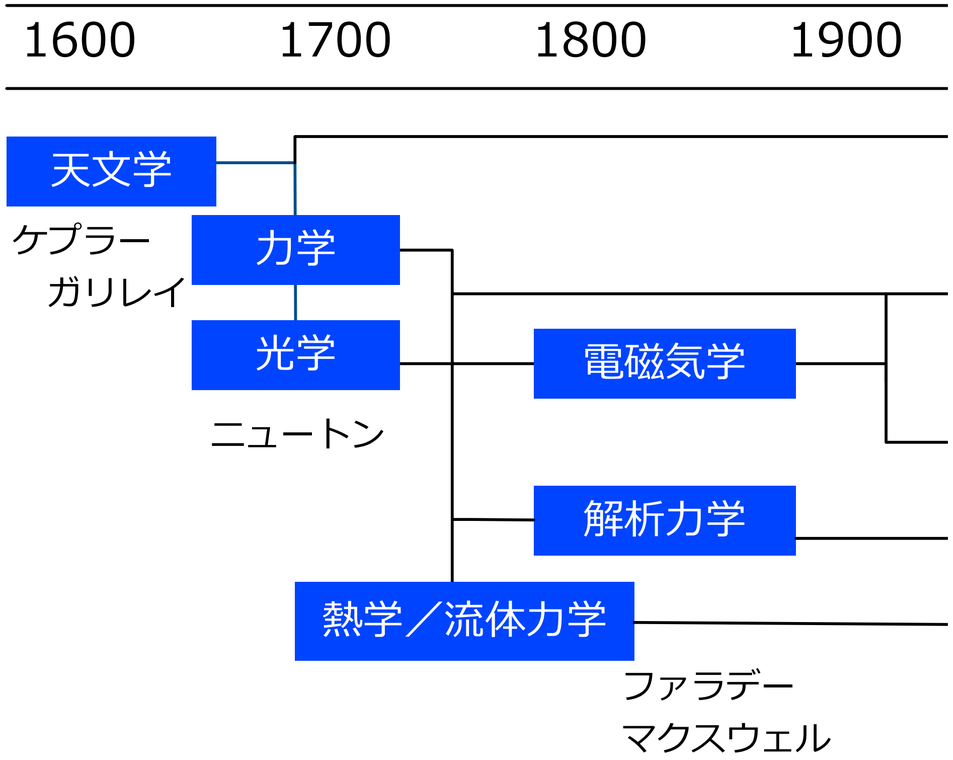


文部科学省　一家に一枚　宇宙図 2013

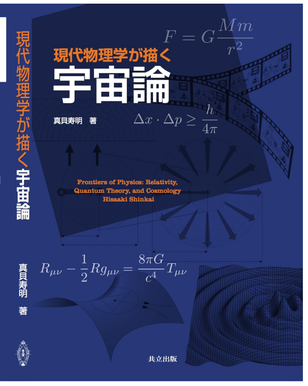

宇宙背景放射
（38万年）
初めての星形成
（4億年）
宇宙の加速膨張
惑星や銀河などの形成
インフレーション膨張
WMAP衛星
量子ゆらぎ
（宇宙の誕生）
暗黒時代
（ダークエイジ）
宇宙誕生
138億年
（現在）
ビッグバン膨張
NASA/WMAP Science Team

近代物理学から現代物理学へ　物理学奇跡の年 1905年

近代物理学の進展



19世紀末は「物理学は完成した」と考えられていた。





2026年の惑星観望

水金地火ケレス木土天海冥・ハウメア・マケマケ・エリス

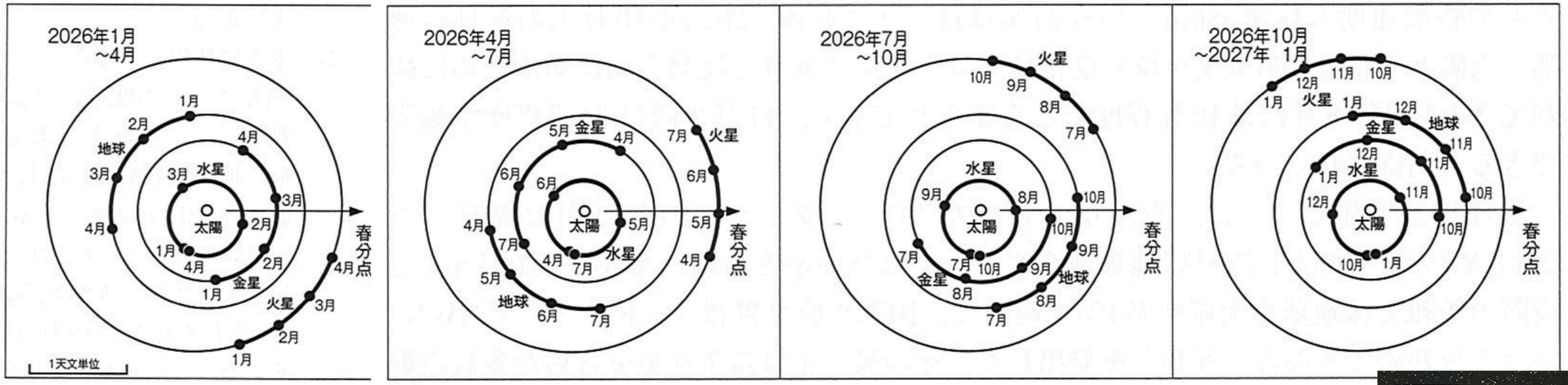


図２　3ヵ月ごとの内側惑星の動き　・印は毎月1日の位置

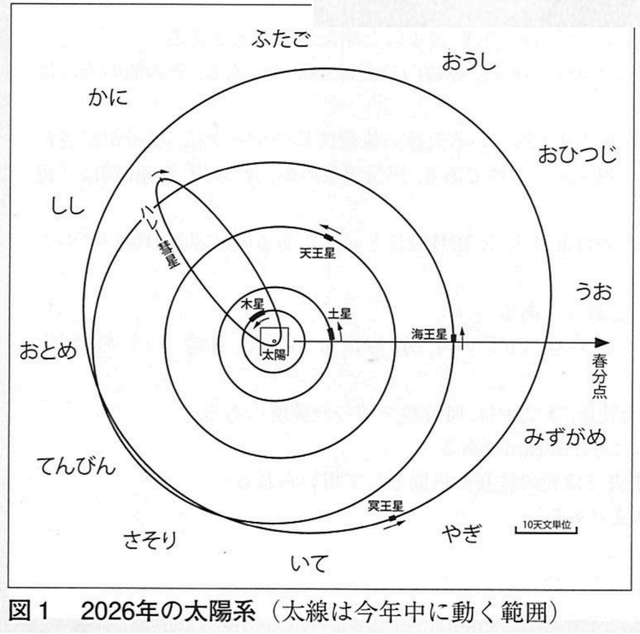
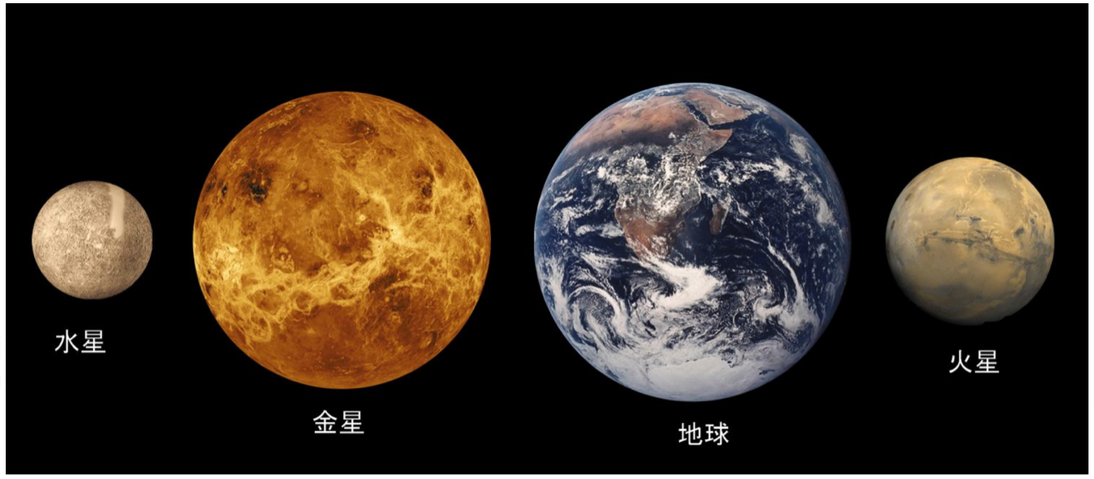
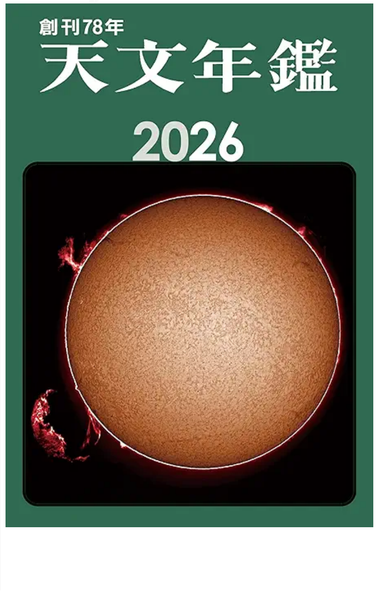


図１　2026年の太陽系（太線は今年中に動く範囲）







2026年の火星

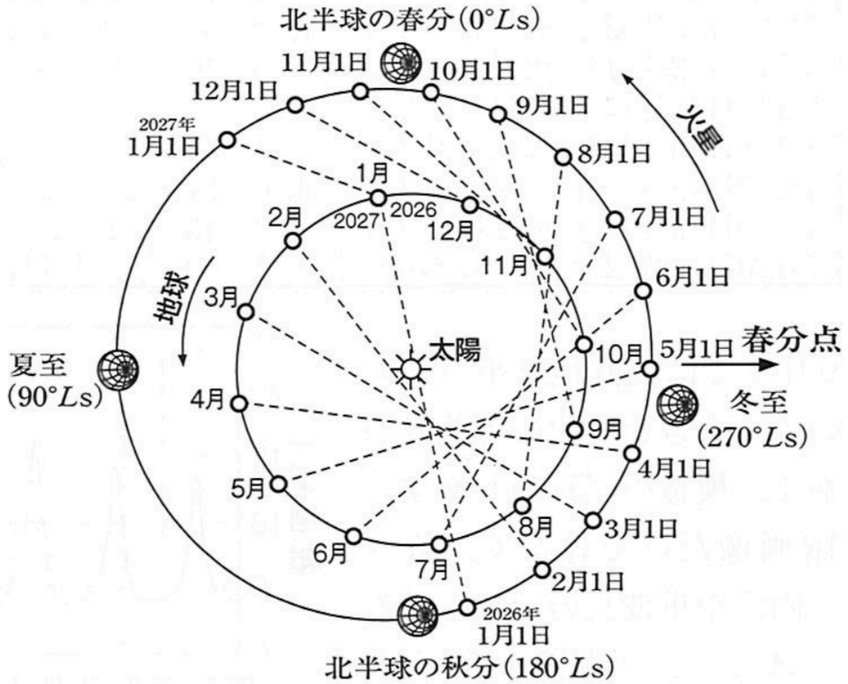


図1　2026年　地球と火星の位置

次に接近するのは2027年2月,
それまでしばらくはお預け

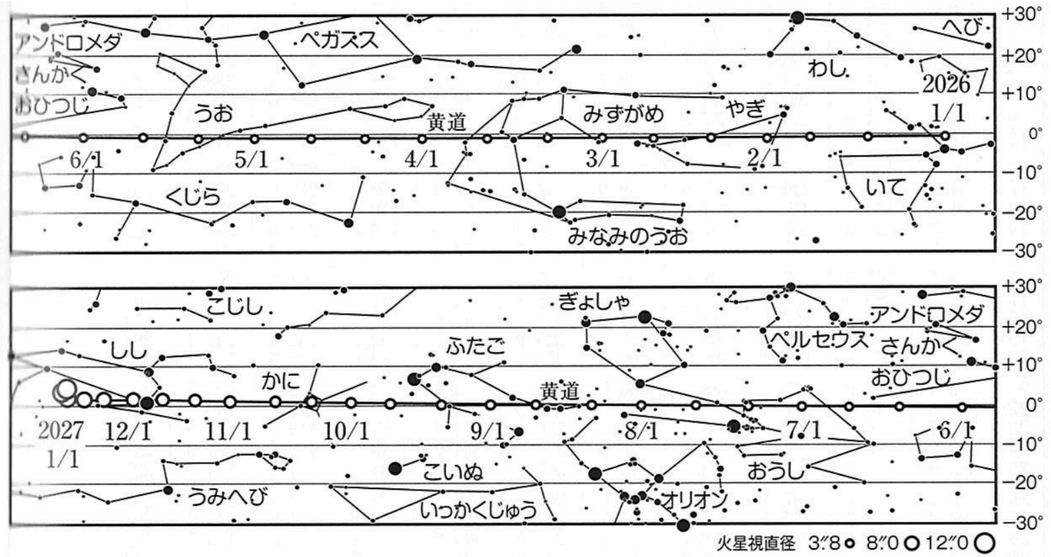


図2　2026年　星座間の火星の動き　(黄道中心図, 毎月1・11・21日の位置)

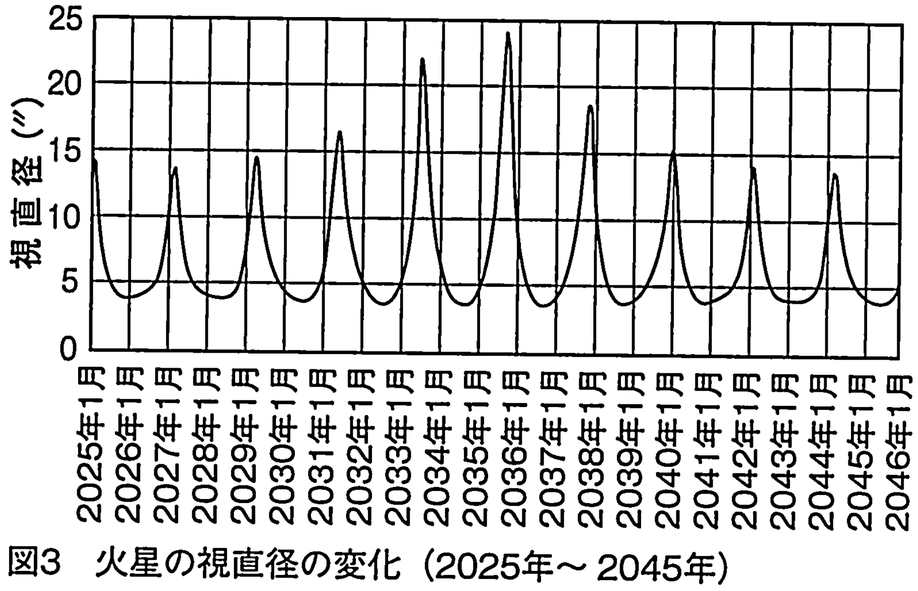
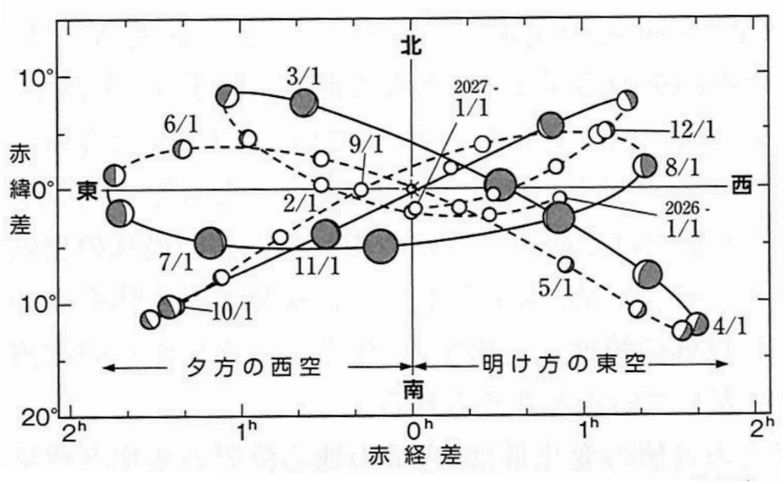


図3　火星の視直径の変化（2025年～2045年）

2026年の水星・金星



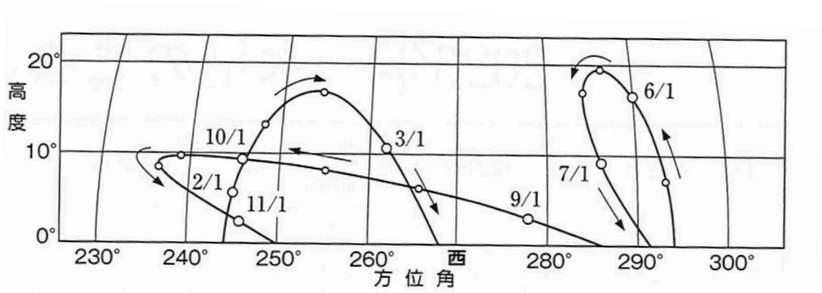


図3　日没時の水星の高度と方位角（東京での値）

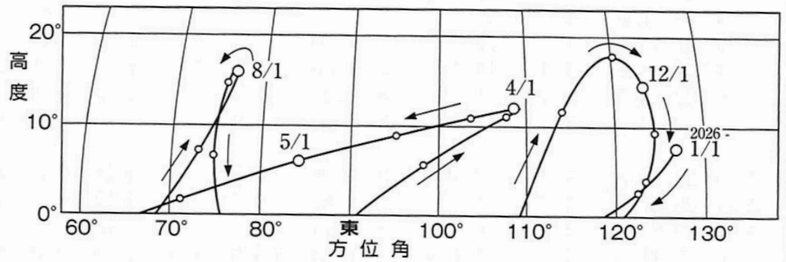


図4　日出時の水星の高度と方位角（東京での値）

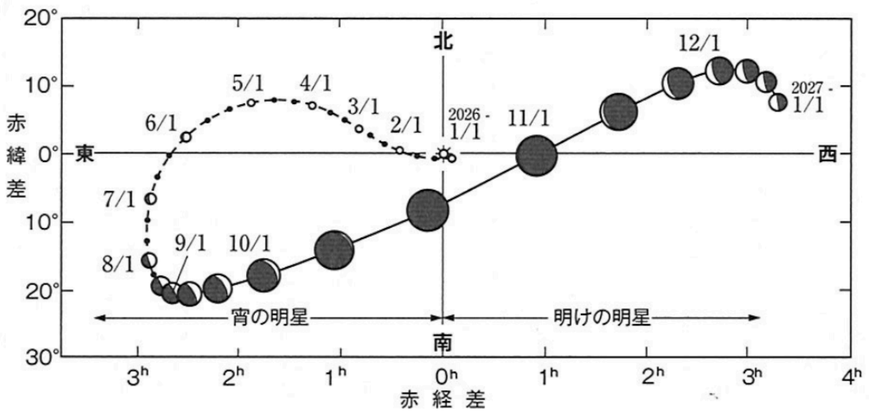


図1　太陽の周りの金星の動き（毎月1・11・21日の位置）

金星は10月までが宵の明星，11月以降が明けの明星．

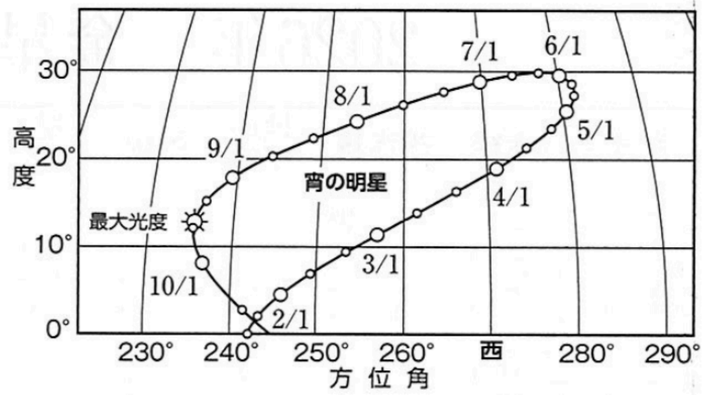


図3　日没時の金星の高度と方位角（東京での値）

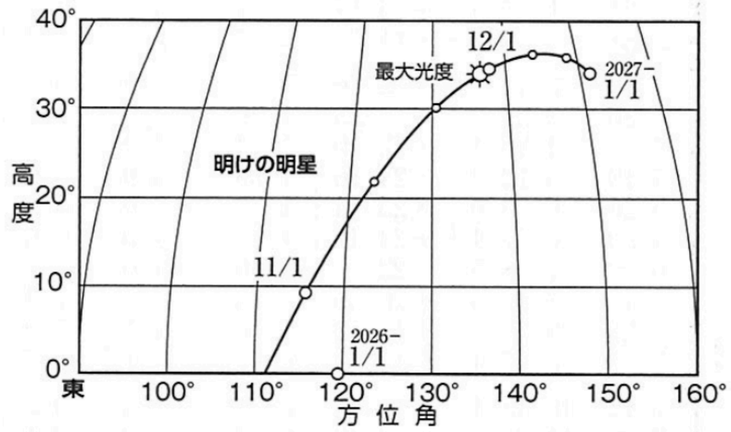
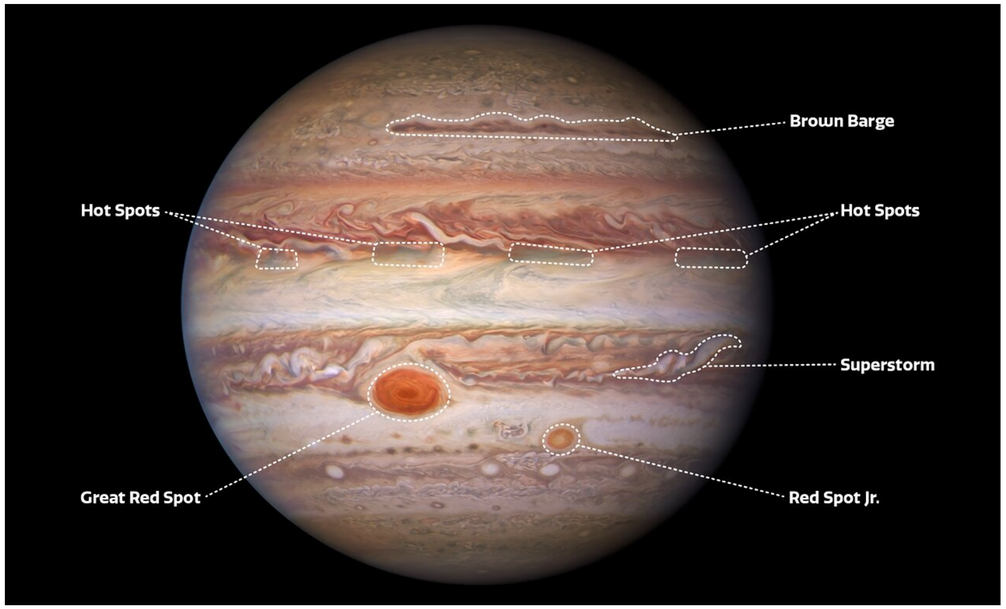
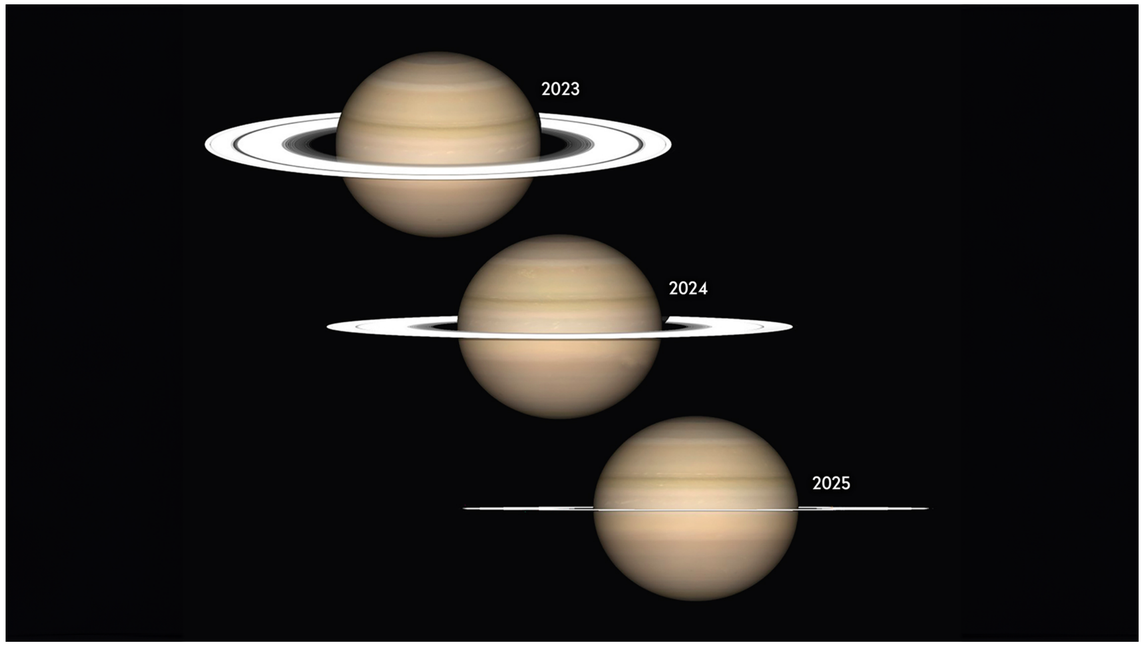


