

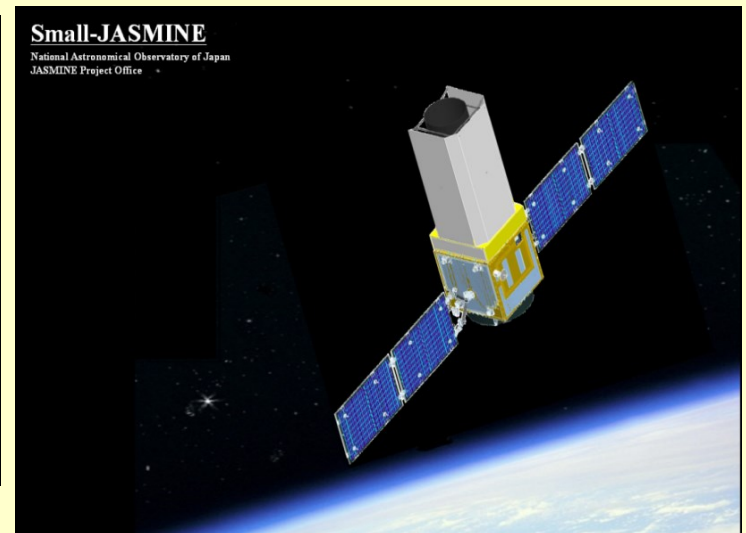
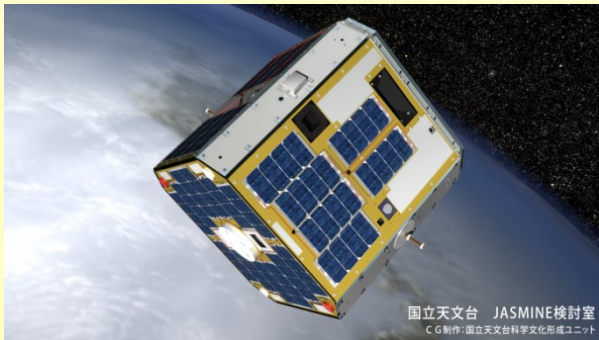
位置天文観測衛星計画について

～GaiaとJASMINE～

(JASMINE: 赤外線位置天文観測衛星)

---Japan Astrometry Satellite Mission for INfrared Exploration---

国立天文台JASMINE検討室 郷田直輝



§ 1 位置天文観測

★位置天文観測とは？：

星の天球面上の位置とその時間変化を測定。らせん運動

位置(方向)、年周楕円運動＋固有運動、

(場合によって) 特殊な動き

観測終了後カタログを作成。

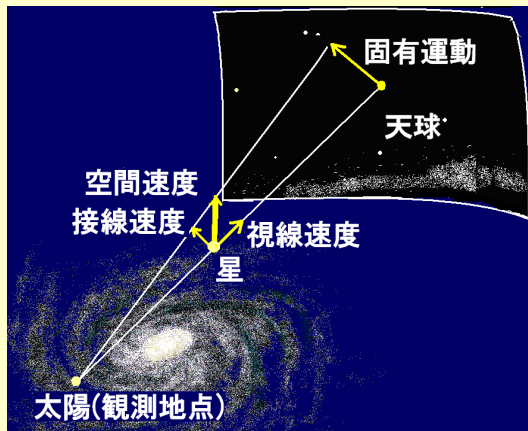
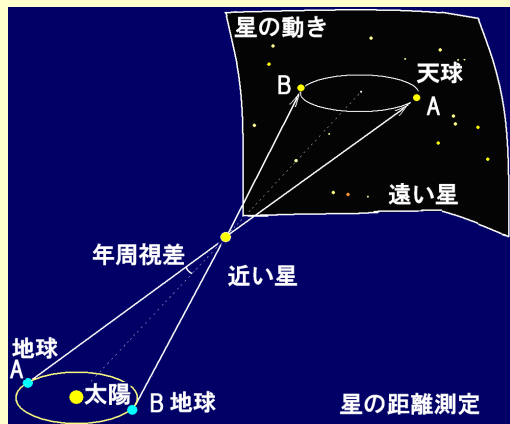
5つの位置天文パラメータ: $\alpha, \delta, \varpi, \mu_\alpha, \mu_\delta$

