



あまの がわ ぎんが なぞ と いど

天の川銀河の謎解きに挑む けいかく ジャスミン計画

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



JASMINE

National Astronomical Observatory of Japan
JASMINE Project Office

今日(きょう)のお話(はな)し

1. 天の川銀河(あまのがわぎんが)の謎(なぞ)

天の川(あまのがわ)とは何(なに)？

天の川銀河(あまのがわ ぎんが)の研究(けんきゅう)はおもしろい！！

天の川銀河(あまのがわ ぎんが)は謎(なぞ)ばかり

2. 星(ほし)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

星(ほし)までの距離(きょり)はどうやってわかるの？

星座(せいざ)を形(かたち)作る(づくる)星(ほし)も動いている！

位置天文観測(いちてんもん かんそく)

ガイア(Gaia)による位置天文観測の大革命時代(だいかくめい じだい)がやってきた！！

3. ジャスミン計画(けいかく)で挑(いど)む天の川銀河の謎

Nano-JASMINE(ナノ・ジャスミン)はどんなもの？

JASMINE(ジャスミン)について

4. おわりに

1. 天の川銀河(あまのがわぎんが)の謎(なぞ)

★天の川(あまのがわ)とは何(なに)？

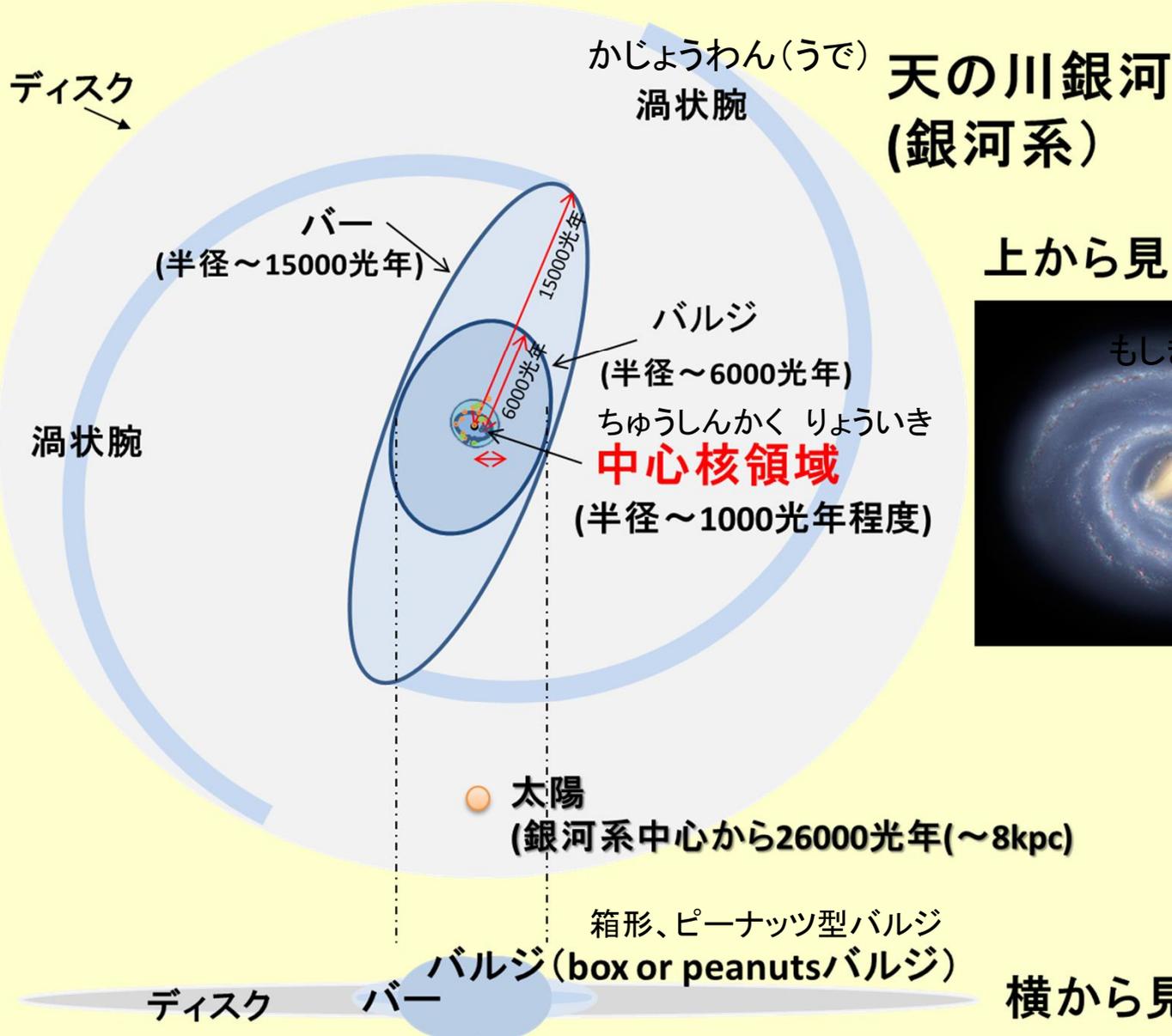


我々は、天の川銀河の中にいる

★恒星(こうせい)が約2000億個集まった集団(しゅうだん)。



天の川銀河のイラスト



上から見た模式図



横から見た模式図

天文学での距離(きょり)スケール

星は遠い(とおい)!!!

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)。

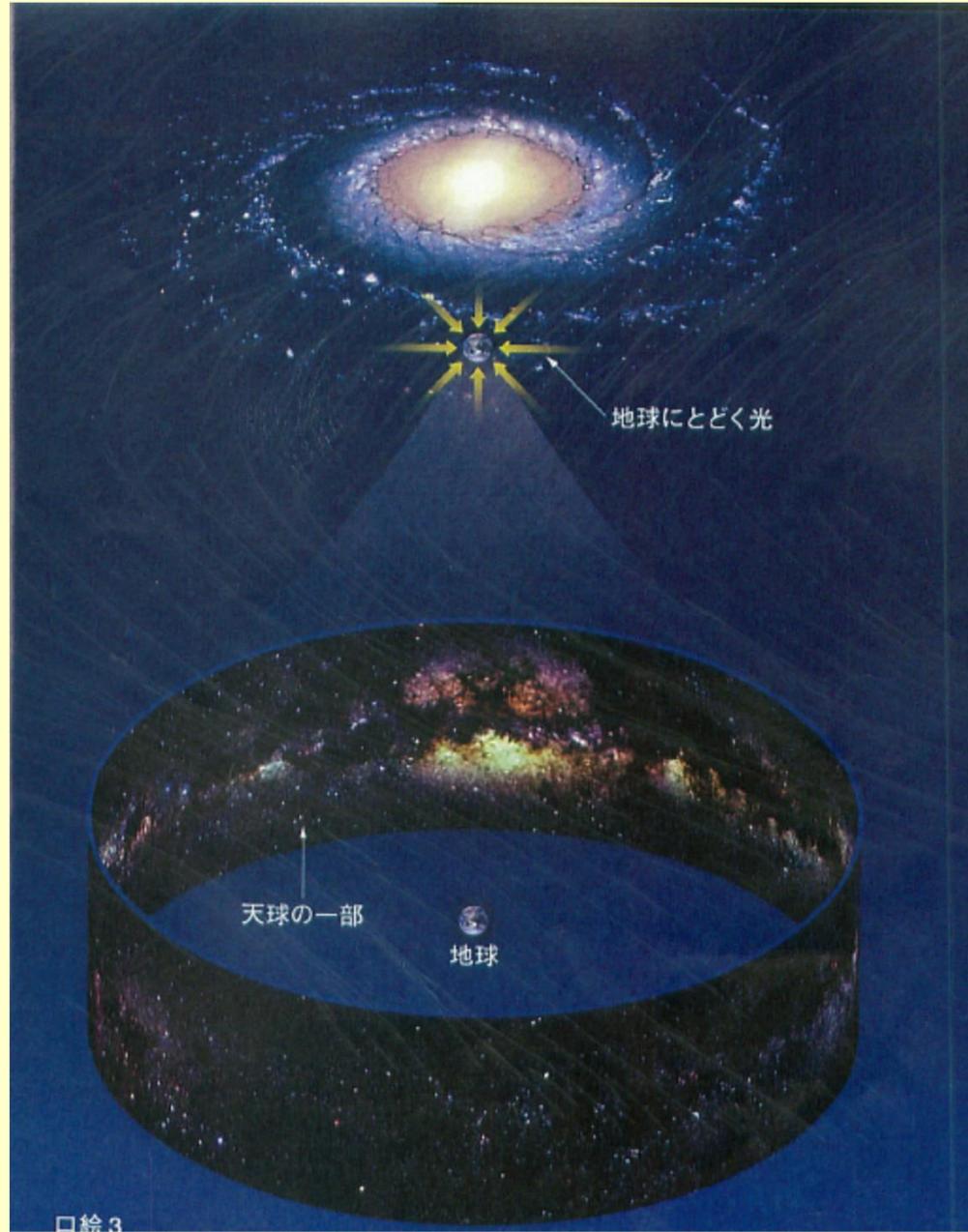
1光年(こうねん) = 約 9.5×10^{12} km

(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!!

