

令和5年度近畿地区国立大学法人等教室系技術職員研修 令和6年2月8日

天文学の潮流と大学天文台

一本 潔

立命館大学授業担当講師・京大名誉教授

一本 潔 略歴

1981.4 京大宇宙物理修士課程進学
| 大学5年、大学院6年・・

1987.4 京大宇宙物理 博士課程修了

1987.5 東大東京天文台@三鷹 助手
| 翌年、国立天文台に改組 → 助教・准教授
| 乗鞍コロナ観測所、三鷹の太陽観測、皆既日食遠征、
| Solar-B(ひので衛星)の開発@宇宙研/JAXA
|

2008.4～ 京大理・附属天文台
| (2016.4～2019.3 国立天文台クロアポ・Solar-C準備室)
|

2023.4～ 京大名誉教授、立命館大授業担当講師

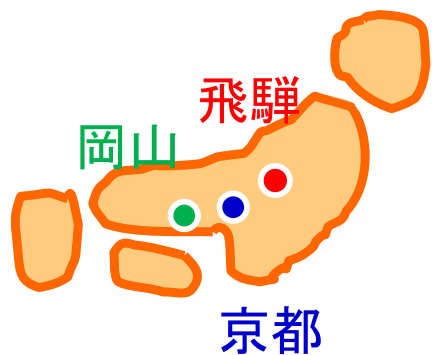
専門分野: 太陽の観測(黒点、コロナ、フレア、彩層、)
観測装置の開発、光の分析

内容

- 京大花山天文台の紹介
- 天文学の最前線
 - ここ20～30年のめざましい進展
 - 巨大プロジェクト
- 再び京大天文台、大学施設の役目

京大理学研究科 附属天文台

講義資料『天文学の潮流と大学天文台』 京都大学 一本 潔 名誉教授

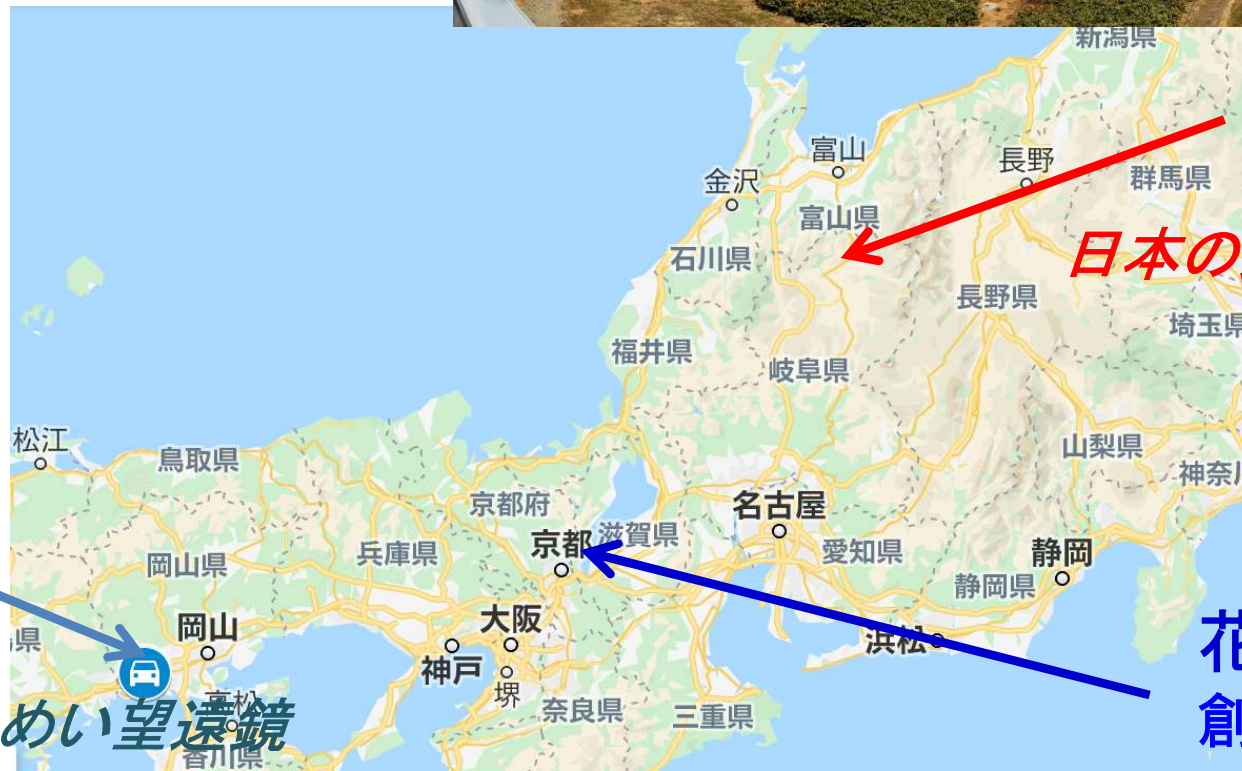


飛騨天文台
創立: 1968年

日本の太陽観測拠点

岡山天文台
創立: 2018年

新技術 3.8m せいめい望遠鏡



花山天文台
創立: 1929年

アマチュア天文学の故郷



京大附属天文台の沿革

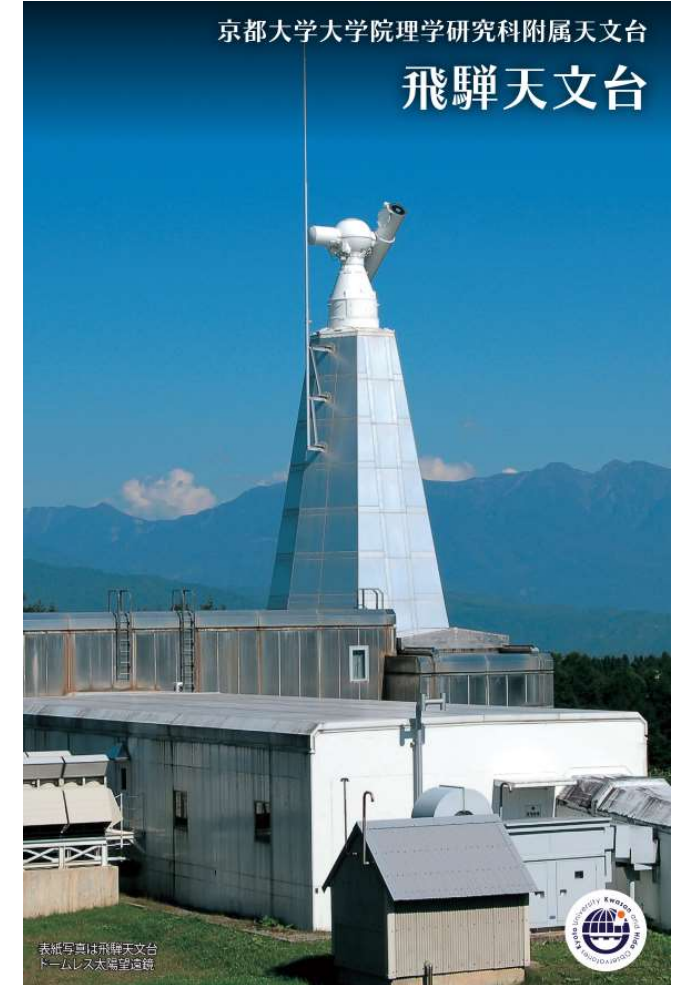
1929年10月	花山天文台設立(本館、別館、子午線館、旧宿舎、旧太陽館)
1961年 3月	花山天文台に現在の太陽館が完成
1968年11月	飛驒天文台設立
1969年 3月	花山天文台のクック 30cm望遠鏡を改造、45cmレンズを搭載
2014年	京都市より“市民が残したい京都を彩る建物や庭園”に認定
2018年 4月	岡山天文台設立、せいめい望遠鏡完成(7月) 花山天文台の運営費大幅カット、以降寄付金による運用
2019年 4月	最先端観測は飛驒、花山は理論・解析・教育施設として、 (株)タダノの支援により花山宇宙文化財団設立

京都大学理学研究科附属天文台

「晴れの国」から新時代の
天文学に挑戦

歴史と伝統の都に根づく
市民の天文台

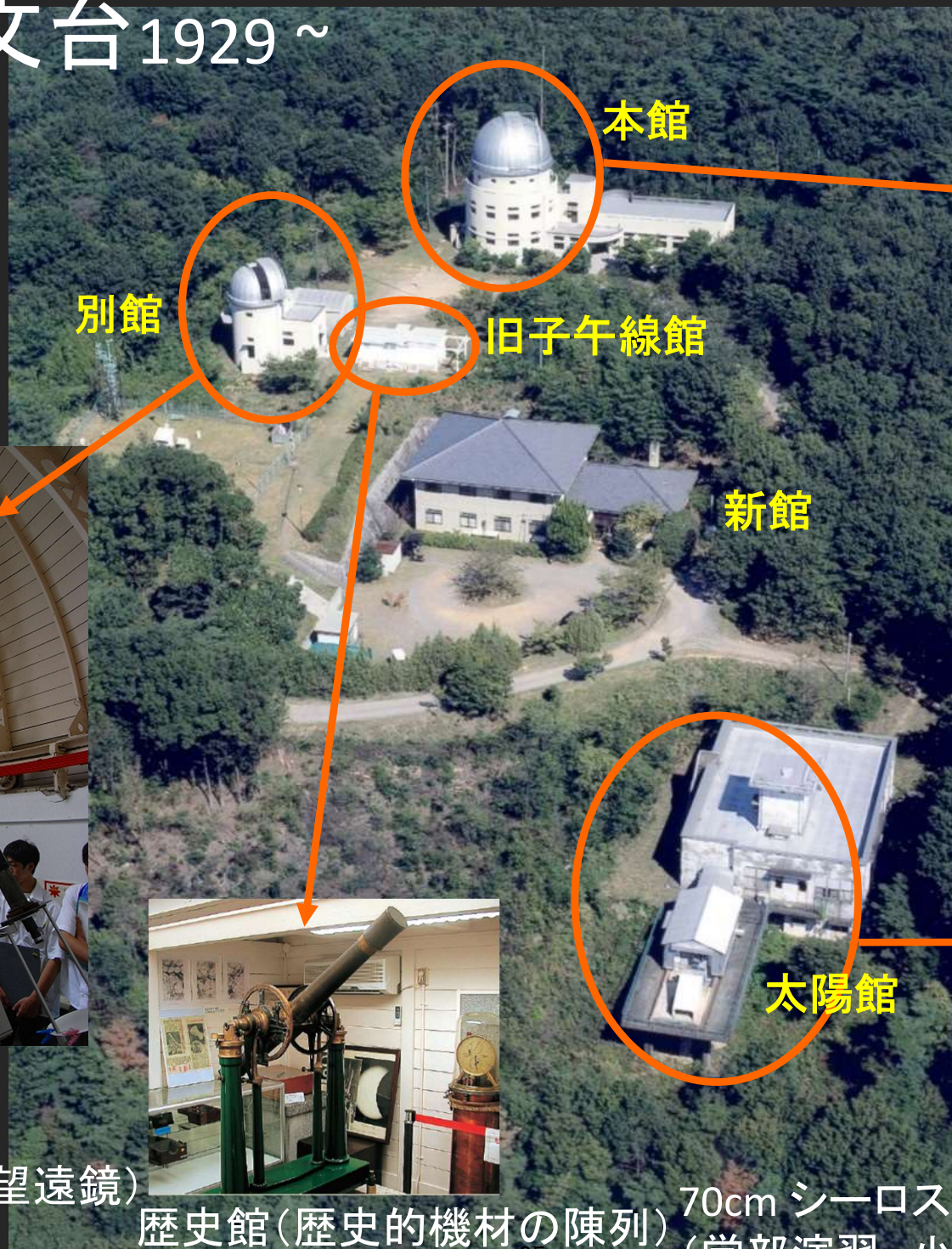
澄み切った北アルプスの空
から宇宙を見つめる



京大天文台基金； ご支援をよろしくお願い致します！

<https://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/kikin/>

花山天文台 1929 ~



本館

別館

旧子午線館

新館

太陽館



45cm 屈折望遠鏡
(観望会で活躍)



18cm 屈折望遠鏡
>100 年
(日本最古の現役望遠鏡)



歴史館(歴史的機材の陳列)



70cm シーロスタット太陽望遠鏡
(学部演習、小中高授業、アウトリーチ)

京大天文台のルーツ; 花山天文台



80年前、望遠鏡の鏡を国内で先駆けて製作
月惑星太陽の研究で数々の成果、今は教育施設として
日本のアマチュア天文学発祥の地
2014京都市より“市民が残したい京都を彩る建物や庭園”に認定