図4　日出時の金星の高度と方位角（東京での値）

2026年の木星・土星





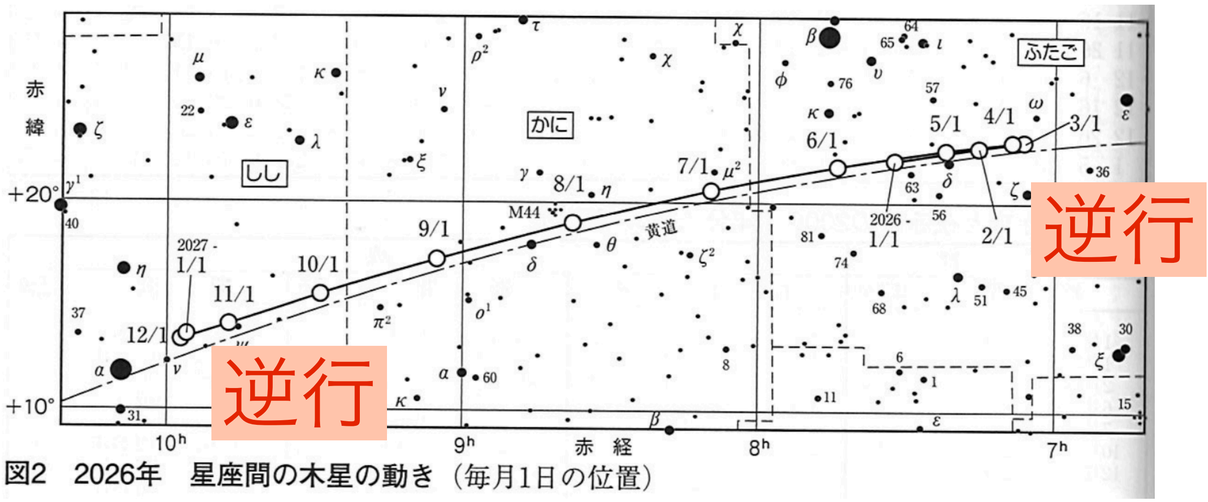


図2　2026年　星座間の木星の動き（毎月1日の位置）

現在よく見えている. 2026年は初夏まで.

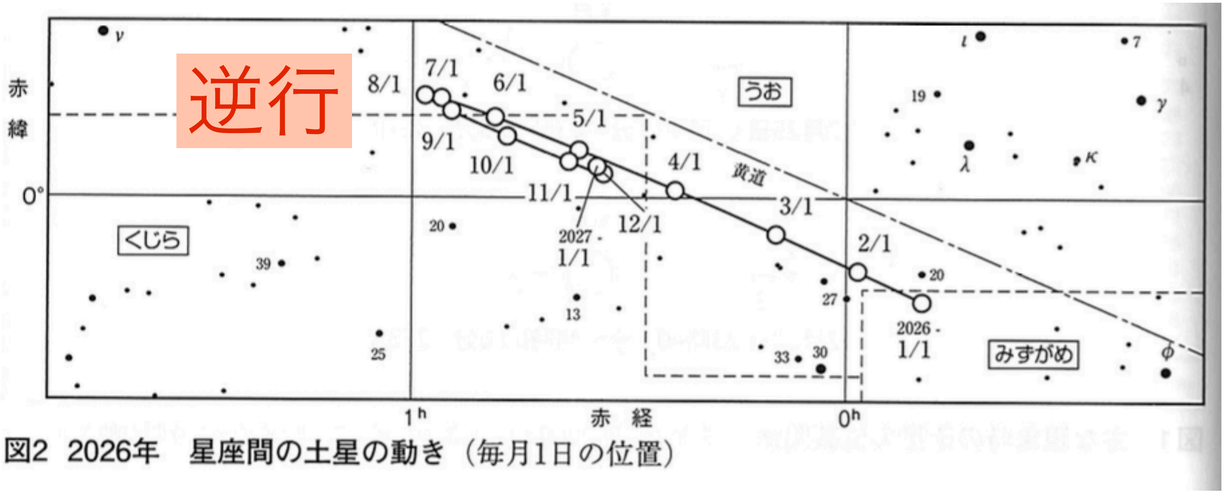
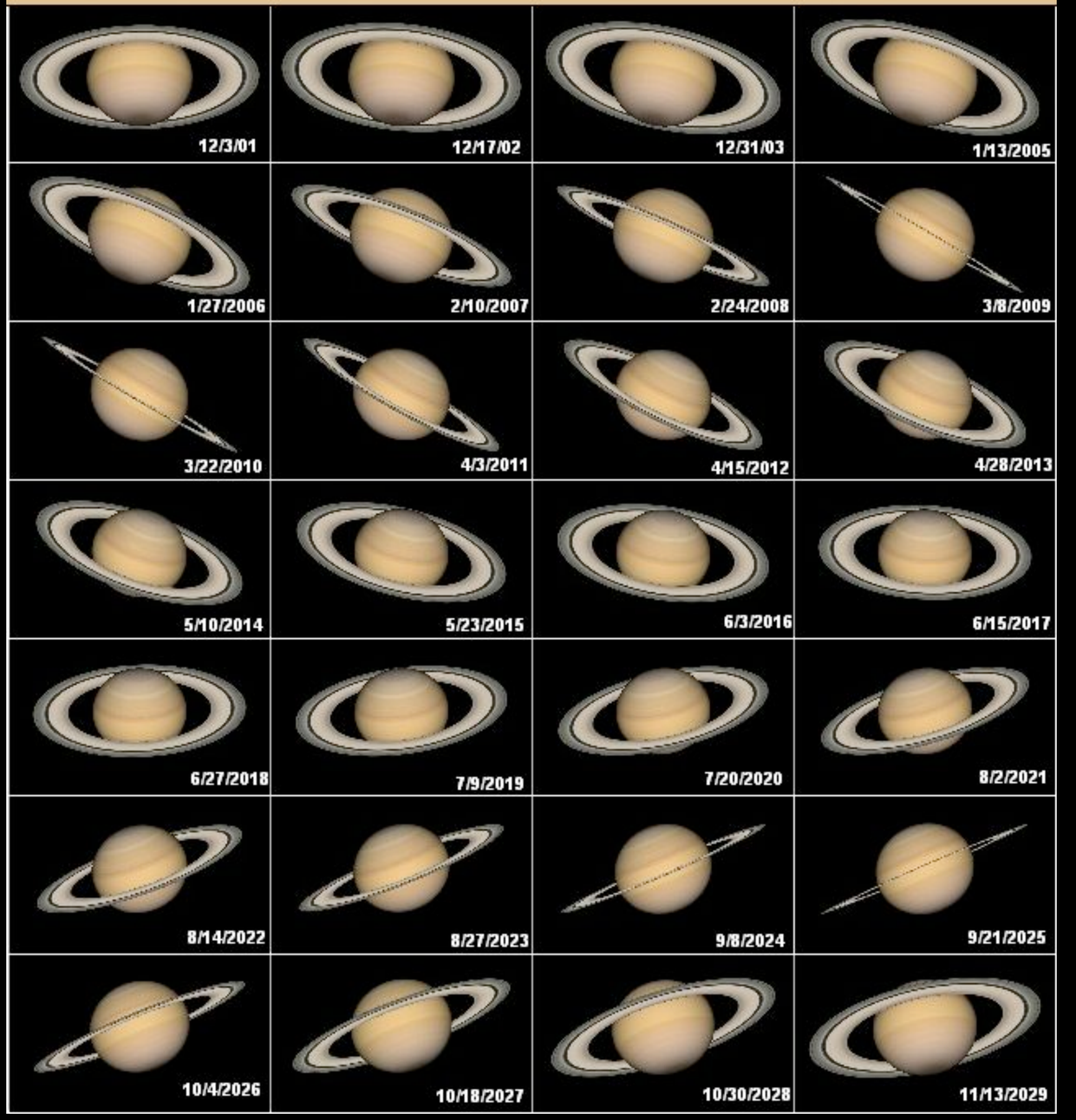


図2　2026年　星座間の土星の動き（毎月1日の位置）

2026年は夏以降に見える. 土星の輪は見えはじめる

Saturn Oppositions: 2001 - 2029



2026年の流星群

表１　主要流星群

流星群名称	出現期間	極大 日時（日本時）	極大 太陽黄経（J2000.0）	輻射点 赤経	輻射点 赤緯	最大HR	極大時月齢	速度	観測条件
1 しぶんぎ座	12月28日～ 1月12日	1月 4日06時	283.°15	230°	+49°	20	14.8	中～速	最悪
2 4月こと座	4月14日～ 4月30日	4月23日05時	32.32	271	+34	15	5.3	中～速	最良
3 みずがめ座η	4月19日～ 5月28日	5月 6日18時	45.5	338	−01	5	18.9	速	悪
4 やぎ座α	7月 3日～ 8月15日	7月31日	128	307	−10	少	17	緩～中	最悪
5 みずがめ座δ南	7月12日～ 8月23日	7月31日	128	340	−16	少	17	中～速	最悪
6 ペルセウス座	7月17日～ 8月24日	8月13日11時	140.0	48	+58	40	0.3	速	良好
7 はくちょう座κ	8月 3日～ 8月28日	8月17日	144	288	+52	少	5	緩～中	普通
8 9月ペルセウス座ε	9月 5日～ 9月21日	9月10日03時	166.7	48	+40	少	28.0	速	良好
9 10月りゅう座	10月 6日～10月10日	10月 9日10時	195.4	262	+54	少	27.9	緩～中	普通
10 オリオン座	10月 2日～11月 7日	10月22日	208	95	+16	10	11	速	良好
11 おうし座南	9月20日～11月20日	11月 6日	223	52	+15	少	26	緩～中	良好
12 おうし座北	10月20日～12月10日	11月13日	230	58	+22	少	3	緩～中	良好
13 しし座	11月 6日～11月30日	11月18日09時	235.27	152	+22	5	8.7	速	良好
14 ふたご座	12月 4日～12月20日	12月14日23時	262.2	112	+33	60	5.5	中	最良
15 こぐま座	12月17日～12月26日	12月23日07時	270.7	217	+76	少	13.9	中	悪

どちらも楽しみ

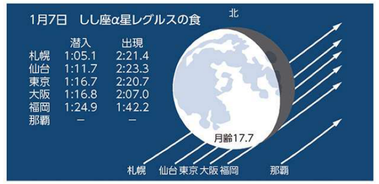
AstroArts

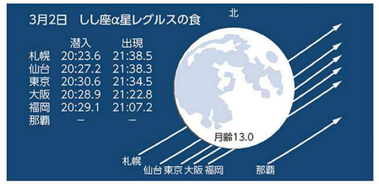
星空ハンドブック2026 月刊星ナビ

月刊「星ナビ」2026年1月号 特別付録

天文カレンダー資料／アストロアーツ　構成・作図／石田 智＋星ナビ編集部

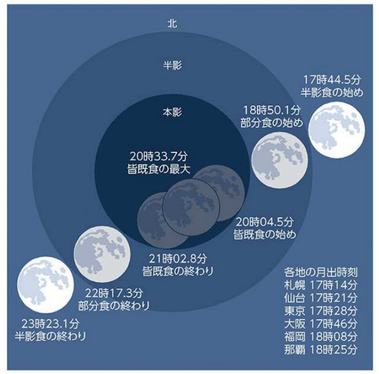
■1月7日／3月2日　レグルス食





2026年にはしし座α星レグルスの食が頻繁に起こり、日本からは1月7日、3月2日、5月23日にレグルス食が見られる。1月7日の食は南中に近い月の暗縁からの出現が見やすい。3月2日の食は宵の東の空で起こるが、満月に近く、ごくわずかな暗縁に潜入することになる。5月23日の食は日中の現象だ。

■3月3日　全国で皆既月食



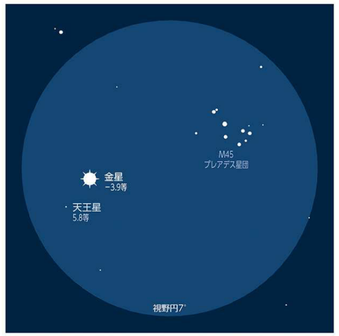
2025年9月8日の皆既月食から半年後の3月3日の宵、再び全国で皆既月食が起こる。月が昇って間もない18時50.1分に本影食が始まり、皆既食が最大となる20時33.7分の月の高度は30度前後で見やすい。最大食分は1.156で地球の影の南側を通る。皆既中にしし座56番星（5.9等）の食が起こる。

2026年 注目の天文現象

1月	1日	前夜から未明、**プレアデス星団の食**
	4日	明け方、しぶんぎ座流星群に注目
	7日	**レグルスの食**（02時21分出現）
	10日	ふたご座で木星が衝（−2.7等）
3月	2日	**レグルスの食**（20時31分潜入）
	3日	全国で**皆既月食**（20時34分食最大）
4月	24日	夕方、**金星と天王星、プレアデス星団が接近**
	24日	夕方〜宵、月とプレセペ星団が大接近
5月	6〜7日	明け方、みずがめ座η流星群に注目
6月	8〜10日	夕方、**金星と木星が大接近**
7月	4日	未明、火星と天王星が超接近
	9日	宵空、金星とレグルスが大接近
	11日	明け方、細い月とプレアデス星団が接近
8月	12〜13日	**ペルセウス座流星群**に注目
	13日	アイスランド、スペインなどで**皆既日食**（日本からは見えない）
	15日	夕方の西の空で金星が**東方最大離角**
	19日	伝統的七夕（旧七夕）
9月	1〜3日	夕方、金星とスピカが大接近
	14日	夕方、**月と金星が大接近**
	25日	中秋の名月（十五夜）
10月	5日	くじら座で土星が衝（0.3等）
	12日	未明、**火星とプレセペ星団が大接近**
11月	1日	深夜から翌未明、**プレセペ星団の食**
	3日	未明〜明け方、月と木星・火星が接近
	15〜17日	未明、火星と木星が大接近
	24日	18〜19時、**プレアデス星団の食**
12月	1日	未明、木星・火星・レグルス・月が集合
	14〜15日	**ふたご座流星群**に注目
	24日	スーパームーン（本年最大の満月）
	27日	宵〜翌明け方、月と木星が大接近

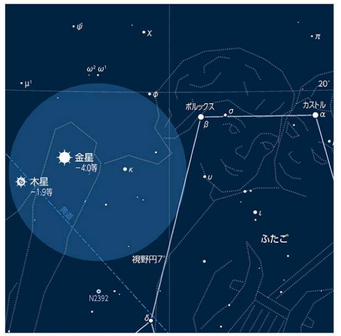
2026 Highlight 天文現象ハイライト

■4月24日　M45と金星と天王星が接近



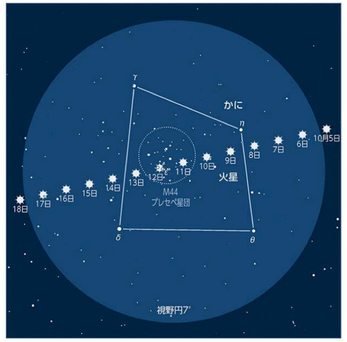
4月中旬から下旬にかけて、西北西の空で少しずつ高度を上げる宵の明星・金星が、プレアデス星団の近くを通過する。プレアデス星団の近くには5.8等の天王星もあり、4月24日には金星が天王星に1度弱まで接近する。高度は低いが、双眼鏡で散開星団の星々と明るい金星を眺めながら天王星を探してみよう。

■6月9日　ふたご座で金星と木星が接近



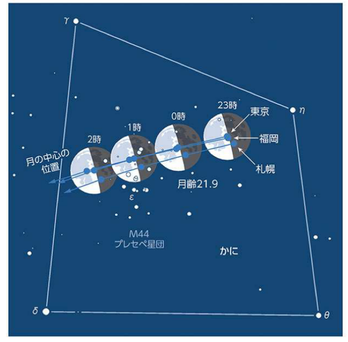
まだ薄明が残る6月上旬の宵の西の空で金星と木星が並んで輝いている。6月9日には金星と木星が1.6度まで大接近し、低倍率の望遠鏡でも同視野に見える。ふたご座のカストルとポルックスの下方には6月16日に東方最大離角となる水星も見える。夕方に見える水星としては最も条件が良いので探してみよう。

■10月12日　火星がプレセペ星団を通過



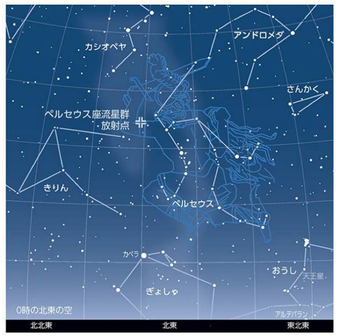
2027年2月20日に地球に最接近する火星が、未明の東の空で高度を上げてきている。10月上旬から中旬にかけて火星はかに座を横断し、10月12日前後には、かに座の散開星団プレセペ（M44）の中を通過する。6等以下の暗い星が集まる大きな散開星団と1等の明るさでオレンジ色に輝く火星の対比が美しい。

■11月1〜2日　プレセペ星団の食



11月1日深夜から2日の未明、かに座のプレセペ星団の中を下弦の月が通過して散開星団の星々を隠す現象が見られる。プレセペ星団の星は暗いので、月の暗縁からの出現が観望対象となる。望遠鏡の倍率を高めにして月の明るい部分をできるだけ視野の外に出せば、暗い星が次々と出現するようすがとらえられるはずだ。

■8月13日　ペルセウス座流星群が極大



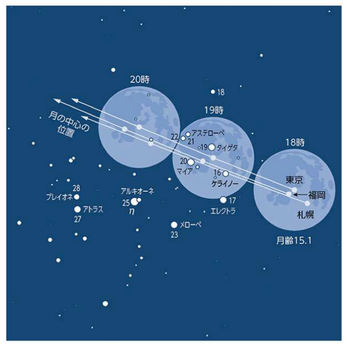
三大流星群のひとつであるペルセウス座流星群が8月13日に極大を迎える。13日が新月なので月明かりがまったくない好条件だが、予想される活動のピークが13日11時で日中なのが惜しい。13日の明け方だけでなく13日の宵にも注目したい。空の暗い場所なら、数分で1個程度の頻度で流星が見られるだろう。

■9月14日　月と金星が大接近



夕方の空で高度を下げている金星が、9月14日に月齢3.3の月と約1.5度まで大接近する。9月19日に最大光度となる金星は−4.5等と明るく、日没前から三日月と並んでいるようすが見えるだろう。なお、9月9日の明け方には月齢27.1の細い月と木星が大接近し、ガリレオ衛星を従えた木星と地球照を伴う月が楽しめる。

■11月24日　プレアデス星団の食



2025年からプレアデス星団（すばる）の食のシーズンに入ったが、2026年に日本から条件よく見られるのは11月24日の現象しかない。満月で星団の星の潜入や出現の瞬間をとらえるのはむずかしいので、月と散開星団を同時に観望する感覚で楽しみたい。写真撮影なら多段階露光してHDR処理に挑戦してもいいだろう。