★天の川の正体(しょうたい)



★天の川銀河の研究は面白い

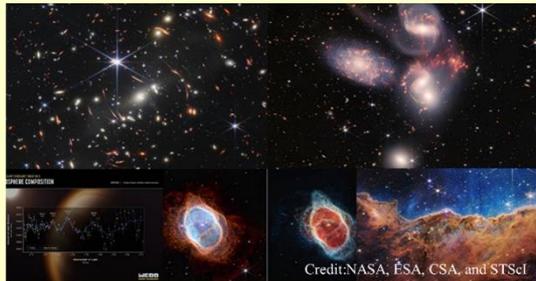
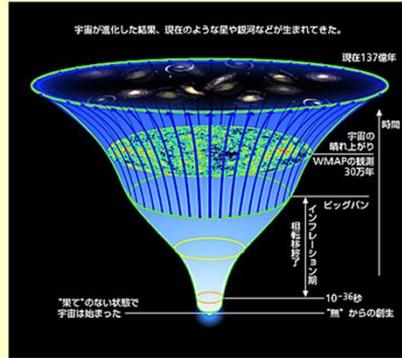
きゅうよく

★究極の科学目的 (かがくもくてき)

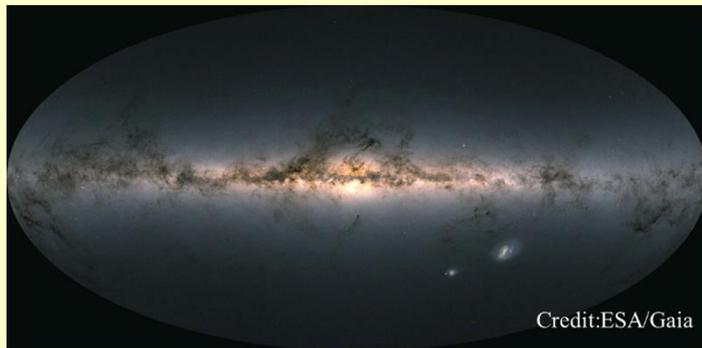
じんるい

* 人類がなぜ宇宙にいるのか？

銀河、星 → 惑星
→ 生命 → 人類



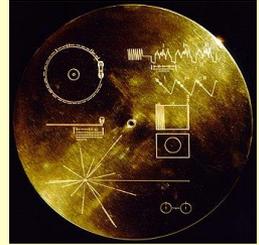
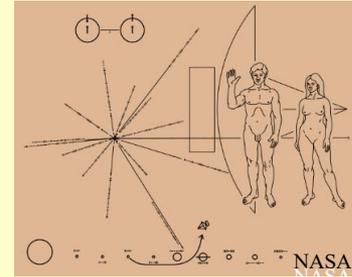
天の川銀河を“知る”！



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



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



★天の川銀河は謎(なぞ)ばかり
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、ブラックホールも)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?

2. 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)

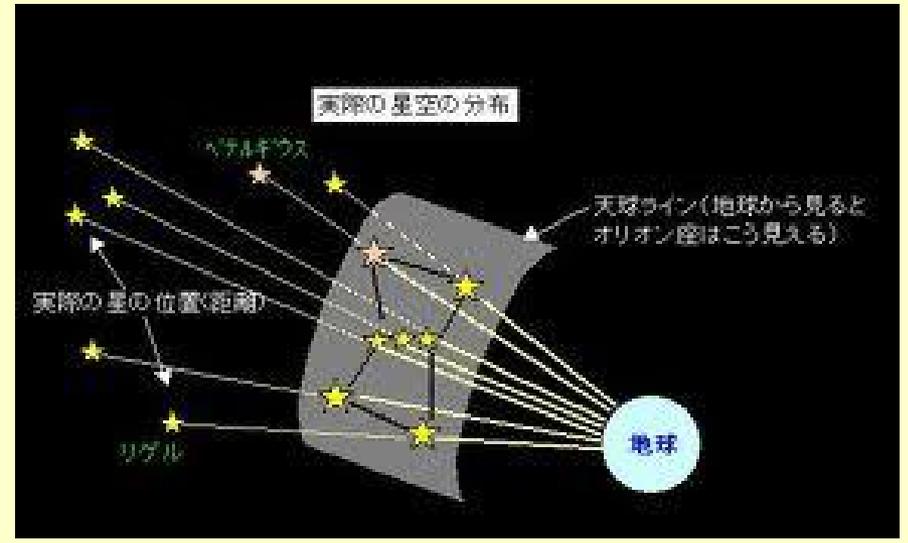
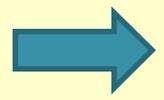
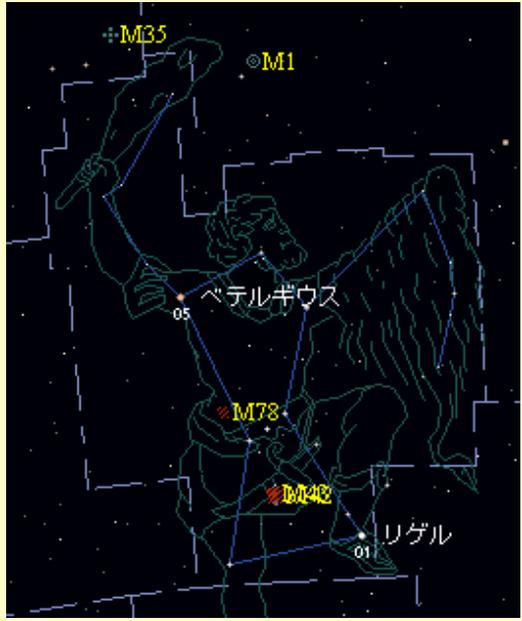


* 天の川銀河がどのようにできて、
どのように変化してきたかの
情報(じょうほう)がふくまれている

* 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？

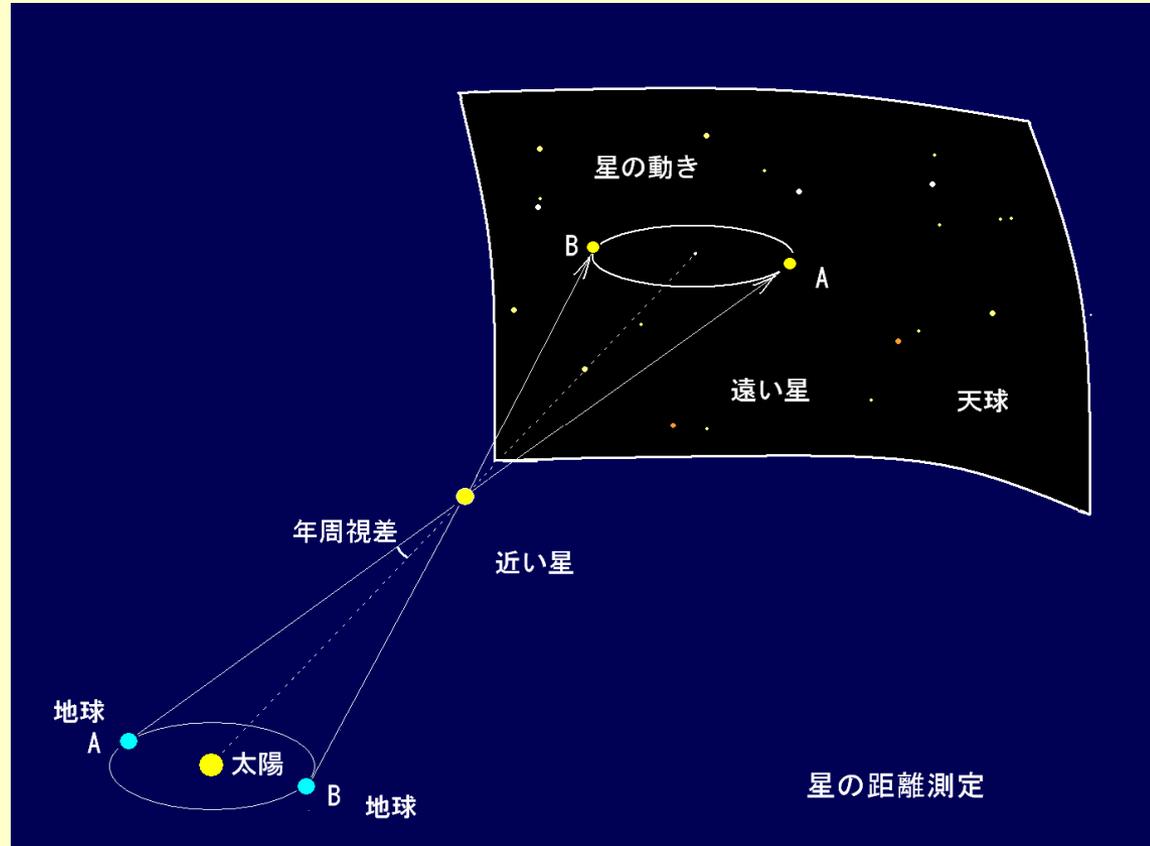
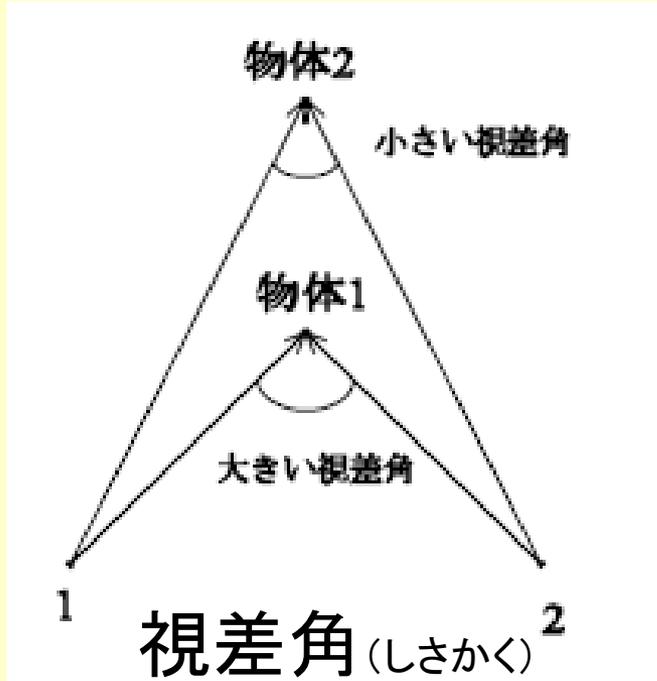
星座の星はお互い(おたがい)近く(ちかく)にあるわけではない。
距離はかなり違う！