(赤緯、赤経、年周視差、(赤緯方向の)固有運動、(赤経方向の)固有運動)

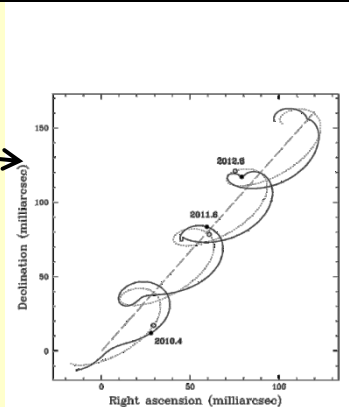
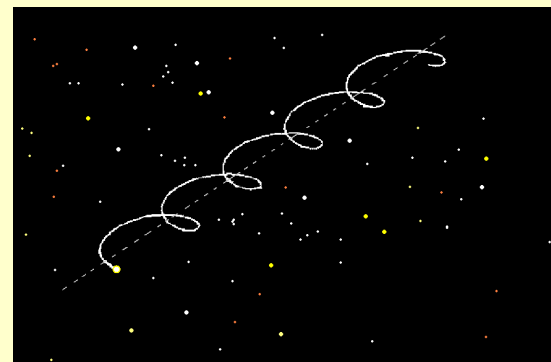
＋(らせん運動からの)ずれ

年周楕円運動の長半径
(年周視差) $\Rightarrow$ 距離

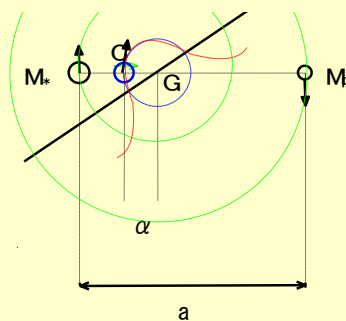
固有運動＋距離 $\Rightarrow$ 接線速度



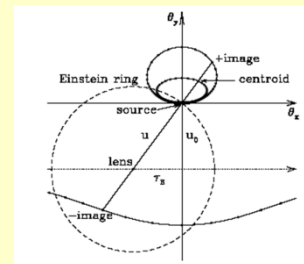
星の重要な基本情報



惑星系、連星系、
重力レンズ効果
など



連星系(惑星系)



重力レンズ効果

— 位置天文観測で分かる事 —

年周視差

距離

星の**本当の明るさ**、放出している**本当のエネルギー**
距離はしごのベース ⇒ 遠方天体の距離の推定

天球上の位置 + 距離

星の3次元空間
分布

天の川銀河構造の**サイズ**、**形状**、**構造要素**など
星団の**サイズ**、**形状**など

固有運動 + 距離

星の**接線速度**

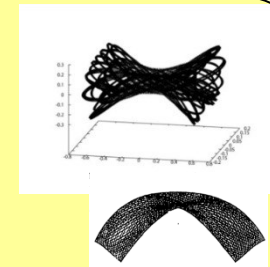
(視線速度に垂直方向)

(視線速度情報を加味して) **星や星団の3次元運動**

星の3次元
空間分布 + 運動分布

重力場や位相分布関数の情報

* (観測できていない) 星や**ダークマター**の
力学構造、軌道



星、星団、銀河系構造の形成、進化の痕跡

見えないものが見える！

特殊な運動 (らせん運動(年周楕円
+ 固有運動からのずれ)

**連星系の軌道、連星の物理情報、系外惑星探査と惑星
の物理情報、重力レンズ天体の物理情報**など

(可視光) 位置天文衛星観測の現状

1997年：ヒッパルコスカタログ～0.001秒角(1ミリ秒角: 1mas)