■12月14日　ふたご座流星群が極大



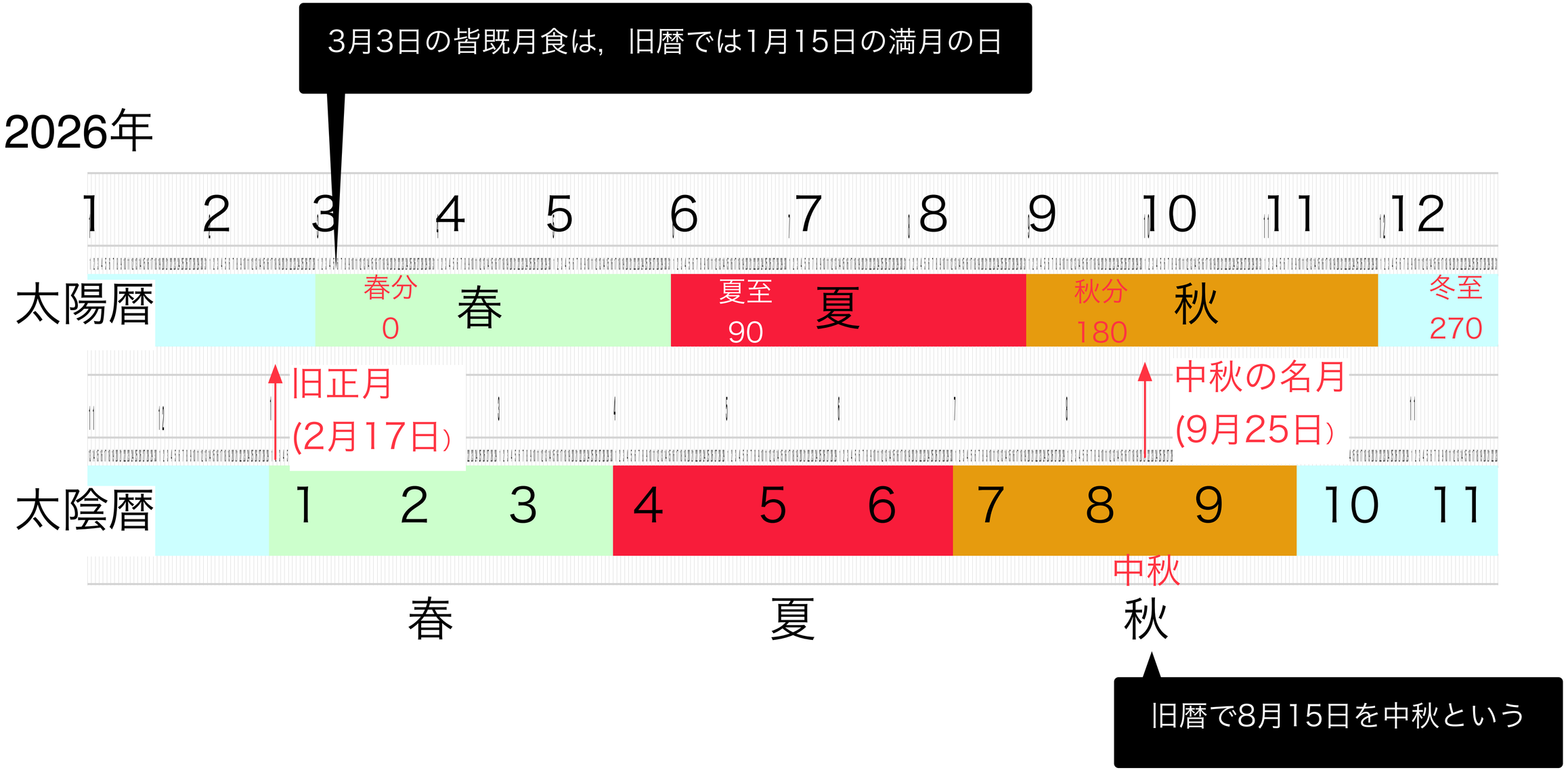
三大流星群のひとつであるふたご座流星群が12月14日に極大を迎える。極大日には月齢5の月があるが、宵のうちに沈んでしまうので月明かりの影響はほとんどない。14日23時と予想されるピーク時には放射点が高く昇り、最高の条件下で観望できる。ペルセウス座流星群を超える出現も期待できるだろう。

皆既月食が3月3日に起きた. 20時34分に食が最大.