花山天文台設立 1929年10月

講義資料「天文学の潮流と大学天文台」京都大学 一本 潔 名誉教授



「天界」花山天文台記念号

編集後記

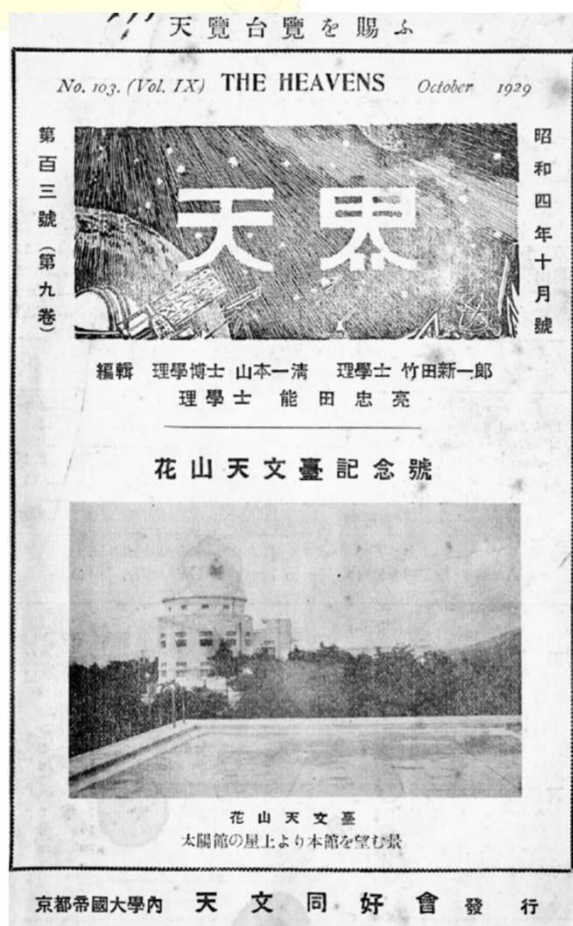
1929.9.25

山本一清
初代天文台長

編集室より

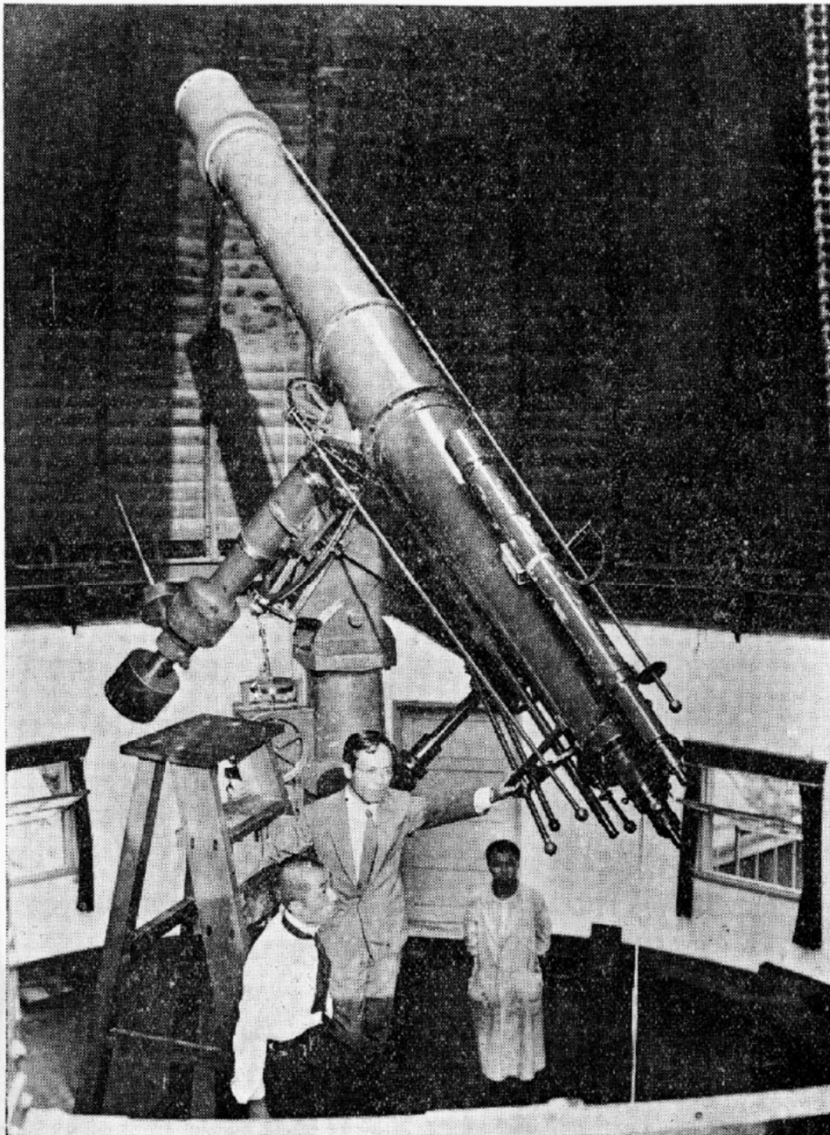
かねて記して置きました通り、本號は思ひ切つて「花山天文臺記念號」として編輯しました。花山天文臺は、ひそり京都帝國大學の誇りであるばかりでなく、其の位置に於いて、其の建築に於いて、其の整つた設備に於いて、其の景勝に於いて、あらゆる意味から我が日本の典型的天文臺と見るべきものであります。——花山の建築が出来たのが本年七月末、それから直ぐ移轉や設備整頓が始められ、其のため臺員の人々は全く今度は夏期休暇無しの大車輪でした。それで、九月末には總ての仕事が殆んど完成したといふわけですが、此の大多忙の中に本號の編輯が行はれたので、いよいよ本號が出来上つて見るに、尙ほ不満な點も澤山ありますが、それは追々加へて行くより仕方が無いこゝでせう。

何と言つても花山は我が天文学界の誇りです。誰でも先づ來て御覽下さい。天文の事はさておいて、只、附近の山川の景色を見るだけでも價值は充分にあります。千年の歴史に輝やく古都の内外は一眸の下にあります。晝の景色だけではありません。夜は京都から山科から大坂や生駒山の、遠近にひろがる大きい電飾の景色は筆も言葉も及びません。天文臺の臺員たちでさへ、夕暮後の一二時間は、絶景に見られて、観測時間を忘れるぐらるです。（本號には附録「天文語彙」なし。）



花山天文台の天文学業績

30cm クック望遠鏡

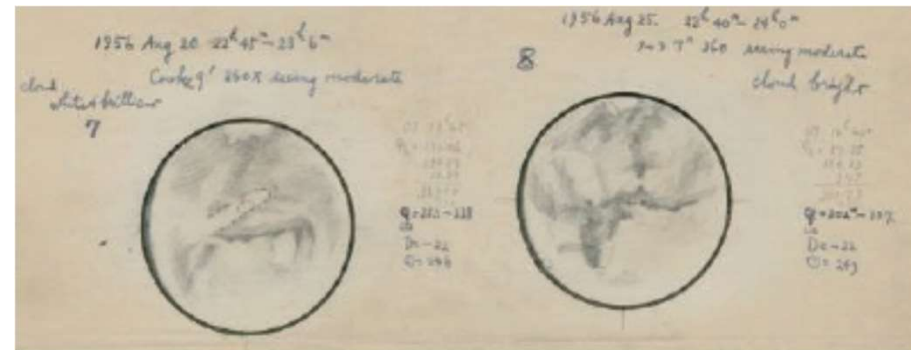


クック製 30 センチ 屈折式 赤道儀 望遠鏡



宮本正太郎
第3代天文台台長

1941年11月2日に
撮影された火星食
月の観測で**アポロ**
計画にも貢献



1956 年の火星接近時のスケッチ **火星の偏東風発見**



コロナは**100万度**もの超高温
状態にある(1940年代発見)

花山天文台グループは**日食**
観測でも長年にわたって活躍

花山天文台は日本における 天体望遠鏡用の鏡・レンズ制作の発祥地

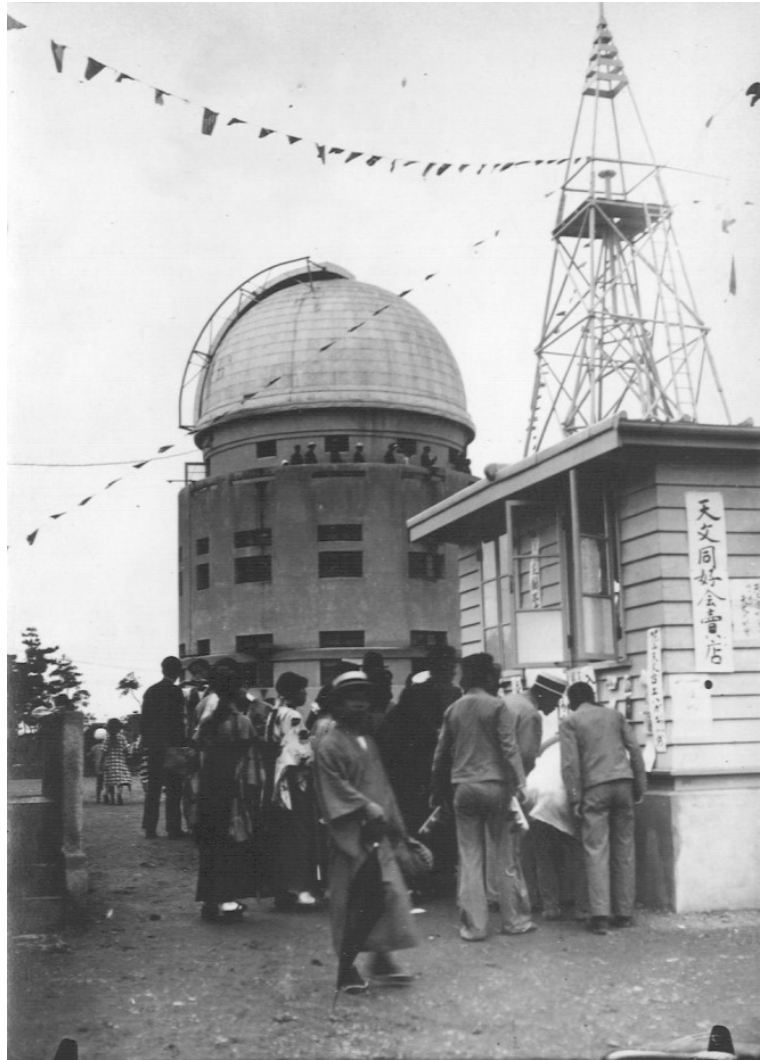
- 1930年代、花山天文台の**中村要**助手が、本館地下室で、多くの鏡・レンズを制作
- その技術は「レンズ和尚」**木辺成麿**によって発展
- それを望遠鏡にして**西村繁次郎**氏がアマチュア天文家に向けて販売（西村製作所の始まり）



自主開発のパイオニア精神は日本のアマチュアを育て、そして岡山天文台3.8mせいめい望遠鏡建設にも引き継がれている

市民に開かれた天文台

日本のアマチュア天文学発祥の地



1930年代の一般公開の一コマ。
100

天文学の潮流

この20-30年のめざましい進展

- 宇宙の距離決定範囲の飛躍的拡大
- ニュートリノ、重力波天文学の誕生
- 極限の世界 ブラックホール撮像
- 太陽系形成論と系外惑星の発見
- 宇宙生命探査
- 太陽活動と地球

