



さい しん

う ちゅう

すがた

# 最新の宇宙の姿と

あま

の

がわ

ぎんが

なぞ

と

# 天の川銀河の謎解き

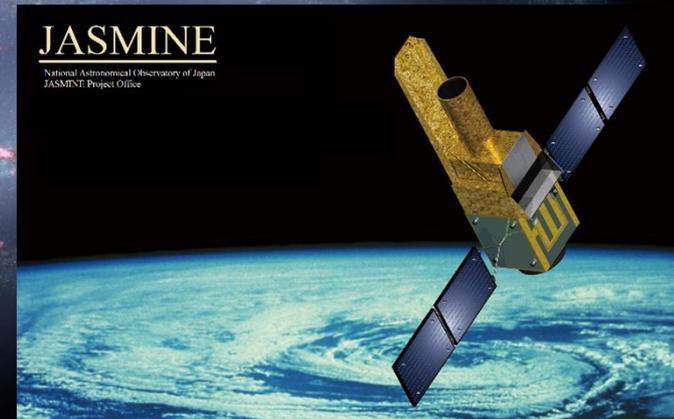
ごうだ なおてる こくりつてんもんだい ジャスミン

郷田直輝 (国立天文台JASMINEプロジェクト)



JAXA

Credit:NASA



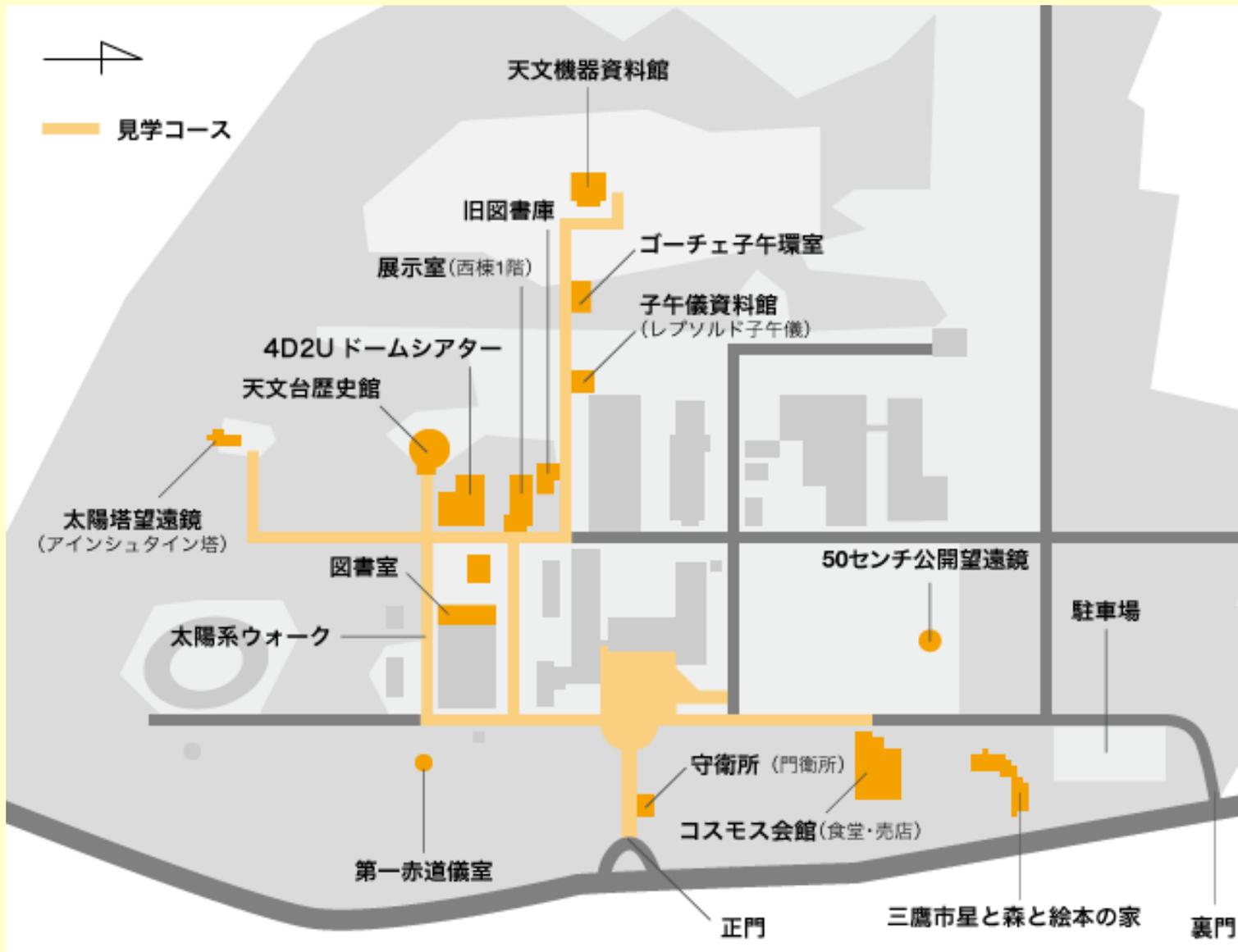
# 国立天文台@東京都三鷹市

こくりつ てんもんだい    とうきょうと    みたかし



# 一般(常時)公開@国立天文台(三鷹)

いっぱん じょうじ こうかい



# 今日(きょう)のお話(はな)し

## 1. 最新(さいしん)の宇宙(うちゅう)の姿(すがた)

宇宙(うちゅう)には何(なに)があるの？

どれぐらい広(ひろ)いの？

宇宙(うちゅう)にはどんな物(もの)があるの？

宇宙(うちゅう)全体はどうなっているの？

宇宙(うちゅう)は、まだまだ分(わ)からないことだらけ

## 2. 宇宙(うちゅう)の謎(なぞ)を解(と)く鍵(かぎ):

### 天(あま)の川(がわ)銀(ぎん)河(が)の研究(けんきゅう)

天(あま)の川(がわ)銀(ぎん)河(が)の研究(けんきゅう)はおもしろい

天(あま)の川(がわ)銀(ぎん)河(が)の謎(なぞ)

星(ほし)の距離(きょり)と運動(うんどう)で解(と)き明(あ)かす(ときあかす)天(あま)の川(がわ)銀(ぎん)河(が)

けいかく いど あまのがわ ぎんが なぞ

## 3. ジャスミン計画(けいかく)で挑(いど)む天(あま)の川(がわ)銀(ぎん)河(が)の謎(なぞ)

てんもんだい もり

# 天文台の森

(東京都三鷹市)

\* 国立天文台

パンフレットより

あの星、なあに？



そう、あの星は何でしょう？

：：問いは繰り返されてきました。

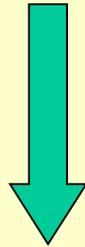
そして、私達は気が遠くなるほど奥深い宇宙を見ることができるようになりました。

# 1.最新の宇宙の姿 (うちゅうのすがた)

★宇宙には何(どんな天体)があるの？

★どれぐらい広いの？  
てんたい

こうだい ゆた  
宇宙は広大、豊か



宇宙の階層構造 (かいそう こうぞう)

# 星は遠い (とおい) ! ! !

## 天文学での距離 (きょり) スケール

光 (ひかり) は秒速 (びょうそく) 約 (やく) 30万 (まん) km (キロ・メートル)

→ \* 1秒間 (びょうかん) に地球 (ちきゅう) を約7周半 (しゅうはん) (地球の直径 (ちよっけい) : 約1万3000km)

\* 月 (つき) まで1秒ちょっとで到着 (とうちゃく) (月までの距離: 約38万km)

\* 太陽 (たいよう) まで約8分で到着 (太陽までの距離: 約1億 (おく) 5000万km)

→ 今、見ている太陽は、約8分前の太陽の姿 (すがた) ! !

天文学では、光が1年間に進む距離が距離の

単位 (たんい) の1つとなる (研究者は、パーセクという単位をよく用いる)。

1光年 (こうねん) = 約  $9.5 \times 10^{12}$  km

(9兆5000億 km)

\* 例: 北極星 (ほっきょくせい) は約430光年

→ 約430年前の北極星を見ている ! !

# 宇宙の階層構造

だいこうぞう

宇宙の大構造

ぎんがぐん  
銀河群

わいしょう ぎんが  
矮小銀河

たいようけい  
太陽系



ぎんが  
銀河



ぎんがだん  
銀河団



星団 せいだん

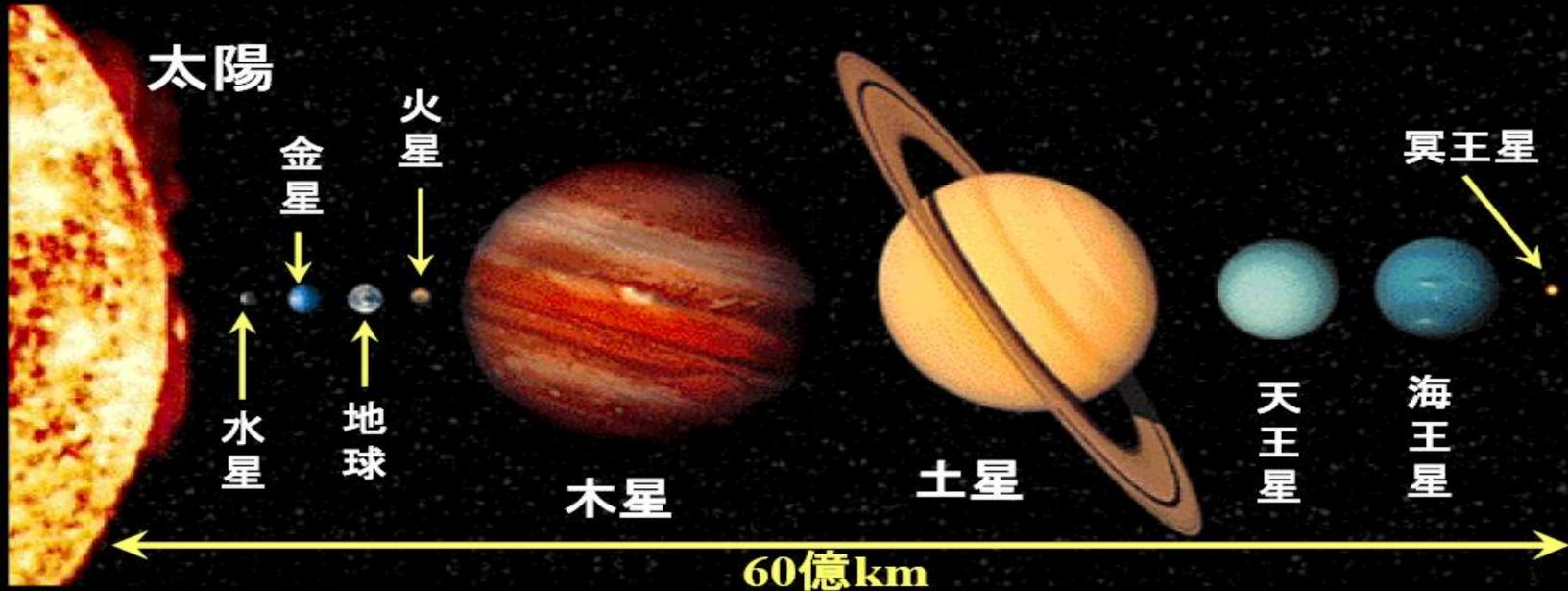


$10^0$   $10^1$   $10^2$   $10^3$   $10^4$   $10^5$   $10^6$   $10^7$   $10^8$

1 10 100 1千 1万 10万 100万 1千万 1億光年  
おおよの大きさ(光年)

1光年 = 光の速さ(秒速約30万km)で1年間進む距離  
= 約  $9.5 \times 10^{12}$  km (9兆5000億km)