* 測定は1989年～1993年

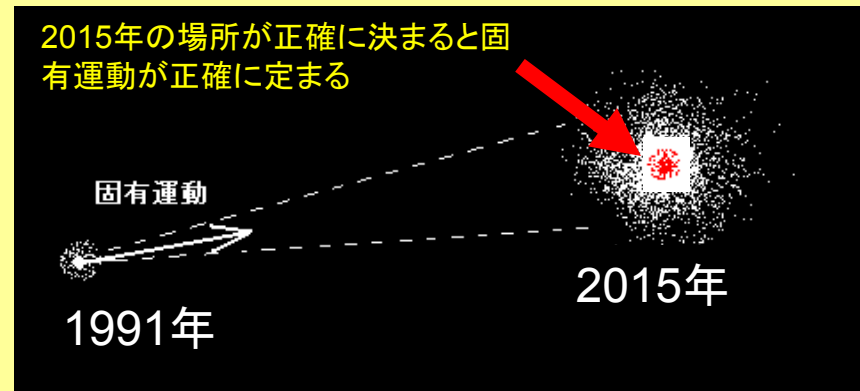


ヒッパルコスの測定から20年：位置精度は時間とともに精度悪化

ヒッパルコスと同程度の精度でもそろそろ新しいカタログが必要 → Nano-JASMINE

ヒッパルコスカタログと結びつけると固有運動の精度が1桁近く上がる！

(20年の経過が有利に働く)



ただし、1ミリ秒角の精度で正確に距離を測定できるのは、太陽系近くの100pc以内

10マイクロ秒角レベルの位置天文観測が欲しい！！

* 電波観測：VERA=>年周視差の記録 S269：189±8 μas

5.3kpc(1万7250光年)

◎年周視差から距離へ：単純に、 $1/\pi$ [as]が距離[pc]か？



年周視差の精度に依る。

高精度(約10%以内)ならば問題ないが、そうでない場合は、注意が必要！！

★いくつかのバイアス効果が入る

◎非線形変換によるバイアス

◎データ選択によるバイアス

$$f(\langle x \rangle) \neq \langle f(x) \rangle: (\langle D \rangle = \left\langle \frac{1}{\pi} \right\rangle \neq \frac{1}{\langle \pi \rangle})$$

(1) $\log x$ を使う場合、 $x > 0$ のみに限定

(2) 精度の良いものだけを使う

(3) 観測の限界：明るいものだけを使う(Malmquist bias)

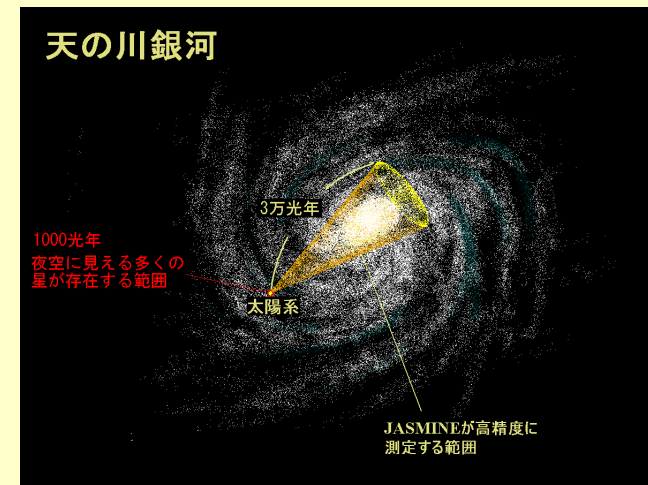
(4) 分布による非対称な重み(Lutz-Kelker bias)

年周視差の誤差は約10%以内が必要！

それ以上だとバイアス効果が入り距離評価が困難

バルジ(10kpc=>100 μ 秒角)