最先端の天体観測

- 地上望遠鏡の巨大化
- 宇宙望遠鏡の躍進
- 太陽系探査機

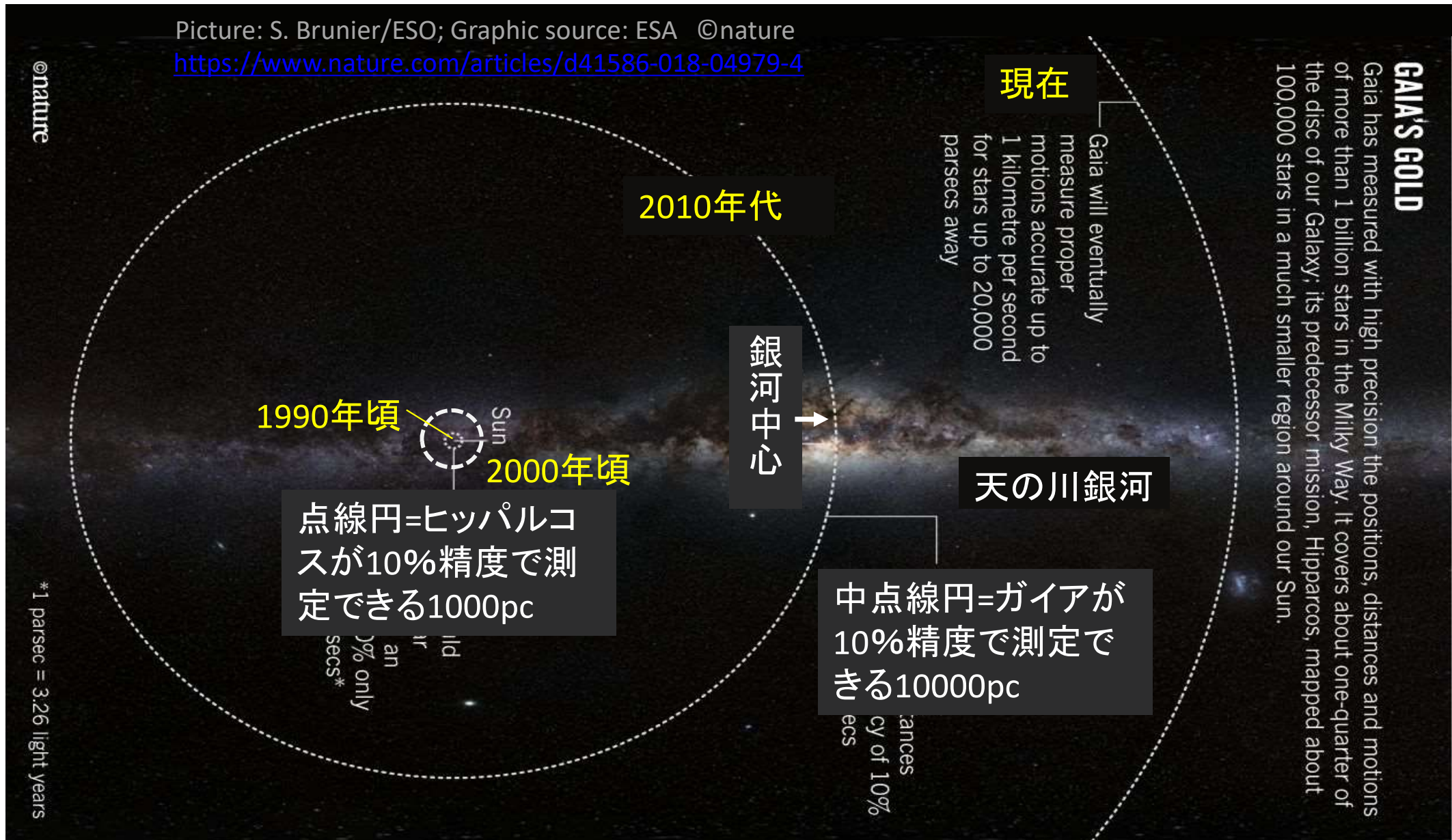
ほとんどが巨大国際共同プロジェクト

年周視差(星の距離)測定の歴史

- 0. 1672年：太陽までの距離 最初の測定（カッシーニ）
- 1. 1838年：Bessel 年周視差の発見（地動説の直接的証拠）
はくちょう座61番星の視差：0.314秒角
- 2. 1988年：FK5 (Fundamental Katalog)
～0.03秒角（地上観測の限界～33pc）
- 3. 1997年：ヒッパルコス衛星 ～0.001秒角
- 4. 2013年～： ガイア衛星 0.00002～0.0001秒角

将来： JASMINE計画（JAXA）、

年周視差(星の距離)測定範囲の拡大



ニュートリノ

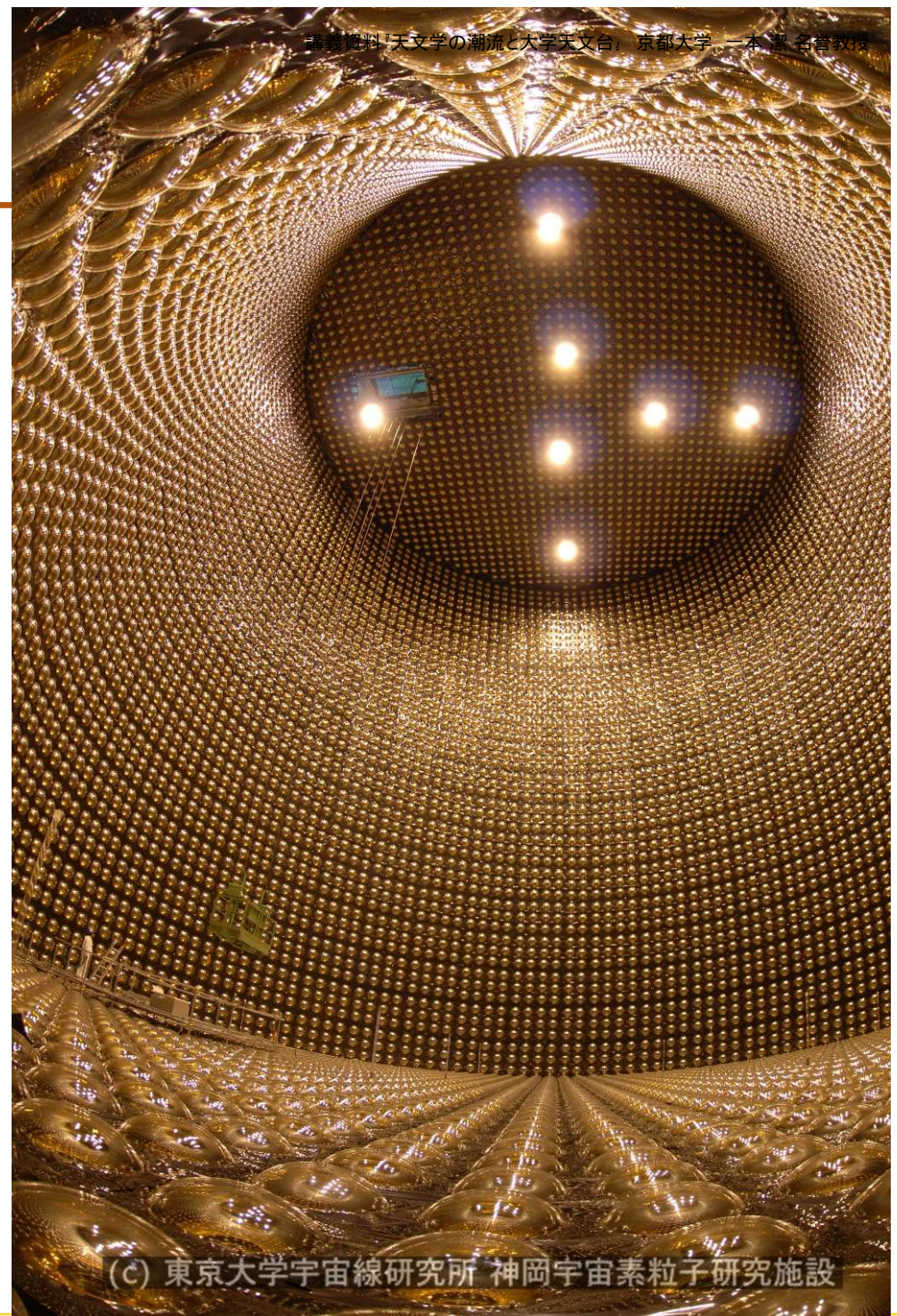
- ・ カミオカンデ

1987年に超新星爆発からのニュートリノ
を初めて観測

- ・ スーパーカミオカンデ

ニュートリノは核反応によって放出。
太陽の中心まで見通せる！

梶田隆章・小柴昌俊

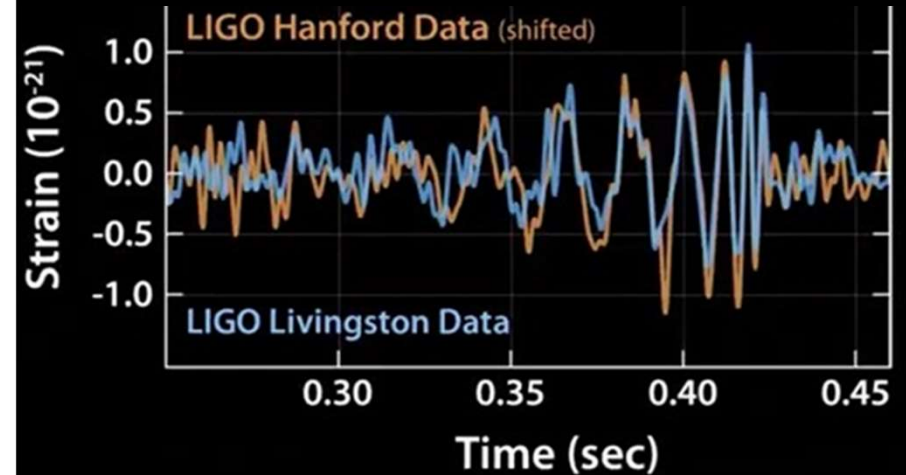


(c) 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

重力波 2015年 初検出 LIGO 現在 > 90例



ブラックホールの合体



<https://www.ligo.caltech.edu/LA/image/ligo20160211c>



ブラックホール撮像！

2019年発表

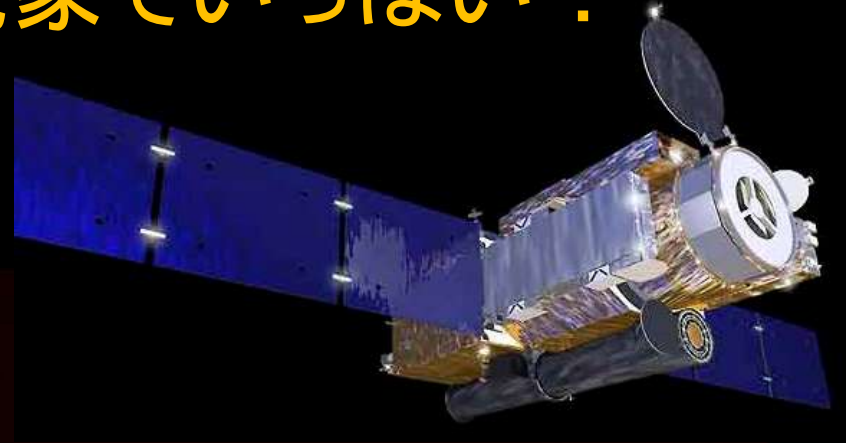
イベント・ホライズン・テレスコープ(EHT)

— 各地の電波望遠鏡をつなぎ、地球サイズの仮想望遠鏡を構成 —



太陽大気は磁気プラズマ現象でいっぱい！

「ひので」 2006～



コロナ

MHD衝撃波？

質量入射・加熱？

MHD波動？

加速？

彩層

磁気リコネクション？

磁気不安定？

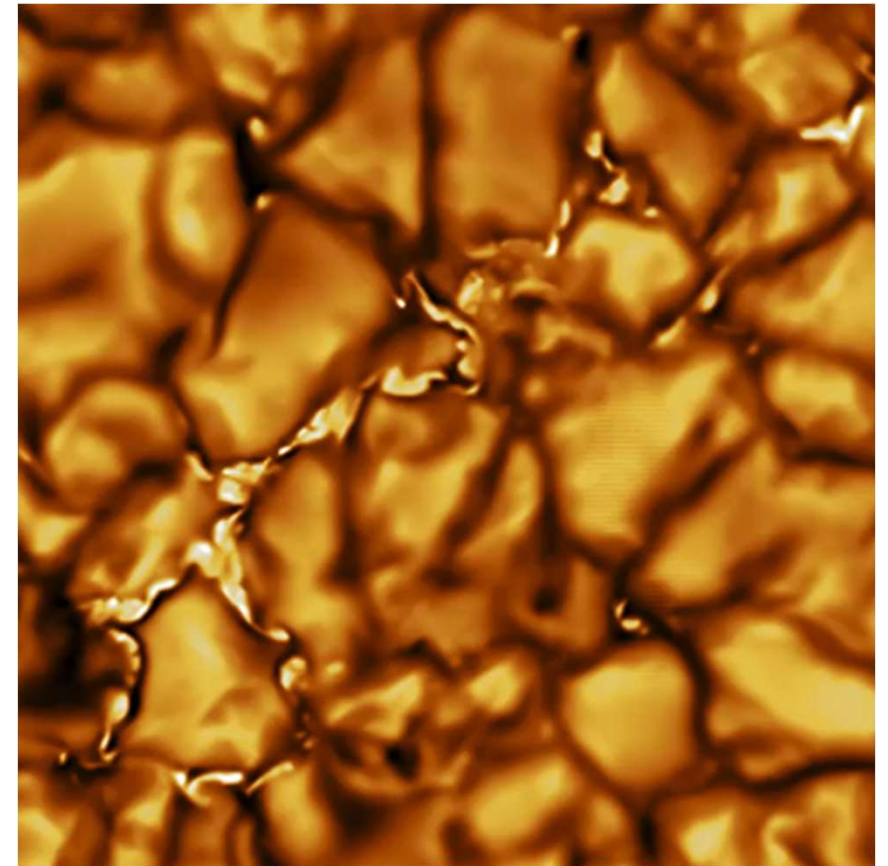
ひのでSOT CaH画像 (by 勝川))