# ~~八~~ <sup>わくせい</sup> <sup>わ</sup> <sup>たいようけい</sup> 九つの惑星：我が太陽系



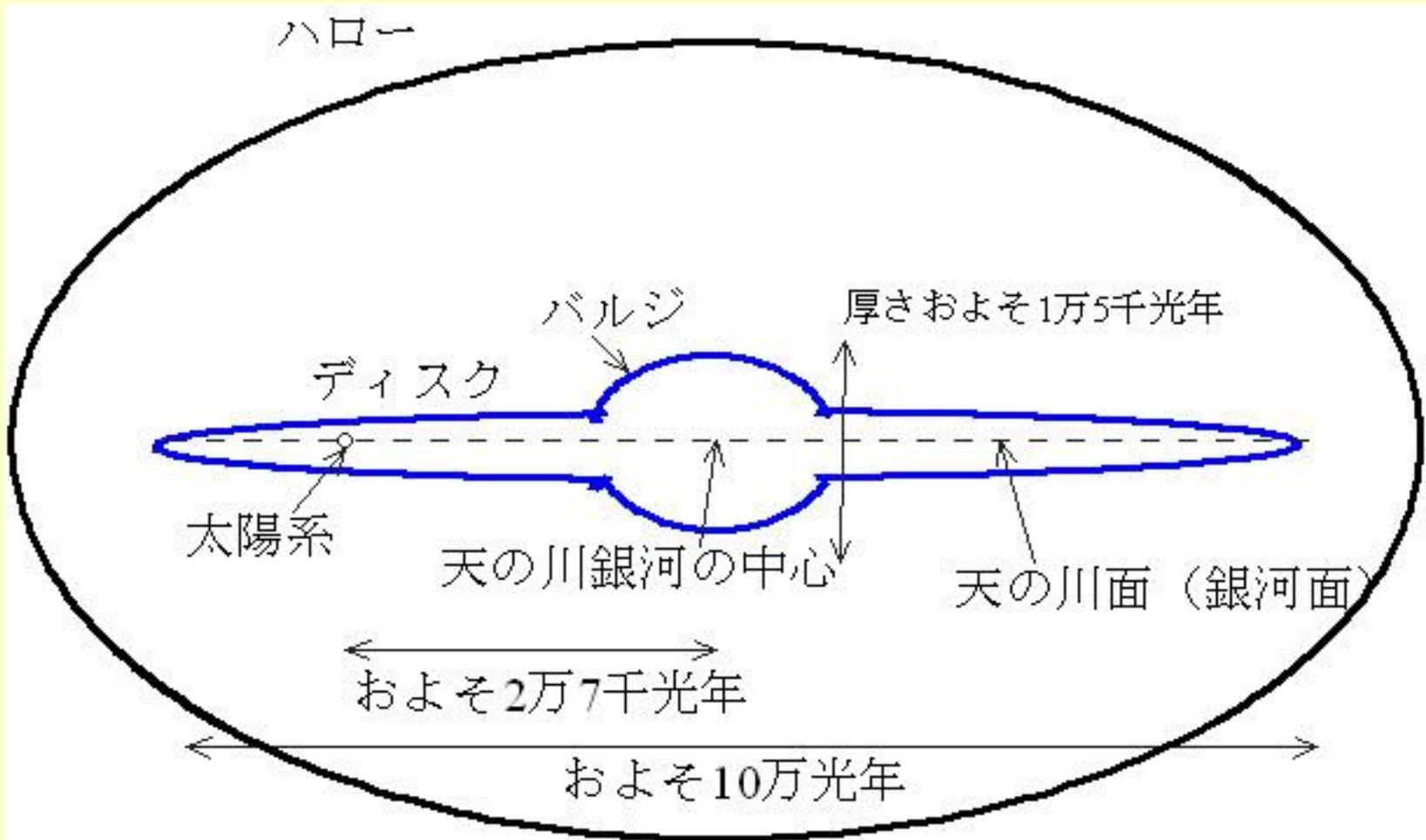
(太陽からの距離は別として、惑星の相対的な大きさはほぼ実際の比の通り)

# 天の川銀河(あまのがわ ぎんが)



# 天の川銀河のようす

- ★恒星(こうせい)が約2000億個集まった集団(しゅうだん)。
- ★銀河面(ディスク)、バルジ、ハローの成分に分かれる。





# ★天の川の正体(しょうたい)



# 銀河: 太陽のような恒星(こうせい)が1000億個程度以上集まった集団(しゅうだん)

## 天の川銀河もそのうちの1つ

だえんぎんが

楕円銀河



レンズじょうぎんが

レンズ状銀河



うずまきぎんが

渦巻銀河



ぼううずまきぎんが

棒渦巻銀河



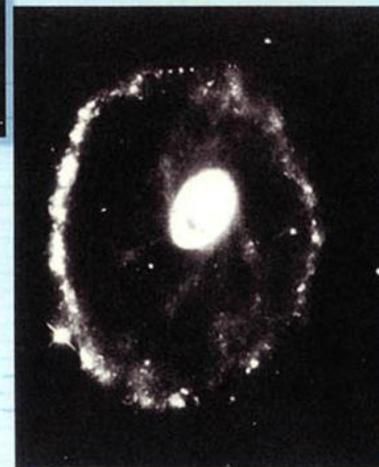
ふきそくぎんが

不規則銀河



とくいぎんが

特異銀河



ハッブル宇宙望遠鏡

「The Hubble Atlas of Galaxies」(カーネギー財団)から

# M31 (アンドロメダ銀河)



(国立天文台広報普及室提供)<sup>5</sup>

# NGC4548 (棒渦巻銀河: ぼううずまき銀河)

NGC4548 [M91?] (かみのけ座にある棒渦巻銀河)



1997年 6月29日, 20時56分 (JST)

M91は、メシエのカタログの位置には存在が確認されていない。  
いくつかの候補、説があるが、NGC4548はそのうちのひとつである。

口径50cmカセグレン式反射望遠鏡 (F12), 液体窒素式冷却CCDカメラ (Astromed 3200シリーズ)  
露出時間: 6分×6, フィルタ: 1バンド, 擬似カラー処理, 画像範囲: 12.80×8.71'

H. Fukushima and T. Sekiguchi 国立天文台 広報普及室

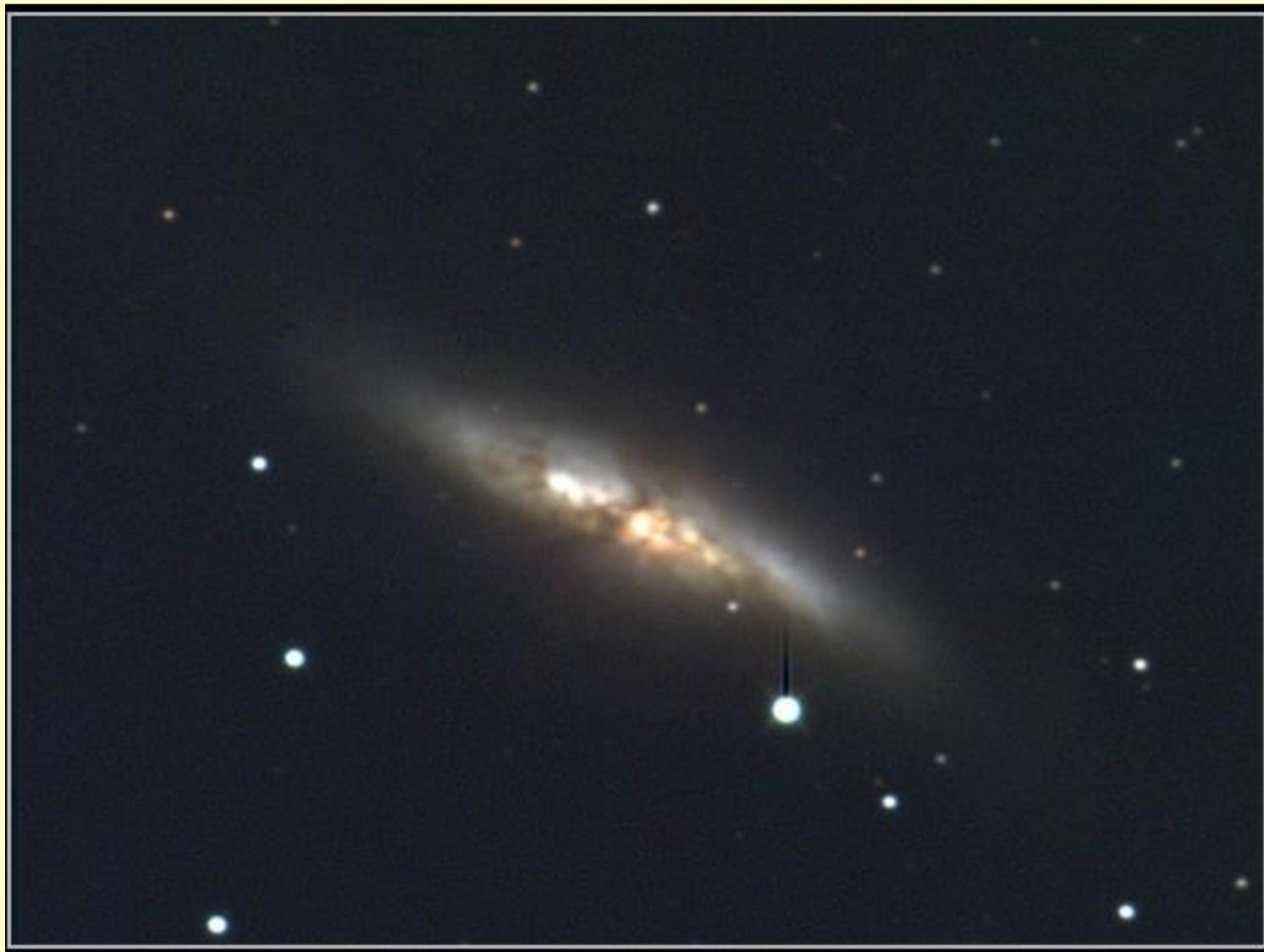
(国立天文台広報普及室提供)

# M59 (橢円銀河: だえん銀河)



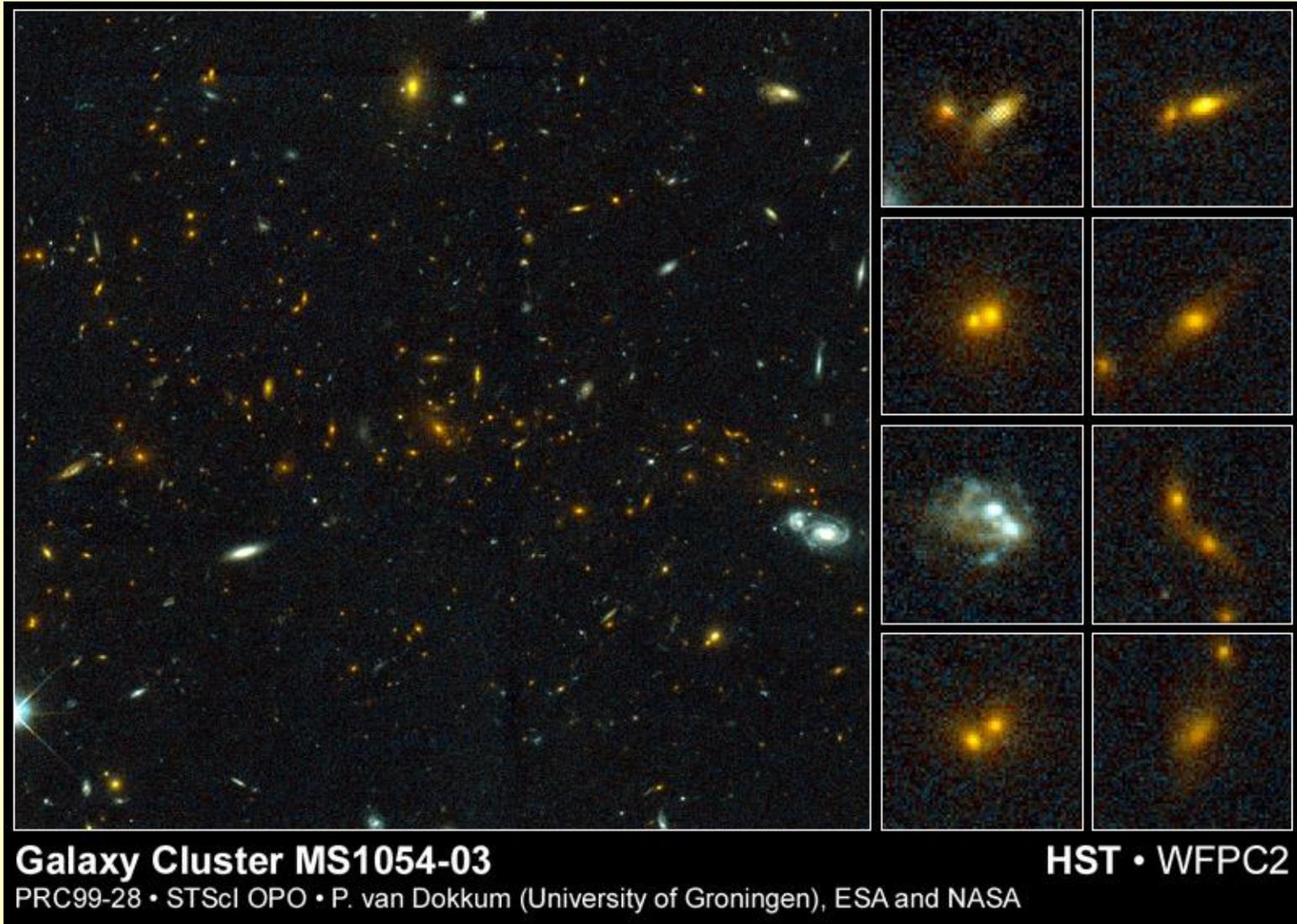
(国立天文台広報普及室提供)