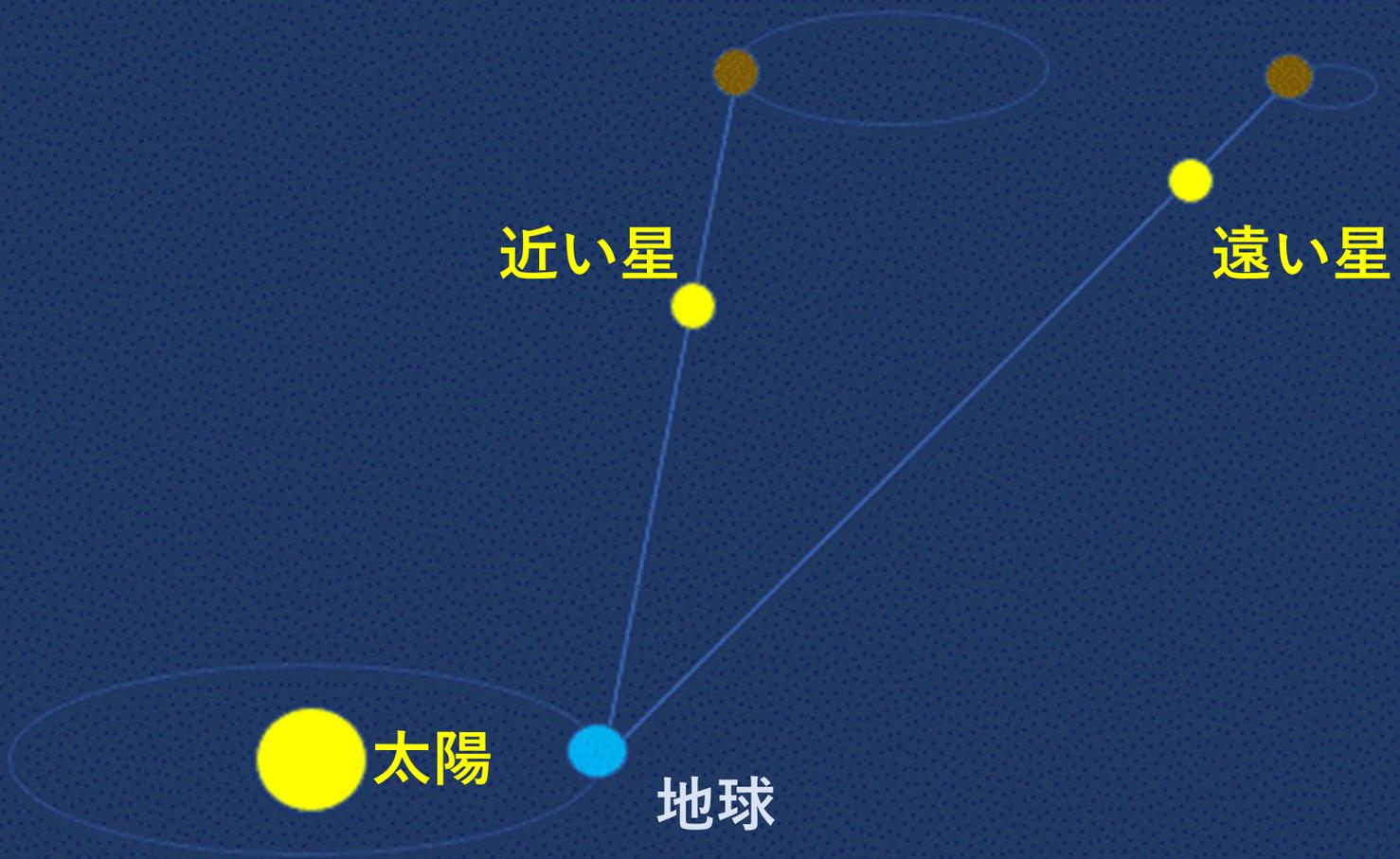
○距離(きょり)をきめる方法(ほうほう)のしくみ

=>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

てんきゆうじょう

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

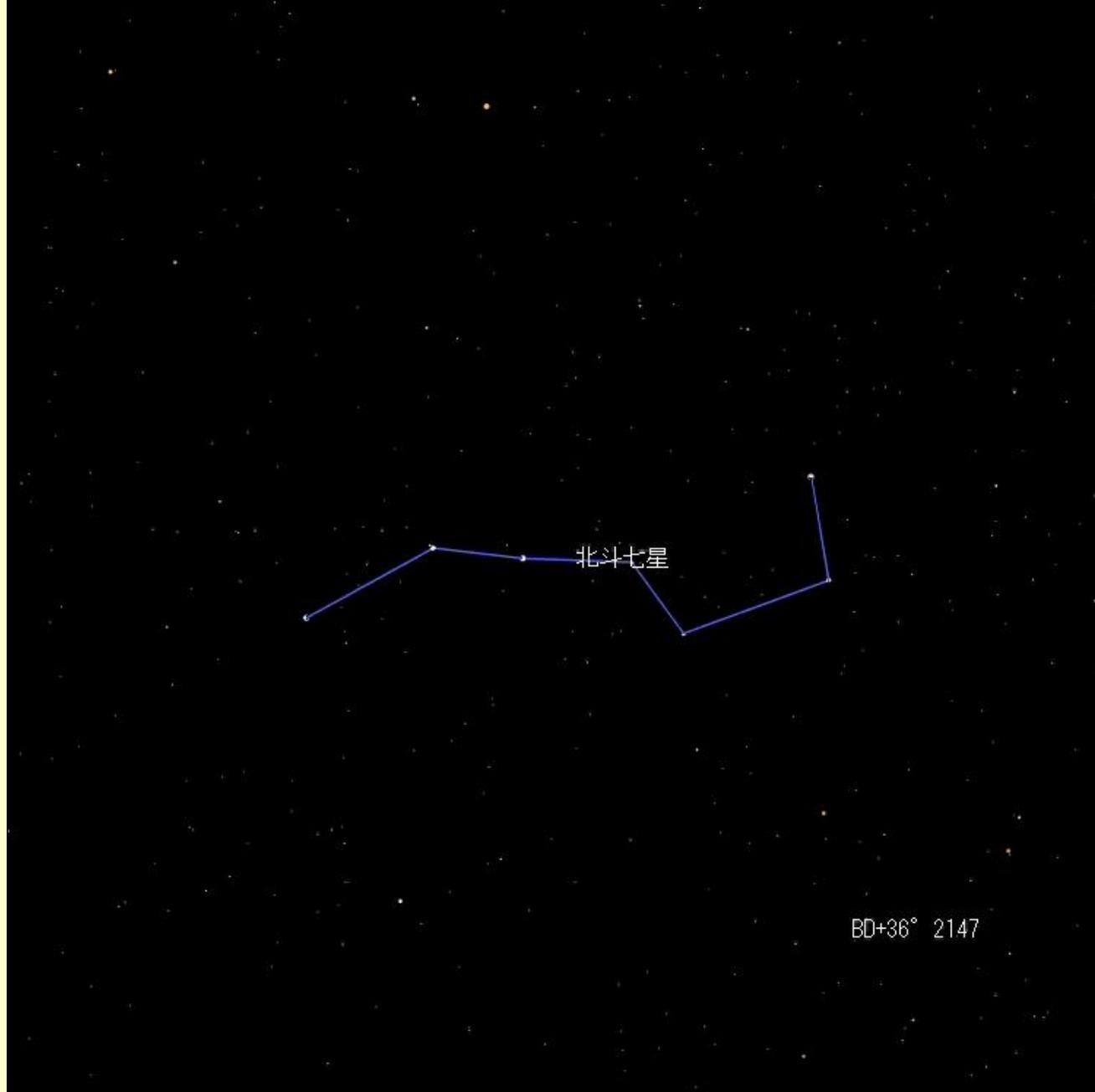


10万年後



北斗七星

未来へ



BD+36° 2147

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



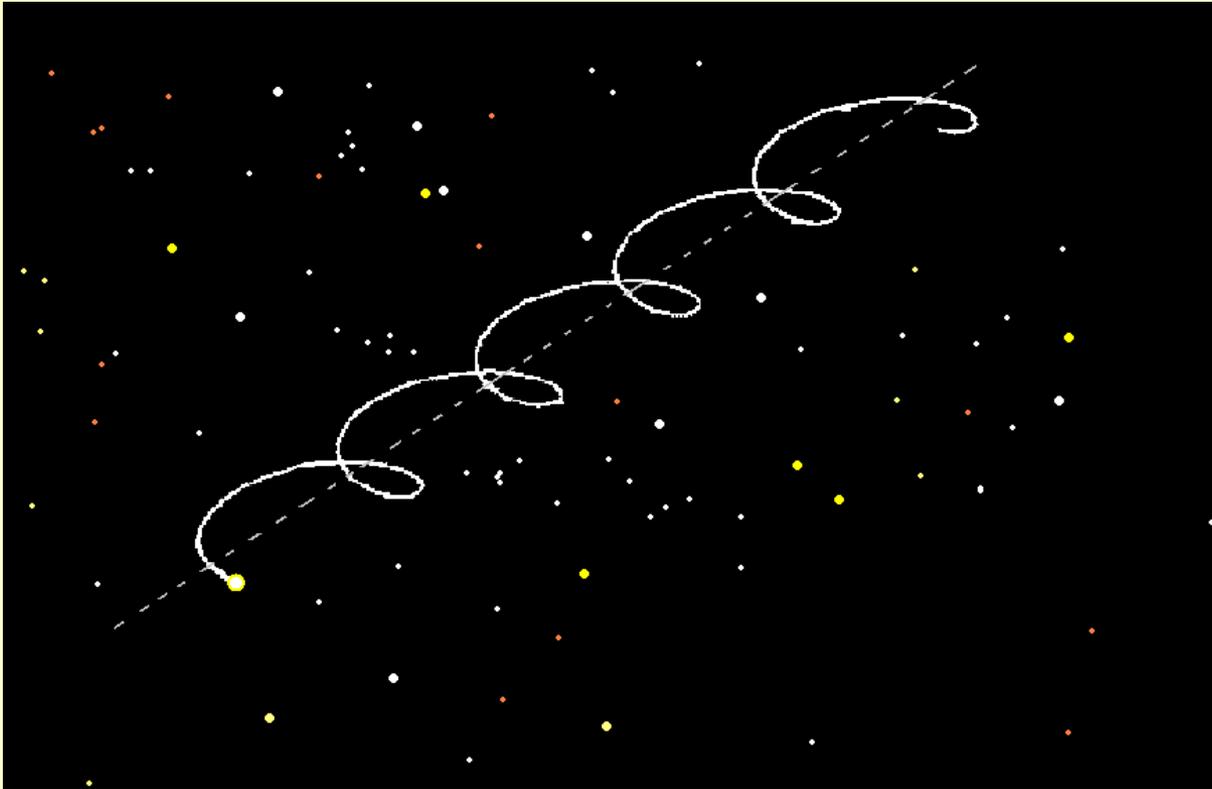
コマンド

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！

★位置天文観測 (いちてんもん かんそく)