誤差10 μ 秒角必要



§ 2 今後の主な位置天文観測計画

★可視赤外線

衛星計画

○2020年までの打ち上げを予定、目標:

- * **Gaia**: 可視光(Gバンド:0.33~1.0ミクロン)、全天、
精度: $7\mu\text{as} \sim 300\mu\text{as}$ (星の等級や色、天球上での位置に依存)
 $6\text{mag} < G < 20\text{mag}$ (明るい星は測定できない)、約10億個の星

$$G = V - 0.0257 - 0.0924 \cdot (V-I_C) - 0.1623 \cdot (V-I_C)^2 + 0.0090 \cdot (V-I_C)^3$$

2013年11月17日~12月5日の期間中に打ち上げ予定→5~6年間の運用

最終カタログは2021年に公開予定(それまでに、打ち上げをしてから、22、28、40、65ヶ月後に中間リリースを予定)

- * **Nano-JASMINE**: zwバンド(0.6~1.0ミクロン)、全天、2014年12月打上予定

精度: (単独では) $\sim 3\text{mas}$ ($zw < 7.5\text{mag}$)、

(ヒッパルコスカタログと組み合わせると) 固有運動 $\sim 0.1\text{mas/y}$ 、年周視差は 0.75mas

データ取得: $zw < 9\text{mag}$ (明るい星の測定はGaiaの補足になる期待)、約50万個の星

◆ Gaia + Nano-JASMINE データをマージしたアーカイブを作成予定 (ヨーロッパで検討予算が採択された)

- * **小型JASMINE**: 近赤外線(Hwバンド:1.1~1.7ミクロン)、銀河系中心付近 ($3^\circ \times 3^\circ$) のサーベイ

+ 特定天体(CygX-1等)、精度: $10\mu\text{as} \sim 70\mu\text{as}$ 、

Hw $< 12\text{mag}$ (バルジ方向は下限が9mag、多方向は調整可)

約10万個の星、2018年度頃打上目標

○2020年以降の打ち上げを目標

- * (中型)JASMINE, WISH, WFIRST, Post-Gaia, ... (マージ、共同!?)

地上計画: TMT(IRIS): ブロードバンド (Y,Z,J,H,K)、狭視野 ($17'' \times 17''$)、相対精度: $30\mu\text{as}$