# M82 (不規則銀河: ふきそく銀河)



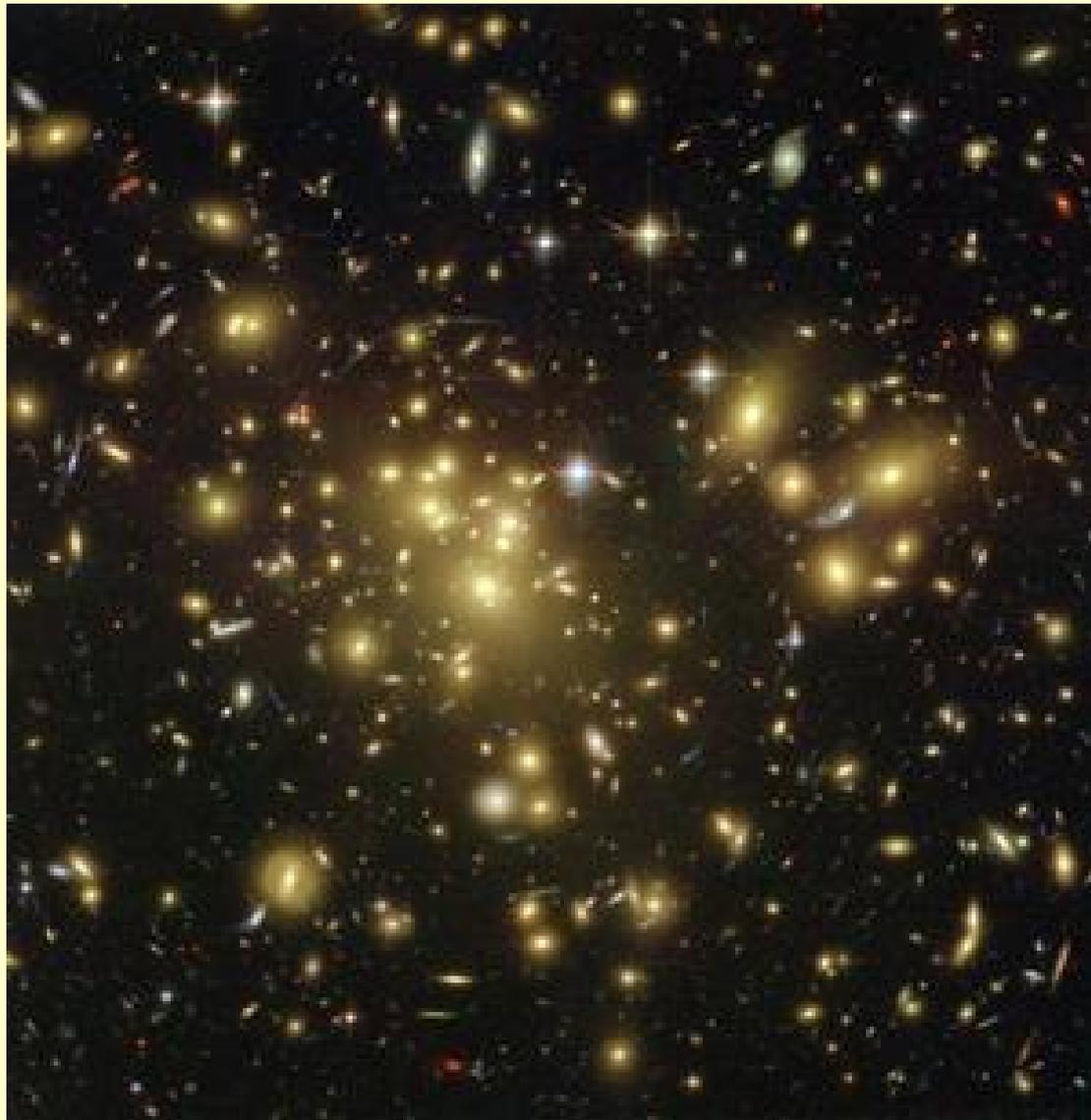
(国立天文台広報普及室提供)<sup>®</sup>

# 銀河団 (ぎんがだん)



(NASA提供: ハッブル望遠鏡)<sup>9</sup>

# 銀河団(ぎんがだん)

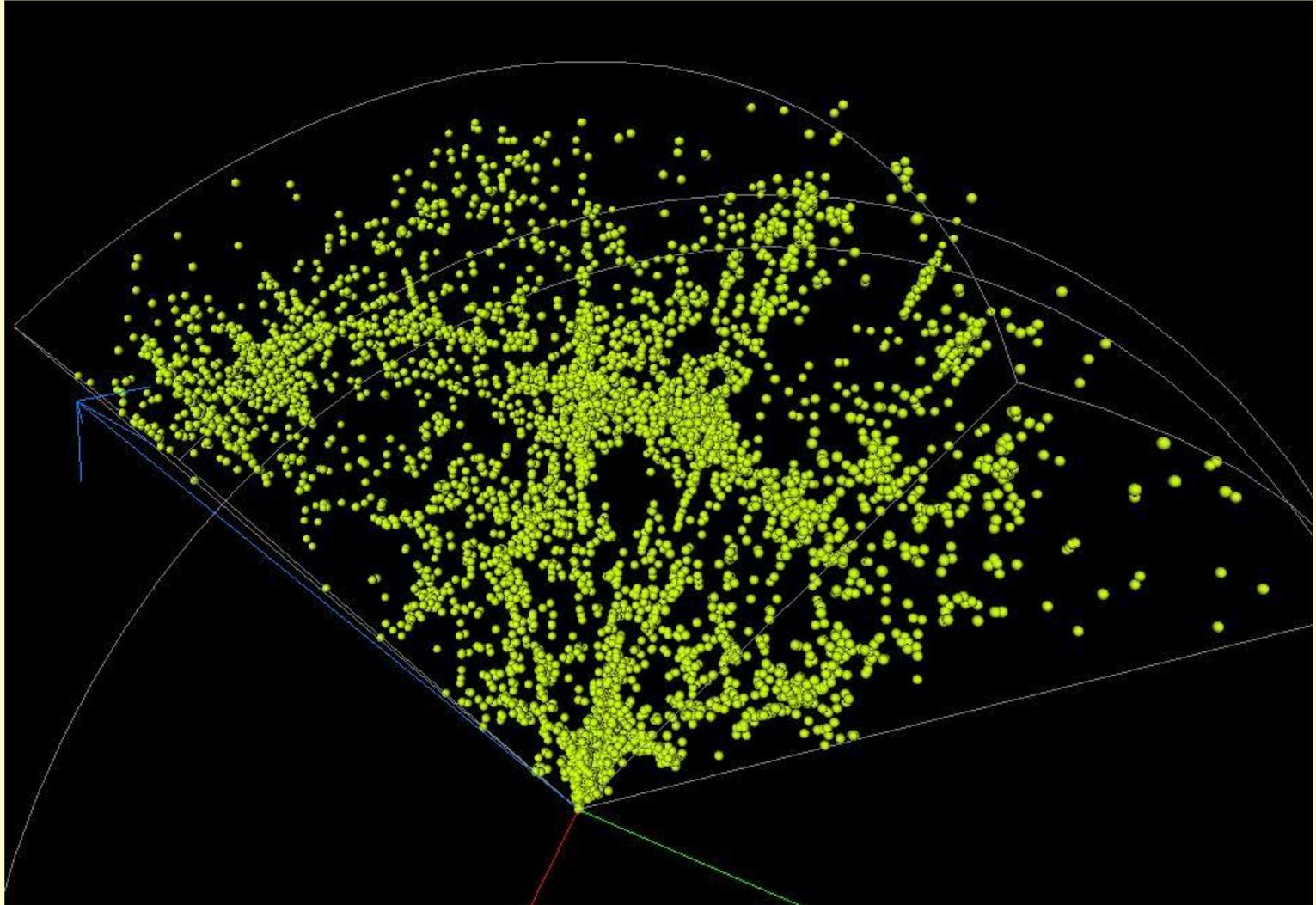


ハッブル宇宙望遠鏡によるエイベル1689銀河団の中心部 20

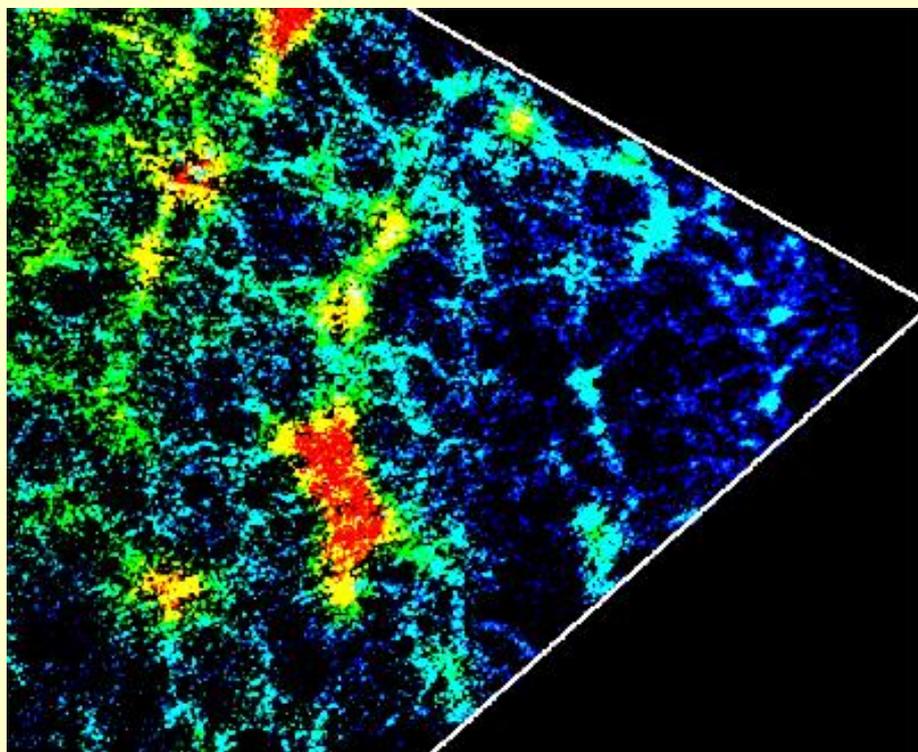
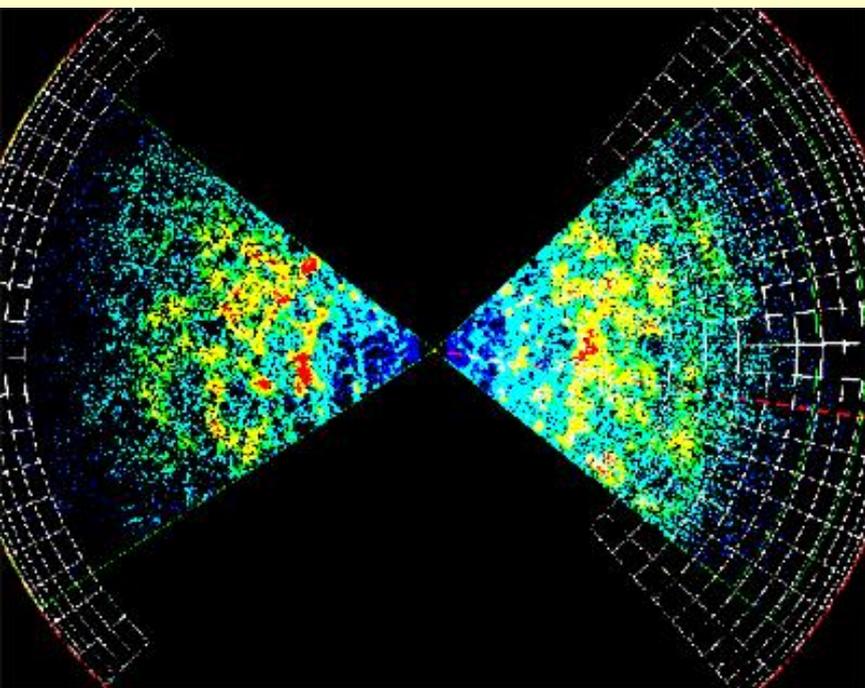
# 大構造 (超銀河団とボイド)

だい こうぞう

ちょう ぎんがだん



(B.Milvang-Jensen他 提供 : <http://www.astro.ku.dk/~milvang/3dvis/>)



# いざ、宇宙の旅(たび)へ

国立天文台が中心となって進めている  
「4次元デジタル宇宙プロジェクト」において  
開発したソフトウェア *MITAKA*

最新の観測データをもとにした星や銀河の最新の  
位置情報が入っています。

○MITAKAは、国立天文台のホームページから自由にダウンロードしていただけます（個人的使用は全く問題ありません）。

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

○国立天文台三鷹キャンパス内にある、4次元デジタル宇宙シアターでは、専用のメガネをかけることにより、立体画像が楽しみいただけます。

\* 事前予約制です。国立天文台ホームページ内の4D2Uのページを御覧下さい。

# ★宇宙にはどんな物(もの)があるの？

さいきん

かんそく じじつ

## ◎最近のいくつかの観測事実

しつりょうひ

◎宇宙に含まれる物質の質量比(重さのわりあい):

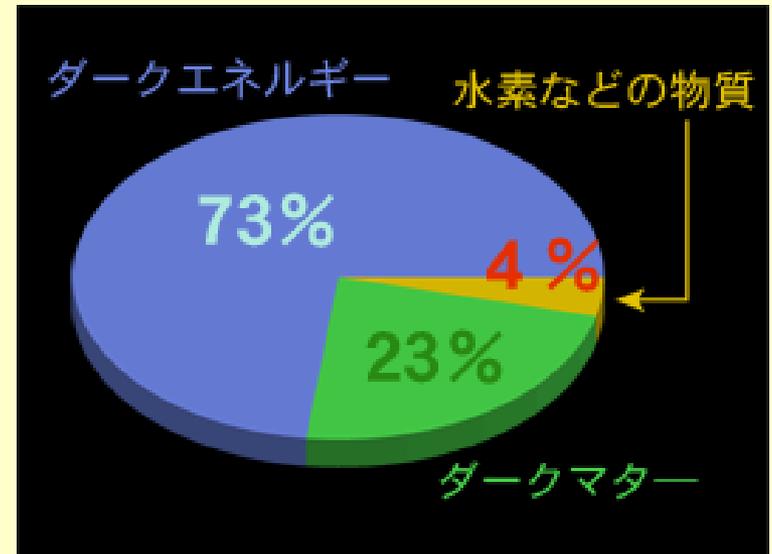
ふつう ぶっしつ あんこくぶっしつ あんこく

普通の物質 + 暗黒物質(未知) + 暗黒エネルギー(未知)  
(バリオン) (ダークマター) (ダークエネルギー)

~4%

~23%

~73%



# ★ダークマター(暗黒物質(あんこく ぶっしつ))の正体は？

○“熱い”暗黒物質:ニュートリノきよ  
質量が小さすぎて宇宙全体への寄与  
は少ない!?