★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)

→位置天文観測 (いちてんもん かんそく)

りったい ちず うんどう し うちゅう なぞ
星の立体地図と運動を知る！ →さまざまな宇宙の謎をとく！



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)

$$0.000000035 \text{ 度} = 125 \text{ マイクロ秒角}$$

かみのけ

100km離れたところにいる人(例:水沢から見て仙台にいる人)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。

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 (ちどうせつ の ちょくせつ しょうこ)

↓
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)

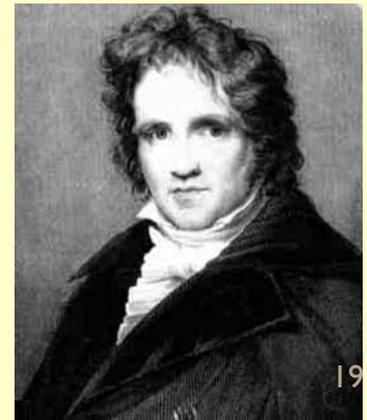
人工衛星 (じんこう えいせい) に望遠鏡 (ぼうえんきょう) をのせて宇宙空間 (うちゅうくうかん) から観測 (かんそく) → 位置天文観測衛星

(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~2025年(?)：ガイア衛星
~0.00001秒角 (10マイクロ秒角)

* 以上は、光 (可視光) の場合。電波ではVERAが
21世紀になり、10マイクロ秒角程度の精度をあげている



★だいかくめいガイア (Gaia)による位置天文観測の大革命時代がやってきた！！

大型の位置天文観測衛星Gaia(ESA)ヨーロッパ宇宙機関は革命的：

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

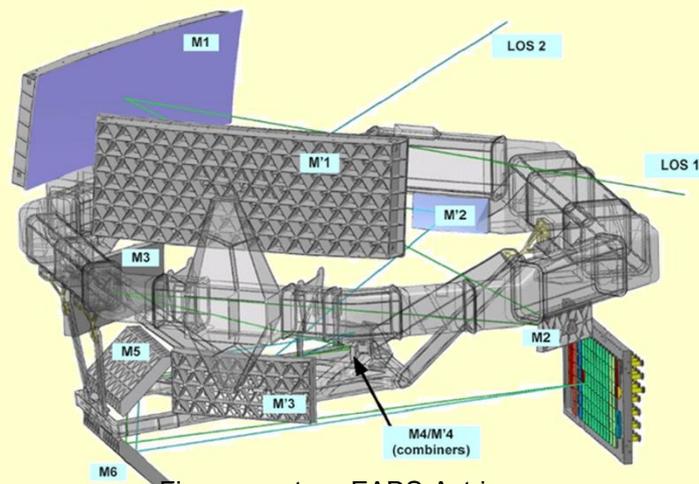


Figure courtesy EADS-Astrium

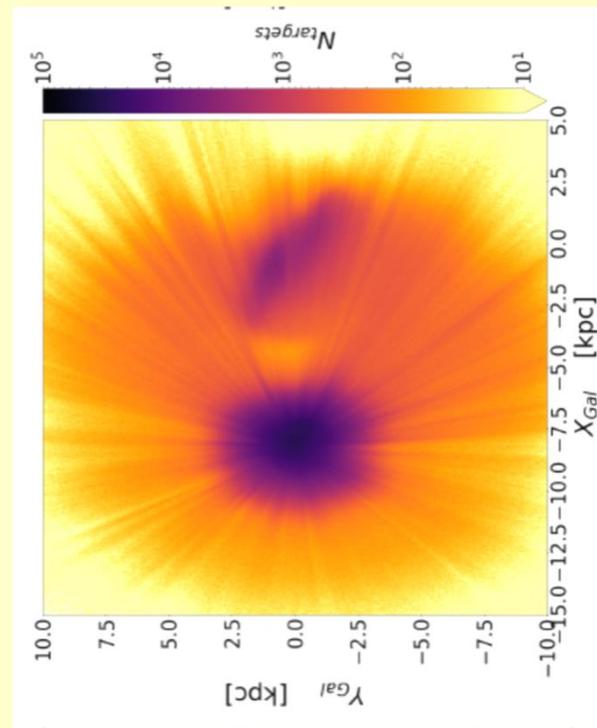
* バー構造の実視

こうぞう

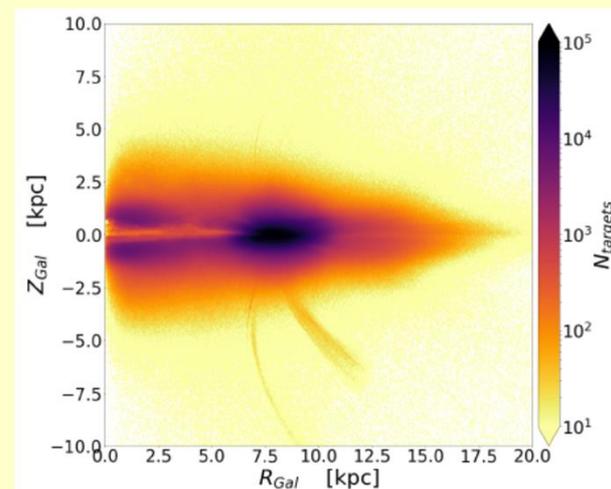
じっしs



Copyright: Data: ESA/Gaia/DPAC, A. Khalatyan(AIP) & StarHorse team; Galaxy map: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)



(Anders, F., et al., 2019)



* 銀河面のさざ波

～星の軌道(きどう)の振動(しんどう)～

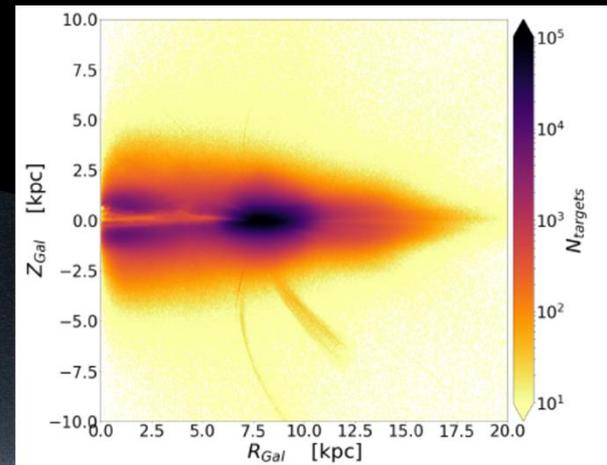
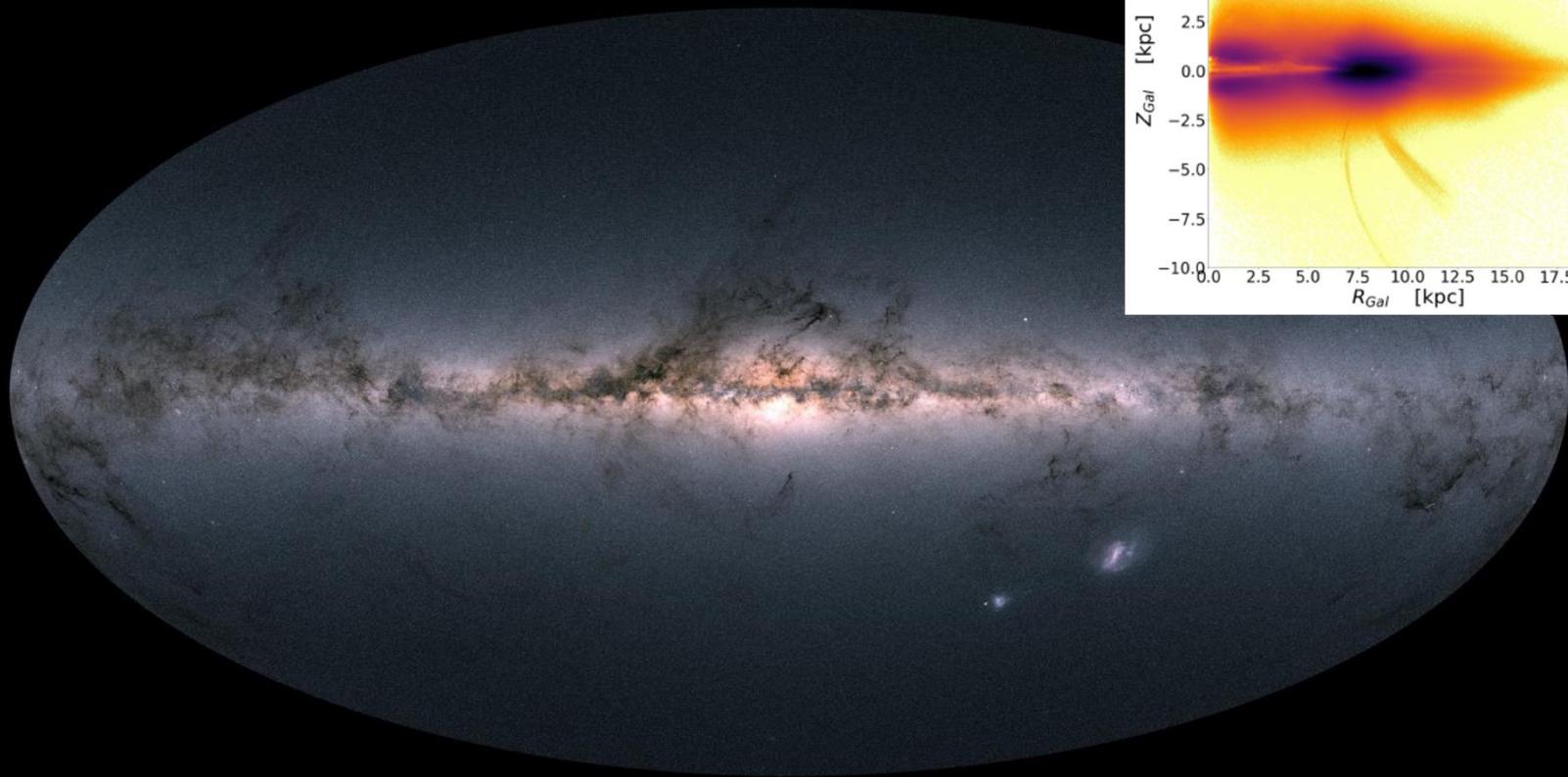