真貝は, ハルカス屋上で観望会イベント

秋には夜空に多くの惑星が集合する

2026年の太陽暦と太陽太陰暦







1朔望月＝29.53日

毎日，月の出の時刻は
50分づつ遅くなる



十五夜
じゅうごや



十六夜
いざよい



立待月
たちまちづき



居待月
いまちづき

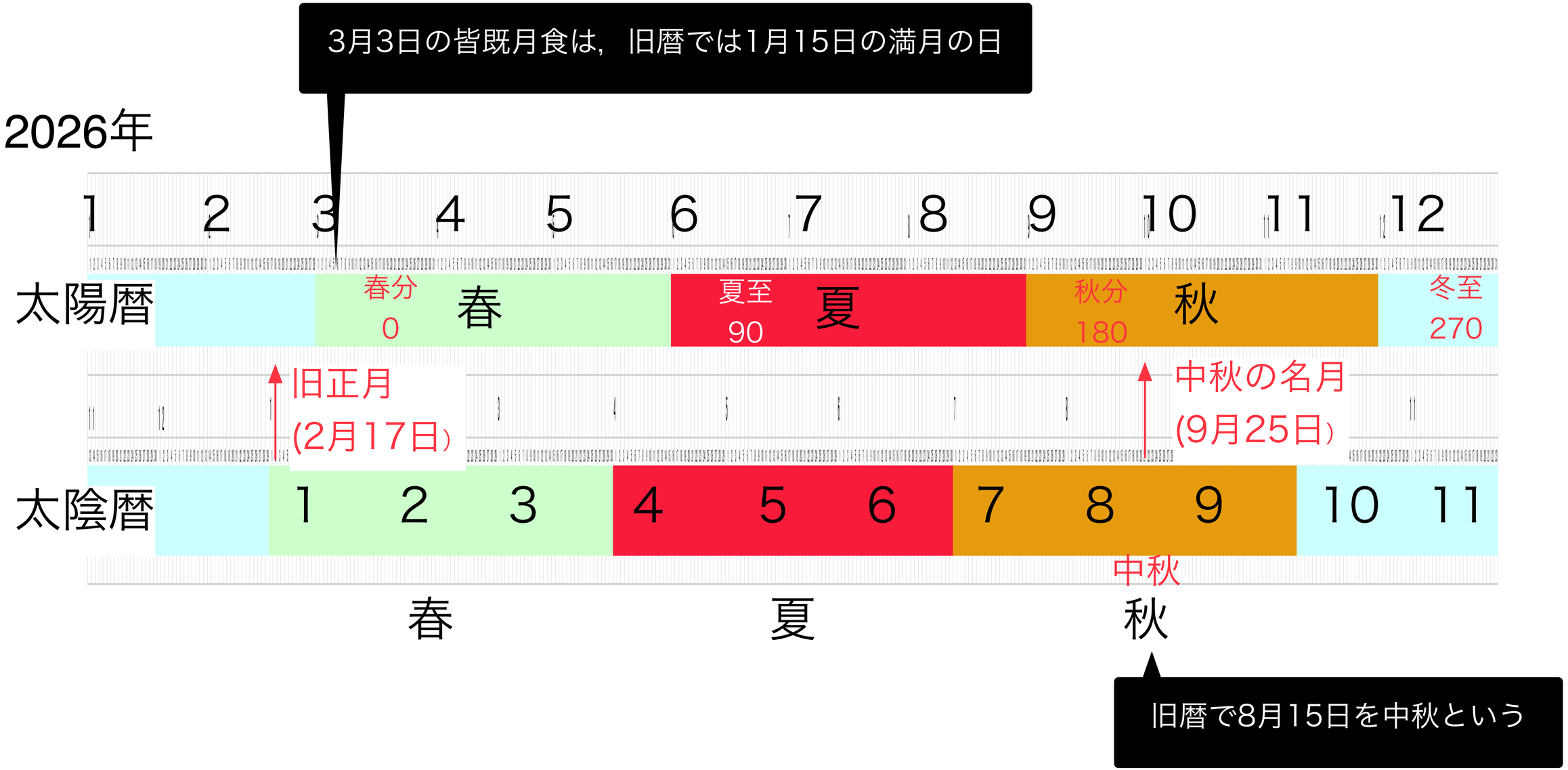


寝待月
ねまちづき



更待月
ふけまちづき

2026年の太陽暦と太陽太陰暦

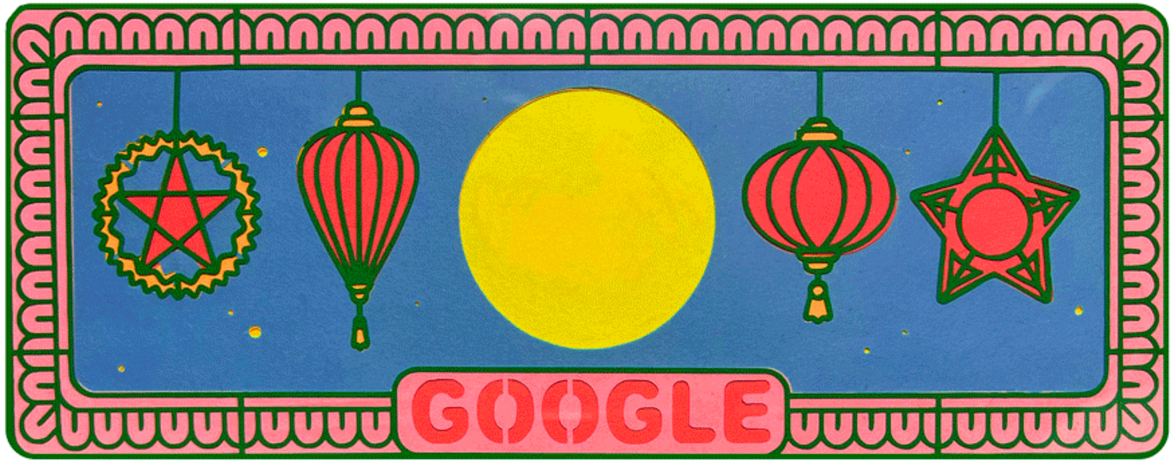


2026年9月25日 中秋の名月



日本

2022，2025



ベトナム

2022

https://doodles.google/

中秋の名月

2017



2016



2015



2013



2014



2012



https://doodles.google/

中秋の名月



2016

日本



ベトナム



台湾，香港

https://doodles.google/

中秋の名月



日本



台湾，マレーシア



ベトナム

https://doodles.google/

中秋節

2025



2024



2023



2018



https://doodles.google/



http://edu.jaxa.jp/campaign/moon2014/



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



半径　6378km



半径　1677km

距離　388400km

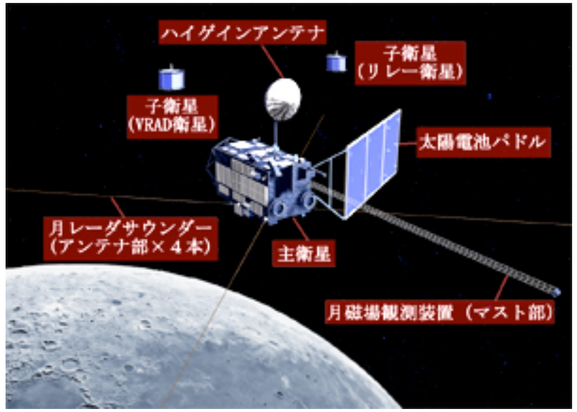
地球半径の60倍はなれたところに月がある

地球を直径10cmの球とすれば，月は直径2.6cmの球，距離は304cm先

太陽は，直径10.9mの球，距離は117m先

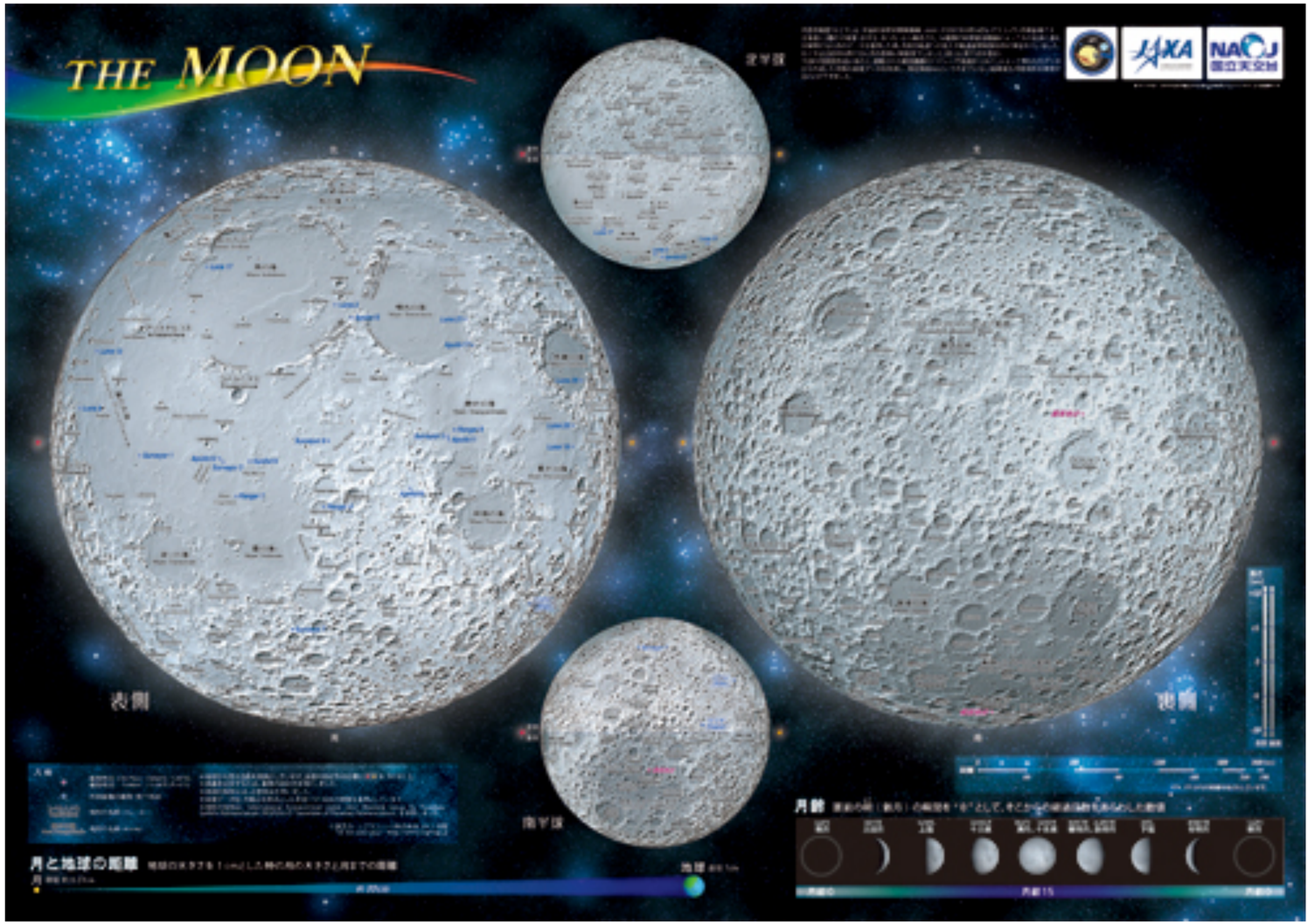
月探査機かぐや(2007-2009)による月面撮影

教科書p8





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





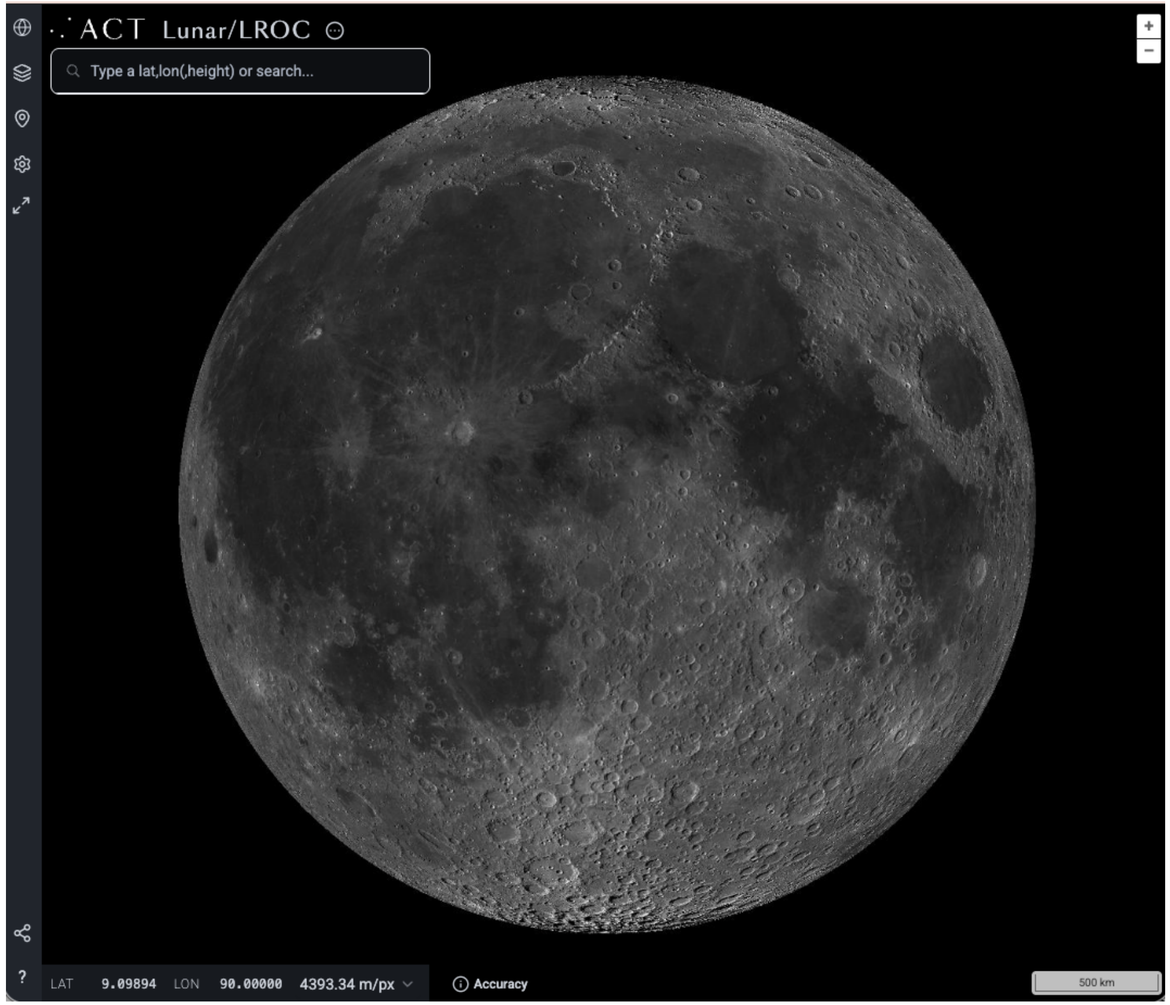


月の裏側はでこぼこ．「海」がない．

アメリカ LRO のデータでつくられた月面図

https://quickmap.lroc.im-ldi.com/

ルナー・リコネサンス・オービター（Lunar Reconnaissance Orbiter, LRO）
2009年6月に打ち上げられた無人月周回衛星



地球に向いている方（nearside）

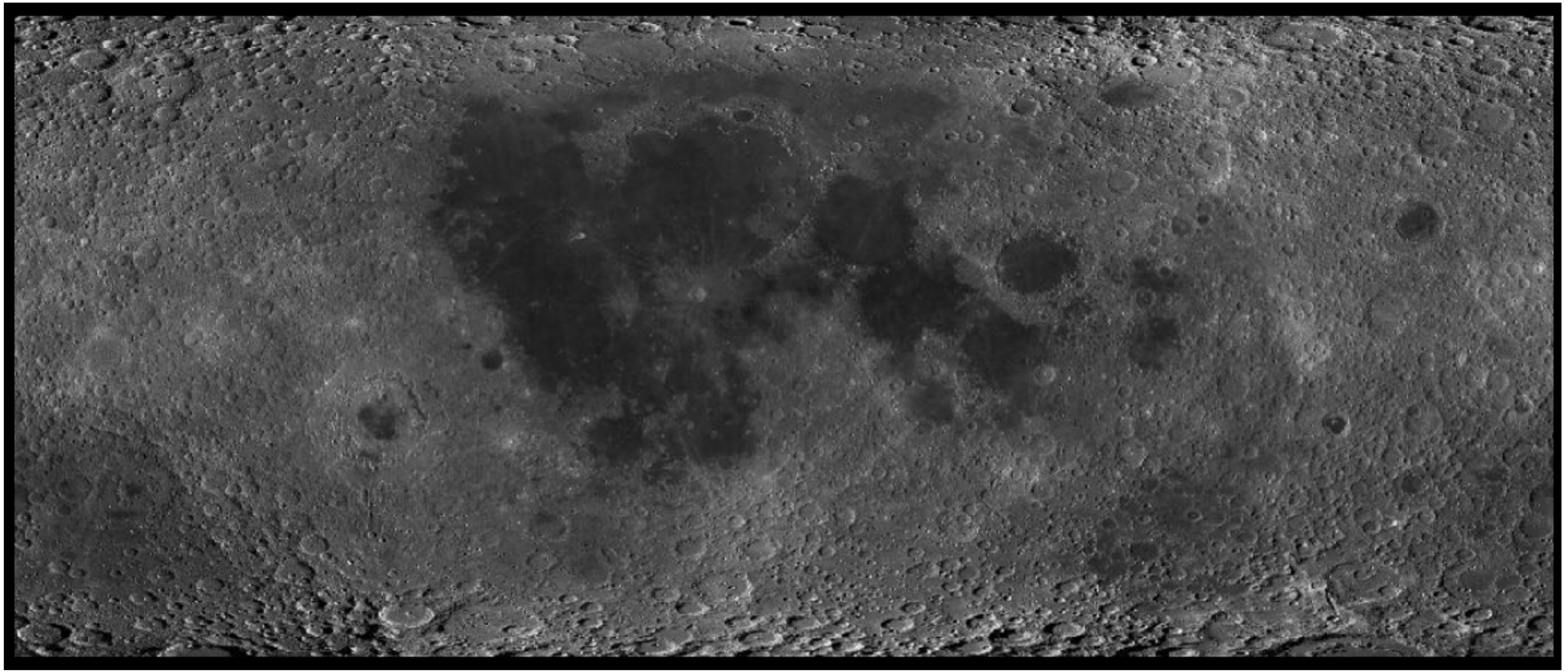


地球に向いていない方（farside）

アメリカ LRO のデータでつくられた月面図

https://quickmap.lroc.im-ldi.com/

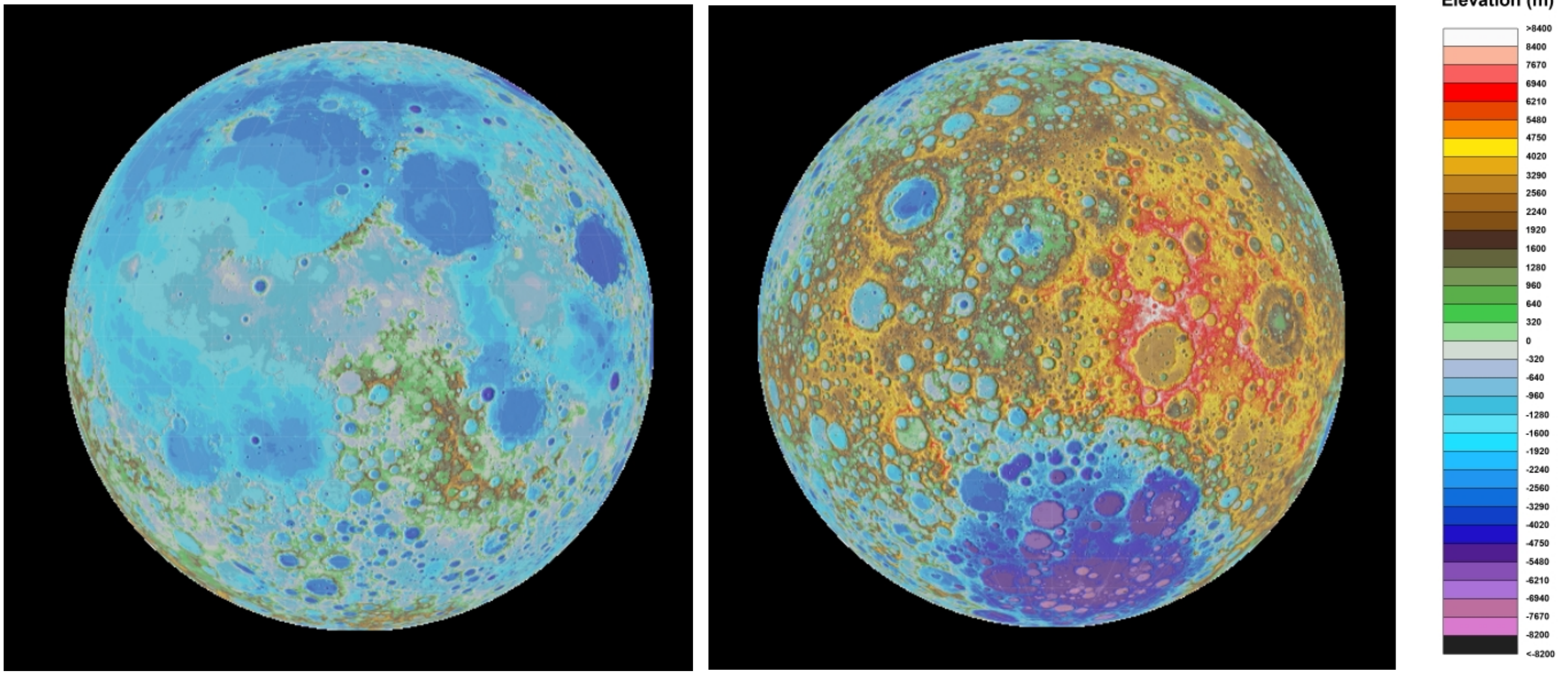
ルナー・リコネサンス・オービター（Lunar Reconnaissance Orbiter, LRO）
2009年6月に打ち上げられた無人月周回衛星



アメリカ LRO のデータでつくられた月面図

https://quickmap.lroc.im-ldi.com/

ルナー・リコネサンス・オービター（Lunar Reconnaissance Orbiter, LRO）
2009年6月に打ち上げられた無人月周回衛星



最高点は +10.75 km, 最低点は -9.6 km, 地球の1/4の大きさなのに, 標高差は 20.35kmある.
（地球の最高点は +8.848 km, 最低点は -10.924 km）

日本百名月

http://japan100moons.com/

活動主体： 日本百名月推進委員会
http://japan100moons.com/

活動目的
日本国内における「名月」が魅せる景観美の発掘と観光資源化
＊日本オリジナルの情緒的文化として、国内外への名月の魅力の訴求
＊地元の魅力の再発見など、地元回帰の促進
＊名月を観光資源とした地域における観光商品の造成化
＊名月を観光資源とした滞在型観光の促進
＊名月の観光資源化を目指す都市・地域間の連携強化





教科書p７

月の見かけの大きさ





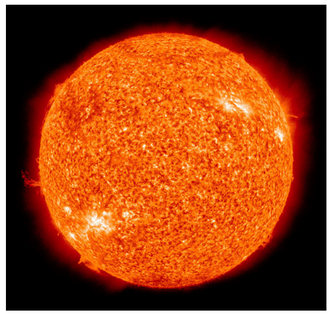
量目 3.75g ＝ 1匁
　=> 1000枚で1貫
直径 22mm
孔径 5mm

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．）

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，

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

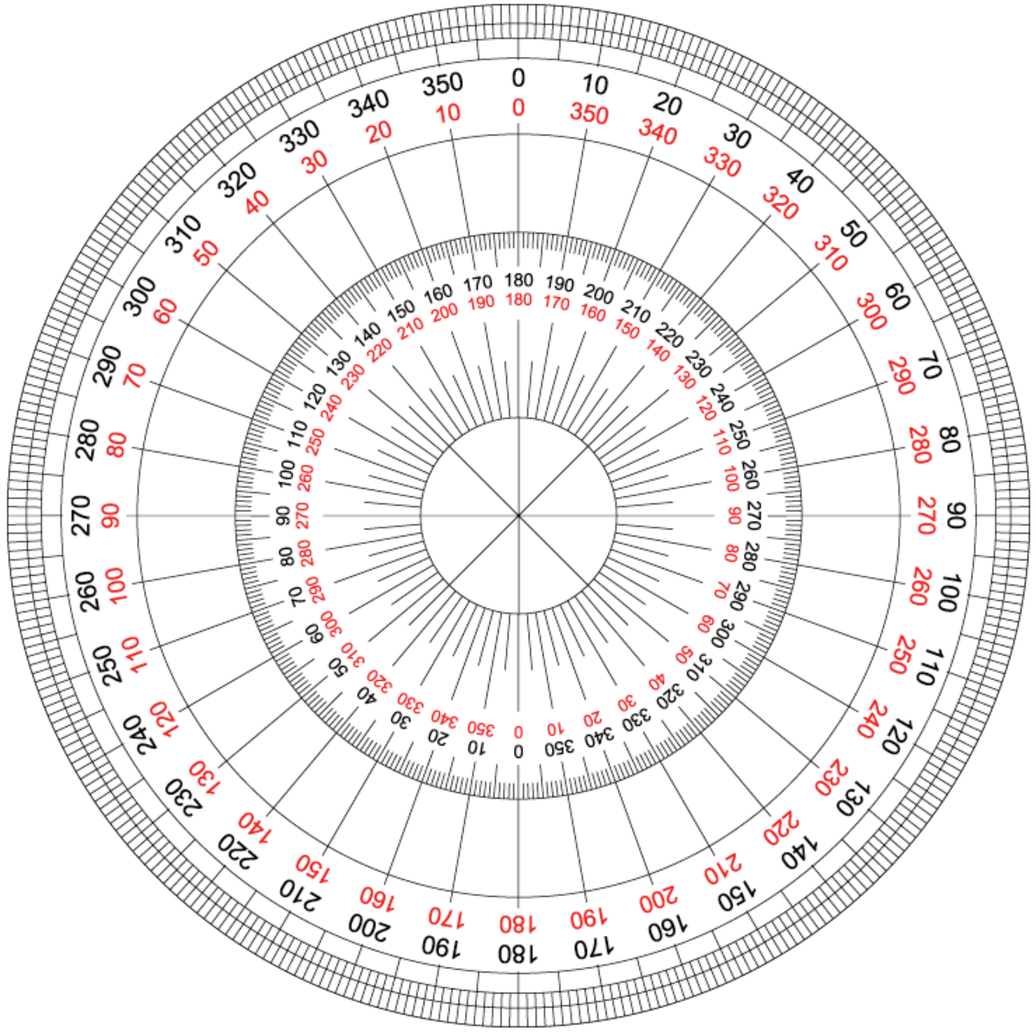
より，$R_\odot \approx 70$ 万 km となる．$\odot$ は太陽を表す記号である．

【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

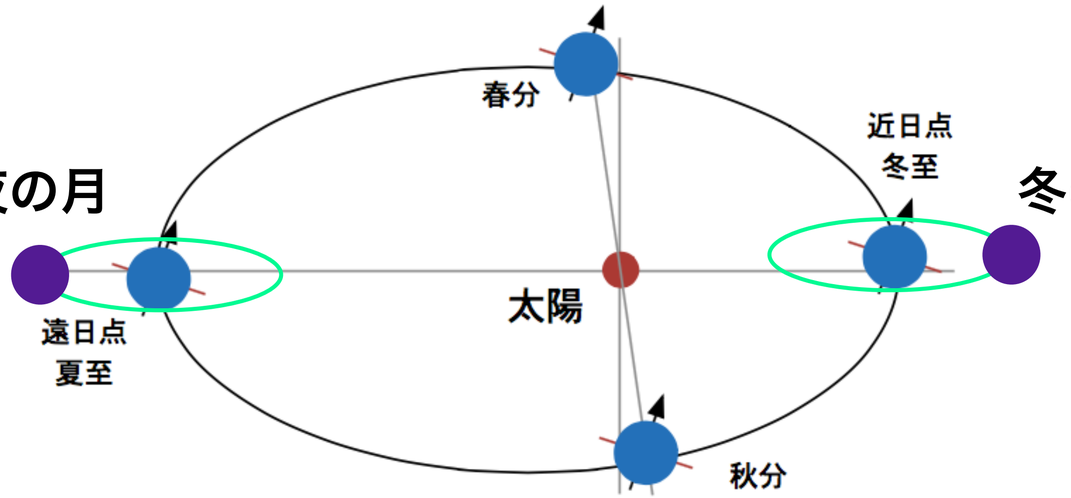




コラム３　月に関する豆知識

- 地球から月までの距離は，38 万 4400 km．年に 3 cm ずつ遠ざかっている．
- 月の直径は，約 3500 km．地球の約 1/4．月の上での重力は地球上の約 1/6．空気分子が飛び出してしまう弱い重力のため，月面は真空である．空気による対流がないので，太陽の光が当たる所は温度 100 度以上，陰の部分は −100 度以下になる．
- ガリレオ・ガリレイが 1609 年に天体望遠鏡をつくり，月の表面を見て凸凹であることに驚いた (§2.2.3)．それまでは，天体は完全な球であると信じられていた．月のクレーター模様から白い所は「陸」，黒い所は「海」と呼ばれているが，水はない．黒い所は玄武岩の成分が多い箇所．
- 月の形成にはいろいろ説があるが，巨大衝突説が有力．地球に火星ほどの大きさの天体（直径は地球の半分位）が衝突し，互いに分裂したあと，次第に重力で合体した，というもの．コンピュータシミュレーションでは，衝突から 1 か月後に月ができる結果になる．
- 1969 年 7 月 20 日，アメリカはアポロ 11 号を月面に着陸させ，アームストロング (Neil Armstrong, 1930–2012) 船長がまず月面に降り立った．その第一声は，「One small step for [a] man, one giant leap for mankind.（一人の人間にとっては小さな一歩だが，人類にとっては大きな飛躍だ)」．この言葉はハッチを開ける数時間前に決めていたという．
- 2017 年，JAXA は，月の地下に巨大な空洞を確認した，と発表した．月周回衛星「かぐや」の軌道データを解析した結果，月の火山地域の地下の数 10 m〜数 100 m の深さに複数の空洞を発見したという．そのうちの 1 つは縦穴から奥へ数 10 km 広がっている可能性があるという．
- 月にウサギはいない．かぐや姫もいない．

月の南中時の高さも季節によって変わる



南中高度
北緯35度では30度前後

夏の月は低い

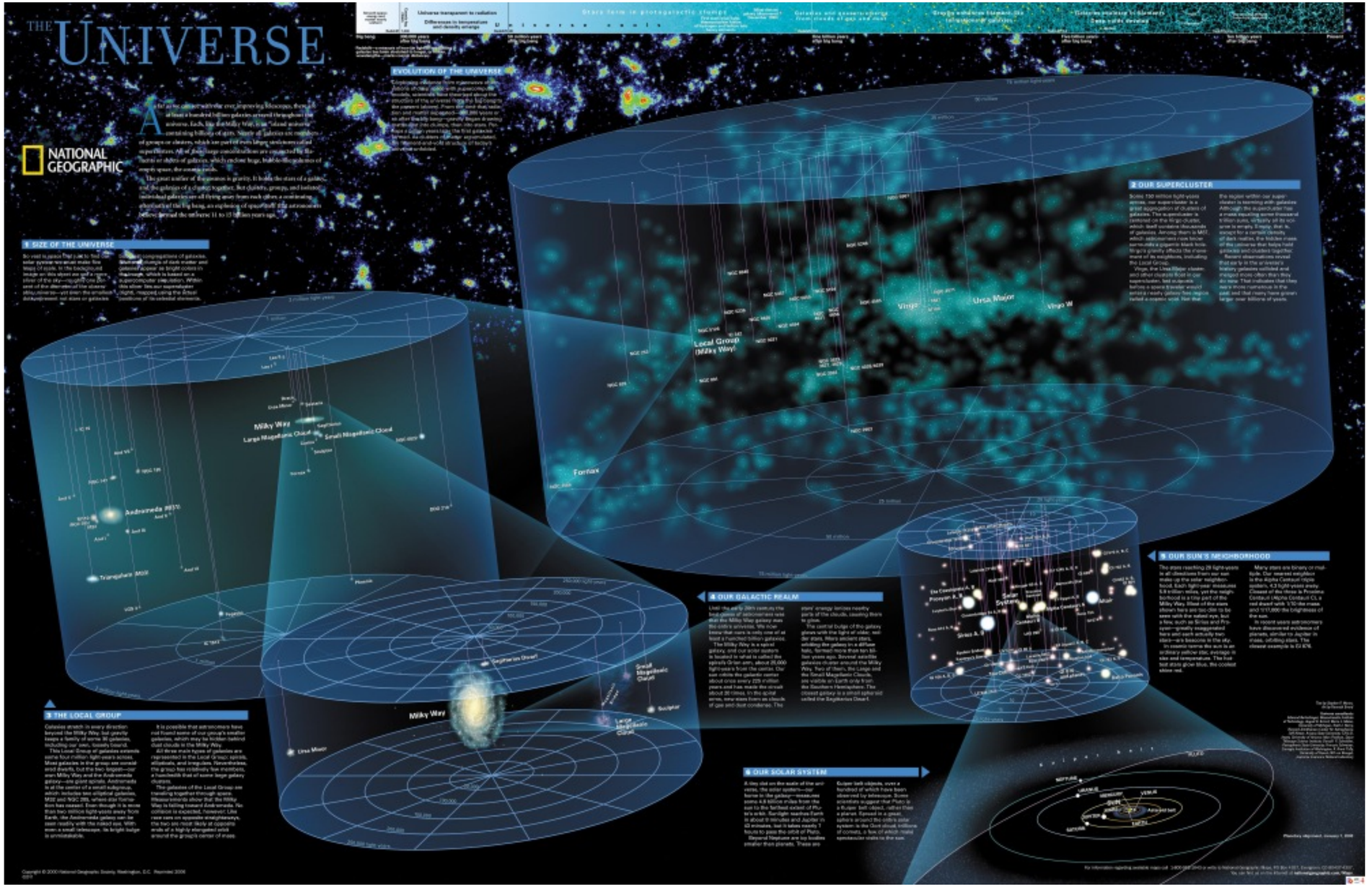
南中高度
北緯35度では80度前後

冬の月は高い

秋の月は見やすい高さ ＆ 過ごしやすい季節

月天心
貧しき町を通りけり
与謝蕪村

1. 宇宙の階層構造



National Geographic Universe Reference Map

地球の公転軌道は楕円である

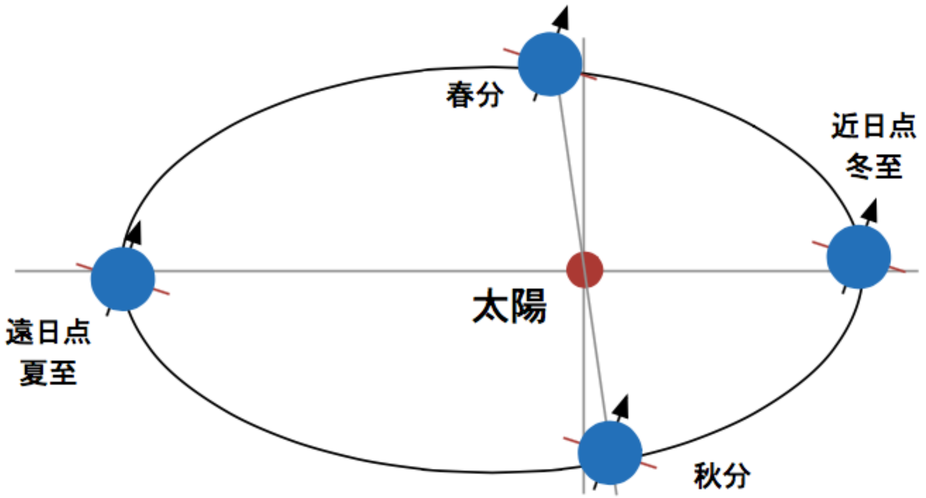


図1.3 地球の公転軌道は楕円であり，北半球が冬のときの方が太陽に近い．この図は楕円を極端に描いている．地球太陽間の平均距離で 1 億 5000 万 km だが，太陽は楕円の中心からわずかに 250 万 km 離れた場所にある．