極めつけの太陽望遠鏡 口径4m！

DKIST (Daniel K. Inouye Solar Telescope) in ハワイ

超高解像度で光球・彩層プラズマの小さな基本構造を捉える

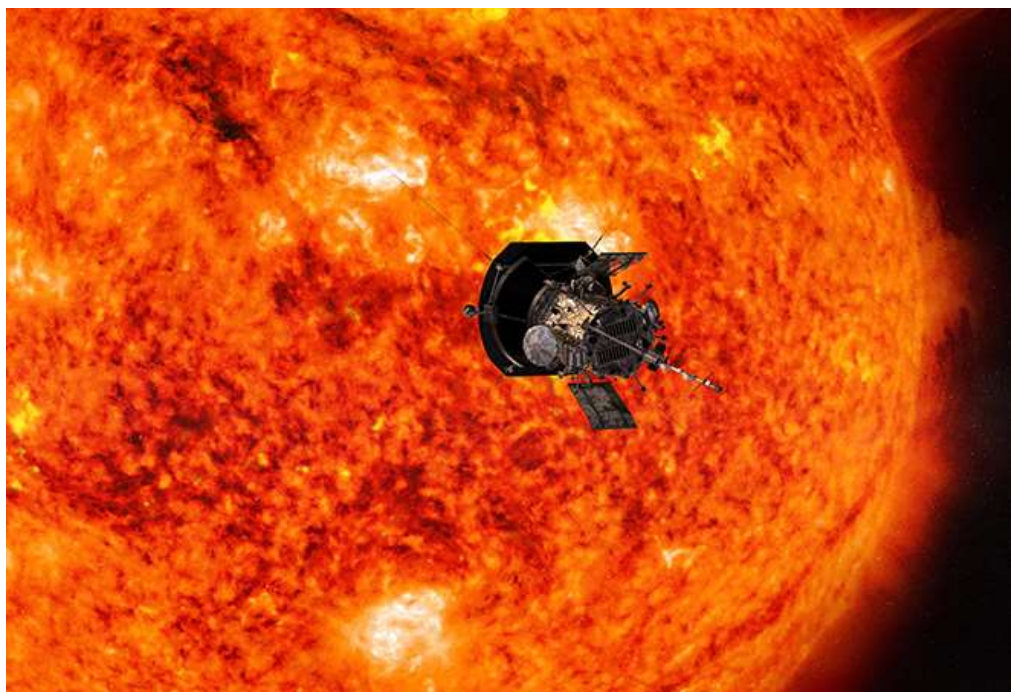
2019年ファーストライト



太陽圏の探索

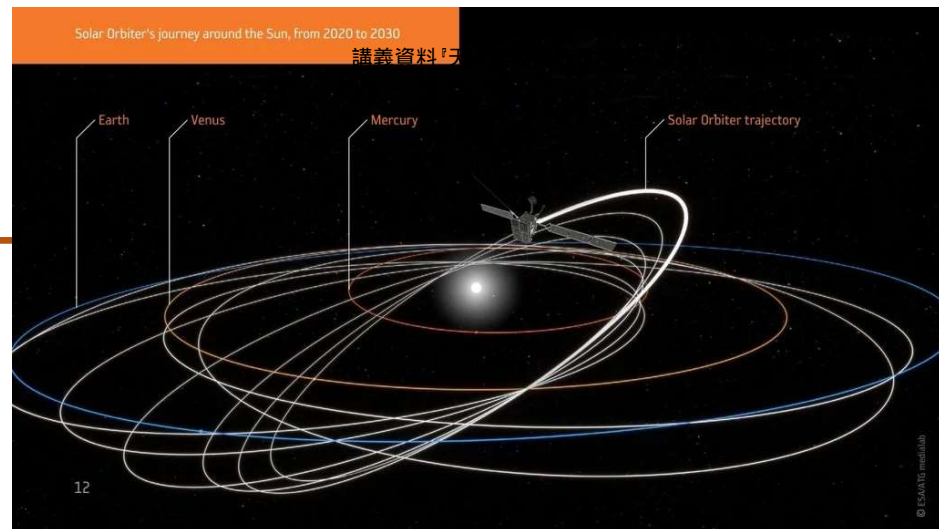
海外の大型ミッション

Parker Solar Probe (2018.8 ~)

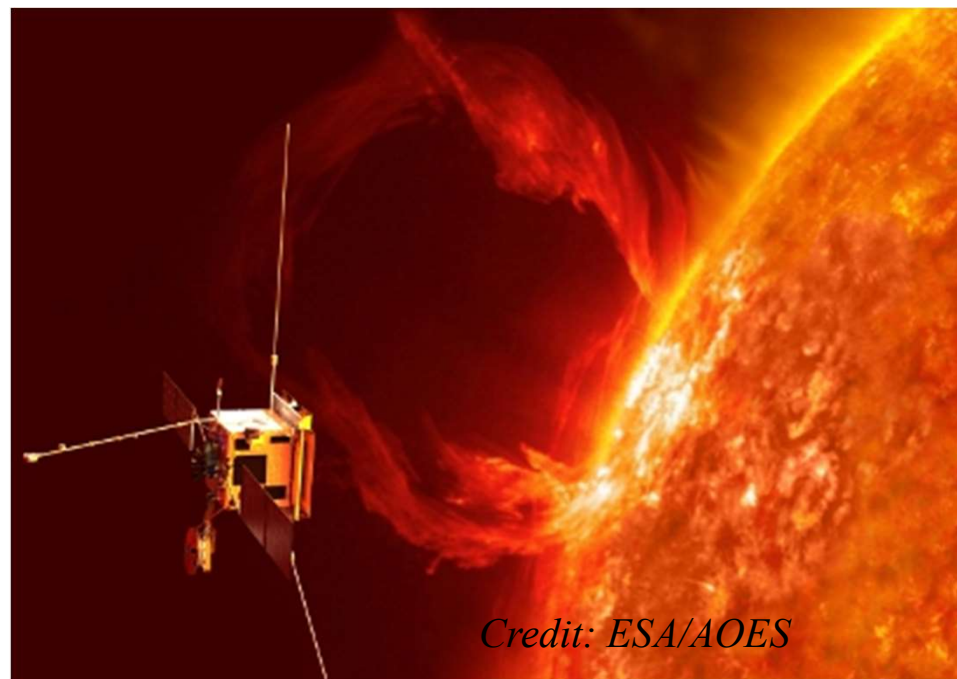


- 最短8.5太陽半径まで太陽に接近して観測(~2025年)

太陽が24倍大きく見える！



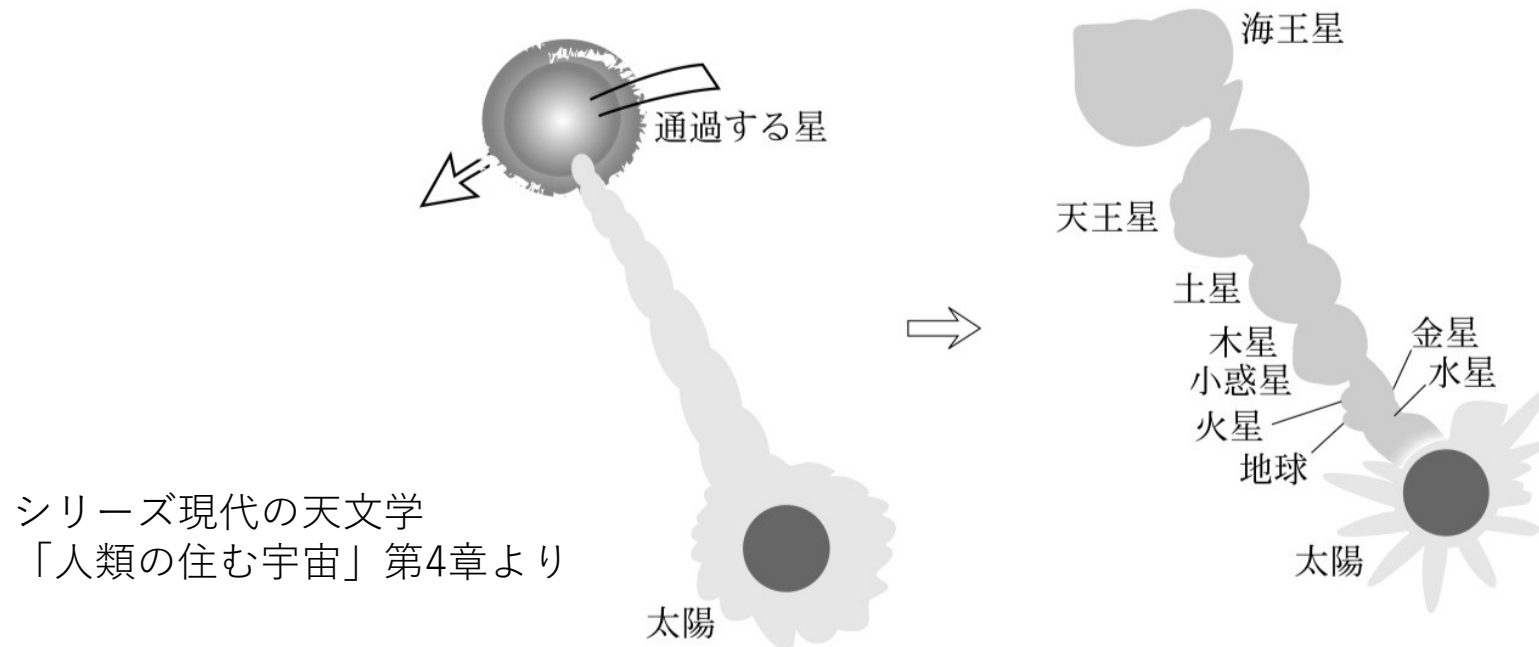
Solar Orbiter (2020.2~)



- 0.28AUまで太陽に接近、傾斜角25度から極域観測(~2026年)

過去に考えられた太陽系形成シナリオ

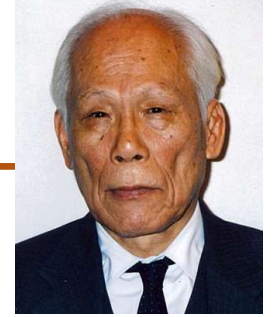
ジーンズ-ジェフリーの遭遇説 or 潮汐説(20世紀初)



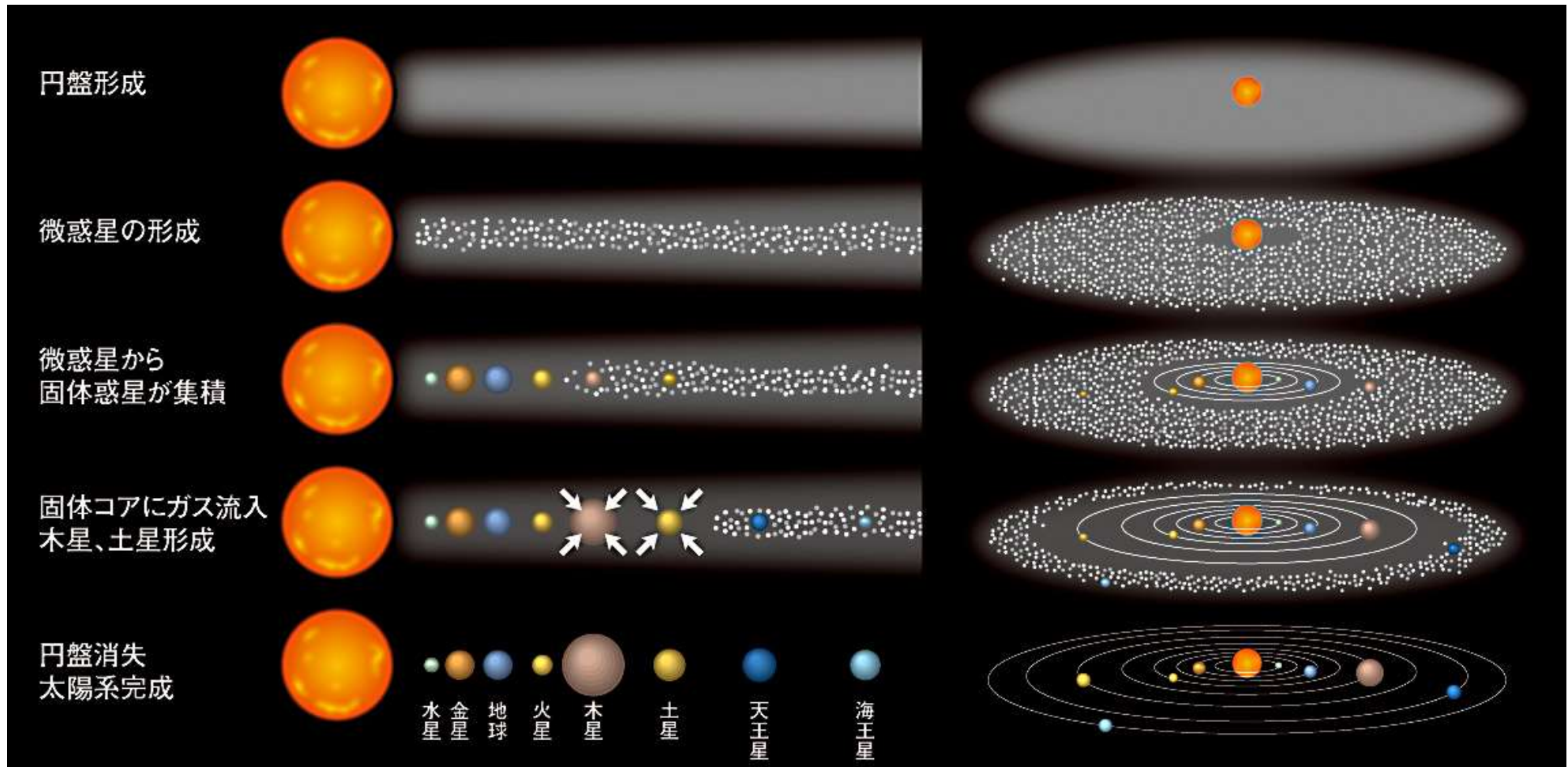
他の恒星がたまたま太陽のそばを通り過ぎ、潮汐力で太陽表面から紐状のガス塊を引き出す。その後冷えて固化したものが集積し惑星となった。