バー構造(こうぞう)や腕(うで)、矮小(わいしょう)銀河の
残骸(ざんがい)の可能性(かのうせい)

Gaiaでは、よく見えないところが！

* 明るすぎる星（3等級以下）

* 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



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)

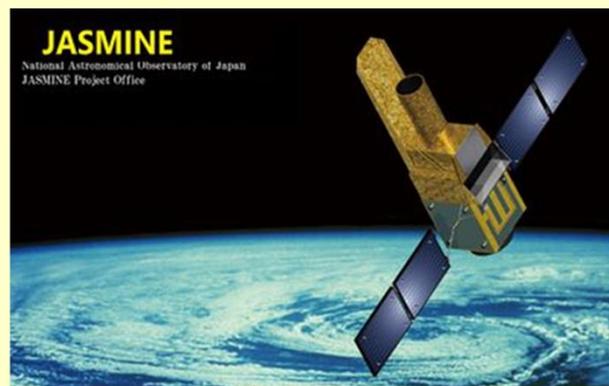


ガイアが苦手(にがて)なところで
おもしろくて重要(じゅうよう)なところを観測！

明るい星
(3等級以下)



天の川銀河の
中心(ちゅうしん)



★Nano-JASMINE (ナノ・ジャスミン)

はどんなもの？

超小型衛星(ちょうこがたえいせい)
(サイズ:50cm立法、重さ:35kg)

えいせい

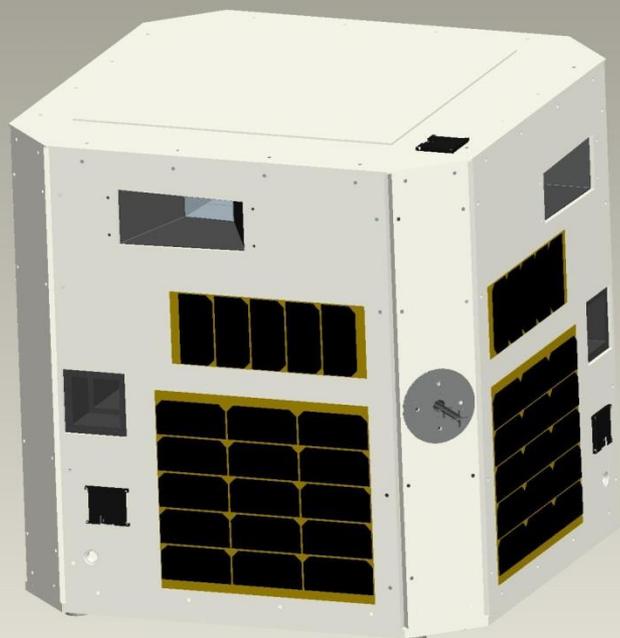
せいど

いち

そくてい

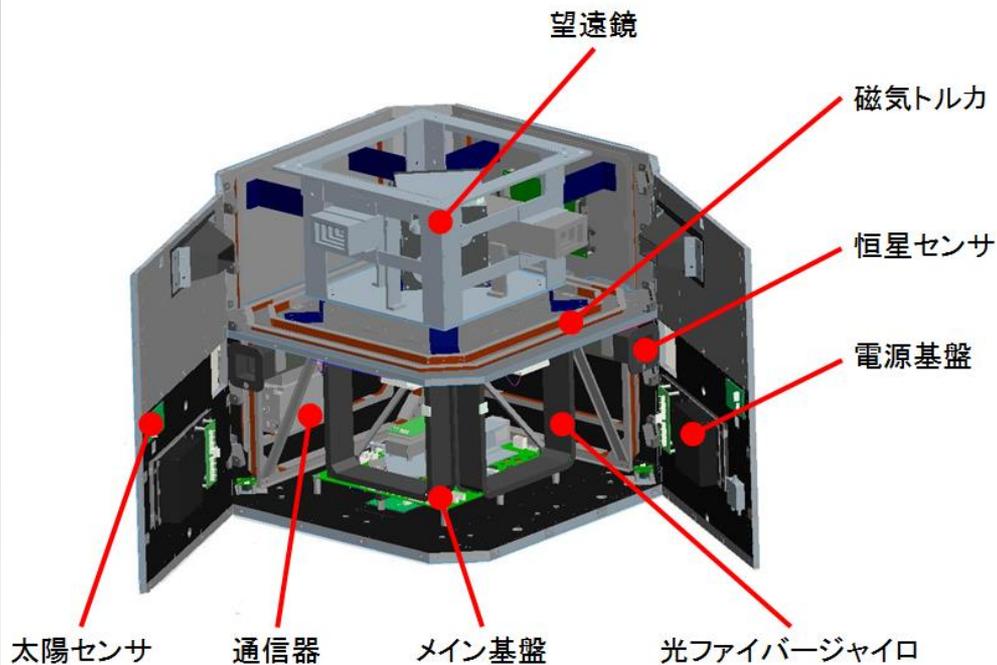
* ヒッパルコス衛星と同じレベルの精度で星の位置測定を行う

0.001秒角(びょうかく) (=360万分の1度角=0.00000028度角) !



がいかんず がいかん

Nano-JASMINE概観図(外観)



ないぶ

Nano-JASMINEの概観図(内部)

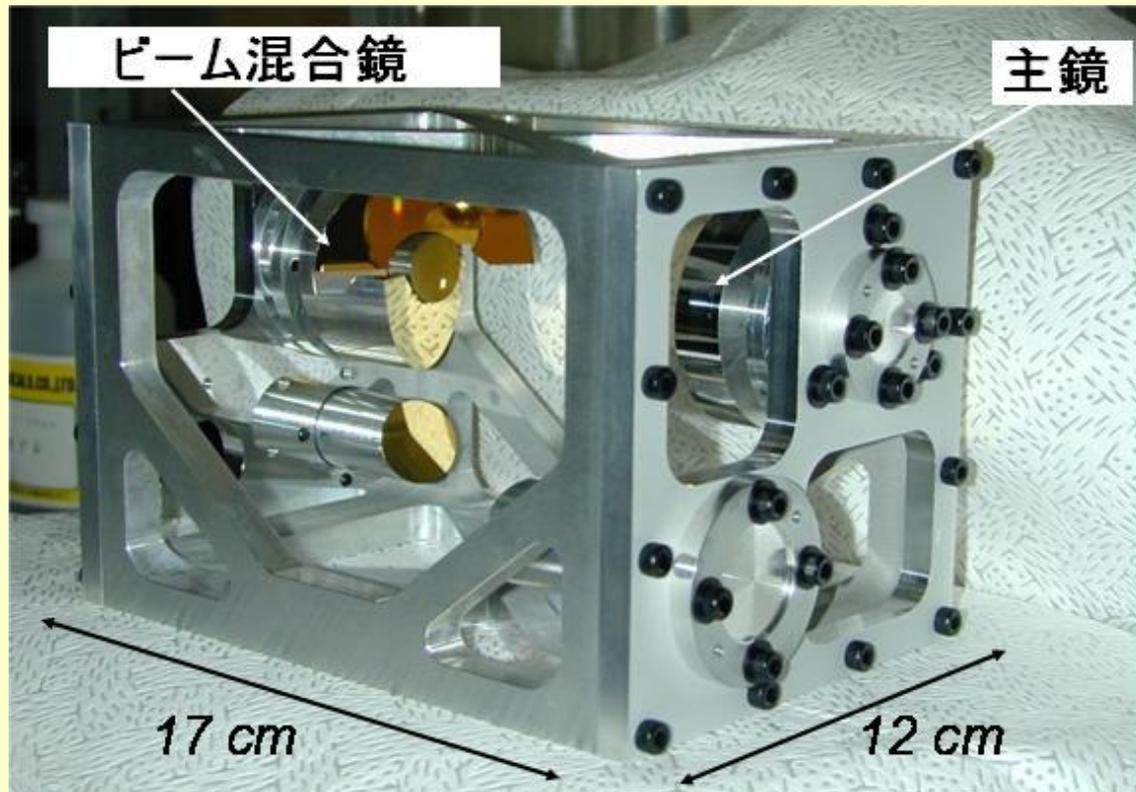
望遠鏡(ぼうえんきょう)

リッチークレチアン式望遠鏡

主鏡(しゅきょう)5cm、

合成(ごうせい)焦点(しょうてん)距離(きょり)~167cm

全アルミ製(せい)、鏡面(きょうめん)に金蒸着(きんじょうちやく)



望遠鏡外観(12cm x 12cm x 17cm, 1.7kg)

Nano-JASMINEはどう観測するの？

ちきゅう しゅうかい きどう

軌道：地球周回軌道
(高度800km太陽同期軌道)