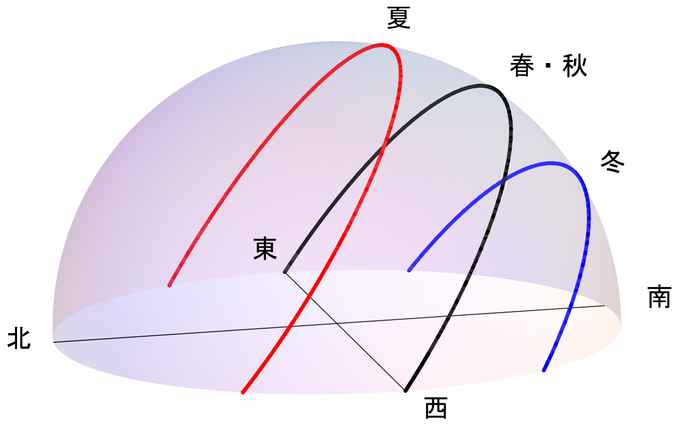
2026/2027 年の場合,

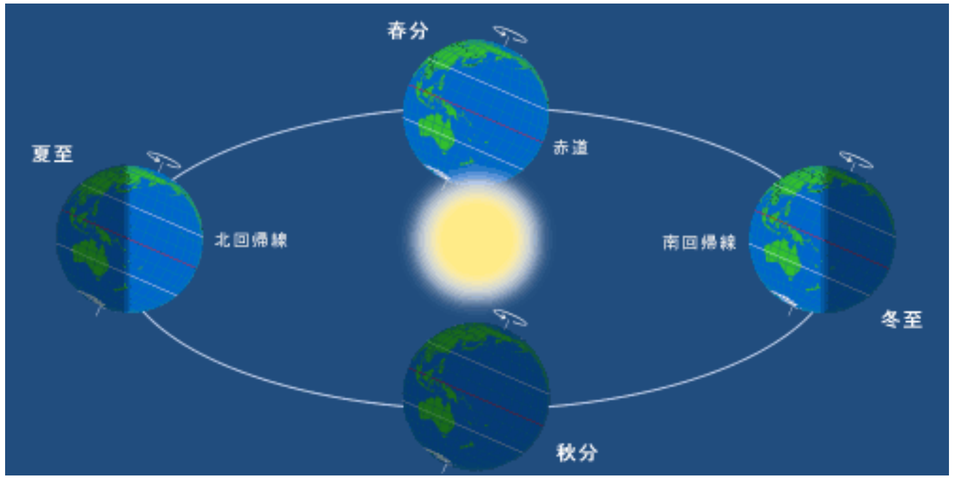
春分の日(3/20)から秋分の日(9/23)までは 186 日

秋分の日(9/23)から春分の日(3/21)までは 178 日

教科書p3

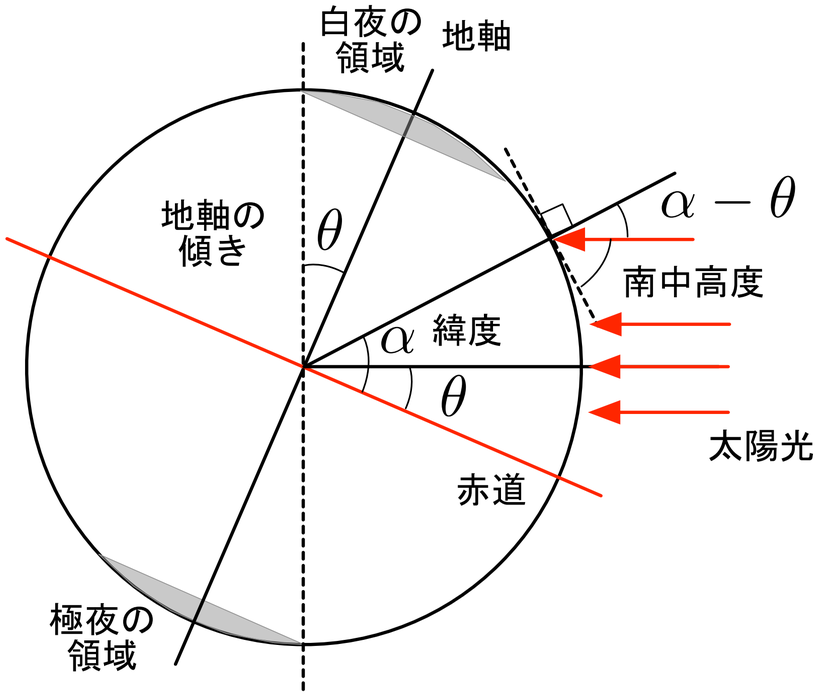
季節が生じるのは地球の自転軸の傾き





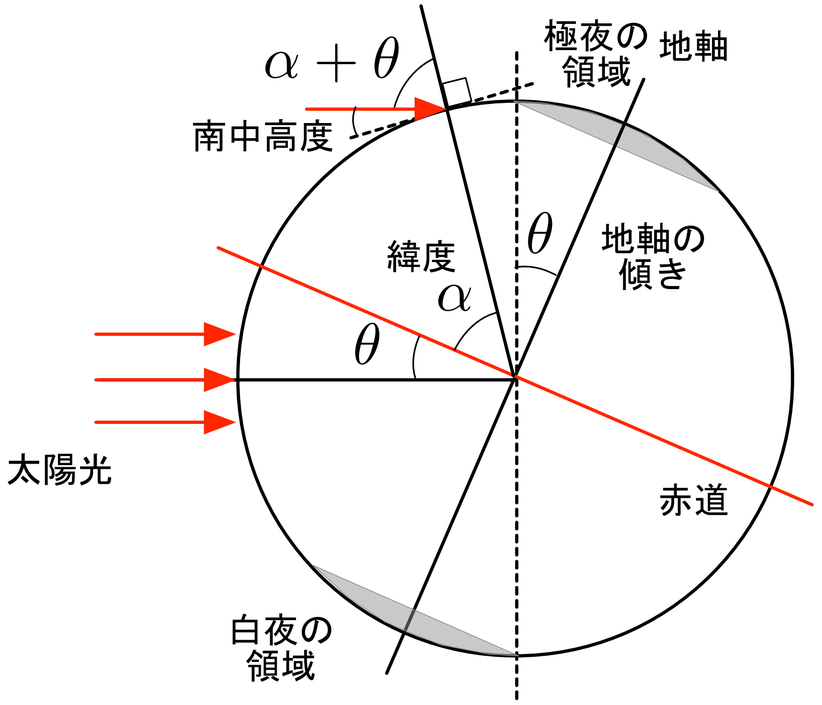
太陽の南中高度は？

夏至の頃（6月22日頃）



（a） 夏至の頃

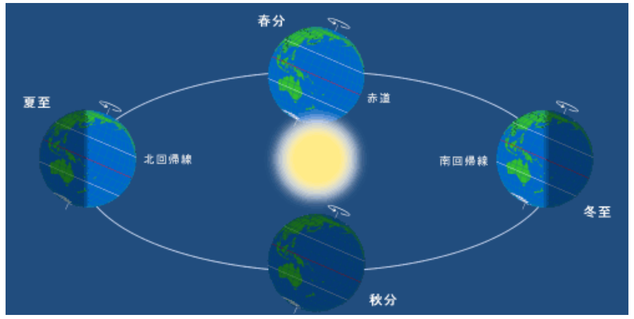
冬至の頃（12月22日頃）



（b） 冬至の頃

太陽

南中高度
北緯35度では78.5度

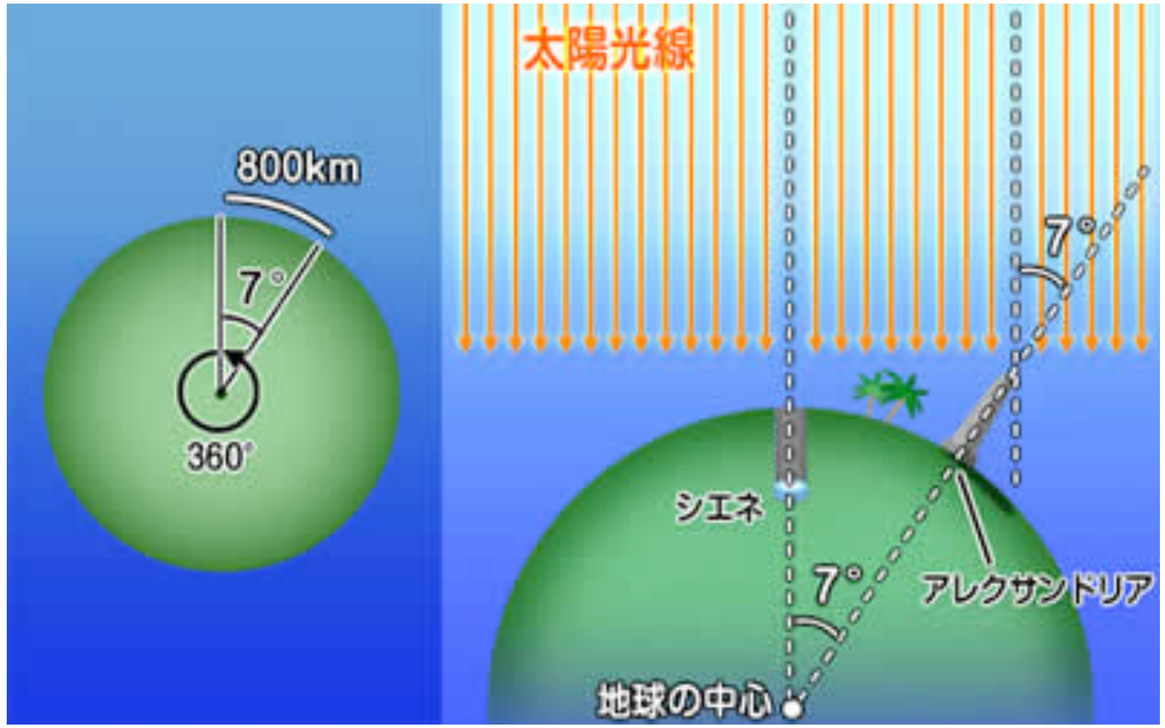


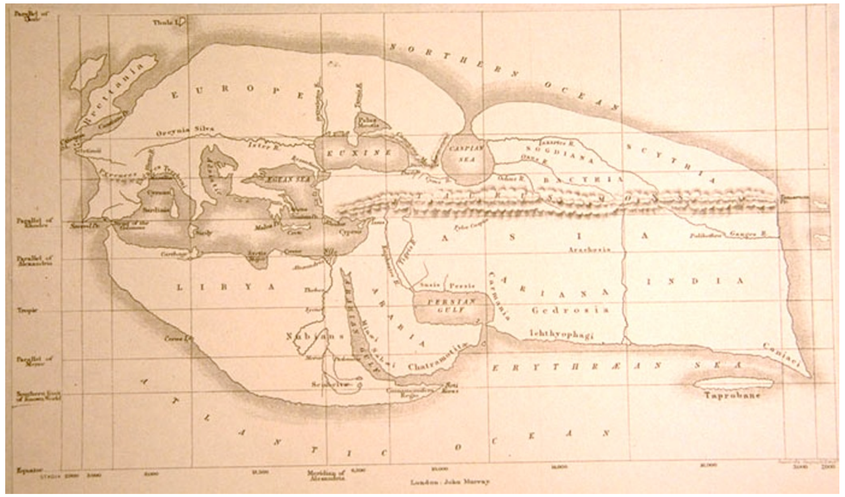
南中高度
北緯35度では31.6度

地球の大きさの測定：エラトステネス



(B.C.275−B.C.194)





当時の世界地図

19th century reconstruction of Eratosthenes' map of the known world

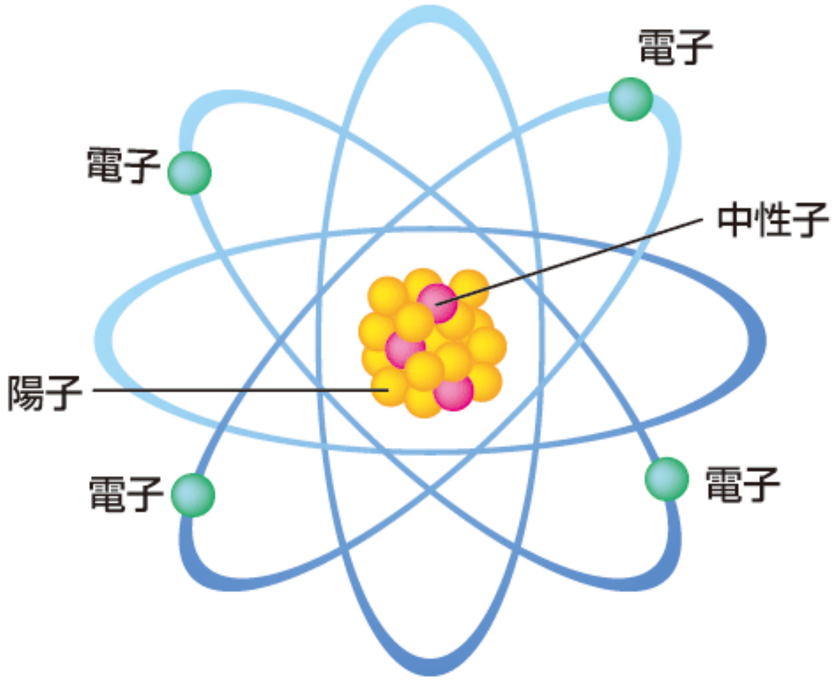
http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0320a/start.html

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		

原子核と原子のサイズ



原子核

10^{-15} m

原子の大きさ

10^{-10} m

10 cm とすると,

$$10 \times 10^5 = 10^6 \text{ cm} = 10^4 \text{ m} = 10 \text{ km}$$

【話題】

Powers of Ten

教科書p27

コラム 6　『Powers of Ten』

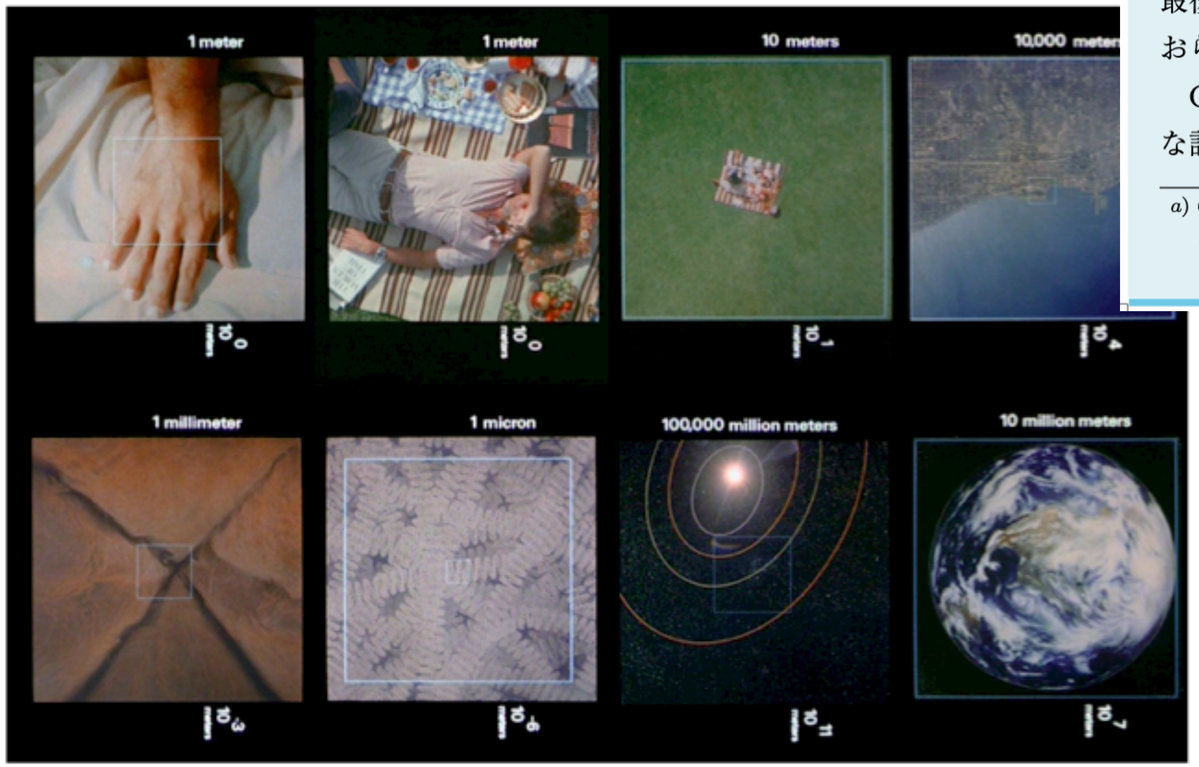
家具デザインで有名なチャールズ・イームスとその妻レイによって 1968 年につくられた教育映画『Powers of Ten』を鑑賞しよう [a]．タイトルの Powers とは「力」ではなく「べき乗」という意味であり，「10 のべき乗 (10^n)」という意味である．

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/`



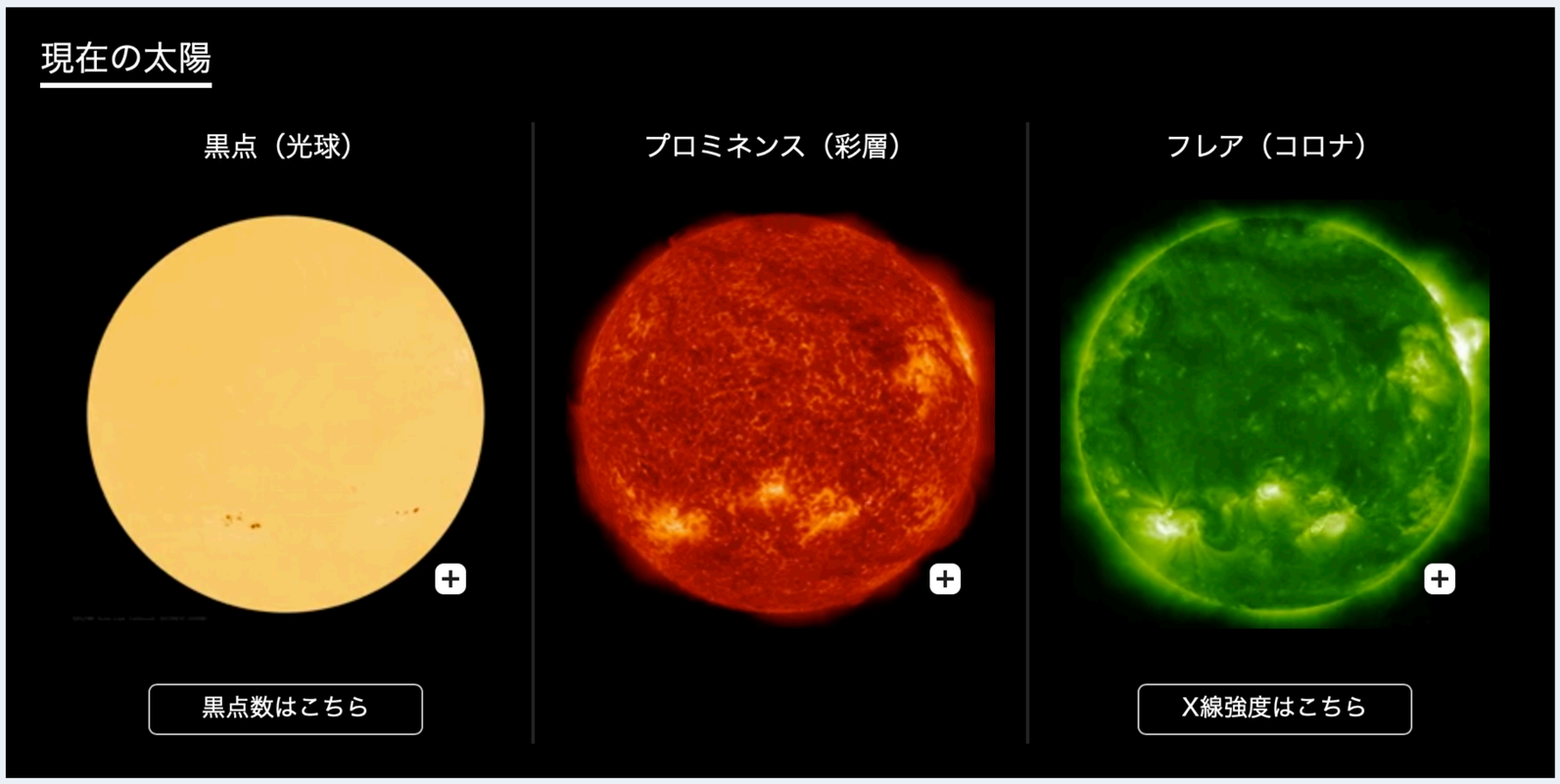
ここで，Youtubeの「Powers of Ten」（9分）を
視聴してもらうのでも結構です．授業で流す映像は英語です．

https://www.youtube.com/watch?v=0fKBhvDjuy0



Powers of Ten (1977)　9min

太陽



SDO | Solar Dynamics Observatory

太陽黒点は「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．





https://swc.nict.go.jp

【天文】　2024年5月10日　　最大クラスの太陽フレア連発, 世界各地でオーロラ観測



イギリス東部の沿岸で観測されたオーロラ＝英ウィットリーベイで2024年5月10日、AP



11日夜、能登半島の珠洲市で観測された星空。オーロラの影響とみられる
＝2024年5月11日午後8時40分ごろ撮影（石川県柳田星の観察館「満天星」提供）

https://mainichi.jp/articles/20240511/k00/00m/040/101000c
https://mainichi.jp/articles/20240511/k00/00m/040/251000c

地球磁場とオーロラ

Topic　オーロラのみえる範囲

北極や南極の空では，音もなく色とりどりの幻想的なオーロラが出現する．これは，宇宙から地球へ飛び込む電子が大気中の原子や分子と衝突するときに発光する現象である．酸素原子と反応すれば緑や赤に，窒素原子と反応すればピンク色になる．

地球には磁場があるため，電子は簡単には入り込めないが，高緯度では磁力線に沿って侵入することができる．そのため，オーロラはおもに高緯度で観測される．太陽活動が活発になると，大量の電子が放出されるため，オーロラは低緯度でも観測されるようになる．ちなみに，北極と南極の両方で，同時刻に逆巻きのオーロラが発生していることが知られている．

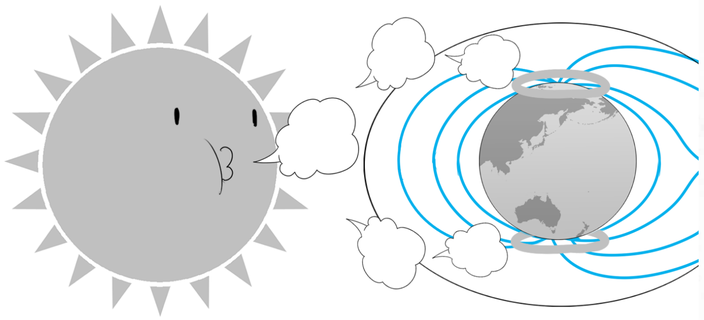
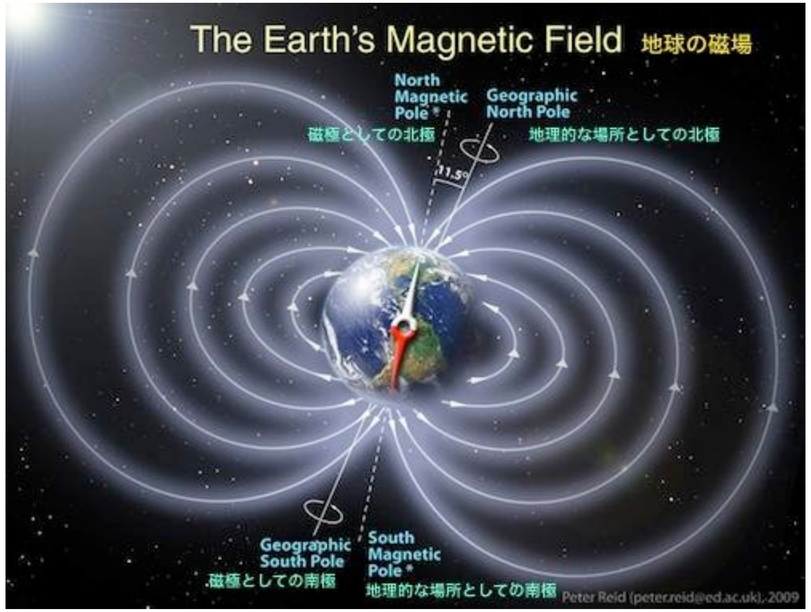