○“冷たい”暗黒物質:フォチーノ?、アキシオン?

重力(じゅうりょく)は引力(いんりょく)

★ダークエネルギーの正体(しょうたい)は？

  
反発力(はんぱつりょく)

全く(まったく)不明(ふめい)

こんご

かだい

↓  
今後の大きな課題

# ★宇宙全体はどうなっているの？

ぜんたい

ちゅうしん

宇宙はどこも同じ。中心はない。

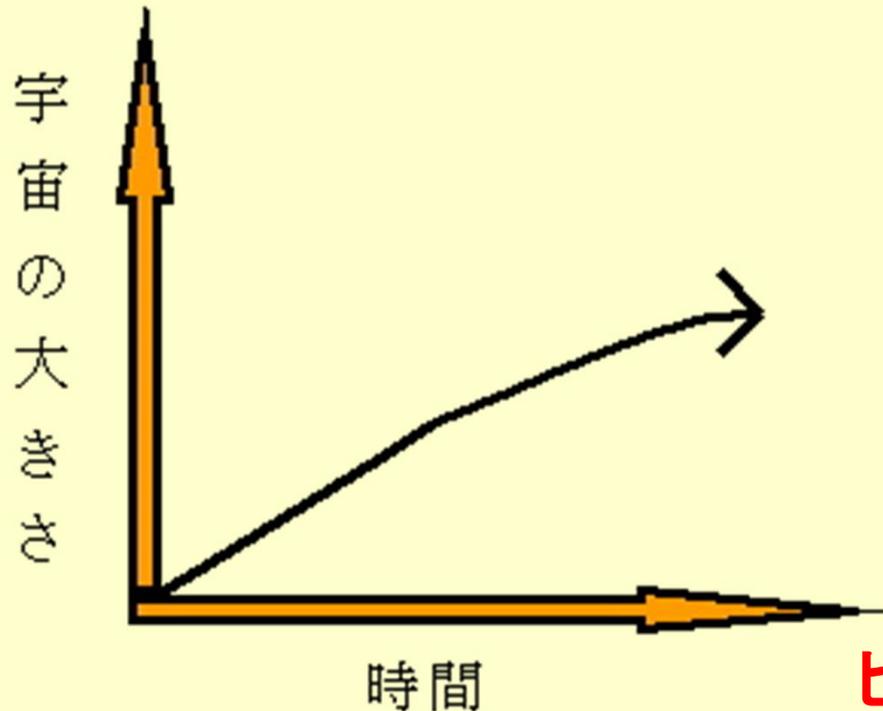
くうかん

ぼうちょう

宇宙空間が膨張

ねんれい

宇宙の年齢は  
約138億年



宇宙のごくはじめは  
非常(ひじょう)に高い  
温度(おんど)で、  
高い密度(みつど)の  
状態(じょうたい)

ビッグバン(火の玉宇宙)

# ★宇宙には果てがあるの？

は

138億光年しか見えない

→観測できる“果て”(範囲)はある。

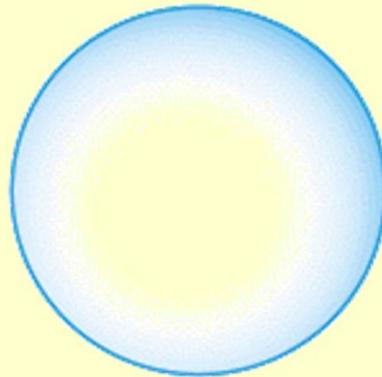
はんい

しかし、その先は？

むげん

ゆうげん

空間は無限 または 有限



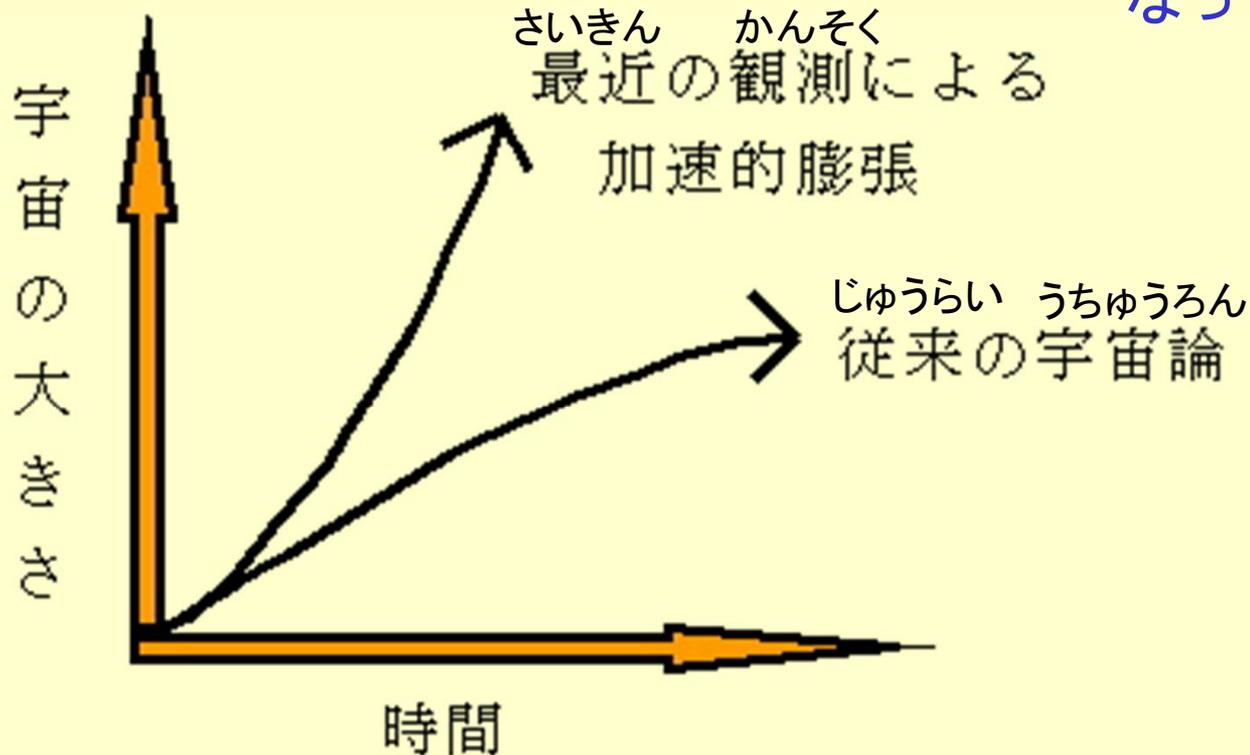
はし

“果て(端)”は  
無い！

# 宇宙定数(うちゅう ていすう) (ダークエネルギー)の存在

げんざい かそく ぼうちよう

◎現在(げんざい)は加速膨張(かそく ぼうちよう) (“インフレーション”) 膨張する速さが  
どんどん大きくなっている



宇宙の年齢(ねんれい)は約138億年

# ★宇宙はまだまだ分(わ)からないことだらけ

○宇宙はどうやって生まれたの？ 宇宙の未来(みらい)は？

○ダークマターとダークエネルギーは何？

○銀河や大構造の形成？

○星や惑星の形成？

○星の一生？

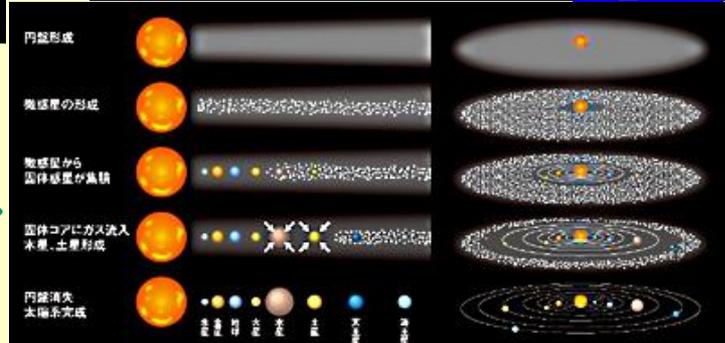
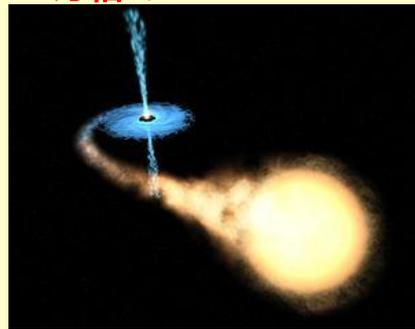
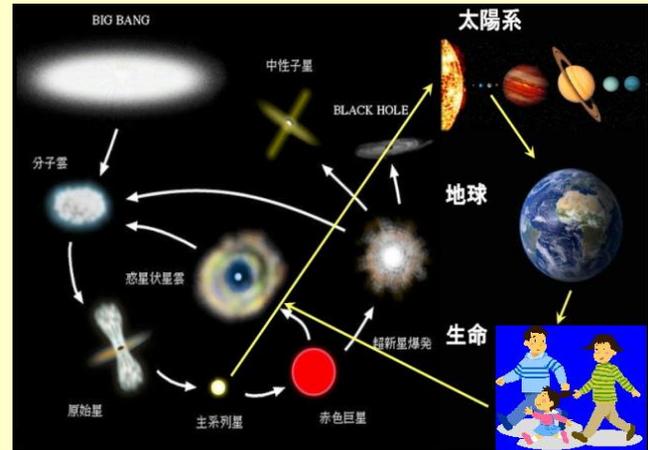
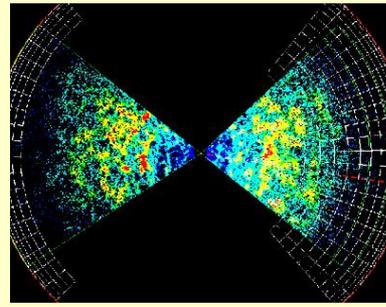
○巨大ブラックホール(BH)の形成？

\* 天の川銀河の中心にも太陽の重さの約400万倍のBHが存在！！

○.....

○.....