衛星スピン周期：100分

スピン軸方向：太陽から45度

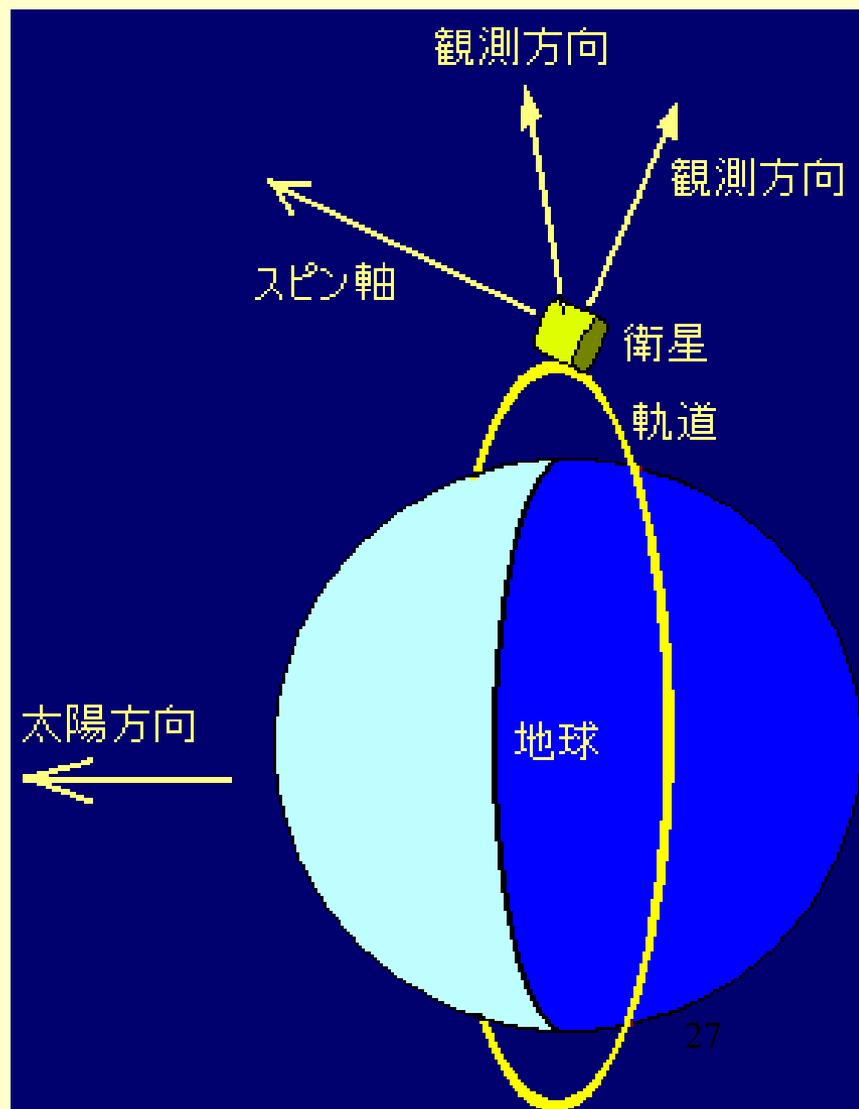
歳差周期：2ヶ月

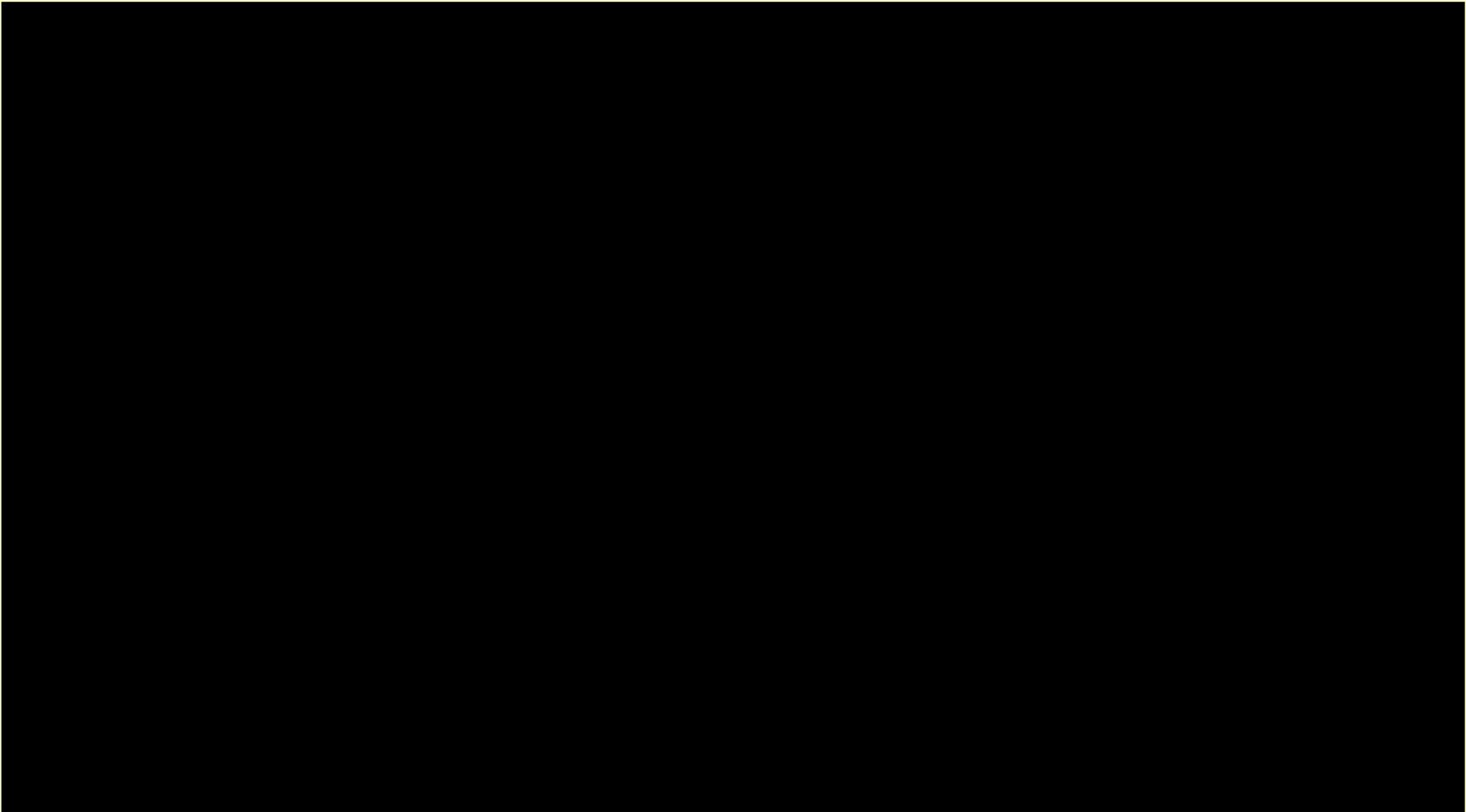
さいさ しゅうき * 同じ星を年間6回以上観測

99.5度離れた2方向同時観測

運用期間：約2年間

うんよう きかん





Nano-JASMINEは何がすごいのか？

○全天の約50万個の星を観測

○Gaiaが測定できない明るい星(3等星以内)は、
Nano-JASMINEのみが測定可能！

* 近くの大きな質量の星が誕生した場所が分かる
(星の“兄弟”が分かる→星がどのように誕生するのかの
謎解きが進む！)

* 星団をもみつけられる。

* 太陽系近くの

ダークマターの分布がわかる

(*)天の川の円盤上に

ダークマターがどれだけあるのか？

→ダークマターの正体にも関わる。

X粒子？

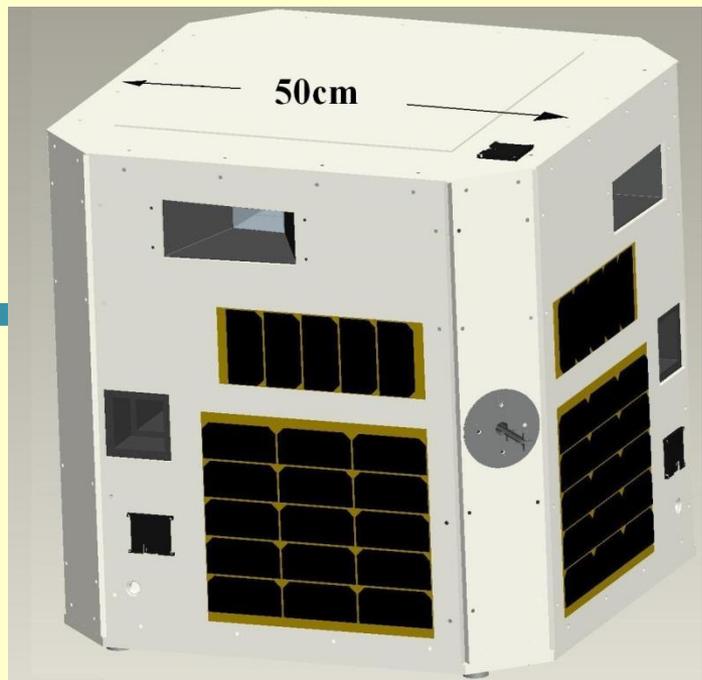
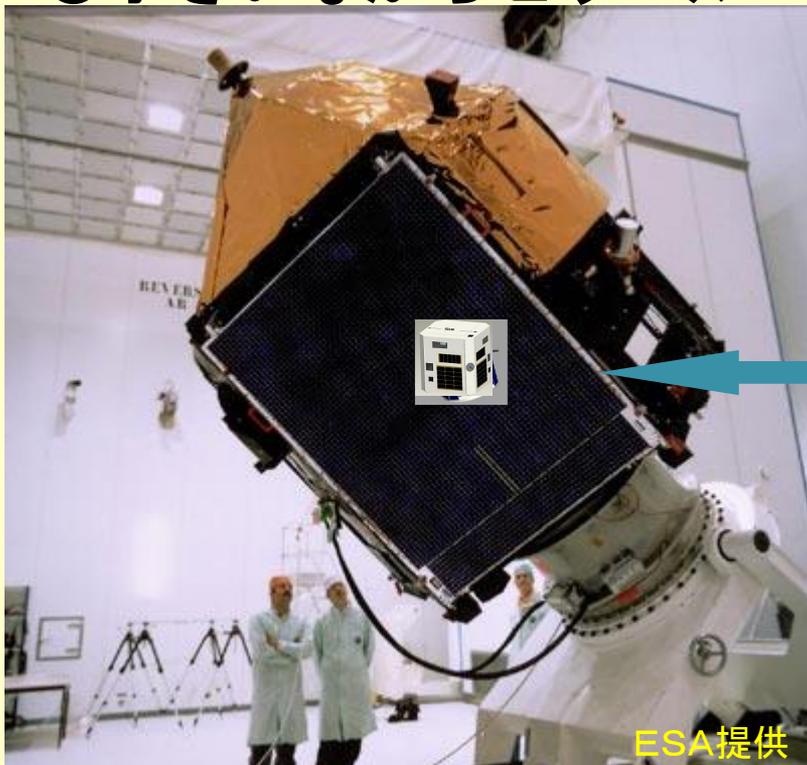