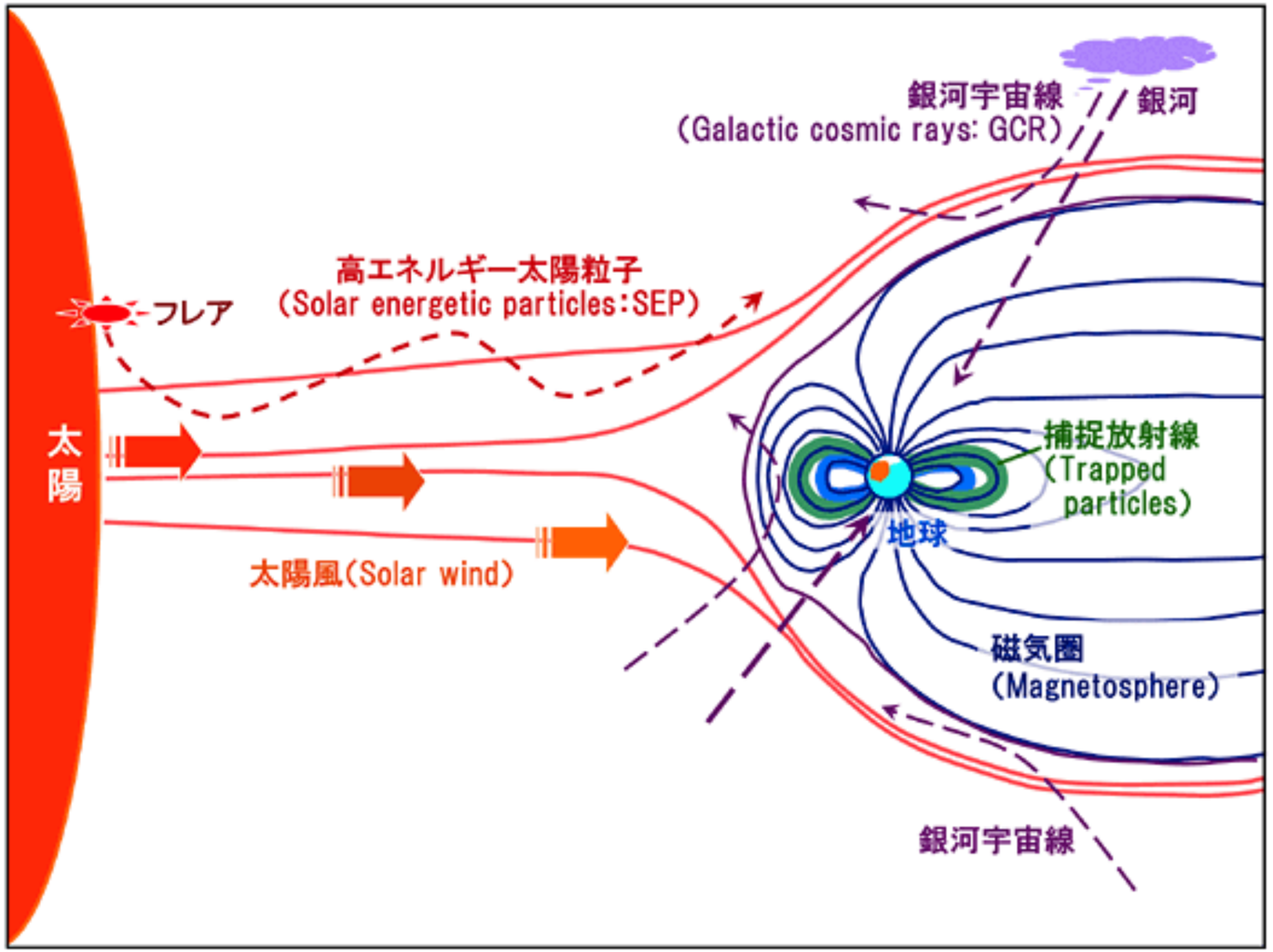
図 6.49　オーロラは太陽からの電子の風が地球の磁力線に沿って極地域に入り込むことで発生する

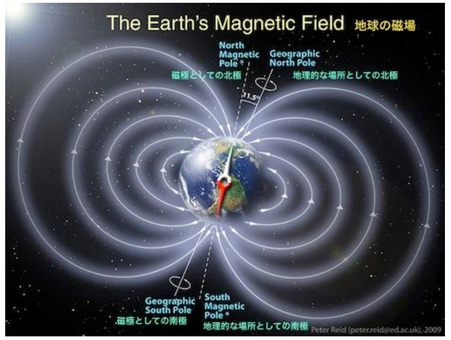


p211



地球磁場とオーロラ


銀河宇宙線
(Galactic cosmic rays: GCR)
銀河
高エネルギー太陽粒子
(Solar energetic particles:SEP)
フレア
太陽
捕捉放射線
(Trapped
particles)
地球
太陽風(Solar wind)
磁気圏
(Magnetosphere)
銀河宇宙線


The Earth's Magnetic Field 地球の磁場
North Magnetic Pole
Geographic North Pole
磁極としての北極
地理的な場所としての北極
11.5°
Geographic South Pole
South Magnetic Pole
磁極としての南極
地理的な場所としての南極
Peter Reid (peterreid@ed.ac.uk), 2005

巨大な太陽フレアで各地にオーロラ発生

Sun Flare made Aurora

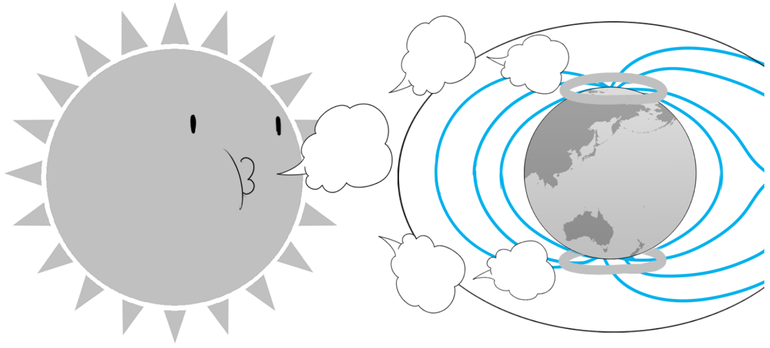
9月6日のX9.3クラスに続き，9月11日にはX8.2のフレアが発生した．巨大な太陽フレア由来と考えられるオーロラが，低緯度地帯でも観測された．

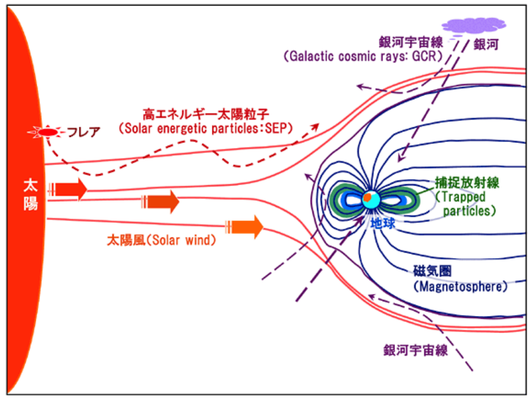


←南極　昭和基地　　↓ニュージーランド



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



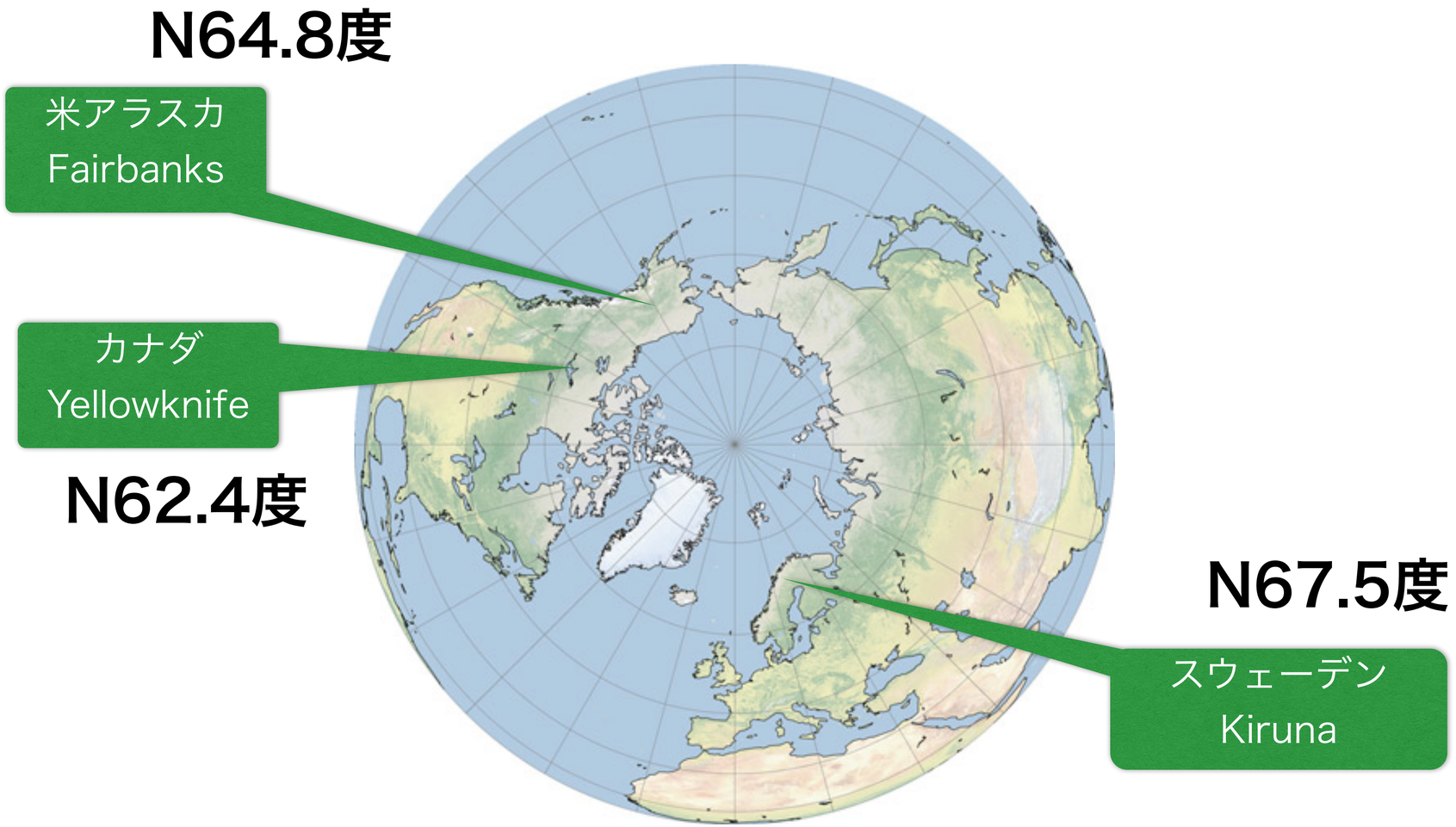


The Aurora

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

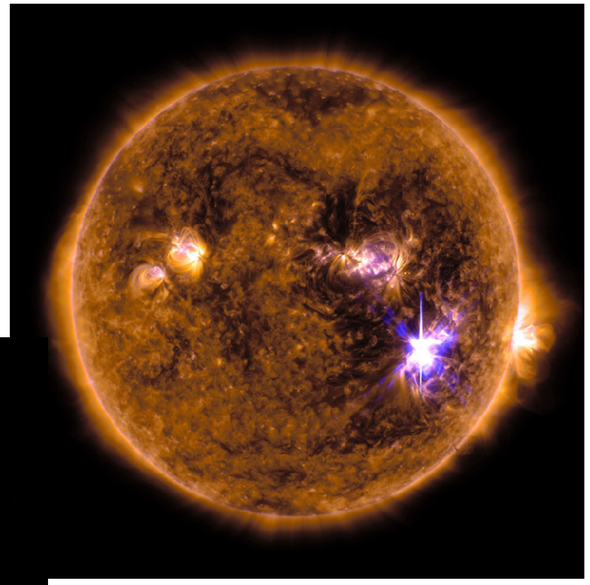


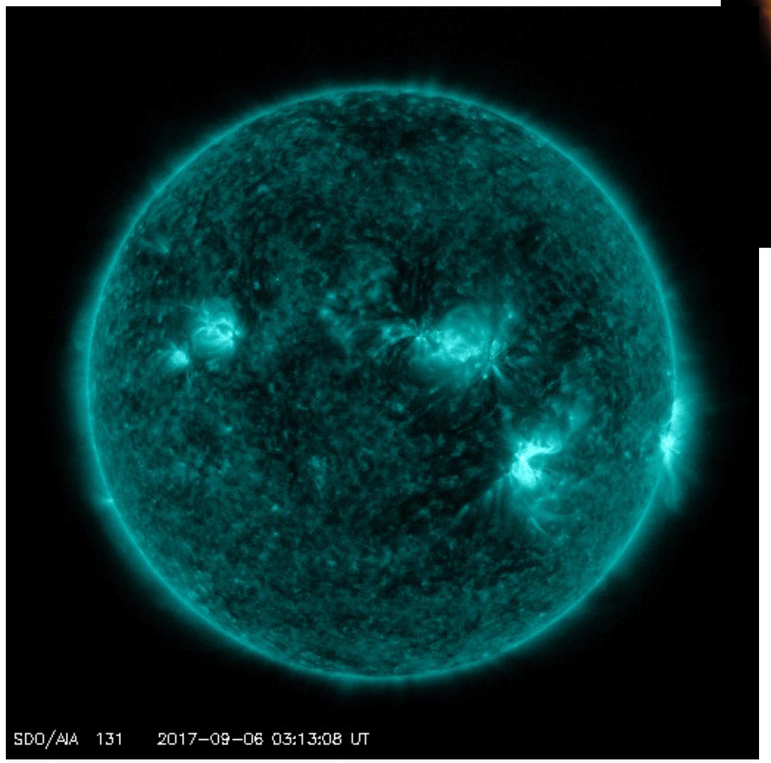
通常の1000倍の太陽フレアが発生

Sun Flare Class X9.3, the largest over 11 years

日本時間2017年9月6日に，2回の大型の太陽フレア現象の発生が確認された．最大X線強度は，通常の1000倍以上に及ぶ大型のもの．高温のコロナガスが地球方向に噴出し，高エネルギーのプロトン粒子の増加が確認された．

この影響で，地球周辺の宇宙環境や電離圏，地磁気が乱れる可能性があり，通信衛星，放送衛星などの人工衛星の障害やGPSを用いた高精度測位の誤差の増大，短波通信障害や急激な地磁気変動に伴う送電線への影響などが生じる恐れがあり，注意が必要，と報道された．



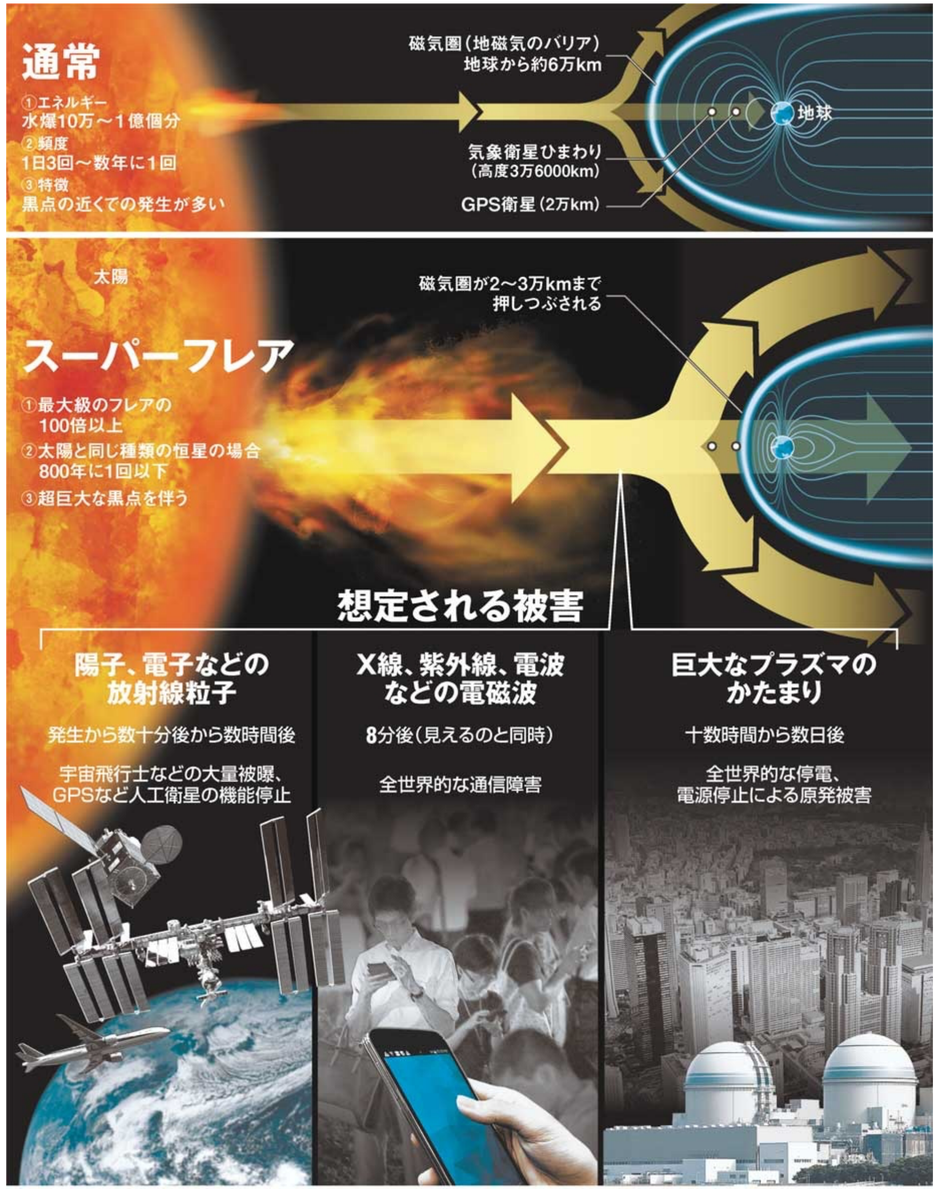


NASA SOD衛星撮影

http://swnews.jp/2017/swnews_1709071006.html

スーパーフレア，「太陽は例外」ではなかった

Sun Flare Class X9.3, the largest over 11 years



グラフィック・山本 美雪

1859年の太陽フレアでは，欧米で電信機などの火花放電による火災が多発した.
1989年には，カナダのケベック州で９時間に及ぶ大停電が起き，600万人に影響した.

電気に頼る現在だと，１兆～２兆ドルの損害が生じ，修復に4～10年かかるとの試算もあるという.

朝日新聞 2017/9/8

2012年5月に京都大学柴田一成氏のグループが発表した研究結果.

銀河系の中にある太陽と温度や大きさがほぼ同じ8万個の星について、光の強さを3か月観測した。
その結果、太陽フレアと呼ばれる太陽表面の爆発現象よりも100倍から1000倍、規模の大きな「スーパーフレア」という爆発現象が114個の星で合わせて365回観測された

【天文】

宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会

総務省の表記検討会が報告書を発表　2022/6/21

宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会　報告書（概要）

～「文明進化型の災害」に対応した安全・安心な社会経済の実現に向けて～

【別紙2】 1

○ 太陽フレア爆発等の極端な宇宙天気現象によって、通信・放送・測位、人工衛星、航空無線、電力等の社会インフラに異常を発生させ、社会経済活動に多大な影響を与えるおそれ。このため、我が国初となる「極端な宇宙天気現象がもたらす最悪シナリオ」を策定
○ 宇宙天気現象を現実のリスクとして捉え、国家全体としての危機管理の必要性を提言

極端な宇宙天気現象がもたらす最悪シナリオ（100年に1回またはそれ以下の頻度で発生、抜粋）

- 通信・放送が2週間断続的に途絶し、社会経済に混乱。携帯電話も一部でサービス停止
- 衛星測位の精度に最大数十メートルの誤差（ずれ）が発生。ドローン等の衝突事故が発生
- 多くの衛星に障害が発生。そのうち相当数の衛星が喪失。衛星を用いたサービスが停止
- 航空機や船舶は世界的に運航見合わせが発生。運行スケジュールや計画に大幅な乱れ
- 耐性のない電力インフラにおいて広域停電が発生

国家レベルの危機管理に向けた提言（骨子）

今後の観測・分析・予報の在り方

- 多地点の観測データの確保、宇宙空間への観測センサー設置
- 宇宙天気予報の分析の自動化・高精度化・知能化

警報に関する体制強化

- 社会インフラのリスク（被害）を考慮した新たな警報基準、NICTによる確実な警報伝達

社会インフラへの影響と効果的な対処

- 関係企業による対処（通信・放送、衛星測位、衛星運用、航空運用、電力、人体被ばく）
- 共通的対策の導入（企業向けの標準的ガイドライン　等）
- 災害対策基本法に基づく極端な宇宙天気がもたらす災害への対処

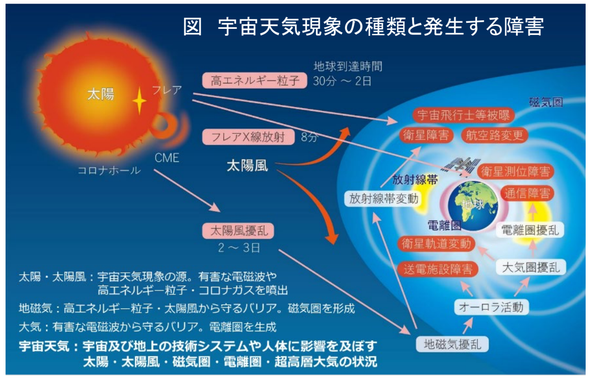
学術研究の強化、人材とコミュニティの強化、国際連携の強化

- 分野横断的・産学官連携による研究推進、予測技術の実現、高度人材等の育成・処遇
- 周知啓発を担うコミュニティ形成、宇宙天気に関するアウトリーチ活動
- 「宇宙天気予報士」制度の実現

情報通信研究機構（NICT）に期待される役割

- 世界トップレベルの研究拠点形成、企業が抱える課題の解決支援
- 国際連携強化、人材育成とコミュニティ形成、データ・プラットフォーム構築（オープンデータ）
- 宇宙天気予報オペレーションセンター（仮称）の創設

図　宇宙天気現象の種類と発生する障害



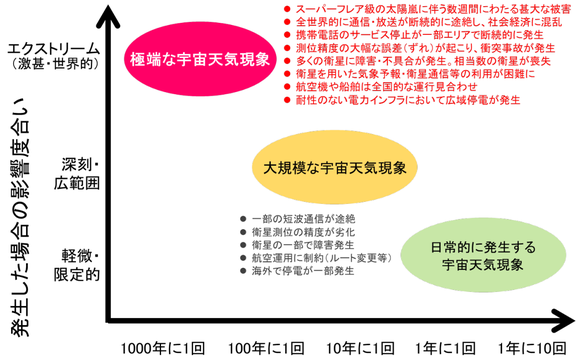


図　宇宙天気リスクのランドスケープ（俯瞰図）

https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/space_weather/index.html

宇宙天気予報



https://www.nhk.jp/p/ohayou/ts/QLP4RZ8ZY3/blog/bl/pDodEAXj7Y/bp/pw0Abapyy7/

2025年7月8日(火)

宇宙天気予報

https://swc.nict.go.jp



【話題】

1770年9月，三重県松阪市でオーロラが見える

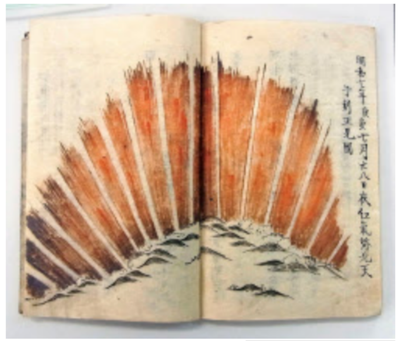
江戸時代に最大級の磁気嵐　京都でオーロラ、古文書記述と一致

2017/9/21 11:17

保存 共有 印刷 その他

江戸時代の1770年に、太陽の爆発現象によるとみられる史上最大級の磁気嵐が発生していたとする解析を、国立極地研究所などのチームが21日までにまとめた。京都市でオーロラが見えたという古文書に残る絵図が、計算で再現した見え方と一致した。