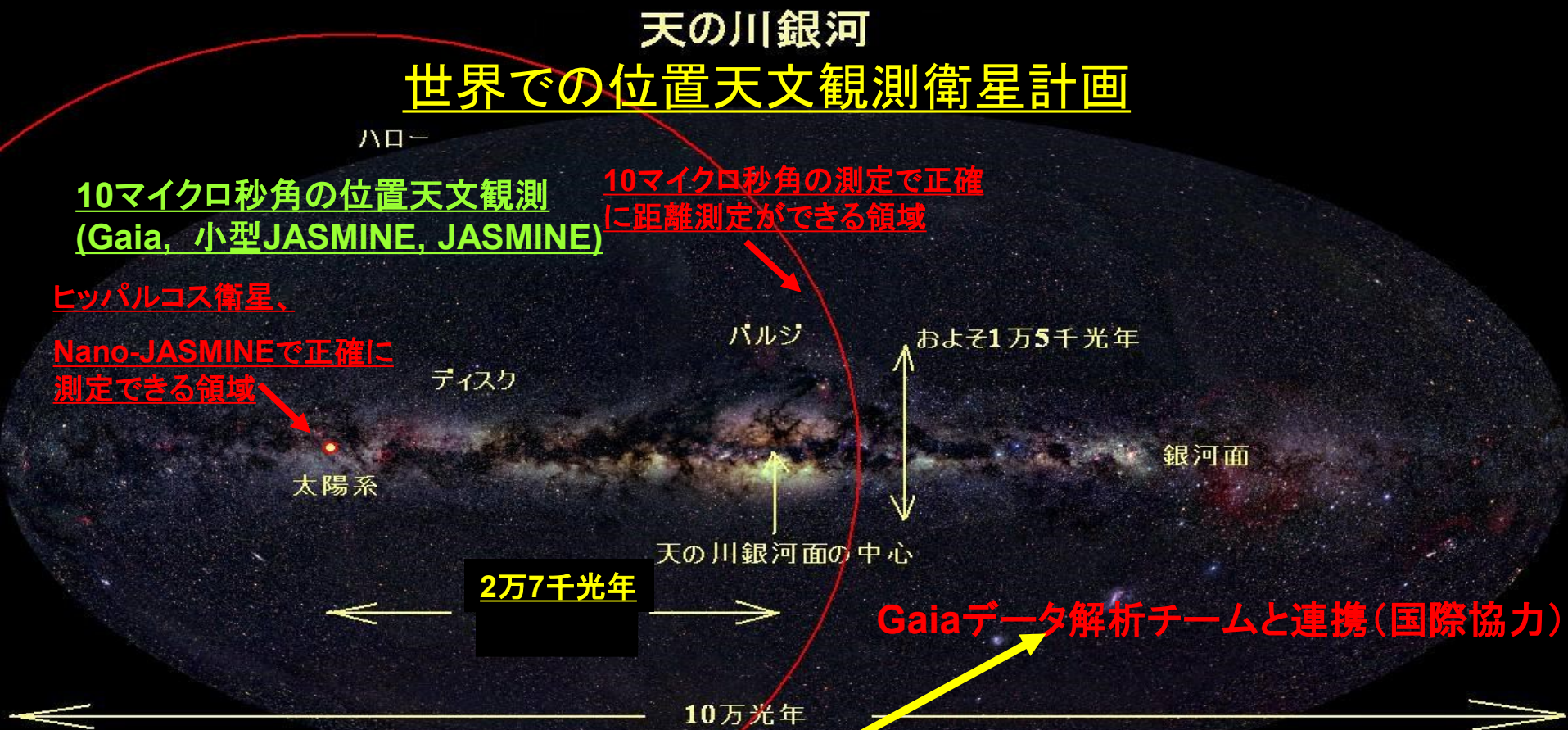
★電波

SKA: 1.6GHz OHメーザー源など、 $\sim 10\mu\text{as}$



★ 今後の位置天文観測衛星計画

- * 小型JASMINEは**世界で唯一の近赤外線位置天文衛星計画**(IAUのCommission8から推薦)
銀河系中心方向付近のバルジで高精度で測定できる星の数は可視光観測のGaiaが数個レベルに
対して、3桁程度多い。
- * 小型JASMINEは、同一天体をGaiaよりかなりの高頻度(90分毎に1回)で測定→**時間分解能が高い**



2014年：Nano-JASMINE(全天、zwバンド、精度はヒッパルコス程度:~3mas)

2013年：Gaia (ガイア(ESA)：ヨーロッパの全天可視光位置天文観測衛星、10~300 μ as)

2015年(cancel)：JMAPS(USNO: 全天、Iバンドサーベイ、精度はヒッパルコス程度：1mas) → 検討協力

2017年頃：小型JASMINE(赤外線観測：銀河系中心付近のバルジ方向+特定天体方向、10~70 μ as)

2020年代：(中型) JASMINE(赤外線観測：バルジ全域方向、10 μ as)

§ 3 Gaiaの概要

ESAの計画

- * 2013年11月17日～12月5日の期間中に打上予定
- * 2021年に最終カタログ公開予定
- * 途中で何度か中間リリースも予定
(詳細は後述)



可視光で全天サーベイ(20等級までの10億個)