宇宙で恒星が遭遇する確率は極めて低い。
太陽系が出来たのは奇跡の賜。宇宙で唯一無二の存在！

太陽系形成標準理論（京都モデル or 林モデル）



1970年代、林忠四郎ら京都学派によって作られ、
1980年代半ばから「標準モデル」といわれる。

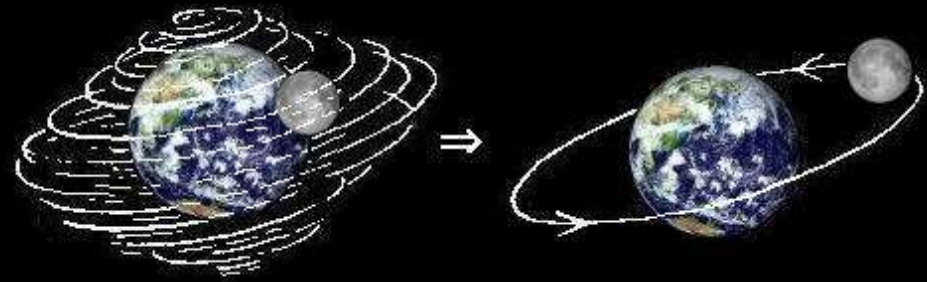


理科年表オフィシャルサイト(国立天文台・丸善出版) https://www.rikanenpyo.jp/FAQ/tenmon/img/007_2.jpg
Originally: http://www.geo.titech.ac.jp/lab/ida/STUDIES/basic_process.html

月の起源論

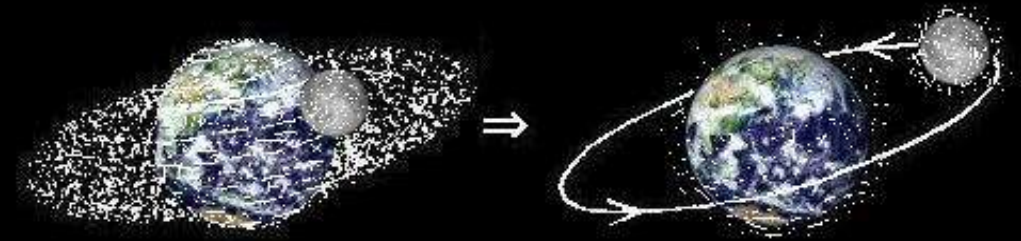
●親子説(分裂説)

月は高速回転する地球から分離した



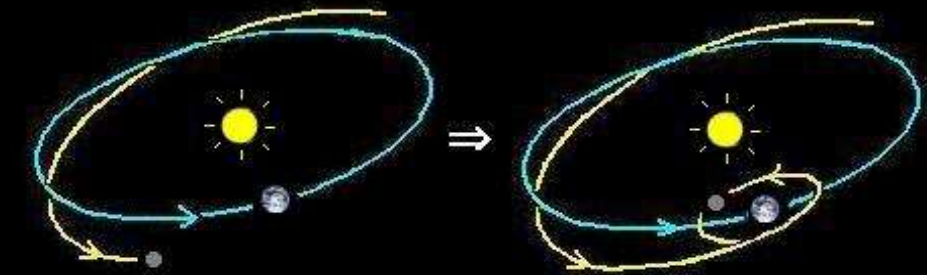
●兄弟説

月と地球は連星のように同時に作られた



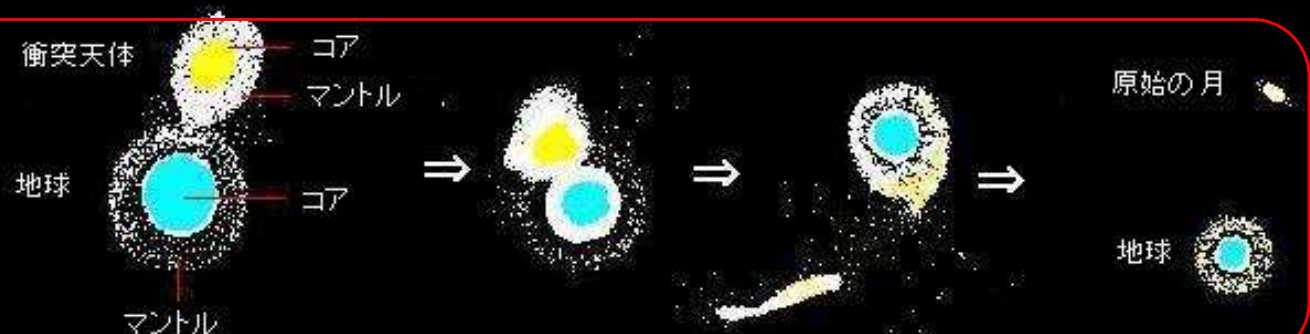
●他人説(捕獲説)

月はどこからかやってきて地球の重力に捕獲された



●ジャイアントインパクト説

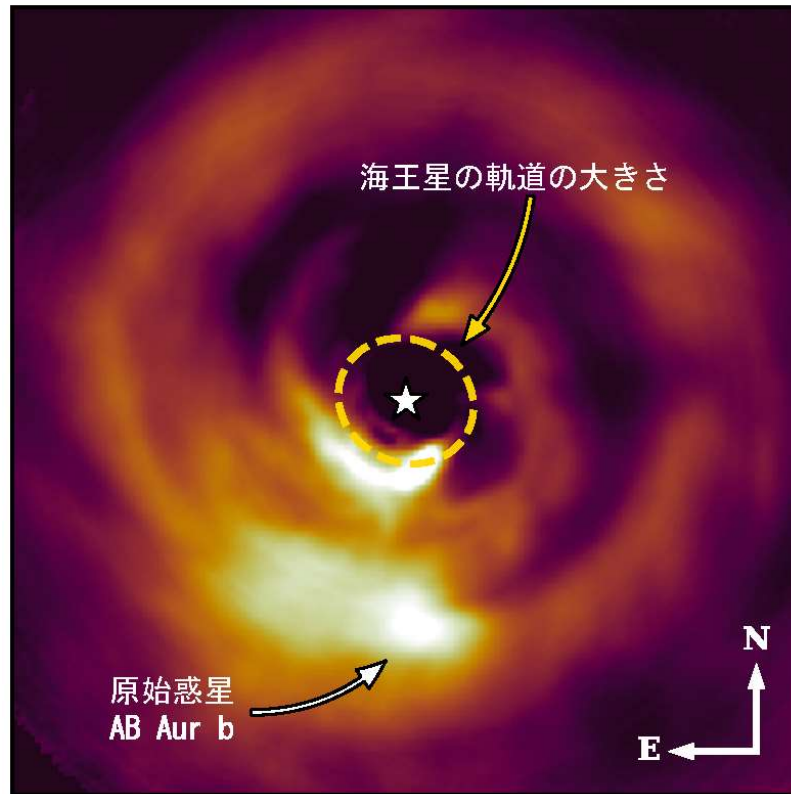
火星大の天体が地球に衝突して放出物が月になった



1990年代頃からほぼ定説になる

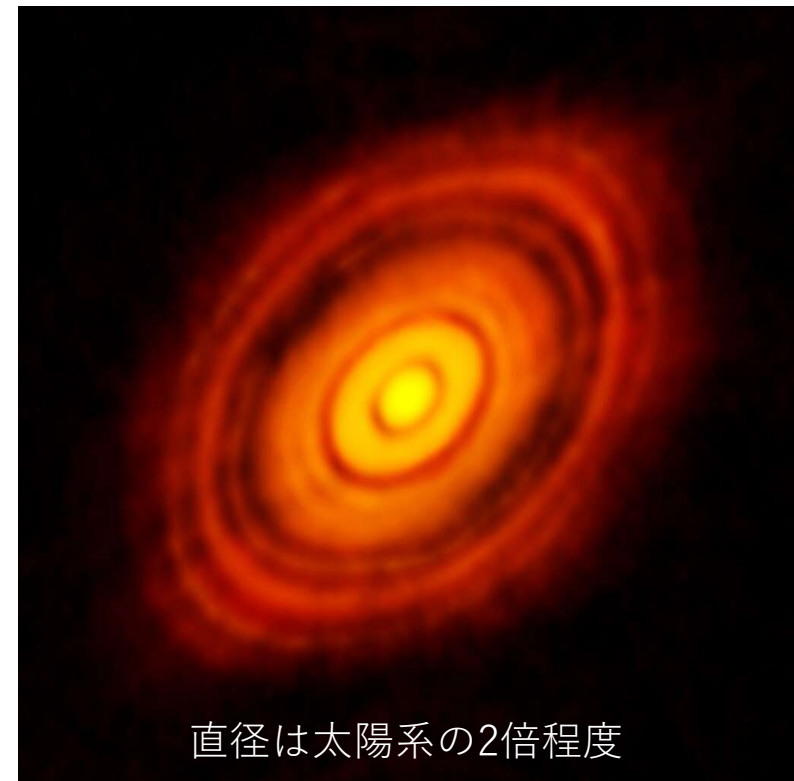
みえてきた遠くの原始惑星系円盤

すばる望遠鏡が捉えた
ぎょしゃ座 AB 星の原始惑星系円盤



[すばる望遠鏡が捉えた、生まれつつある惑星 | 国立天文台\(NAOJ\)](#)

ミリ波望遠鏡アルマが捉えた
おうし座HL星の原始惑星系円盤



Credit: ALMA/ESO/NAOJ/NRAO
2018?

現在も系外惑星や原始惑星系円盤は続々と発見されており、精度の向上に伴って宇宙における惑星系の描像はおおきく書き換えられつつある。

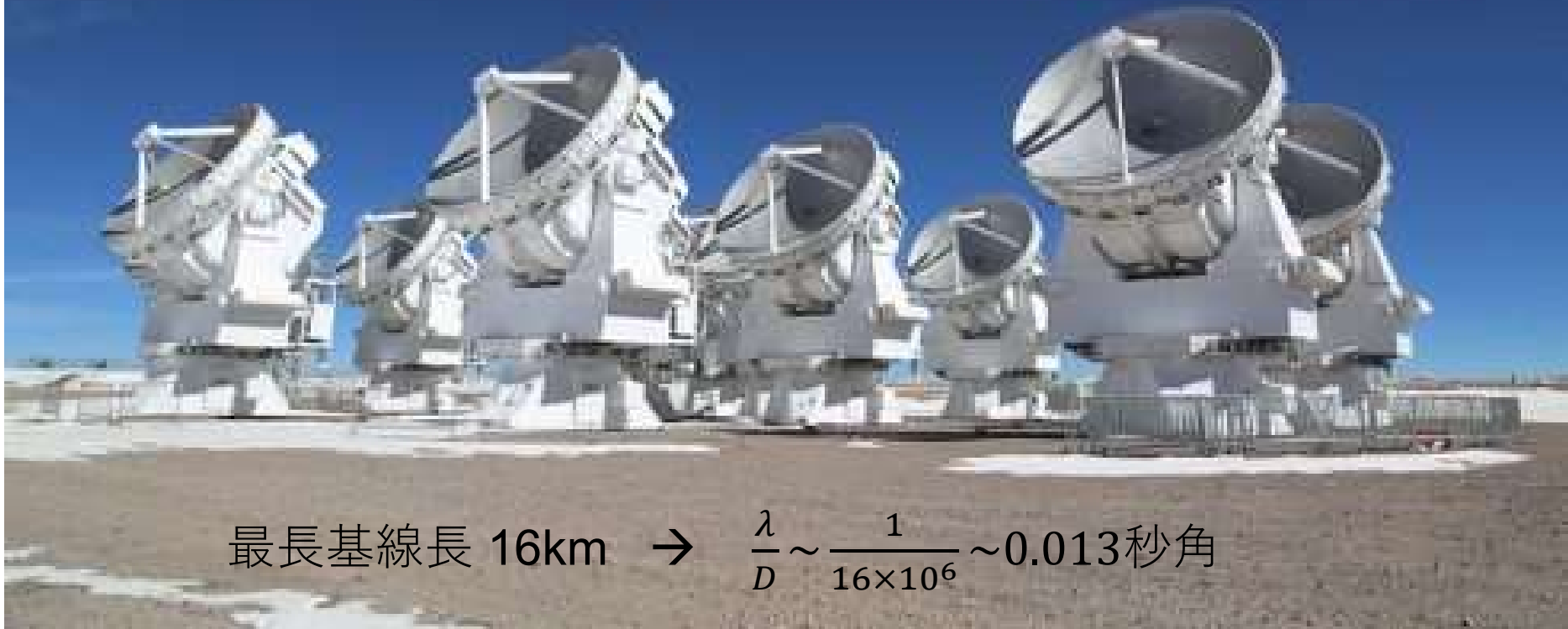
アルマ望遠鏡

Atacama Large Millimeter/submillimeter Array

2014年に完成

- ・口径12m（北米、欧州） × 50台
- ・口径7m（日本製） × 12台
- ・口径12m（日本製） × 4台

波長 mm帯



最長基線長 16km $\rightarrow \frac{\lambda}{D} \sim \frac{1}{16 \times 10^6} \sim 0.013$ 秒角

地球外生命：悲観論から楽観論へ

19世紀以前：素朴な宇宙観

天上の世界にも生き物は棲んでいる。たとえば月、かぐや姫

ex. ウイリアム・ハーシェル：すべての惑星、太陽にも文明が存在する…

20世紀初め：科学的知見の進展

- ・ 太陽は灼熱、多くの惑星は極寒・極暑の世界、宇宙は真空
= 宇宙は生命にとってあまりにも過酷な環境
 - ・ ジーンズ-ジェフリーの太陽系起源説（遭遇説）= 太陽系は奇跡のたまもの
 - ・ 生命の複雑さ = とても簡単にできるとは思えない
- ➔ 地球の生命は特別な存在。地球外生命を語ると科学界で異端視される

20世紀後半：科学的知見の進展

- ・ 太陽系に水の存在、星間ガス、塵、宇宙空間に複雑な分子の発見
= 宇宙には生命の材料が満ちあふれている
 - ・ 太陽系形成理論 = 星間分子雲から恒星・惑星系が自然に形成
 - ・ 分子レベルでの生命進化の理解
- ➔ 地球や生命は決して奇跡的にできたのではない

20世紀末—21世紀初め： 系外惑星の続々発見

フェルミのパラドックス



エンリコ・フェルミ
イタリアの物理学者
(1901-1954)

- 地球のような惑星は典型的に形成される
- 宇宙人は宇宙に広く存在し、地球に到達しているべきだ
- にもかかわらずそのような文明との接触の証拠は皆無である

"Where is everybody?"