観測史上最大の磁気嵐は1859年のものとされているが、これと同程度か上回る規模という。片岡龍峰・極地研准教授は「現代に発生したら、ハワイでもオーロラが見えるだろう。停電事故も警戒する必要がある」と指摘している。



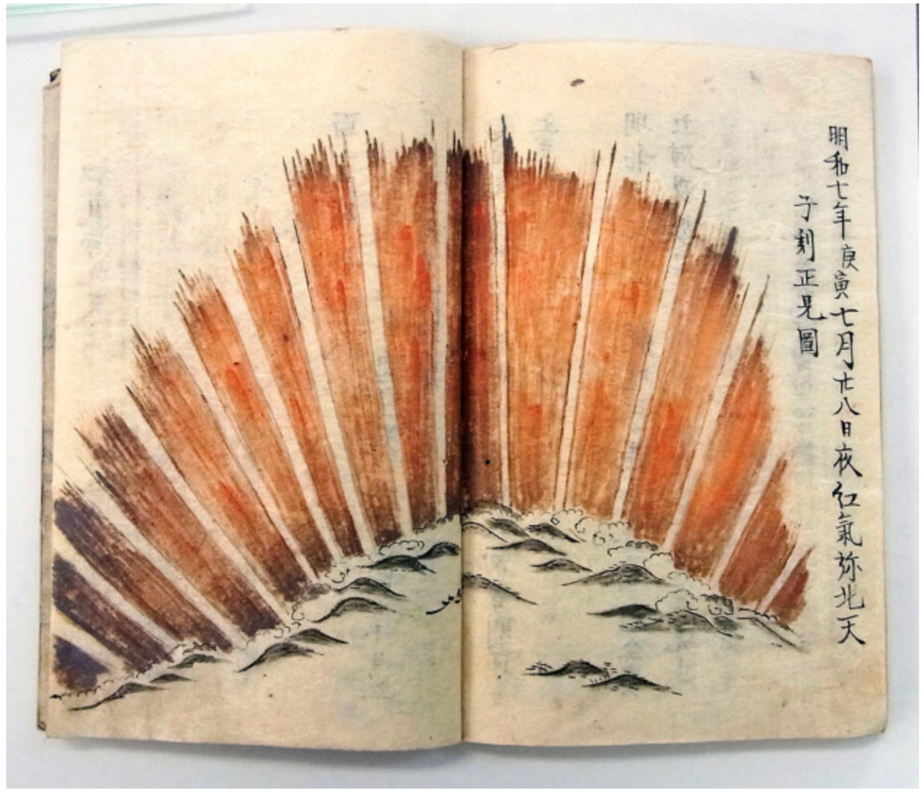
画像の拡大

江戸時代の書物「星解」に描かれたオーロラ=三重県松阪市提供・共同

太陽表面の爆発「フレア」が起き、放出された粒子が地球に届くと、磁気嵐となってオーロラが観測される。1770年9月17日には日本各地でオーロラが目撃され、三重県松阪市に保管されている書物「星解」の絵図は、京都から見たオーロラと考えられている。

チームは、京都市伏見区の東丸神社が所蔵する日記を調査。この日にオーロラが空の半分を覆い、天の川を貫いたとする詳しい記述を発見した。天の川の位置や磁場の形状などをもとに、オーロラの見え方を計算したところ、巨大な磁気嵐によってオーロラが天頂近くまで放射状に広がり、星解の絵図と同じ形になった。〔共同〕