Nano-JASMINEは何がすごいのか？

超小型化への技術革新（ぎじゅつ かくしん）

- 検出器の性能向上、高精度姿勢制御装置の小型化など
- 安いコスト。
- 小さいながらヒッパルコス衛星と同じ程度の観測を行う！

おな ていど かんそく
* ~3ミリ秒角



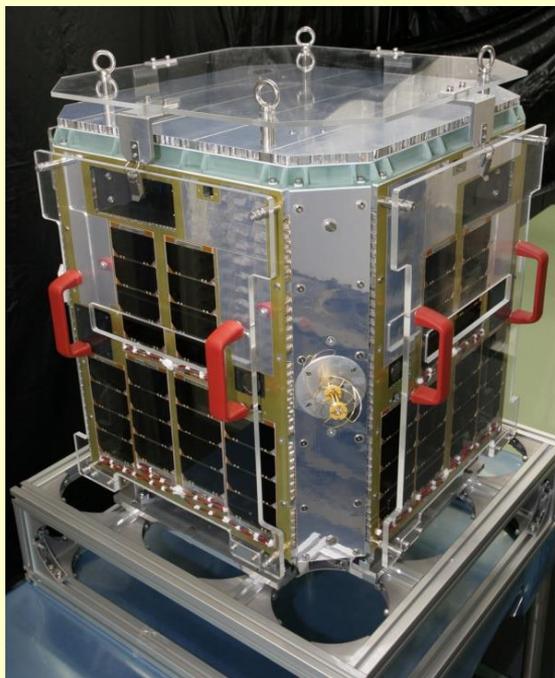
ヒッパルコス衛星 重量1.4トン

Nano-JASMINE衛星 重量3³1kg

組み立て(くみたて)が完成(かんせい)した
Nano-JASMINE衛星のフライトモデル

2010年10月

(打ちあげる実際(じっさい)の衛星(えいせい))



おお がくせい だいがくせい だいがくいんせい せいさく しけん さんか
* 多くの学生さん(大学生、大学院生)が製作、試験に参加

打ち上げについて

1. 従来、ACS社(ウクライナ政府とブラジル政府によるbinational company)

との契約:ウクライナのロケット+ブラジルの射場 :

当初は、2011年8月に打ち上げ予定

(予算不足による射場の建設遅れで、3度も打ち上げ延期)

=>

そしてウクライナの政治情勢の不安定化(2014年2月)、

その後、ACS社が事実上の倒産。

2. ガイア(Gaia)チームの支援によりESAによる打ち上げ:

* 当初は、2017年末~2018年初めにピギーバックで打ち上げ予定であったが、ESAの事情で中止。

3. 海外の小型ロケット会社による打ち上げにむけて交渉、調整を開始したが無理となった。



打ち上げは残念ながらできなかったが、検討、開発で多くの業績、成果を理学側、工学側であげることができた。理学側は衛星開発の未経験者ばかりだったが、工学側と一緒に開発に加わり、大変良い経験ができた。

* 卒業論文、修論等で多数の若手教育にも貢献できた。

* **ヨーロッパのGaiaのデータ解析チームとの密な関係の構築。**

→JASMINEへの強いサポート、実際、データ解析システム開発への参加につながった。

そして.....

Nano-JASMINE衛星の打上げ実機(FM)

→奥州宇宙遊学館に展示

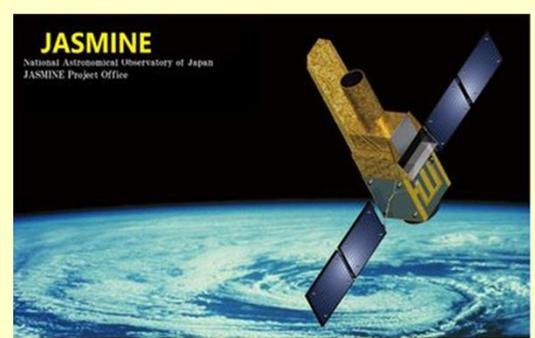
実機とほぼ同等の試験機(EM)

→岐阜かかみがはら航空宇宙博物館に展示

**Nano-JASMINE衛星は、今後は
広報普及で活かしていただくこと
になりました！！**



★JASMINE (ジャスミン) について



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)
せきがいせん

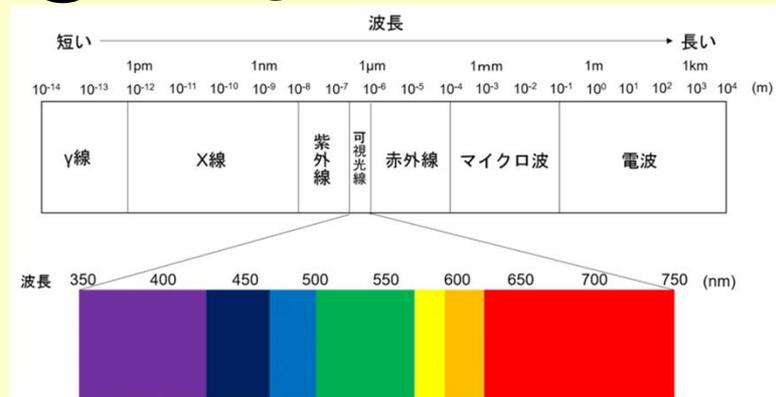
★ガイアで見えない、天の川銀河の中心を
ターゲットにする！



赤外線による観測

(波長 (はちょう) : 1.0 ~ 1.6 ミクロン)

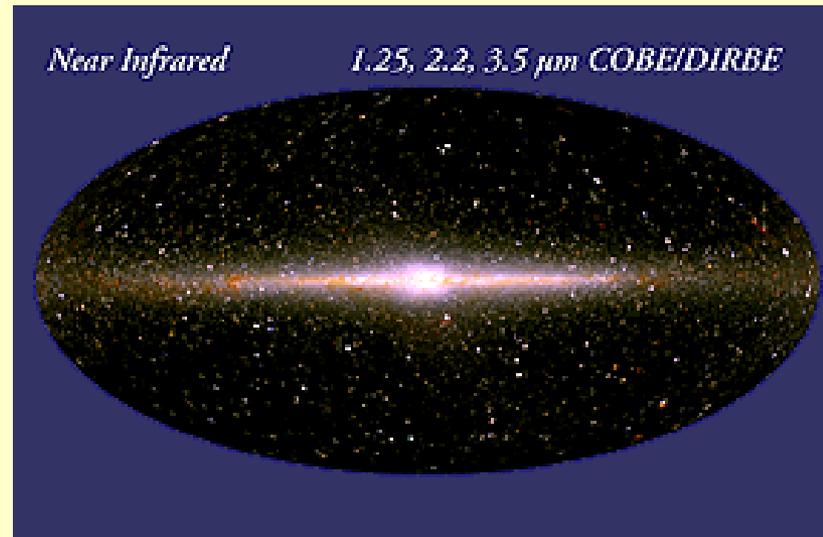
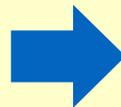
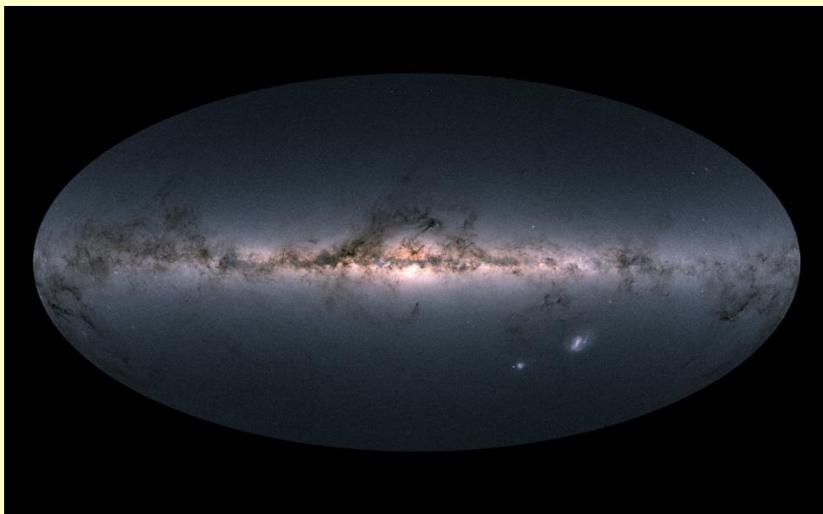
星自体の動きを測定するには 可視光 (かしこう) から 近赤外線 (きんせきがいせん) がちょうど良い



可視光による観測

ちり おお
(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



JASMINEミッション



うちゅう かがく けんきゅうしょ こうぼうがた 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S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。



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(2022年12月改訂)では
2028年为目标となっている。

イプシロンSロケットでの打ち上げ(内之浦)

JASMINE衛星！



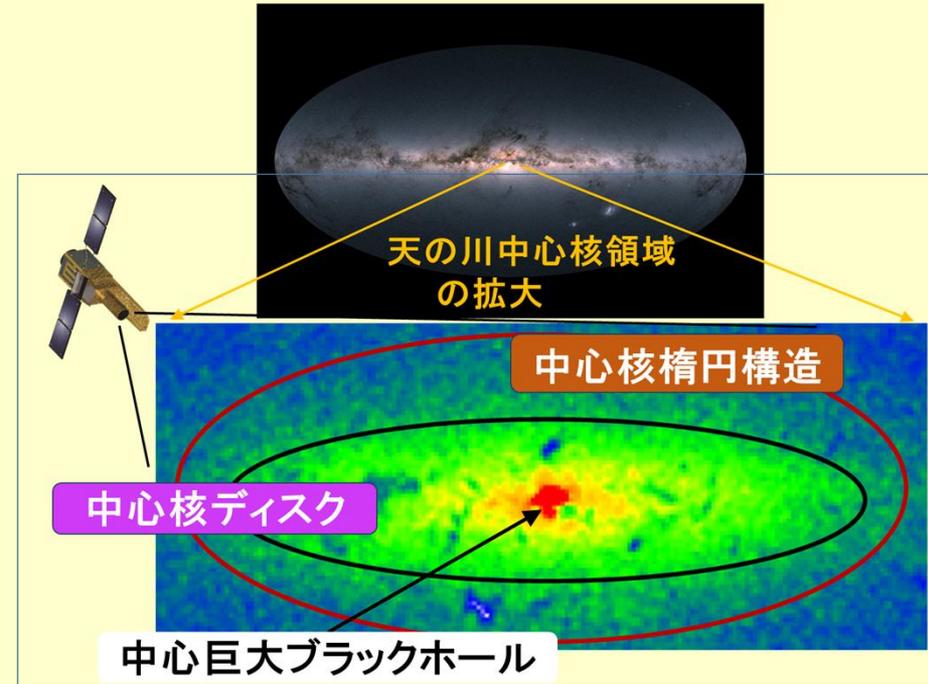
0.000025秒角 (=1億4千万分の1度角
=0.00000000069度角)クラスの精度！！