- 「みんなどこにいるんだ？」 (1950)
宇宙人(地球外文明)はいない？



- 宇宙人探し
- 太陽系外惑星探し

宇宙生命発見の3つのアプローチ

1. 太陽系の惑星や衛星に生命を探す
2. 太陽系外の惑星に生命存在の可能性・証拠を探す
3. 地球外文明が発する電波信号を探す

地球外文明探し

CETI: Communication with Extra-Terrestrial Intelligence

オズマ計画 1960

アメリカ国立電波天文台 フランク・ドレイク

目標：宇宙文明から地球に送られているかもしれない電波信号を、水素原子が出す波長21cmの電波で捉える。

くじら座 τ 星（G型, 12光年）とエリダヌス座 ε 星（K型10.5光年）を観測、しかし、信号かからず。

オズマII 1973~79

650個以上の恒星を断続的に電波観測

火星の風景

後で見る 共有

地層

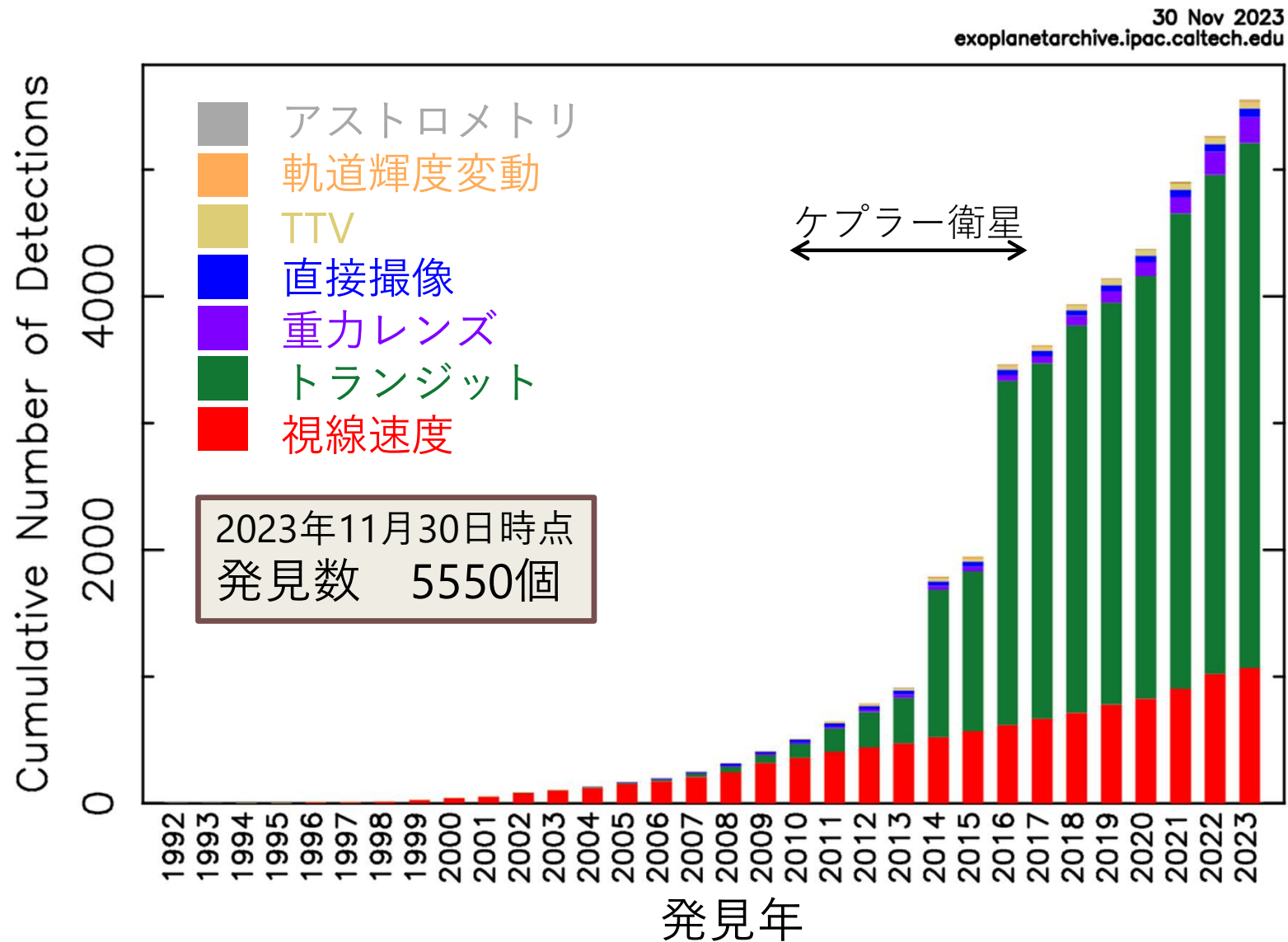
水で流されたとされる堆積岩

1cm

キュリオシティ(2012- 現在も活動)

Credits: NASA/JPL-Caltech [Paratepuy Pass' From a Distance – NASA Mars Exploration](#)

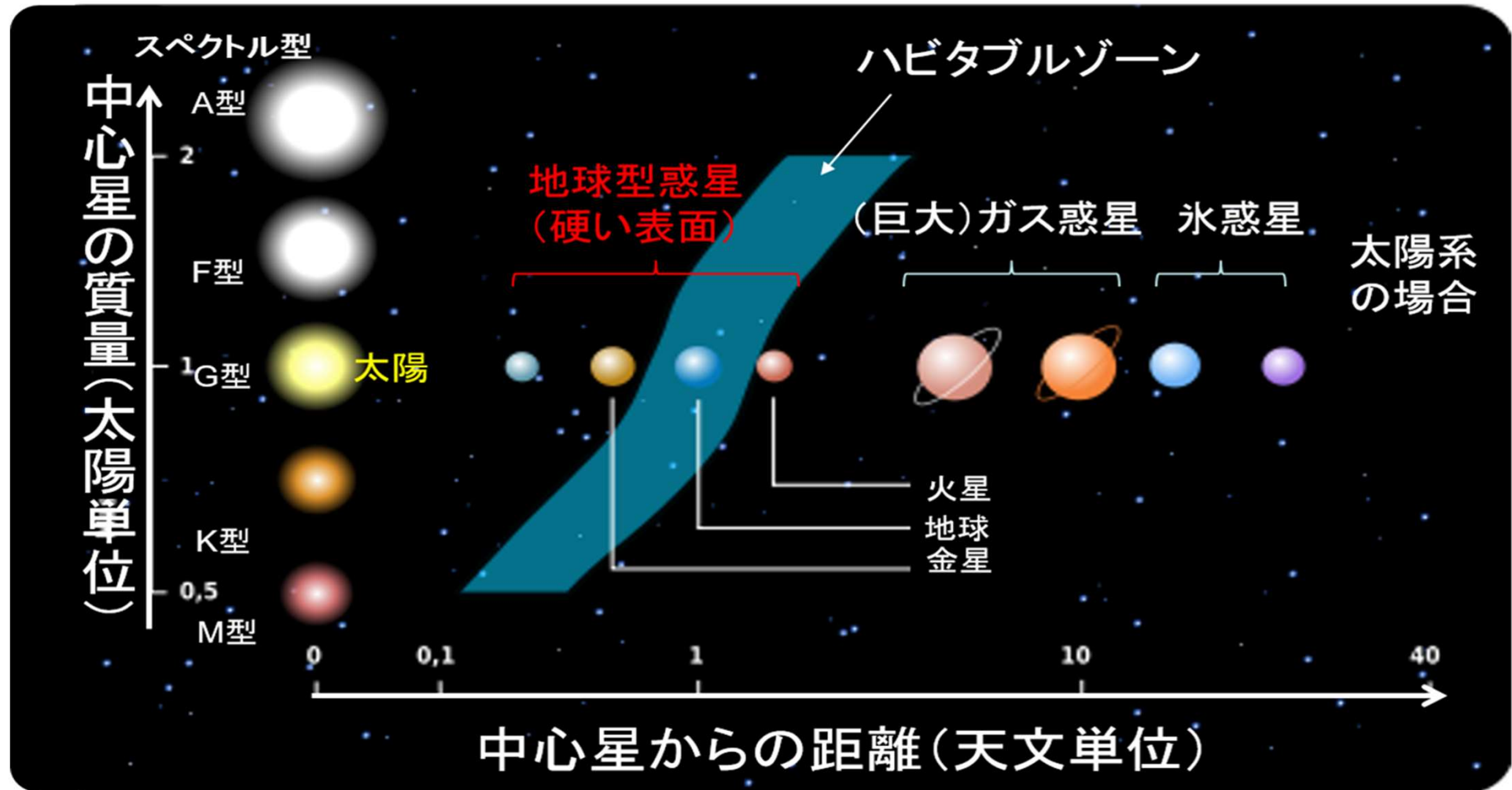
系外惑星の累積検出数



Courtesy NASA/JPL-Caltech <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/exoplanetplots/>

惑星系のハビタブル・ゾーン(生存可能領域)

生命が存在する可能性の高いところ = 大気があり水が液体である領域



© 天文学辞典 (日本天文学会) <https://astro-dic.jp/habitable-zone/>

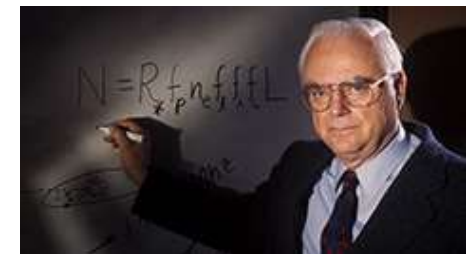
ドレイクの方程式; 1961年

銀河系内において地球との交信が可能な文明の数: N

$$N = R_{GHZ}^* \times f_s \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_e \times L$$

R_{GHZ}^*	銀河系ハビタブルゾーン内で1年間に誕生する恒星の数
f_s	生命が進化できる十分な時間安定な恒星の割合
f_p	誕生した恒星が惑星をもつ確率
n_e	各の惑星系で生命を宿しうる惑星の平均数
f_l	生命を宿しうる惑星で実際に生命が生まれる確率
f_i	生まれた生命が知的に進化する確率
f_e	知的な生命体が検出可能な電波信号を放つ確率
L	文明が電波信号を出し続ける時間

フランク・ドレイク (1930-)



Frank Drake with his Drake Equation. Credit: Frank Drake

<https://www.sciencefriday.com/articles/frank-drake-is-still-searching-for-e-t/>

現代版ドレイクの方程式

		悲観的	中間	楽観的
恒星生成率 /年	R_{GHZ}^*	1	1.25	2
寿命>10億年の恒星	f_s	0.3	0.3	0.5
惑星をもつ恒星	f_p	0.5	0.5	1
ハビタブル惑星数	n_e	0.1	1	2
生命発生確率	f_l	0.1	1	1
知的生命へ進化	f_i	0.1	0.1	1
電波技術の獲得	f_e	0.1	1	1
文明の寿命、年	L	100	10000	100000
電波文明の数	N	0.0015	187.5	200000