https://www.nikkei.com/article/DGXLASDG21H2I_R20C17A9000000/



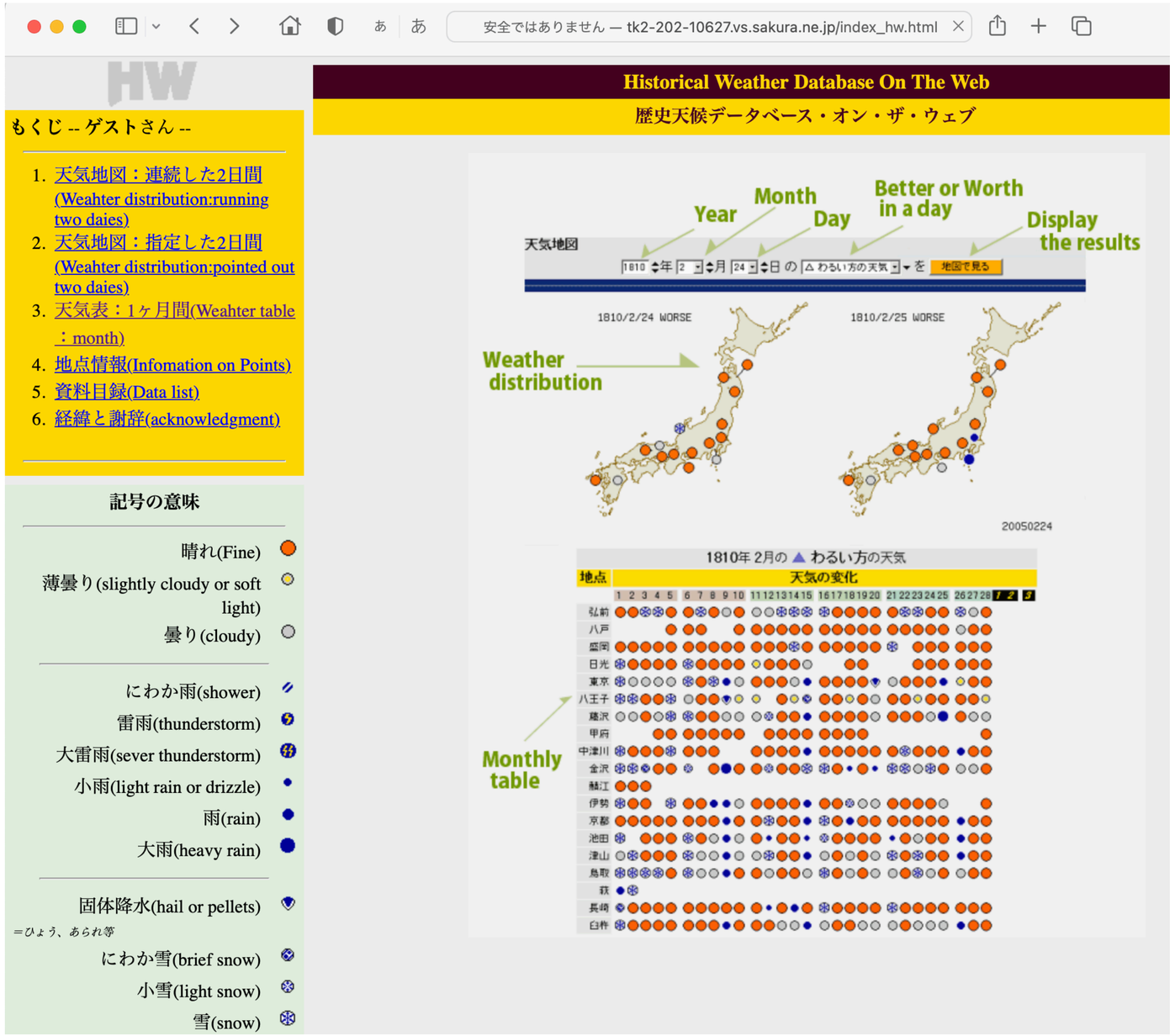
太陽活動が活発だと
低緯度地帯でもオーロラが見える

1770年9月17日　三重県松阪市

【話題】

「歴史天候データベース」Historical Weather Database on the Web

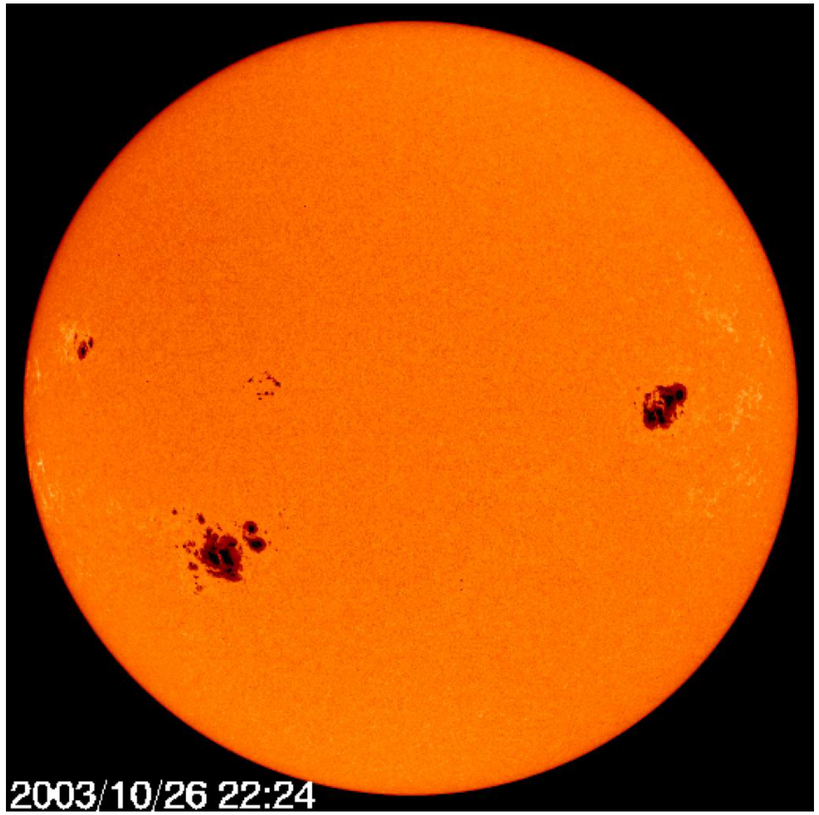
http://tk2-202-10627.vs.sakura.ne.jp/

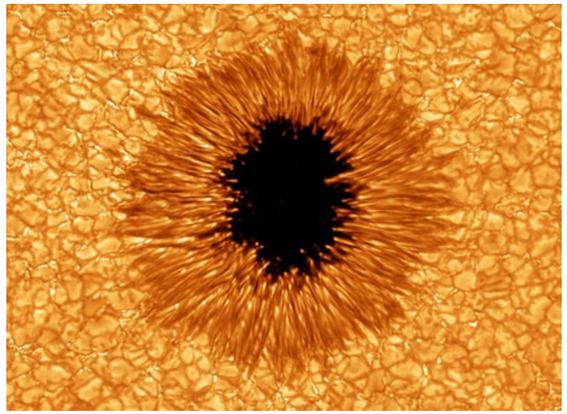


文理融合研究
文理協働

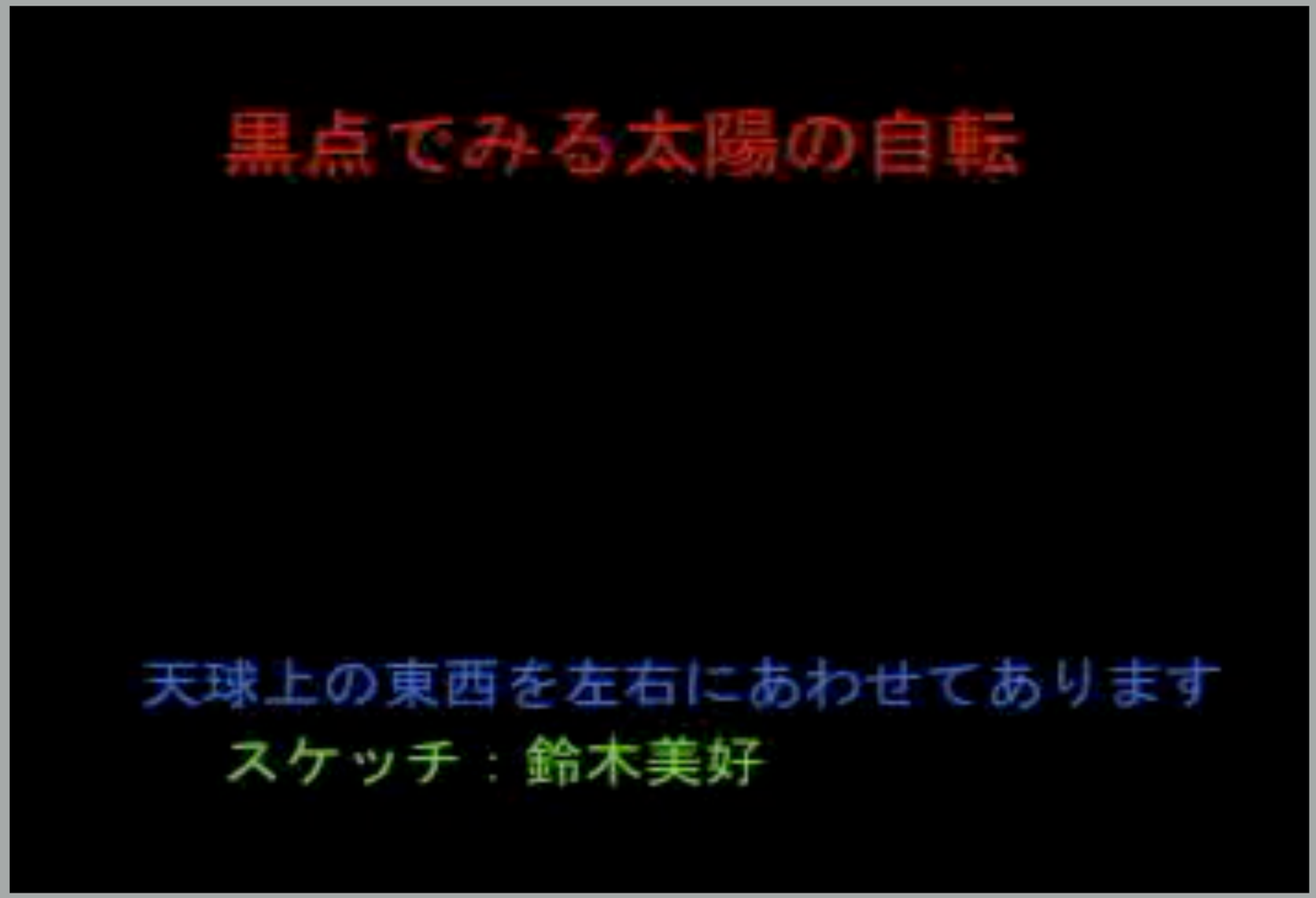
教科書 p11

太陽黒点（sunspot）





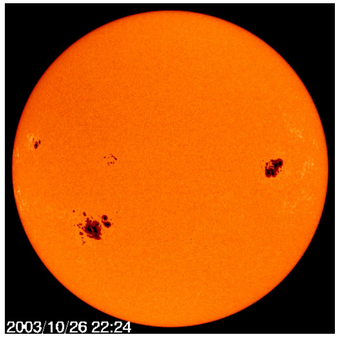
太陽黒点（sunspot）

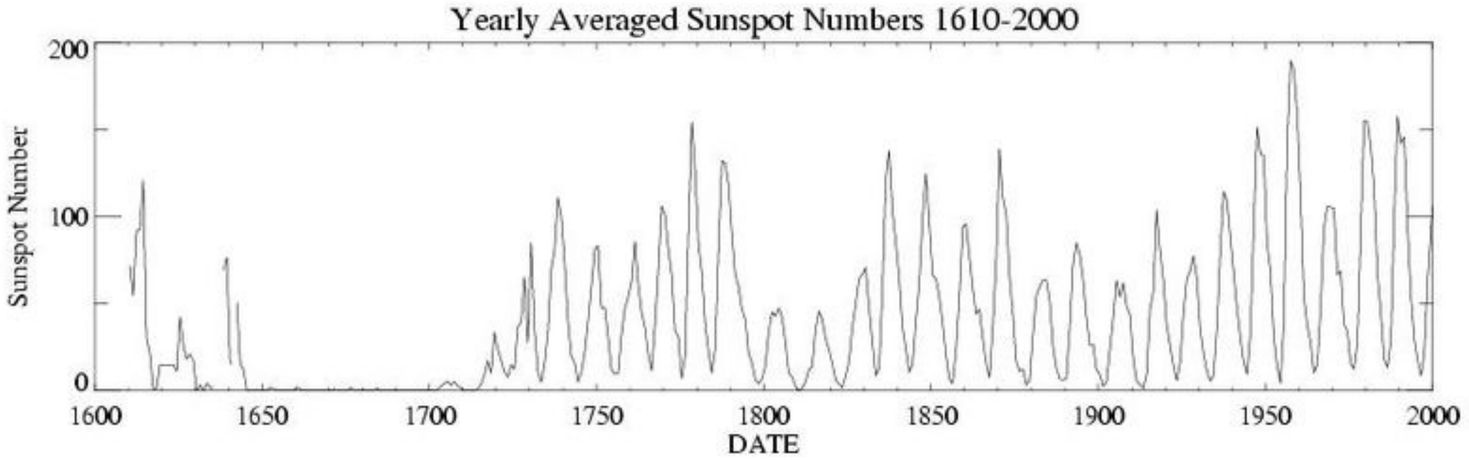


黒点でみる太陽の自転(1990)　　スケッチ　鈴木美好

50秒

太陽黒点の数は11年周期で増減





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



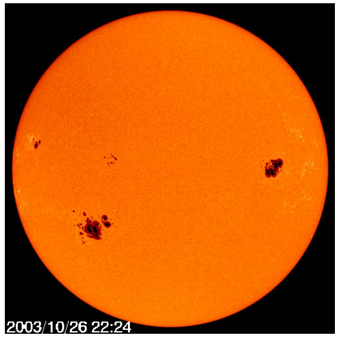
London Bridge Frost Fair 1814

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

太陽黒点の数は11年周期で増減

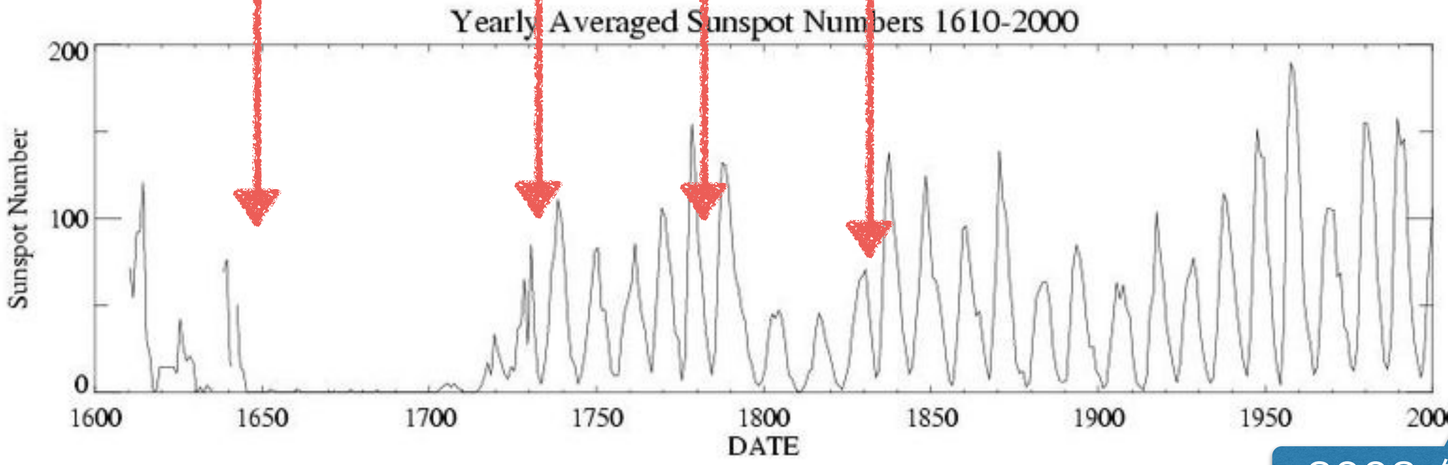


寛永の大飢饉（1642年）

享保の大飢饉（1732年）

天明の大飢饉（1782年）

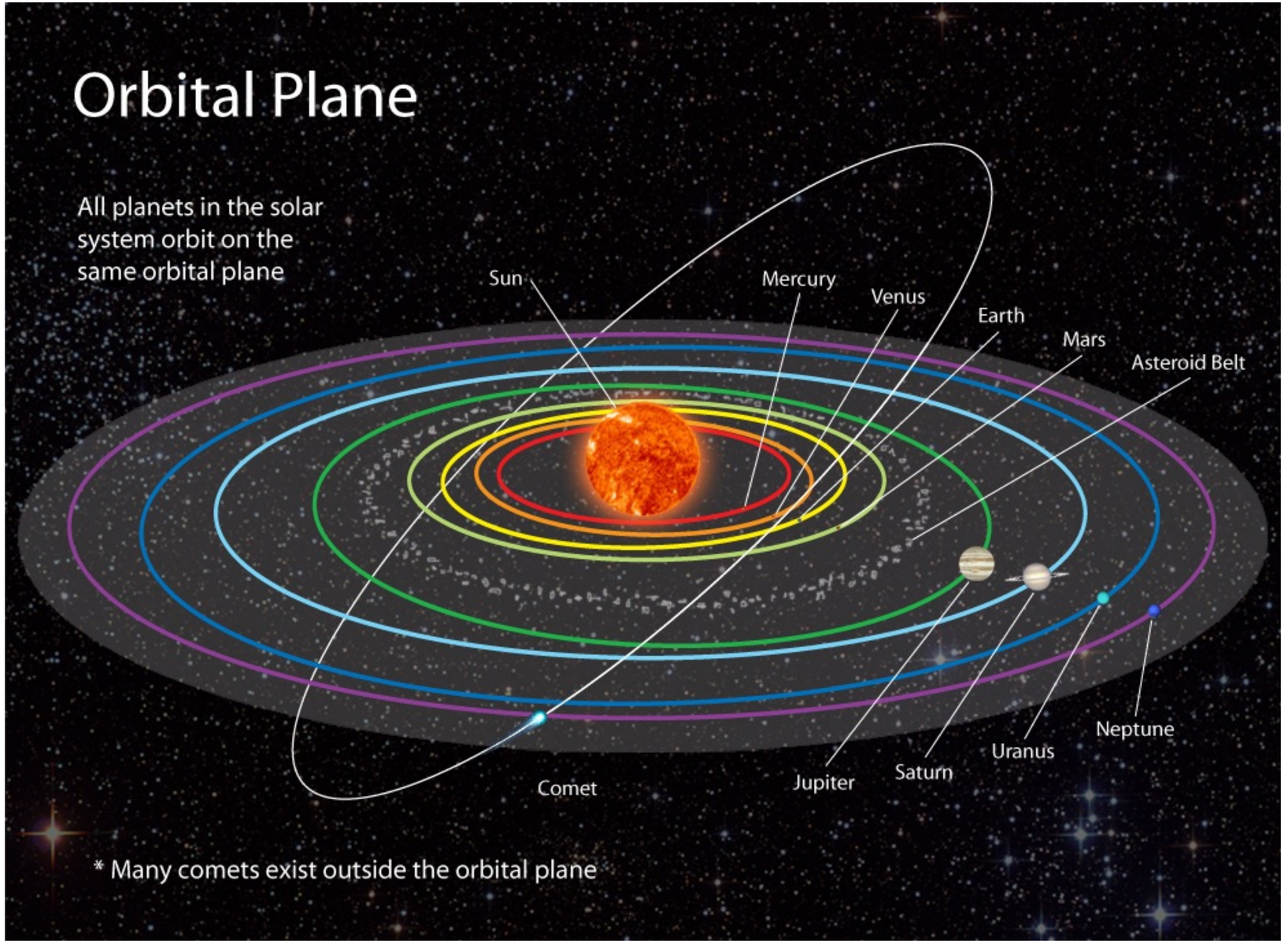
天保の大飢饉（1833年）



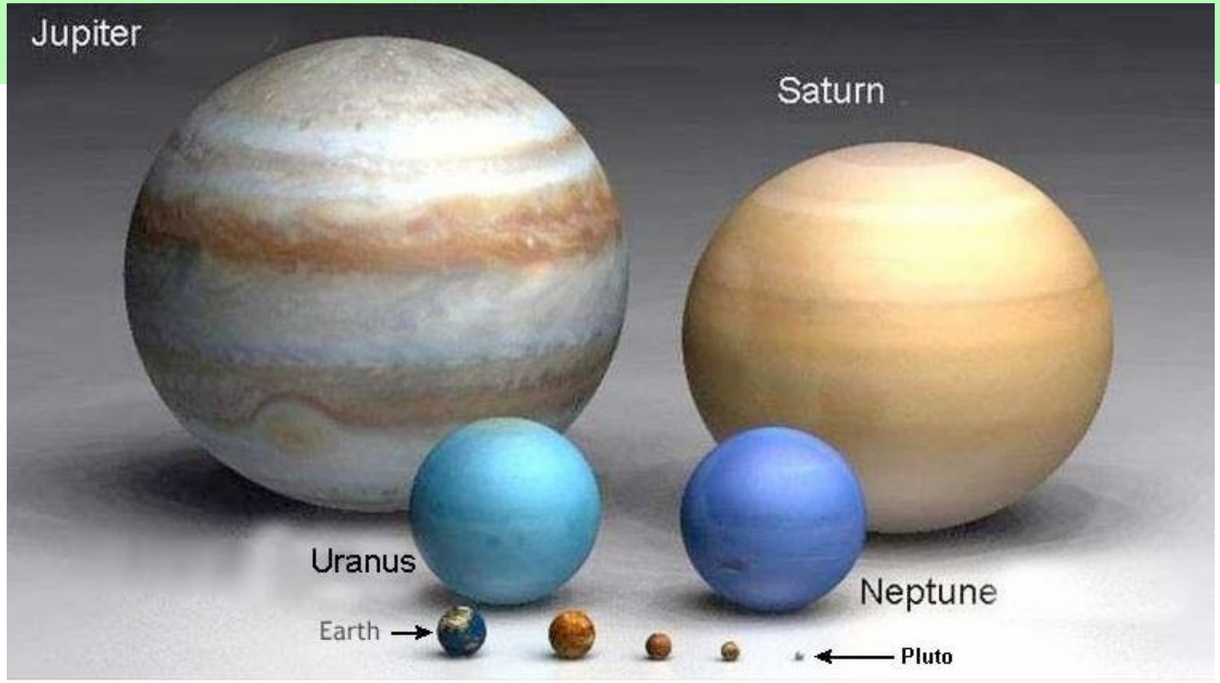
1615 ～1715
マウンダー極小期

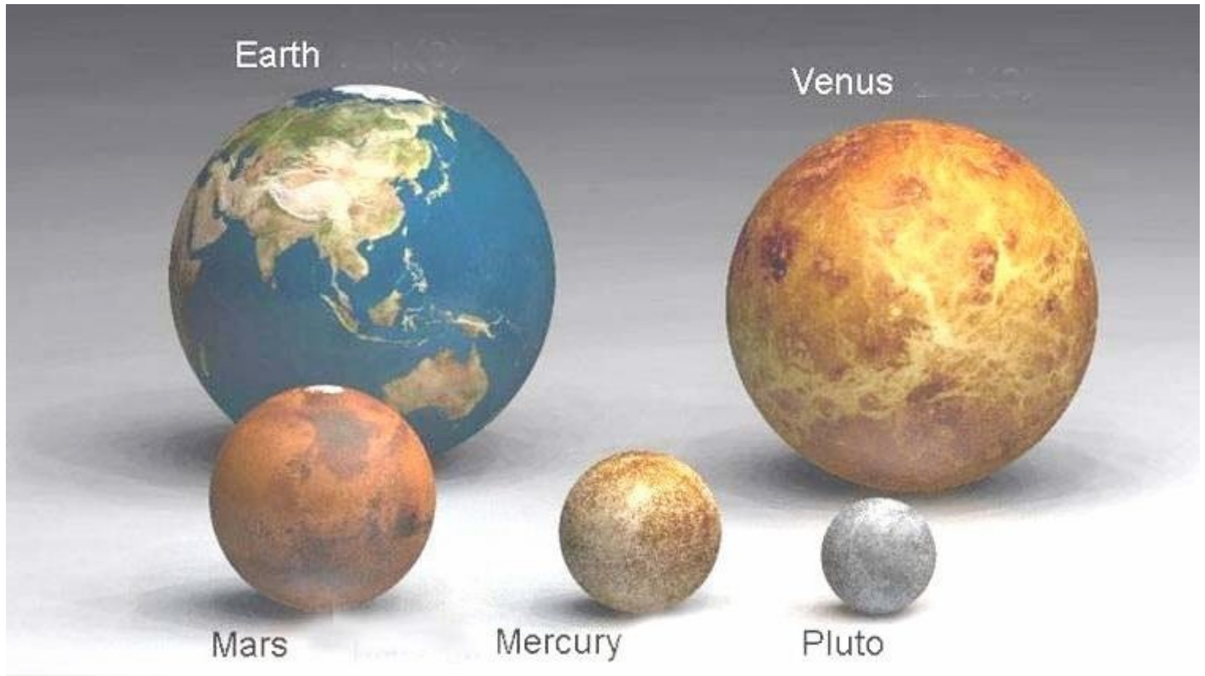
1790 ～1820
ダルトン極小期

2008 年8 月は
100 年ぶりに
「黒点ゼロ」


Orbital Plane
All planets in the solar system orbit on the same orbital plane
Sun
Mercury
Venus
Earth
Mars
Asteroid Belt
Comet
Jupiter
Saturn
Uranus
Neptune
* Many comets exist outside the orbital plane

【太陽系惑星】


Jupiter
Saturn
Uranus
Neptune
Earth
Pluto


Earth
Venus
Mars
Mercury
Pluto

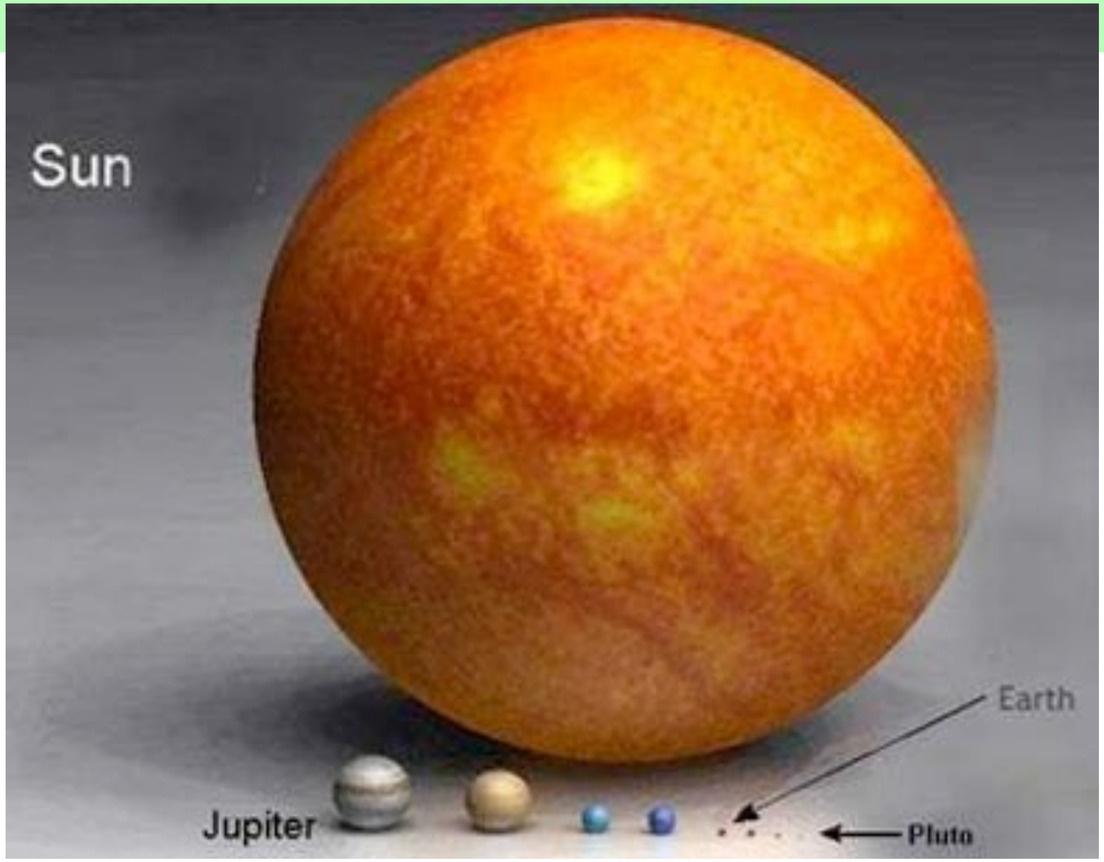
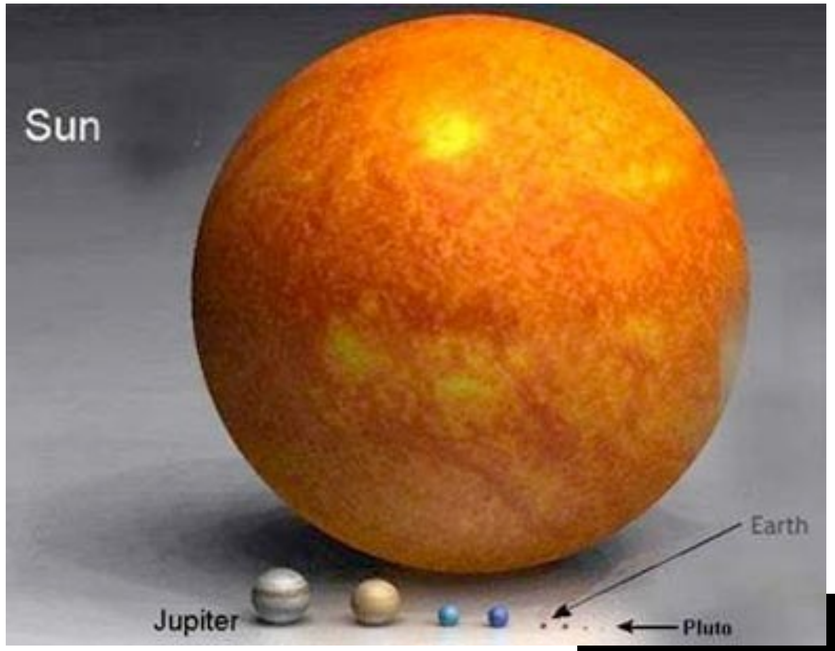
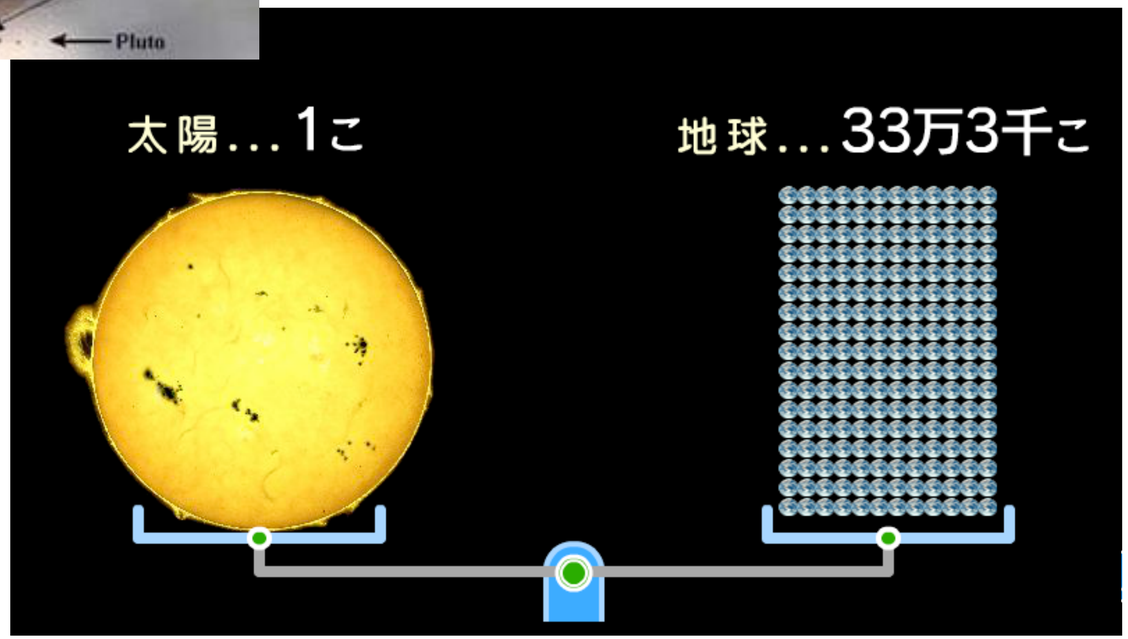


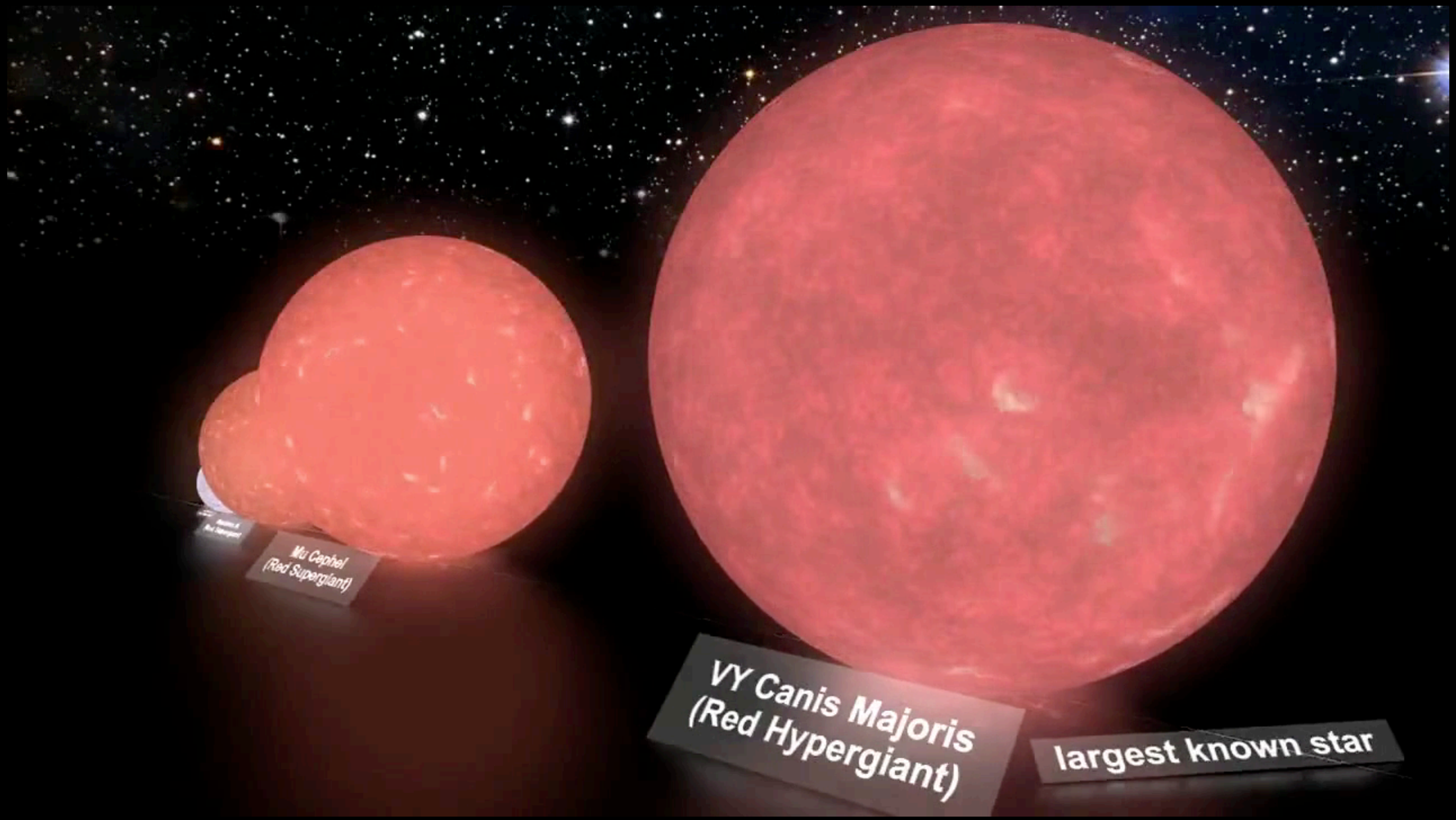
図 4: 太陽の質量は，太陽系全体の 99.85%を占めている．

いままで見つかっている星で最大のものは,
どの位の大きさ？

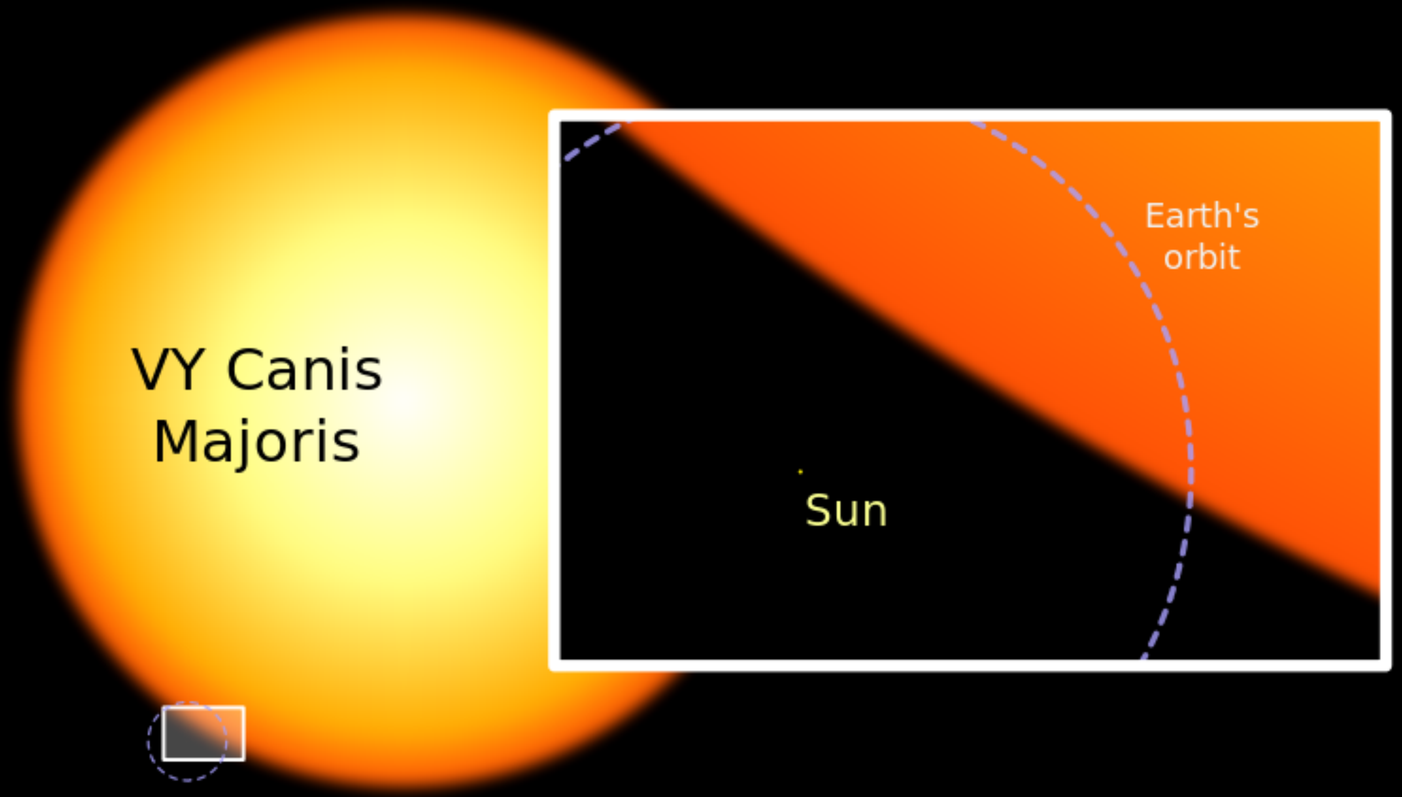
図 4: 太陽の質量は，太陽系全体の 99.85%を占めている．







Star Size Comparison 4min



VY Canis Majoris
おおいぬ座VY星

本日のミニッツペーパー記入項目

【1-1】この講義を選択した動機など，お願いします．

【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1つ2つ．

【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を書いてください．

【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．

出席票を兼ねます．今回はフォームで回答してください．次回以降は対面講義になり，紙に手書きで提出してもらいます．

https://forms.gle/TmCt3LgfbNwEjXn37