* 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

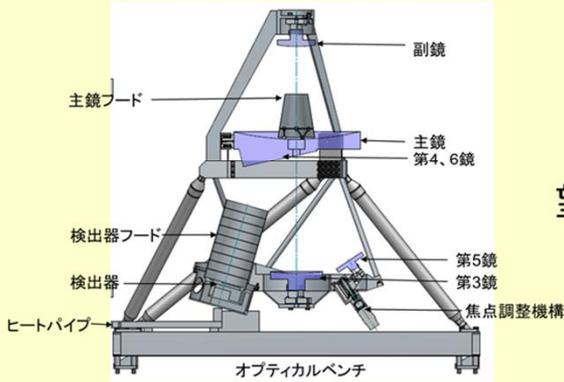
赤外線による観測

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

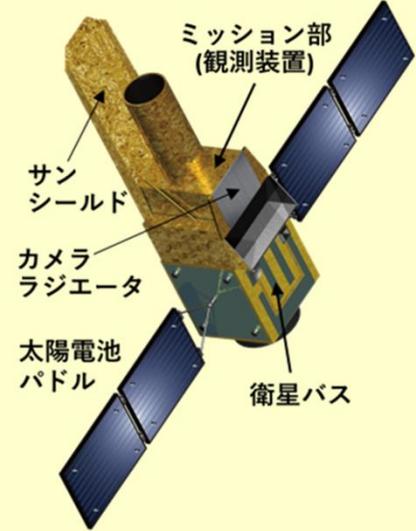
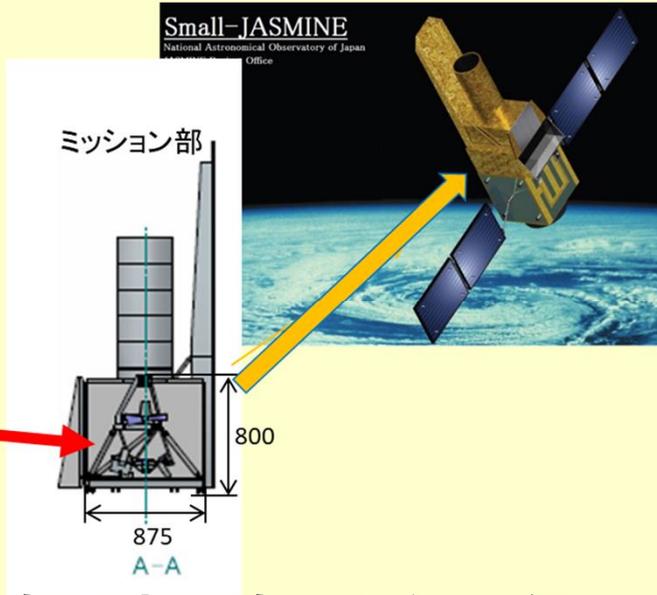
(塵(ちり)に覆(おお)われて
可視光では観測しにくいところ)



JASMINEはどんな観測装置(そうち)なのか？



望遠鏡



ぼうえんきょう かがみ ちよつけい

望遠鏡の鏡の直径(もっとも大きいもの)主口径:36cm程度



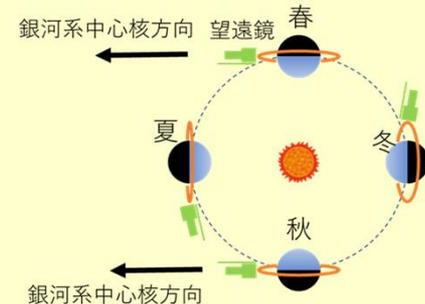
赤外線カメラ:地上での天文観測用に開発された高性能(こうせい)のう)な国産(こくさん)カメラを宇宙でも使えるように開発中(かいはつちゅう)。

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

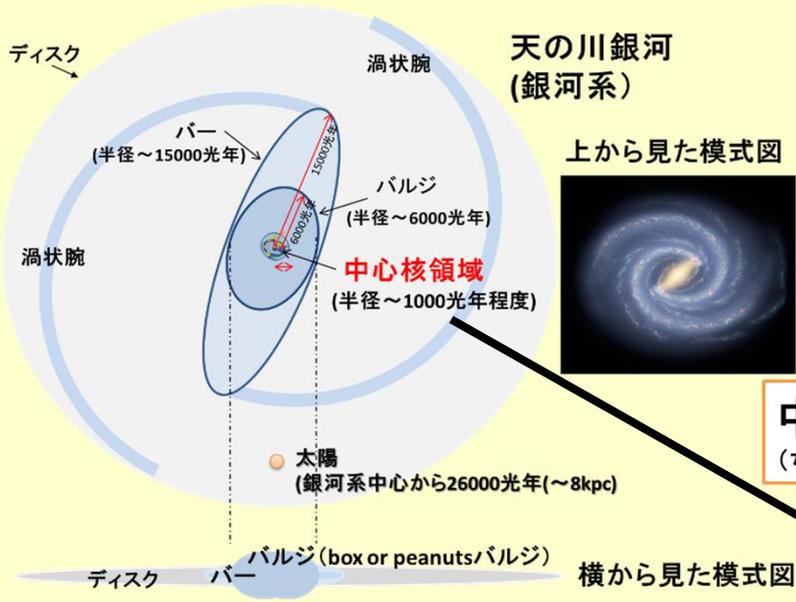


★JASMINEで解き明かす様々な謎

とあさまざまなど

ちゅうしんかくりょういき

天の川銀河の中心核領域の星の距離と運動を観測



天の川銀河の中心核領域 (想像図)

中心核楕円構造 (ちゅうしんかくでんこうぞう)

中心核ディスク

CMZ

ラ型変光星

Arches

Quintuplet

超巨大ブラックホール (SgrA*)

中心分子雲帯 (CMZ)

星団 (せいだん)

中心核ディスク半径 ~600光年

何が分かるの？

★中心核ディスクの年齢

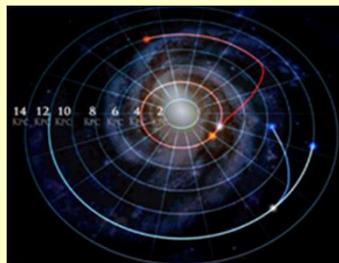


バー構造の形成時期



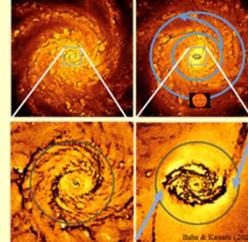
太陽系の移動解明

内部から外側に
移動を開始 (!?)



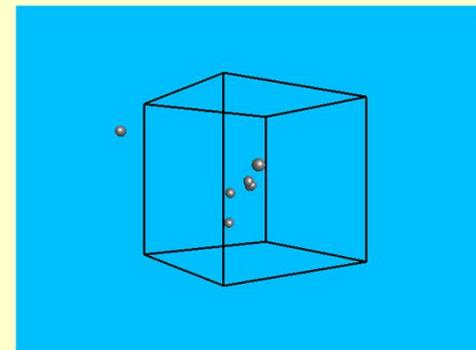
惑星形成
に影響!?

気候変動?
生命進化?
人類誕生?



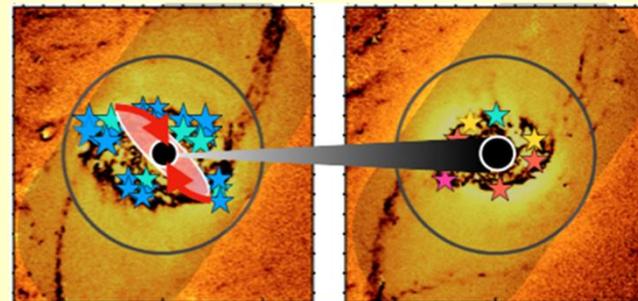
★100億年以上前の天の川銀河誕生時の様子(ようす)

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**の探査(たんさ)

○中心での**星団(せいだん)**の探査(たんさ)

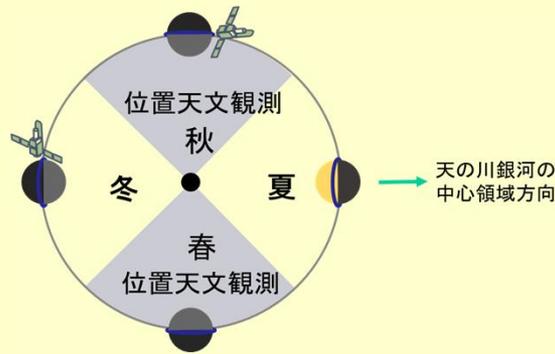
○系外惑星探査(けいがい わくせい たんさ)

○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。。。

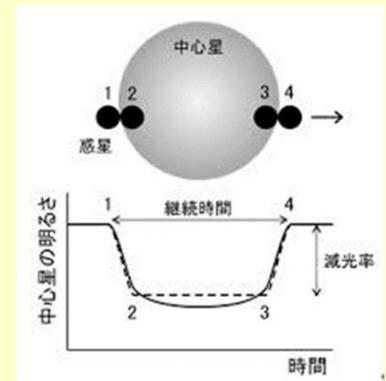
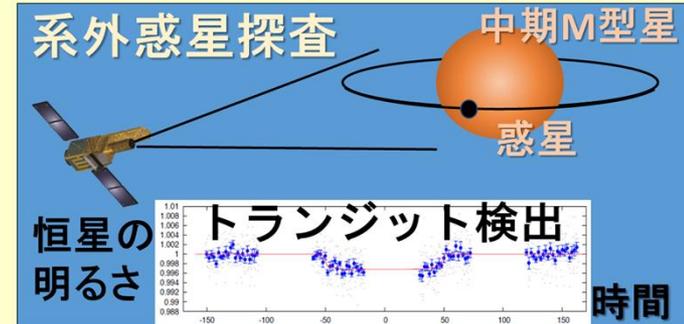
★ジャスミンによって、生命が住んでいる可能性のある地球に似た惑星がみつかるかも！

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

ジャスミンへの応援を
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