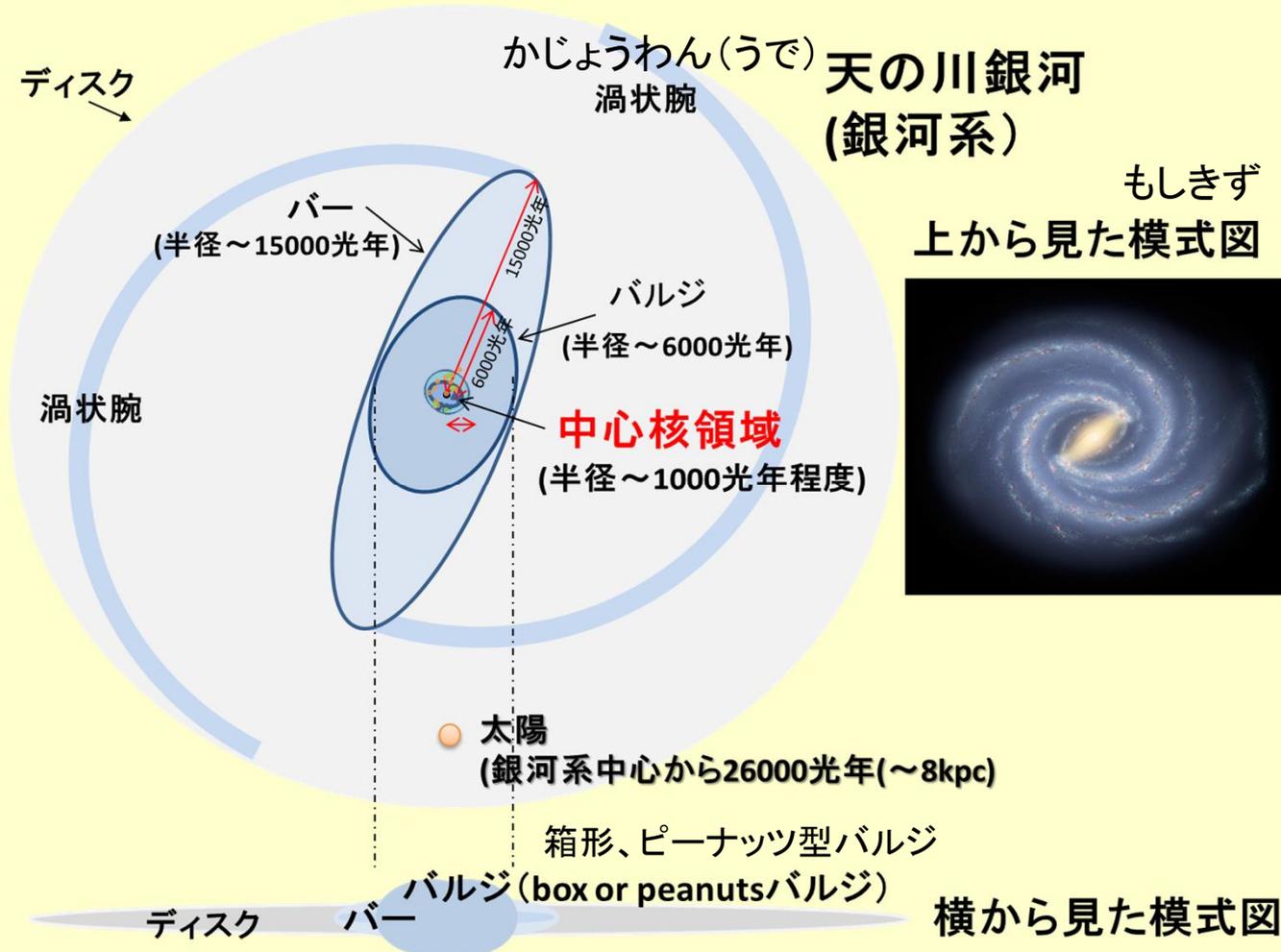
○宇宙人はいるか？



はやぶさ2: 太陽系の起源や生命の起源(きげん)を探る



# 2. 宇宙(うちゅう)の謎を解く鍵(なぞをとくかぎ): 天の川銀河(あまのがわぎんが)の研究(けんきゅう)



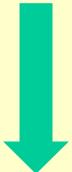
# ★天の川銀河の研究は面白い

きゅうよく

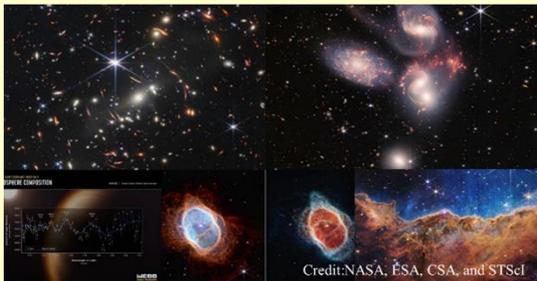
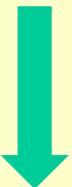
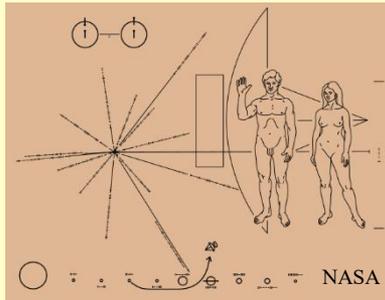
## ★究極の科学目的 (かがくもくてき)

じんるい

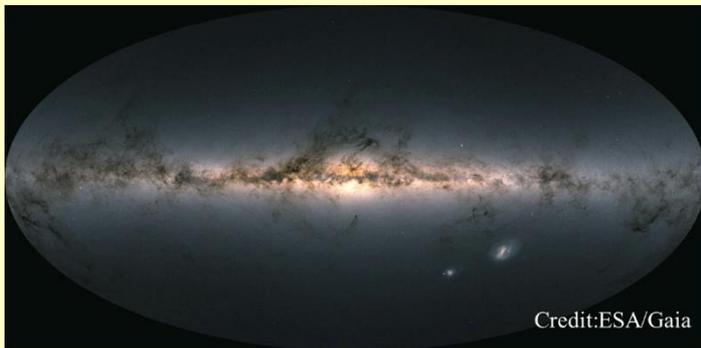
### \* 人類がなぜ宇宙にいるのか？



銀河、星 → 惑星  
→ 生命 → 人類



## 天の川銀河を“知る”！

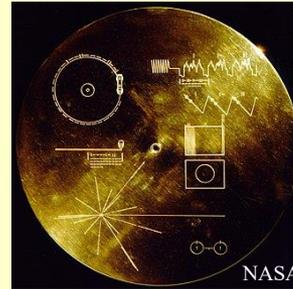


Credit:ESA/Gaia

わたし

こどく

### \* 私たちは宇宙で孤独なのか？



せいめいたんさ

## 太陽系近くの生命探査



Credit:NASA

かんきょう

## 生命が住める環境にある 地球に似た惑星の探査



Credit:ESO

# ★天の川銀河の謎

まだまだ分からないことばかり

★天の川銀河の“正しい”形は??

★どのように誕生(たんじょう)して、現在(げんざい)のようになってきたの??

★どんな天体(ダークマターなども)が、どこにどれぐらいあるの?

★中心にある超巨大(ちょうきよだい)ブラックホールは、どうやってできてきたの?

# ★星の距離(きょり)と運動(うんどう)で 解き明かす(ときあかす)天の川銀河

天の川銀河内の**星までの距離**      **星の運動**(うんどう)



星の**立体地図**(りったいちず)

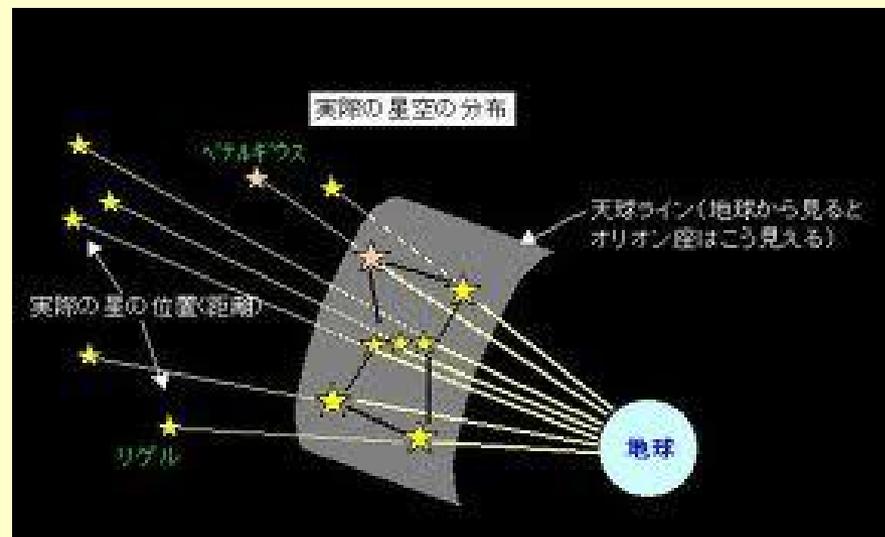
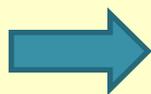


\* 天の川銀河がどのようにできて、  
どのように変化してきたかの  
情報(じょうほう)がふくまれている

\* 他の銀河は遠すぎて、個々の星の距離や  
運動速度は観測できない

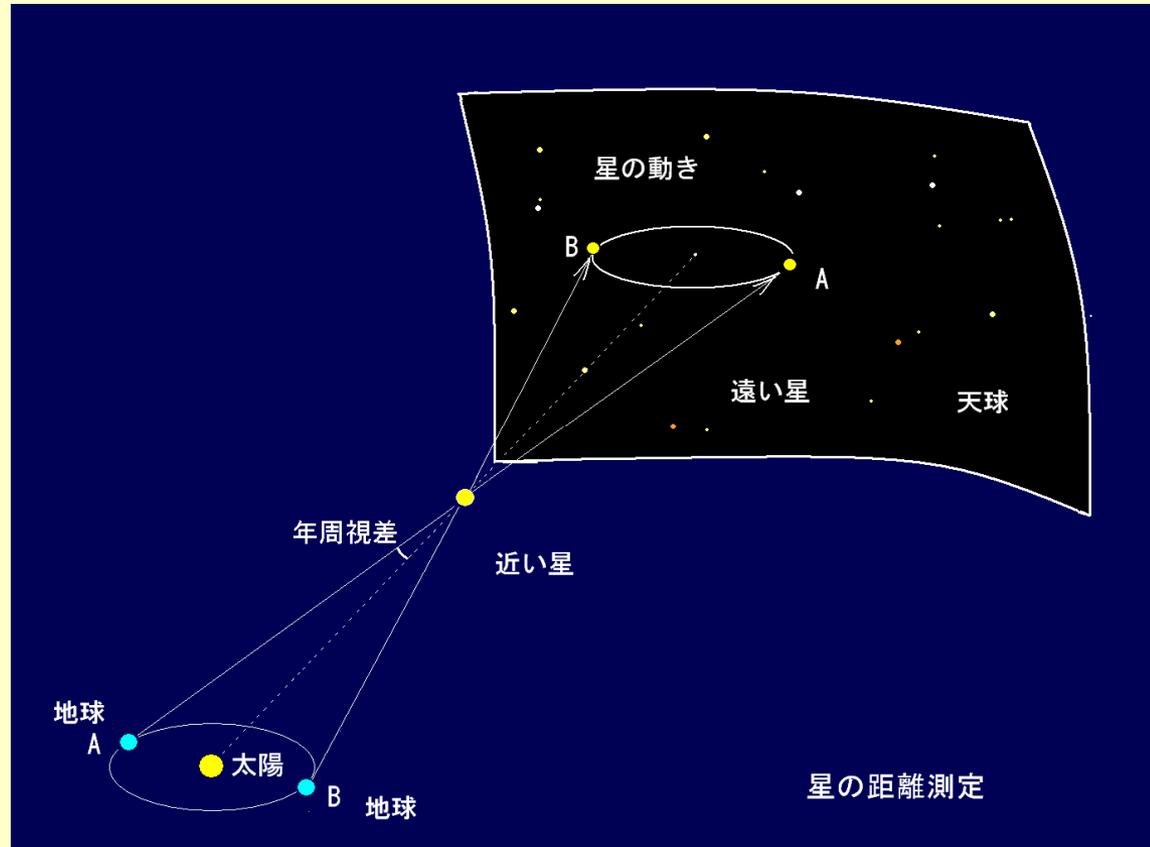
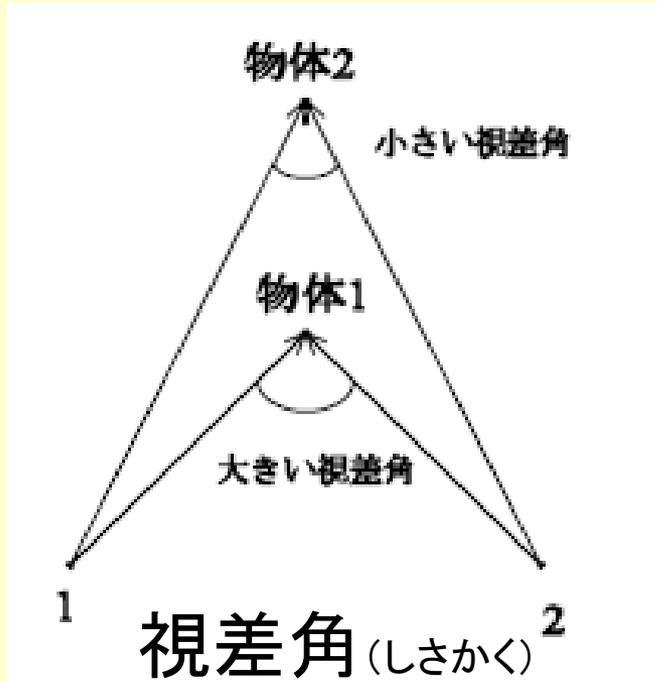
# \* 星までの距離はどうやって分かるの？