赤い数値は不確定性が大きい。

地球外生命・文明の（未）発見はこれらの数値推定に大きなインパクトを持つ。
そして私たち「人類」の存在を問い直す契機となるだろう。

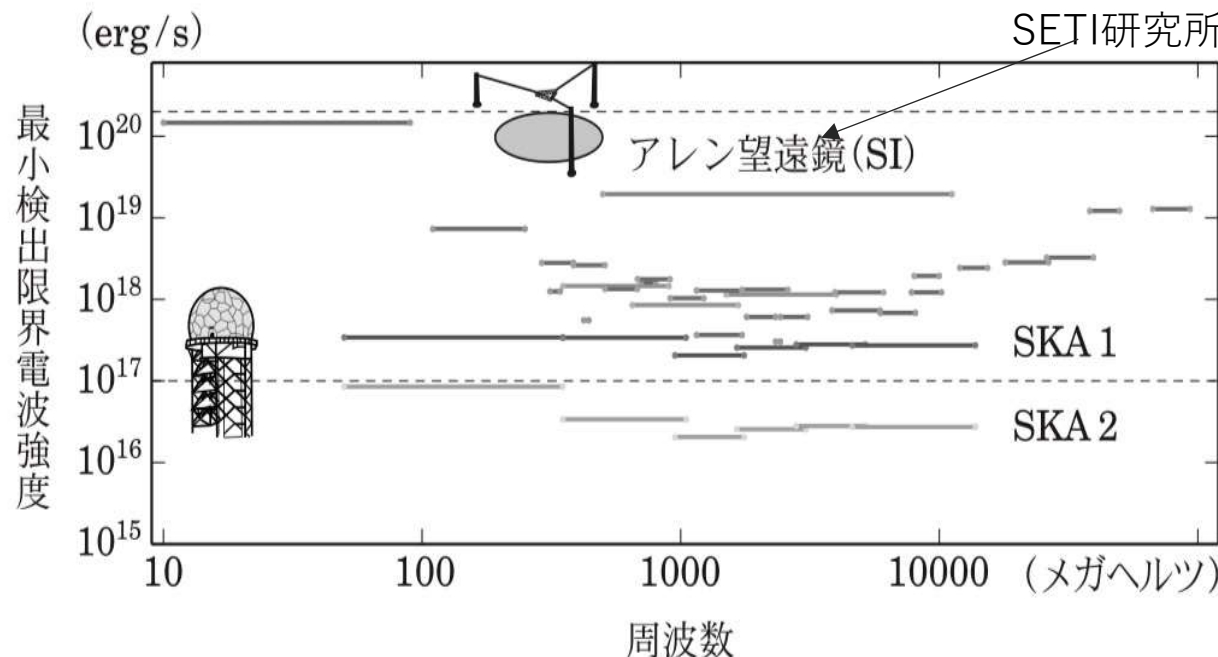
SETI の可能性

超巨大電波望遠鏡計画 SKA (Square Km Array)

10mクラスのアンテナ数千台をオーストラリアやアフリカに配置。
天文学の多岐にわたる研究を行うが、
その目的にはSETIも。



[Square Kilometre Array \(SKA\) | Department of Physics \(cam.ac.uk\)](http://www.skatelescope.org/)



← アレシボの惑星観測レーダー

点線：50光年先から地球を見たときの電波強度

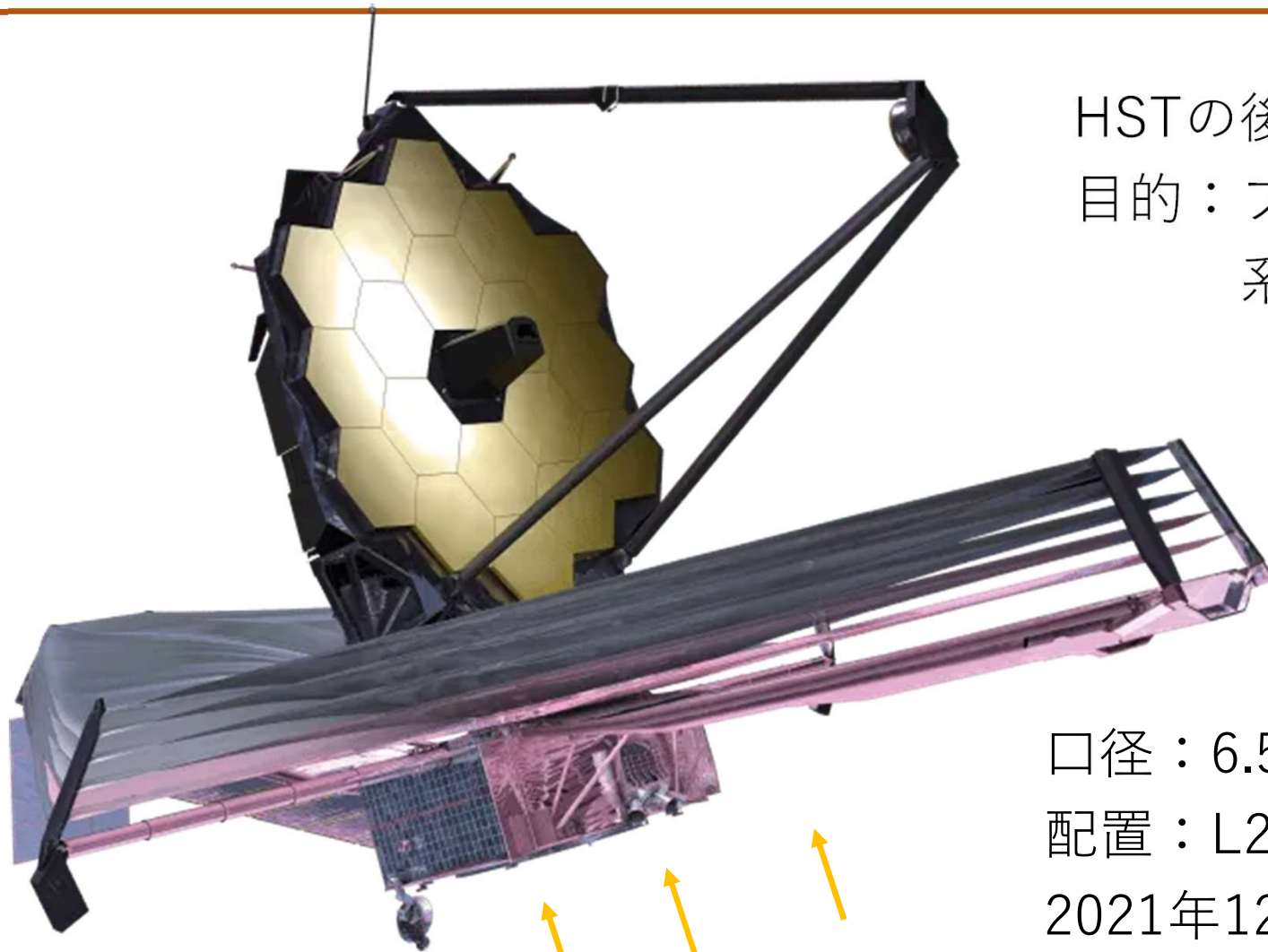
← 長距離航空機レーダー

横線：観測感度

SKAは人類が出す大出力電波を50光年先から検出できる

Siemion et al., SKA science book

ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST)



HSTの後継機 (NASA)

目的：ファーストスター
系外惑星

口径：6.5m (18枚合成)

配置：L2周辺 (150万km)

2021年12月25日打ち上げ

総額：100億ドル～1.5兆円

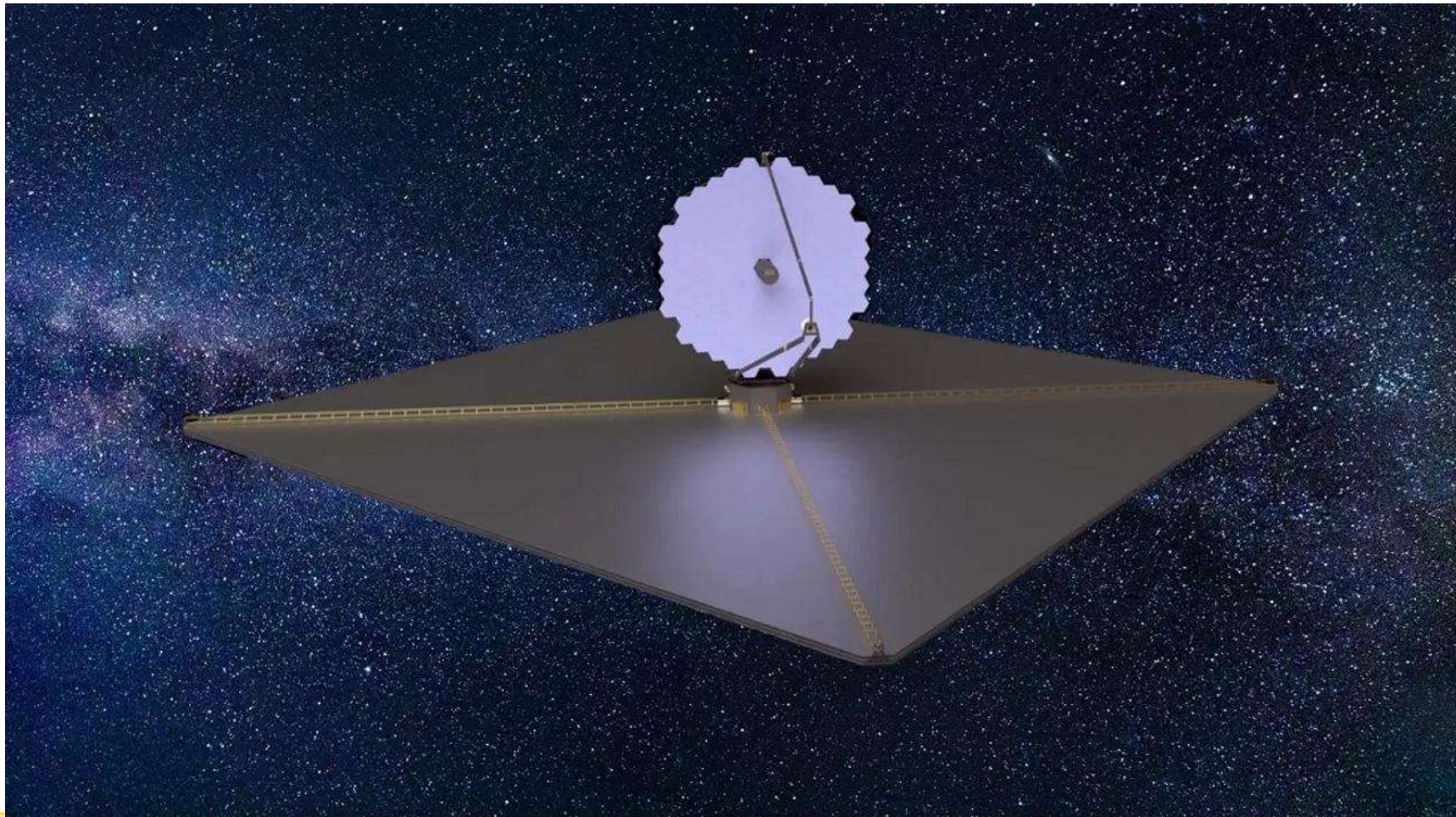
太陽

<https://www.jwst.nasa.gov/>

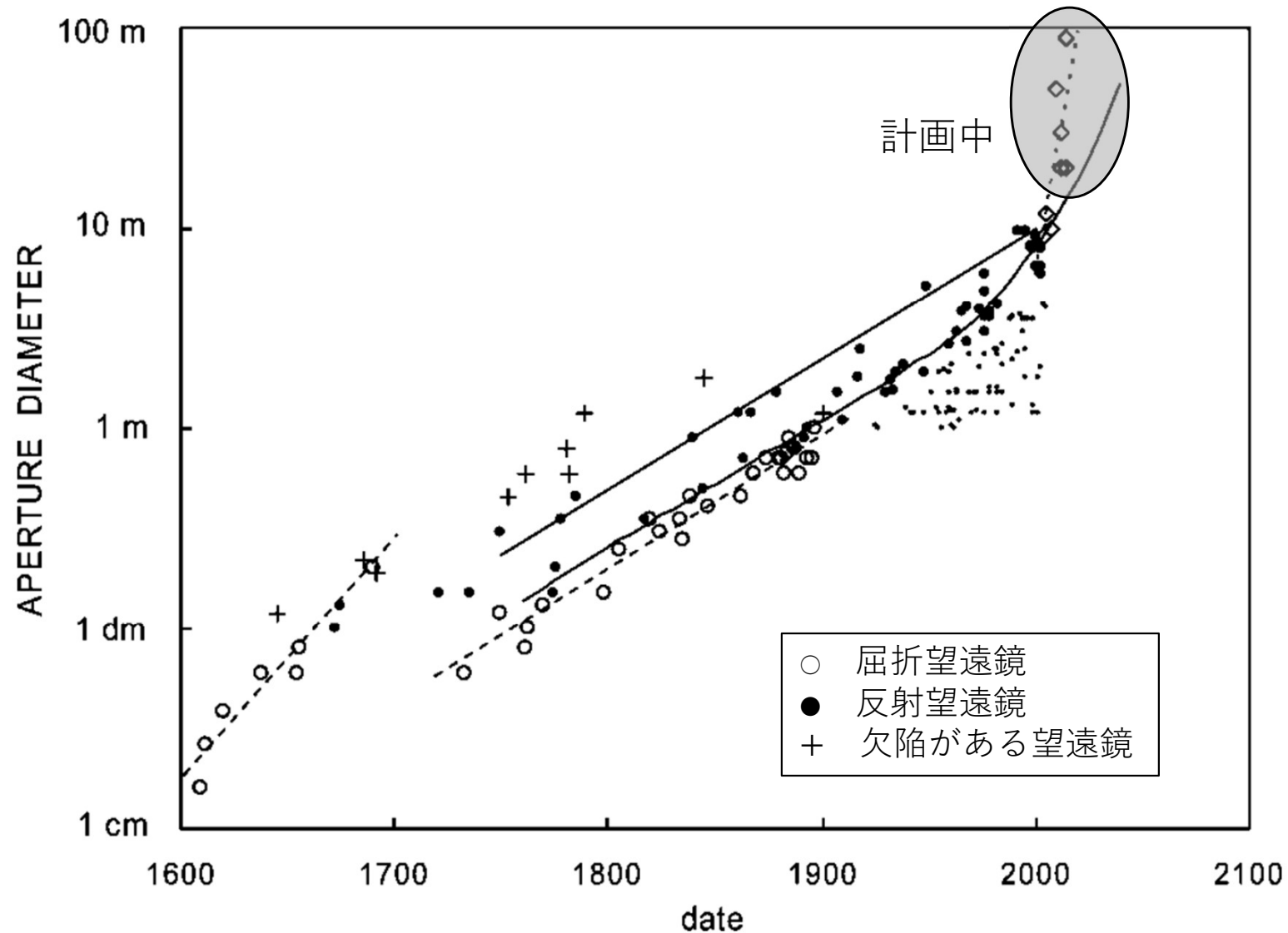
<https://www.flickr.com/photos/nasawebbtelescope/albums/72177720301006030>

Habitable Worlds Observatory (HWO)

2040年代NASAの計画、日本も参加を目指す国際プロジェクト
口径6m 紫外、可視、近赤外望遠鏡 - JWST（赤外）より高解像
総予算 ～ 1兆4000億円



望遠鏡口径の推移

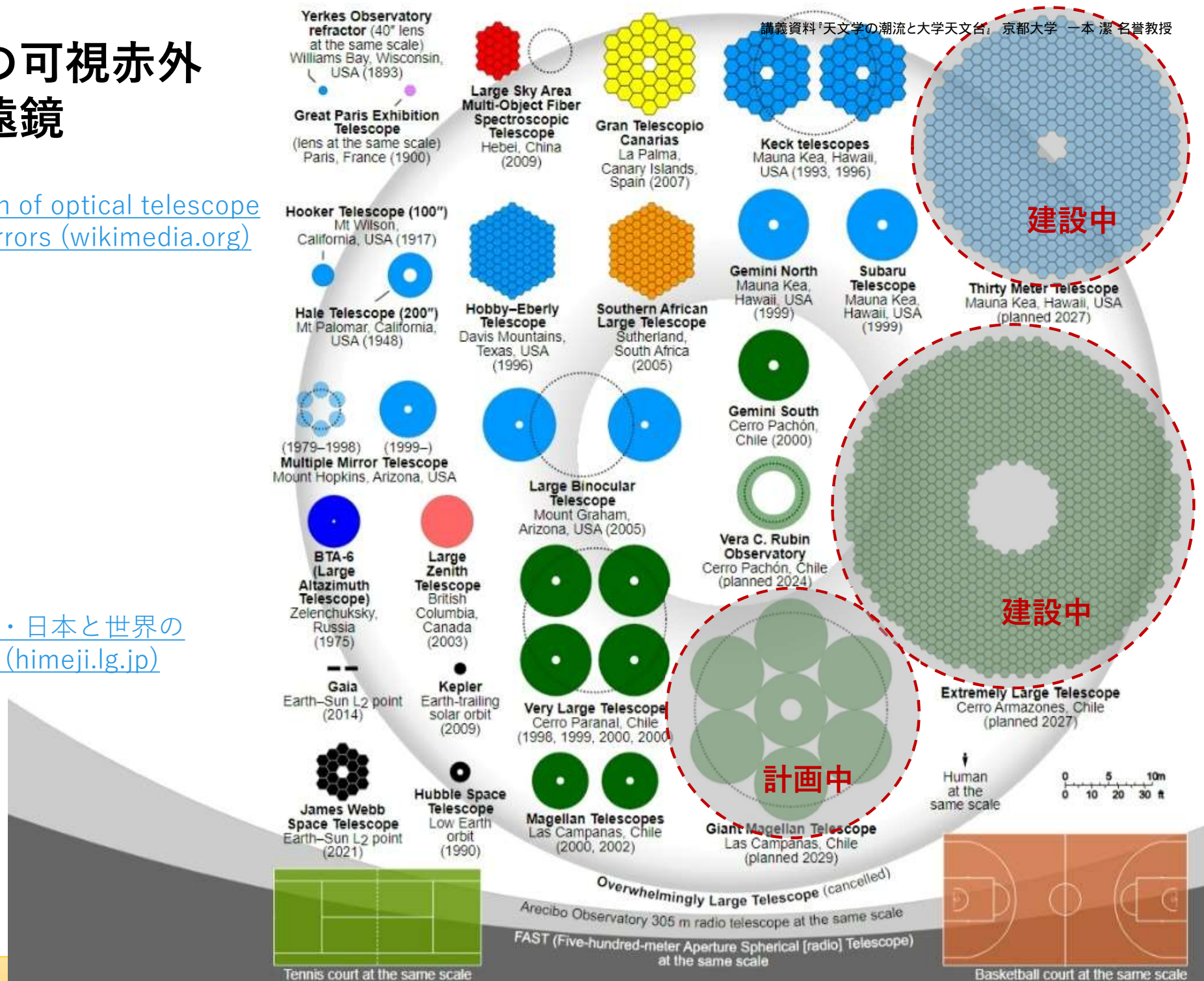


Racine, 2004, PASP, 116, 77 “The Historical Growth of Telescope Aperture”

世界の可視赤外 大望遠鏡

[Comparison of optical telescope primary mirrors \(wikipedia.org\)](https://www.wikipedia.org)

ここも参照
[姫路科学館・日本と世界の
大型望遠鏡 \(himeji.lg.jp\)](https://www.himeji.lg.jp)



天文学の今、そして

天文学は今、歴史的な大発展の時代にある。

その最先端を切り開くのは、数百億円～1兆円超えの
巨大プロジェクト。

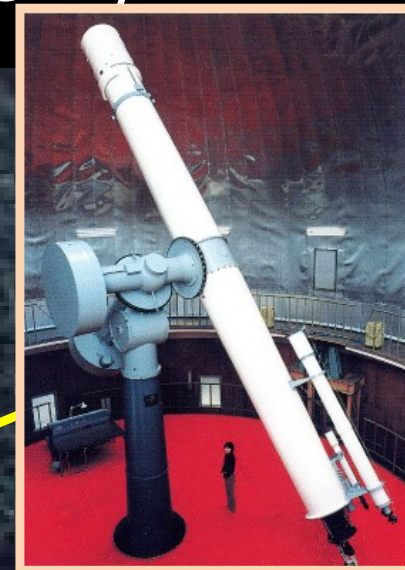
観測データはインターネットからダウンロード。

さて、大学天文台の役目は？

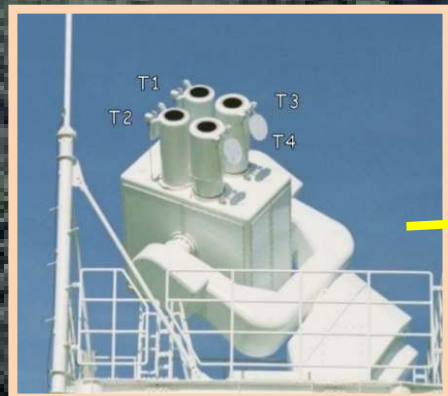
飛騨天文台 (海拔 1276m, 1968~)



ドームレス太陽望遠鏡
(DST) 1979 ~



65cm 屈折望遠鏡
1972 ~



太陽磁場活動望遠鏡
(SMART) 2003 ~

フレアモニター望遠鏡(FMT)ドーム
1992 ~ 2010

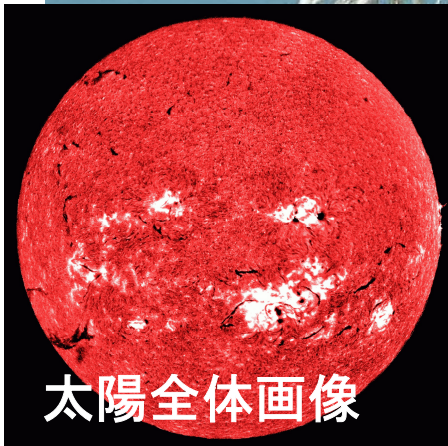
60cm 反射望遠鏡
1968 ~



2つの太陽望遠鏡で最先端研究

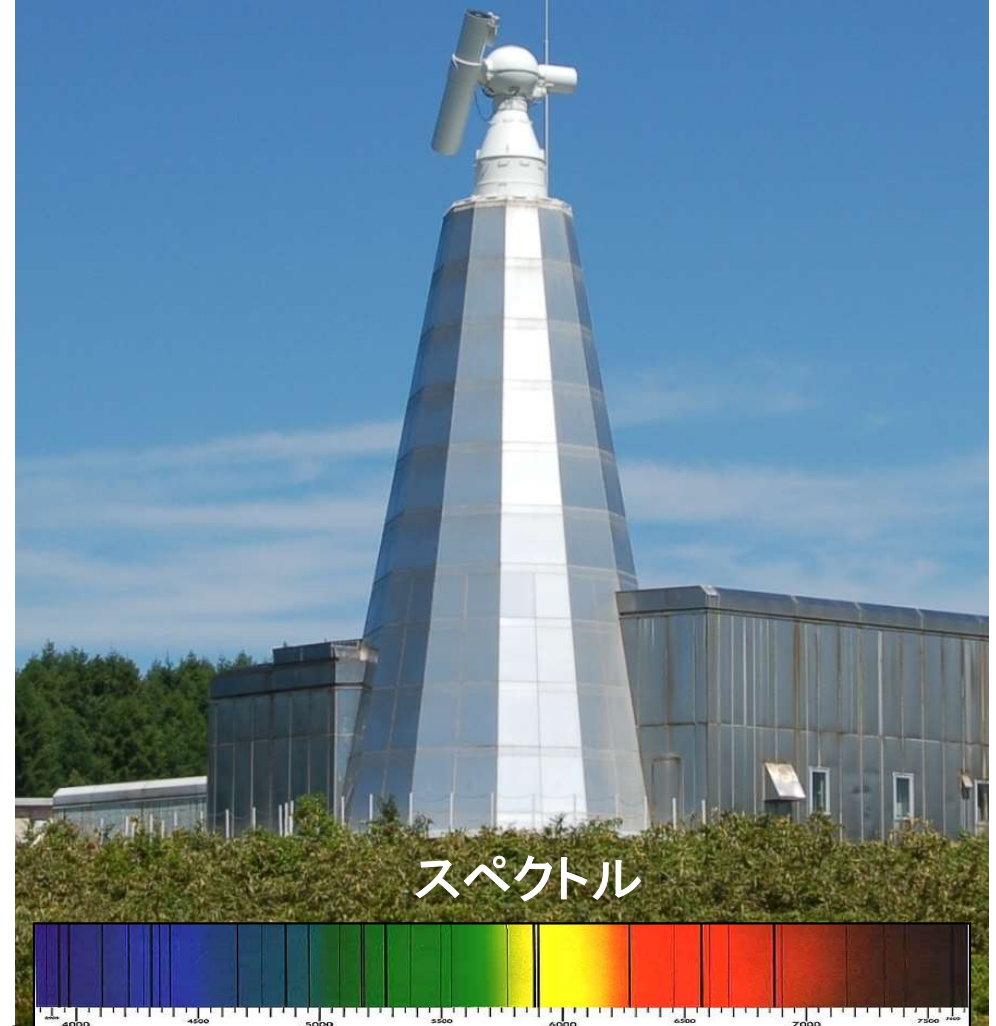
SMART望遠鏡

地球を襲う太陽の爆発を監視
「宇宙天気」研究



ドームレス太陽望遠鏡

世界屈指の分光器
太陽活動のしくみを詳しく研究



岡山天文台 せいめい望遠鏡

国内最大 3.8m 主鏡 2018 ~



- ・16枚分割鏡で直径3.8mの主鏡構成
- ・超軽量架台ですばやく突発天体を捉える
- ・新しい焦点面観測装置が続々登場中



新技術で最先端の天文学に挑戦！
京都大学&国立天文台と共同開発・運用

大学施設の利点を生かせ

巨大望遠鏡、宇宙望遠鏡に対するアドバンテージは結構ある！

- ・豊富なマシンタイム(天体の時間変化追跡)
- ・自由なアイデアで臨機応変の観測セットアップ
- ・日常的なモノ作りと発見の楽しさ
- ・それをとおした人材育成、学生教育
- ・直に宇宙に触れる体感(コンピュータ画面ではなく)

やはり原点を忘れないことが大事

技術職員が頼り

花山天文台の今

大学の演習授業・大勢の市民が訪問



課題演習 C4