星座の星はお互い(おたがい)近く(ちかく)にあるわけではない。  
距離はかなり違う！

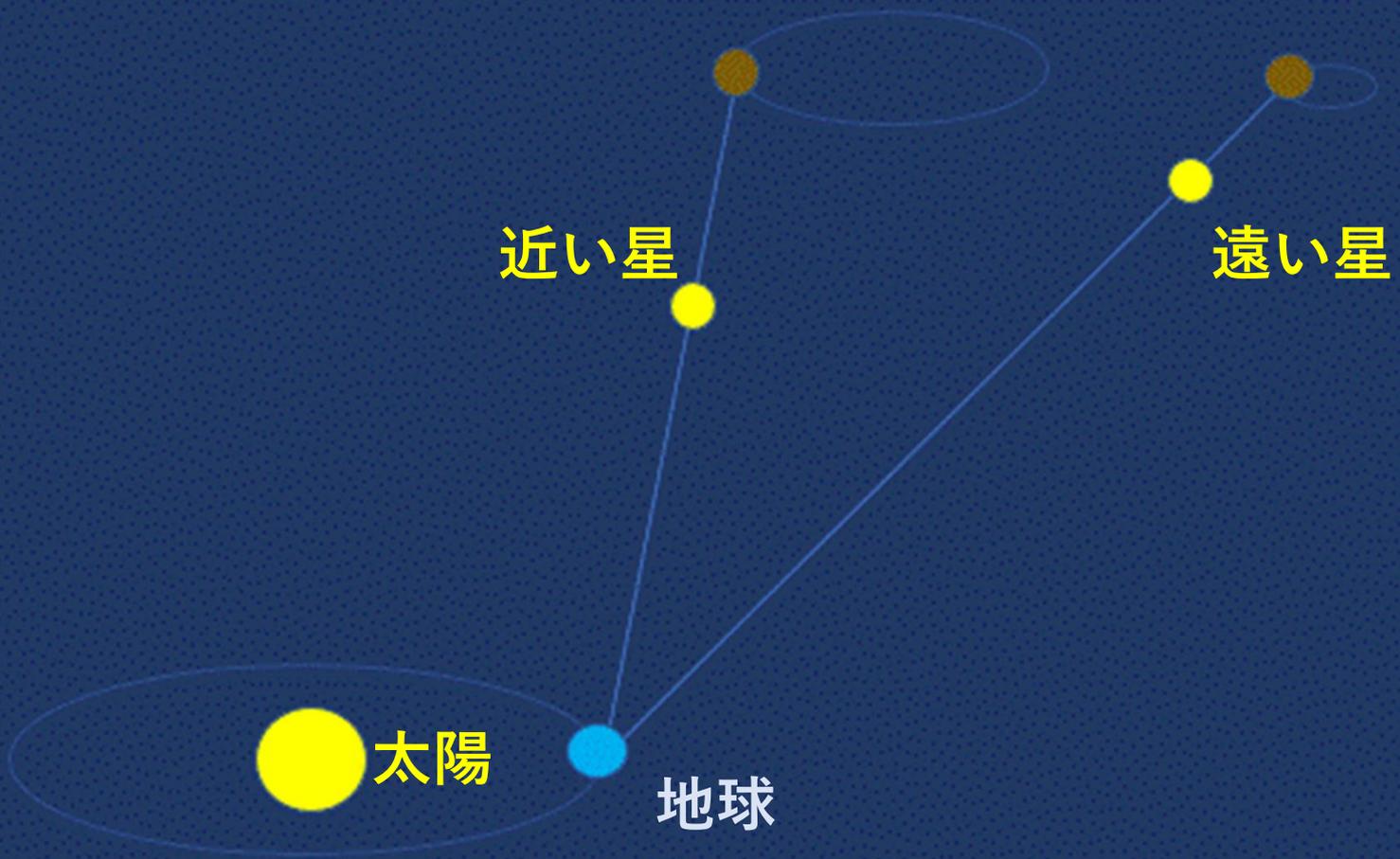


# ○距離(きょり)をきめる方法(ほうほう)のしくみ =>三角測量(さんかく・そくりょう)

星までの距離を直接的(ちよくせつてき)に測る(はかる)方法(ほうほう)としてもっとも信頼(しんらい)できる方法



年周視差(ねんしゅう しさ)の大小(だいしょう)で距離がわかる



せいざ かたちづく こうせい うご

# ★星座を形作る星(恒星)も動いている！

## まっすぐな運動

→ 星が、まわりの星やダークマターによる  
万有引力(ばんゆういんりょく)(重力)の  
影響(えいきょう)を受けて独自(どくじ)に運動

(秒速(びょうそく)で数km~100km以上の場合も: 弾丸(だんがん)の速(はや)さ以上)



とお

てんきゅうじょう

星は、非常に遠くにあるので、地球からみると天球上(夜空)での動きは、ゆっくり。



なんまんねん いじょう

へんか き

しかし、何万年以上もたつとその変化に気づく

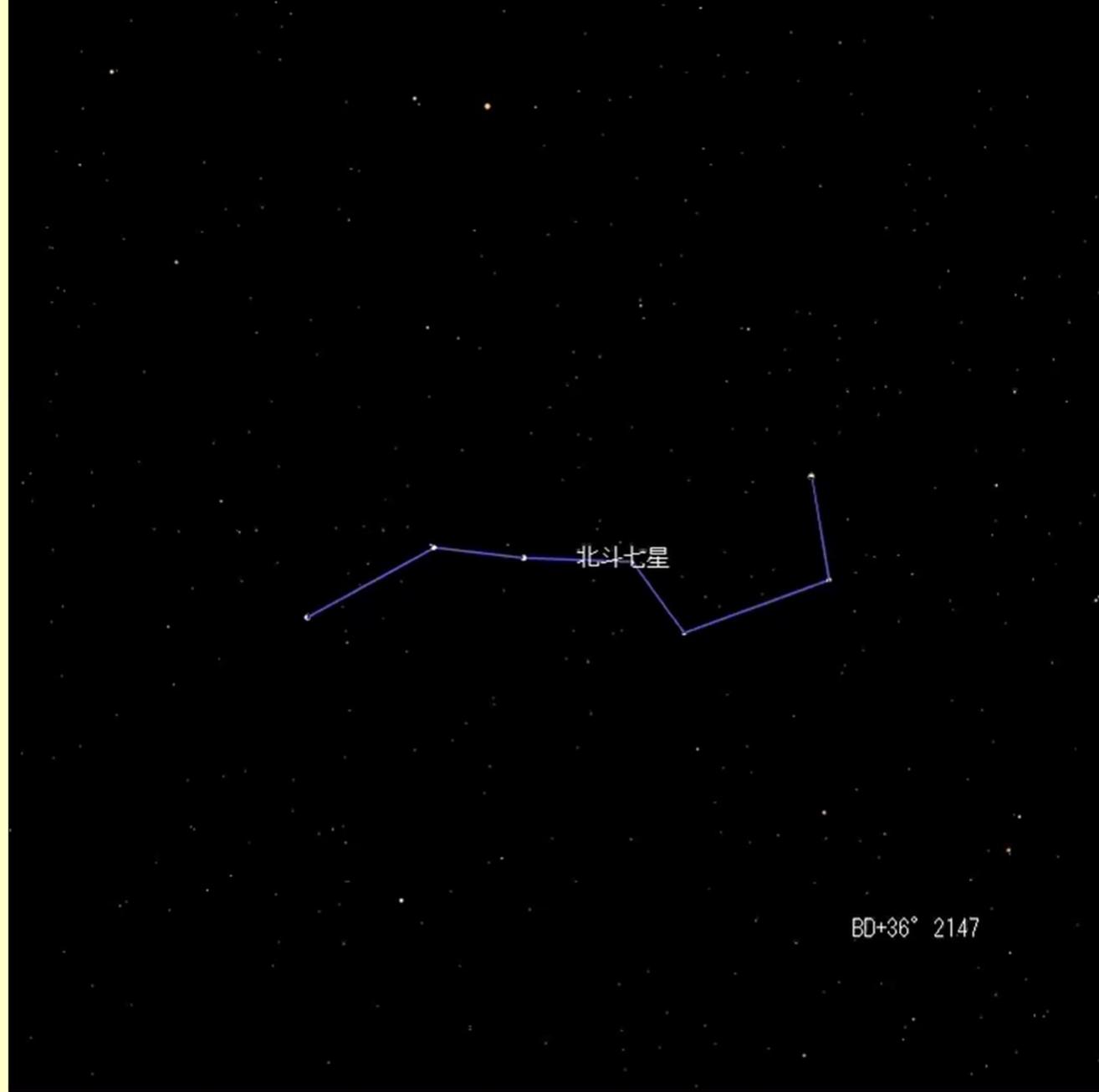


10万年後



北斗七星

未来へ

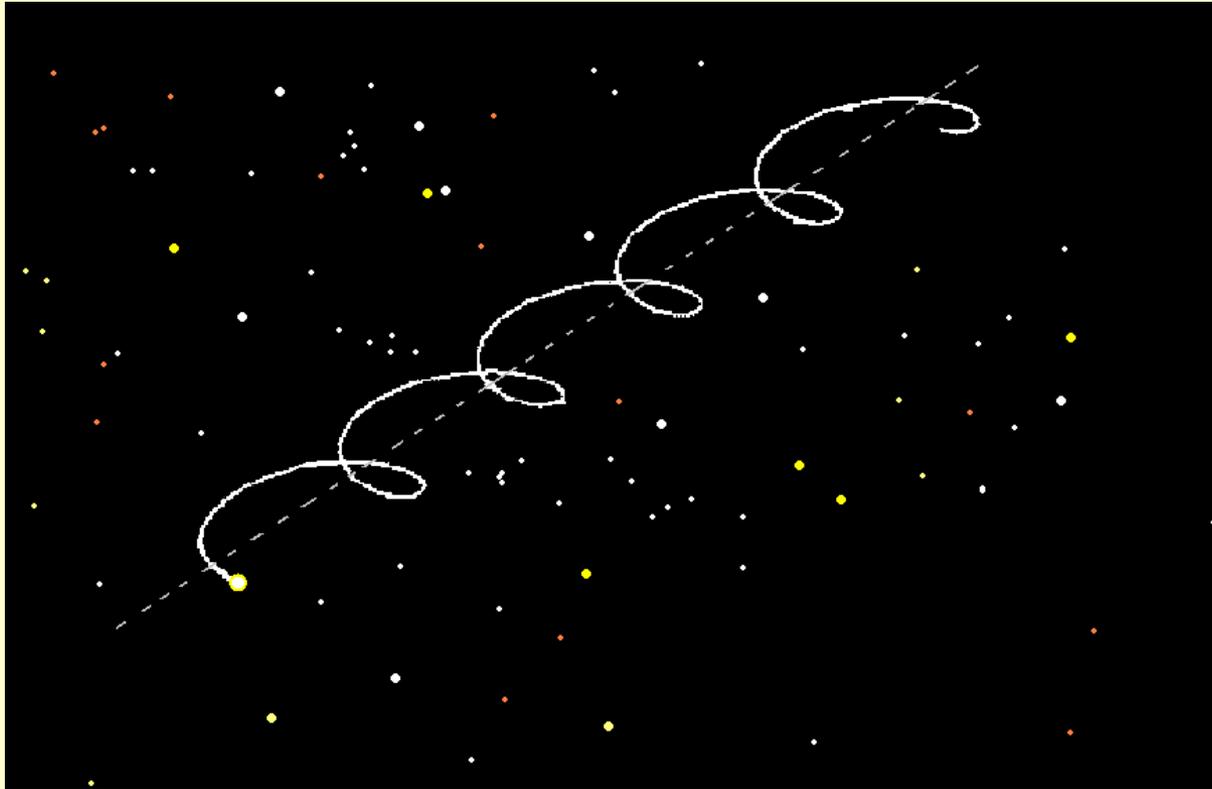


HippLiner 透視投映モード 見かけの等級 星座線描画  
Epoch 0 秒速 10 光年 コマンド 星座線種別

ふつうは、まるっぽい運動(楕円運動)  
+まっすぐな運動



恒星は、らせん運動をする



丸(まる)く動いているが、その丸の大きさ  
きより  
星までの距離が分かる！

★星の天球上 (てんきゅうじょう) での位置 (いち) と  
その動き (うごき) を測定 (そくてい)

→位置天文学 (いち てんもんがく)

星の立体地図 (りつたい ちず) と運動 (うんどう) を知る！ → さまざまな宇宙 (うちゅう) の謎 (なぞ) をとく！



# 位置天文観測は難しい！

じっさい                      ねんしゅう しさ  
 \* 実際の星の年周視差の大きさ

もっとも近い恒星であるケンタウルス座プロキシマ・ケンタウリでも、その年周視差は0.77秒角(4.22光年)

$$1 \text{ 秒角 (びょう かく)} = 1/3600 \text{ 度角} \\ = 0.00028 \text{ 度角}$$

\* 天の川銀河の中心にある星(約2万6千光年)  
 0.000000035度 = 125マイクロ秒角

100km離れたところにいる人(例:東京から見て富士山頂にいる人)の髪の毛1本の太さ(ふとさ)を見込む(みこむ)角度(かくど)にひとしい。 かみのけ

どのようにして、観測(かんそく)の精度(せいど)を良く(よく)するか? → これ自体(じたい)が研究(けんきゅう)

→ 位置天文学(いち てんもんがく)

# ○位置天文観測の精度 (せいど) のうつりかわり

古代ギリシア、古代エジプト

測定精度

紀元前150年：ヒッパルコス（天文学者） 1000秒角

(1秒角 = 1/3600 度)

1838年：ベッセル (年周視差の発見！！) ~0.1秒角

\* 地動説の直接証拠

1980年代：地上 (ちじょう) にある望遠鏡での観測 ~0.03秒角

\*地上での観測では、空気 (くうき) のゆらぎなどで精度があまり良くない。

宇宙空間へ(ヒッパルコス衛星(ESA)：1989年打ち上げ)

人工衛星(じんこう えいせい)に望遠鏡(ぼうえんきょう)をのせて宇宙空間(うちゅうくうかん)から観測(かんそく) → 位置天文観測衛星

(いち てんもんかんそく えいせい)

1997年：ヒッパルコスカタログ  
~0.001秒角

\* 1ミリ秒角

2013年~2024年(?)：ガイア衛星  
~0.00001秒角



# ガイア (Gaia) による位置天文観測の大革命時代がやってきた！！

だいかくめい

ヨーロッパ宇宙機関

大型の位置天文観測衛星 Gaia (ESA) は革命的：  
**質**（10マイクロ秒角クラスの位置決定精度）、  
**量**（15億個以上の星）とも画期的な星の位置、距離、  
速度情報が得られる時代になってきた！



だいしんてん

## 天の川銀河の研究が大進展！！

Gaia

Credit: ESA

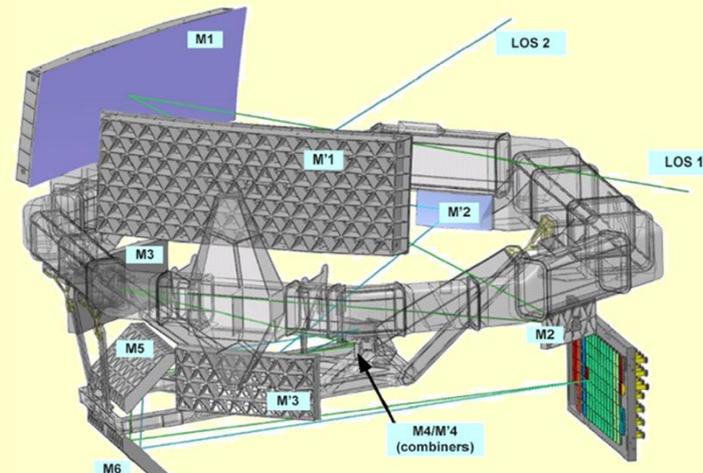
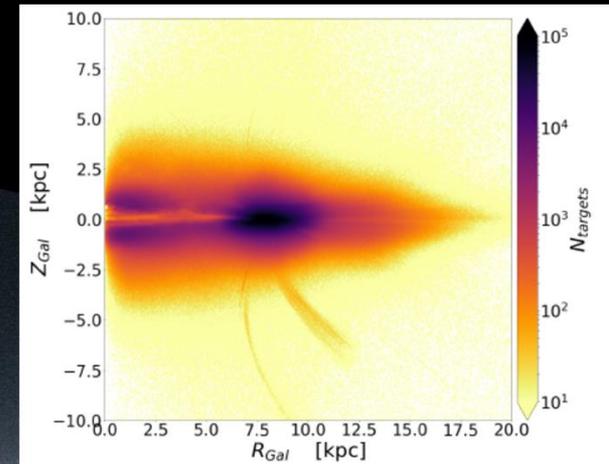
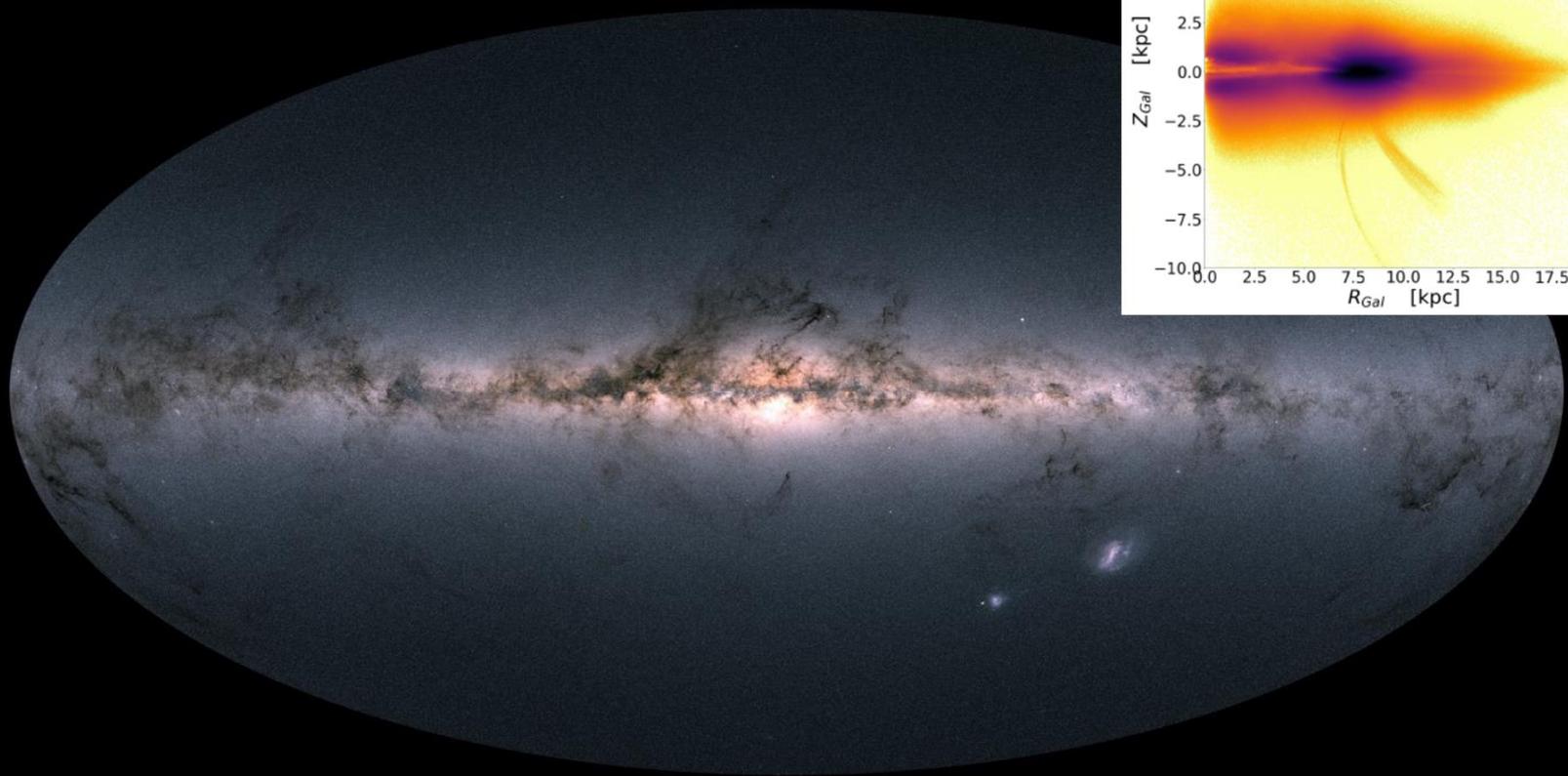


Figure courtesy EADS-Astrium

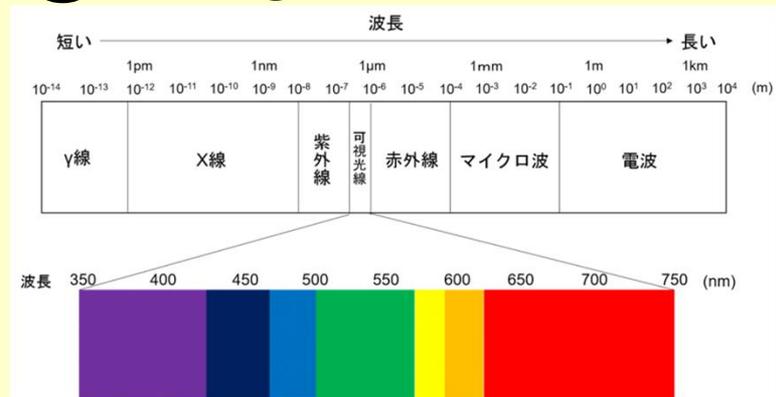
# Gaiaでは、よく見えないところが！ 天の川銀河の中心、銀河面など



Gaia DR2 (2回目のデータ) : 2018年4月  
Gaiaでみた天球の星

ESA/Gaia/DPAC

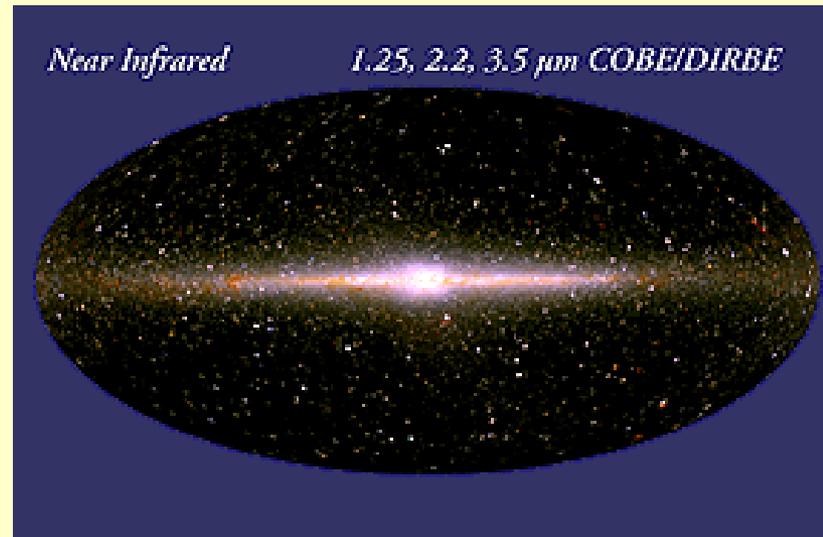
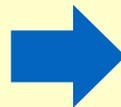
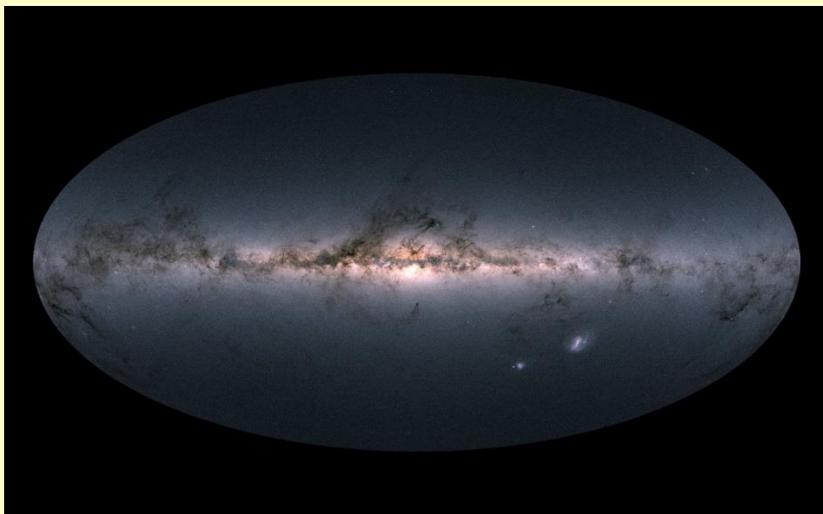
# 星自体の動きを測定するには 可視光 (かしこう) から 近赤外線 (きんせきがいせん) がちょうど良い



可視光による観測

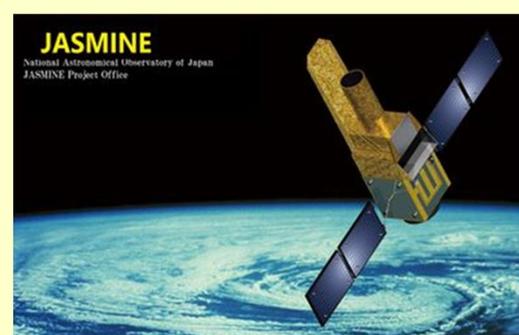
(塵に覆われて可視光では観測しにくい領域がある)

赤外線による観測例





### 3. ジャスミン計画(けいかく)で 挑(いど)む天の川銀河の謎(なぞ)



## *JASMINE*

*Japan Astrometry Satellite Mission for INfrared Exploration*

赤外線位置天文観測衛星計画(けいかく)



## 赤外線による観測

(波長(はちょう): 1.0~1.6ミクロン)

# JASMINEミッション



うちゅう かがく けんきゅうしょ こうぼがた こがた けいかく

## ◎JAXA宇宙科学研究所の公募型小型計画という

カテゴリーの衛星計画(イプシロンロケットでの打ち上げ)での実現(じつげん)を目指(めざ)している。



## ◎2019年5月、JAXA宇宙科学研究所により公募型小型3号機に選定された。



Credit: JAXA

打ち上げ時期は、  
現在、内閣府で決定された  
宇宙基本計画工程表(2021年12月改訂)では  
2028年に位置付けられている。

イプシロンロケットでの打ち上げ(内之浦)



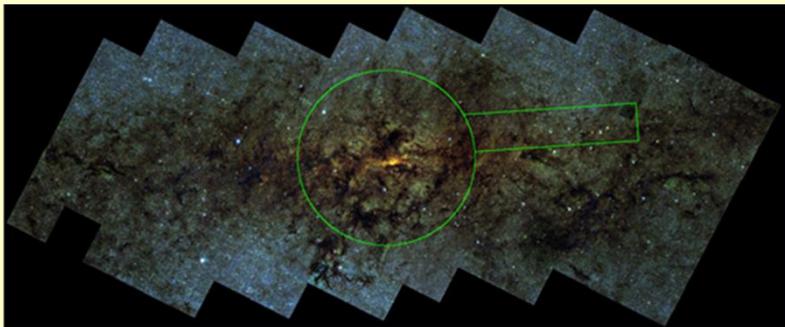
# JASMINE衛星！



0.000025秒角 (=1億4千万分の1度角  
=0.00000000069度角)クラスの精度！！

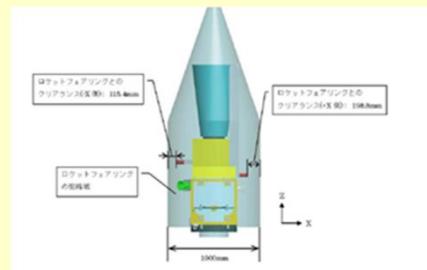
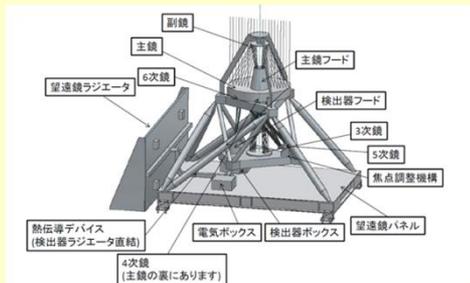
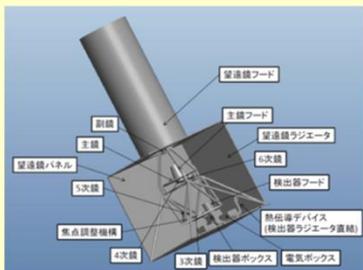
\* 100km離れた場所にいる人の髪の毛1本の太さの  
5分の1程度の大きさを見込む角度に相当

## 赤外線による観測

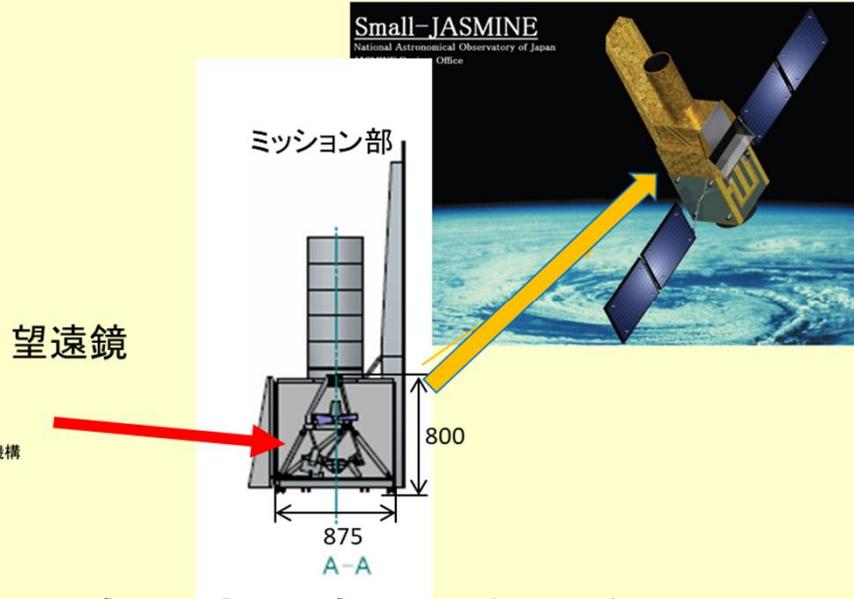
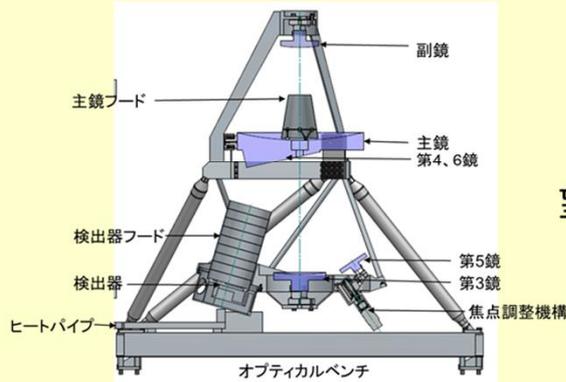


天の川銀河の中心部  
(中心核領域 ちゅうしんかく りょういき)を  
集中的(しゅうちゅうてき)に観測

(塵(ちり)に覆(おお)われて  
可視光では観測しにくいところ)



# JASMINEはどんな観測装置(そうち)なのか？



ぼうえんきょう かがみ ちよっけい

望遠鏡の鏡の直径(もっとも大きいもの)主口径: 36cm程度



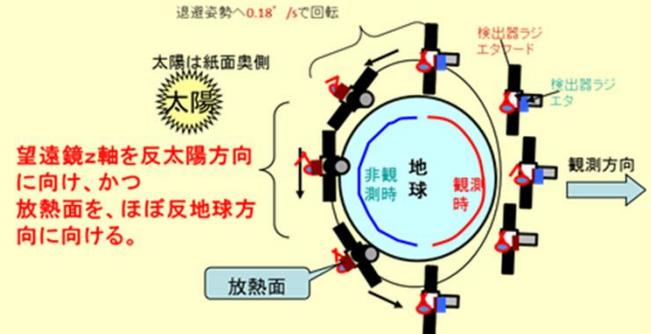
赤外線カメラ: 地上での天文観測用に開発された高性能(こうせいのう)な国産(こくさん)カメラを宇宙でも使えるように開発中(かいはつちゅう)。

きどう たいよう どうき きどう

昼と夜のさかいめ

軌道: 太陽同期軌道(高さ約550km以上)

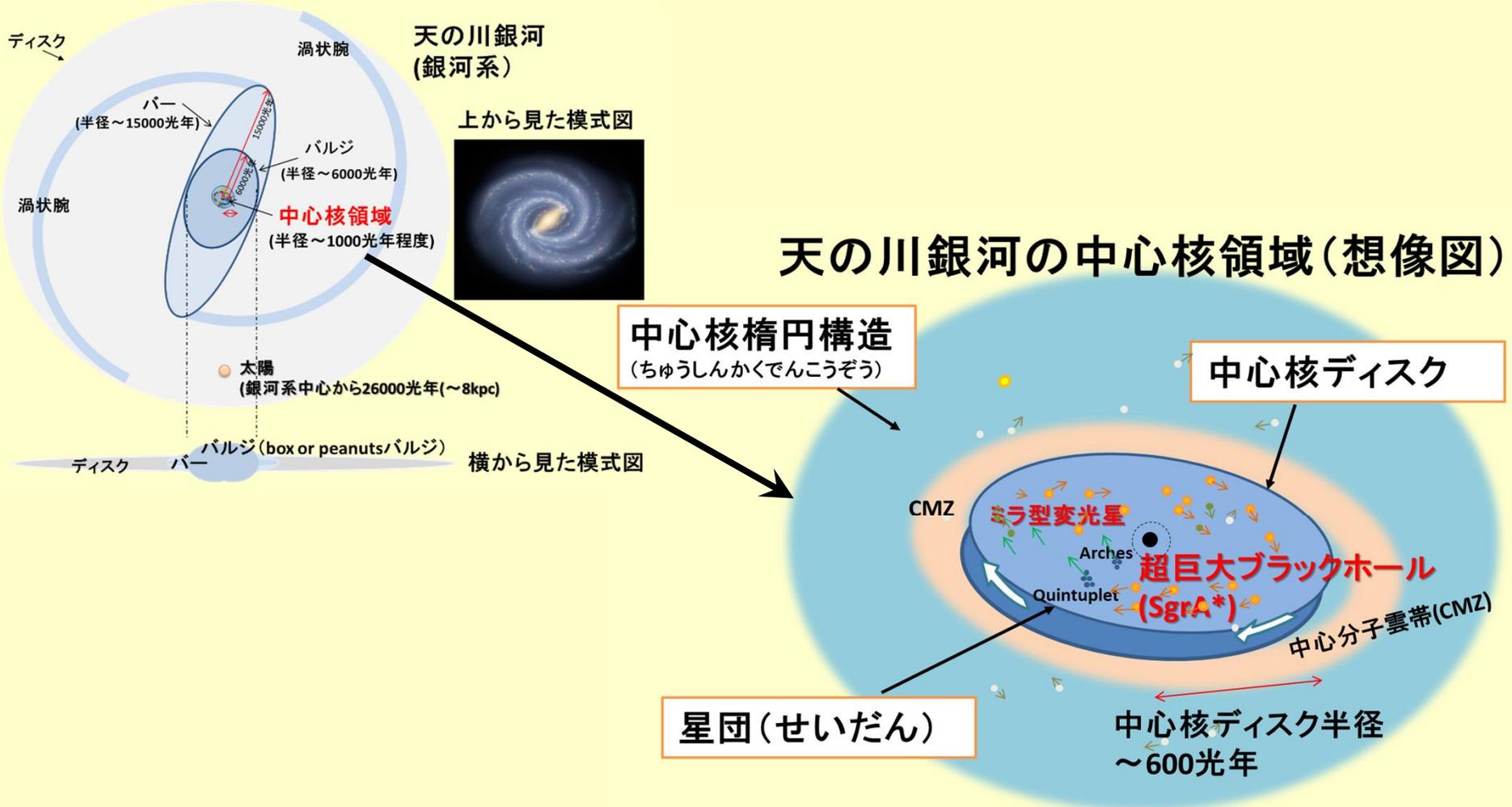
観測期間(きかん): 3年間程度



# ★JASMINEで解き明かす様々な謎

と あ さまざま など

## 天の川銀河の中心核領域の星の距離と運動を観測



# 何が分かるの？

## ★中心核ディスクの年齢

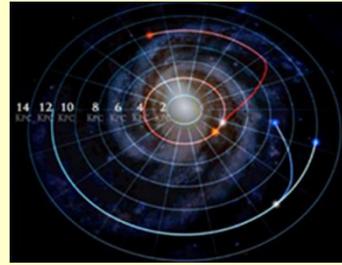


バー構造の形成時期



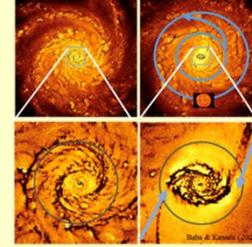
太陽系の移動解明

内部から外側に  
移動を開始 (!?)



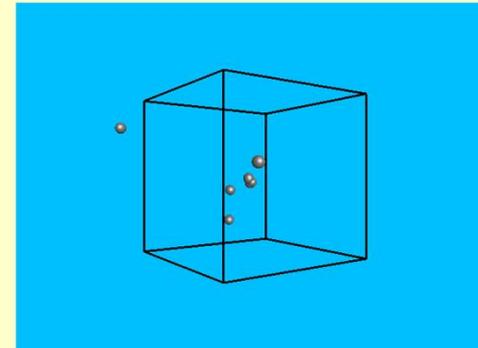
惑星形成  
に影響!?

気候変動?  
生命進化?  
人類誕生?



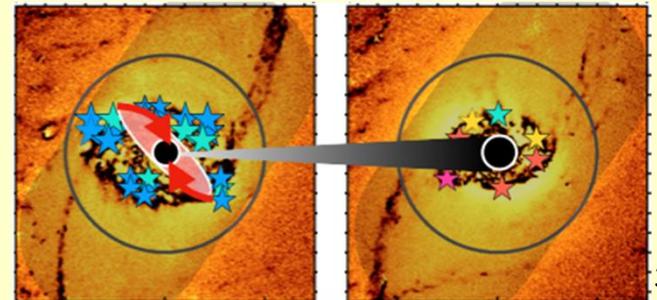
## ★100億年以上前の天の川銀河誕生時の様子(ようす)

当時に形成された星々の  
運動の様子がそのまま残っているかも?



## ★むかしにいくつかの巨大ブラックホールが 中心領域へ落ち込んできた 名残(なごり)の発見(?)

## ★中心にある超巨大ブラックホール の重さが増えてきた理由が 分かるかも



○中心にある**ブラックホール**の探査(たんさ)

○中心での**ダークマター**の**軌道**(きどう)、**分布**(ぶんぷ)

○中心での**星団**(せいだん)の**形成**(けいせい)

○系外惑星探査(けいがい わくせい たんさ)

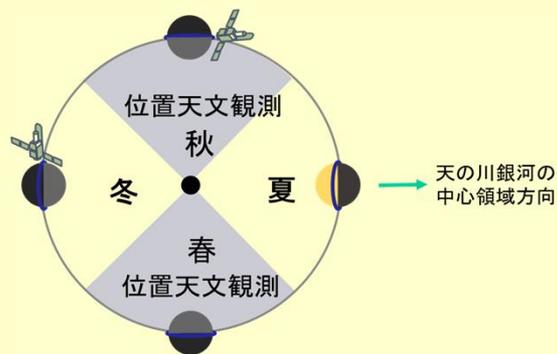
○ワームホール(**時空**(じくう)の**虫食い穴**  
(むしくいあな))探査(?!) )

などなど。。。

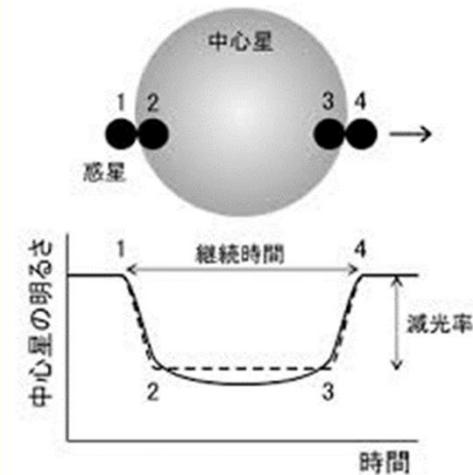
# ★ジャスミンによって、生命が住んでいる可能性のある地球に似た惑星がみつかるかも！

春、秋：位置天文観測（天の川中心）

夏、冬：惑星探査（ターゲット星）



太陽より  
1/5程度小さく、  
温度が低くて赤い星が  
ターゲット



Credit:天文普及研究会



Credit:ESO

惑星が星の前をとおると、  
星の明るさが、ほんのすこし  
暗くなる  
→惑星を発見できる！！

今後…

たくさんの観測などの

進展(しんてん)

うちゅうぞう

新しい宇宙像が

見えてくるだろう



人類とは？

せいき

ぎんがてつどう

21世紀の銀河鉄道

JASMINEの観測データ  
=>世界の知的財産

ちてき ざいさん

(じゅうようなちしき)

ジャスミンへの応援も  
よろしくお願いします！！

皆さんに少しでも興味をもってもらえれば嬉しいです。

ありがとうございました

Jasmine