Gバンド(0.33-1.0ミクロン)、 $6\text{mag} < G < 20\text{mag}$

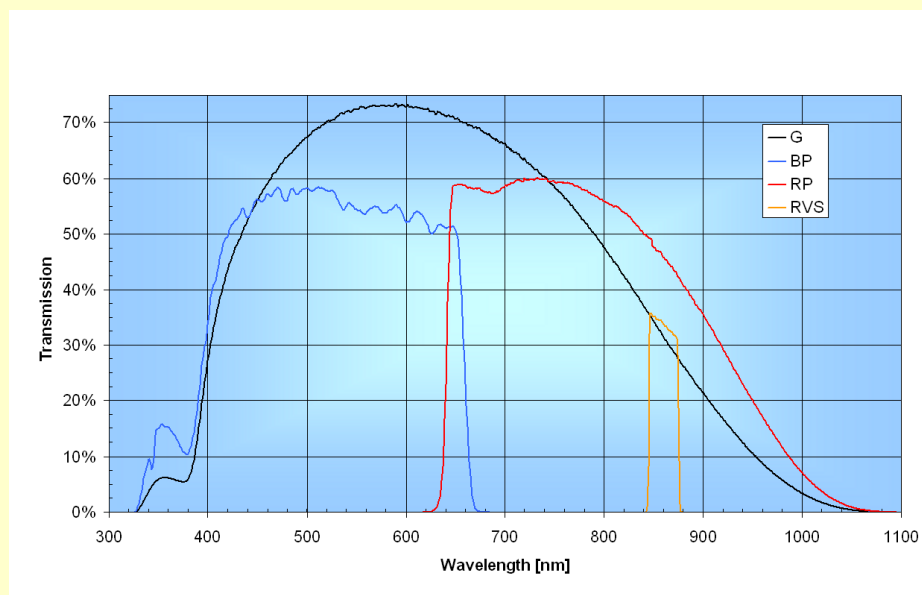
$$G = V - 0.0257 - 0.0924 \cdot (V-I_C) - 0.1623 \cdot (V-I_C)^2 + 0.0090 \cdot (V-I_C)^3 \quad (\text{fit errorは} 0.05\text{mag})$$

* Gaiaは、明るい星が
測定できない。



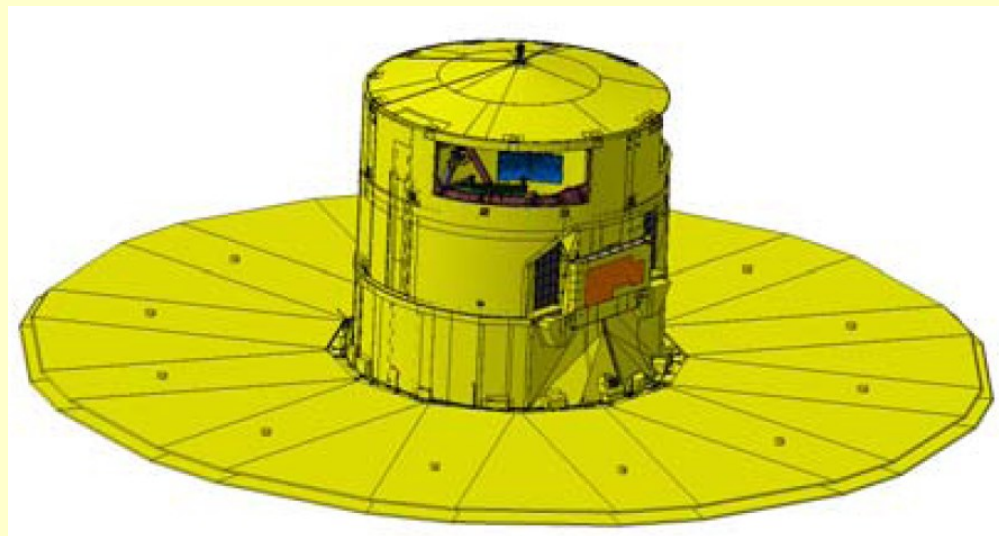
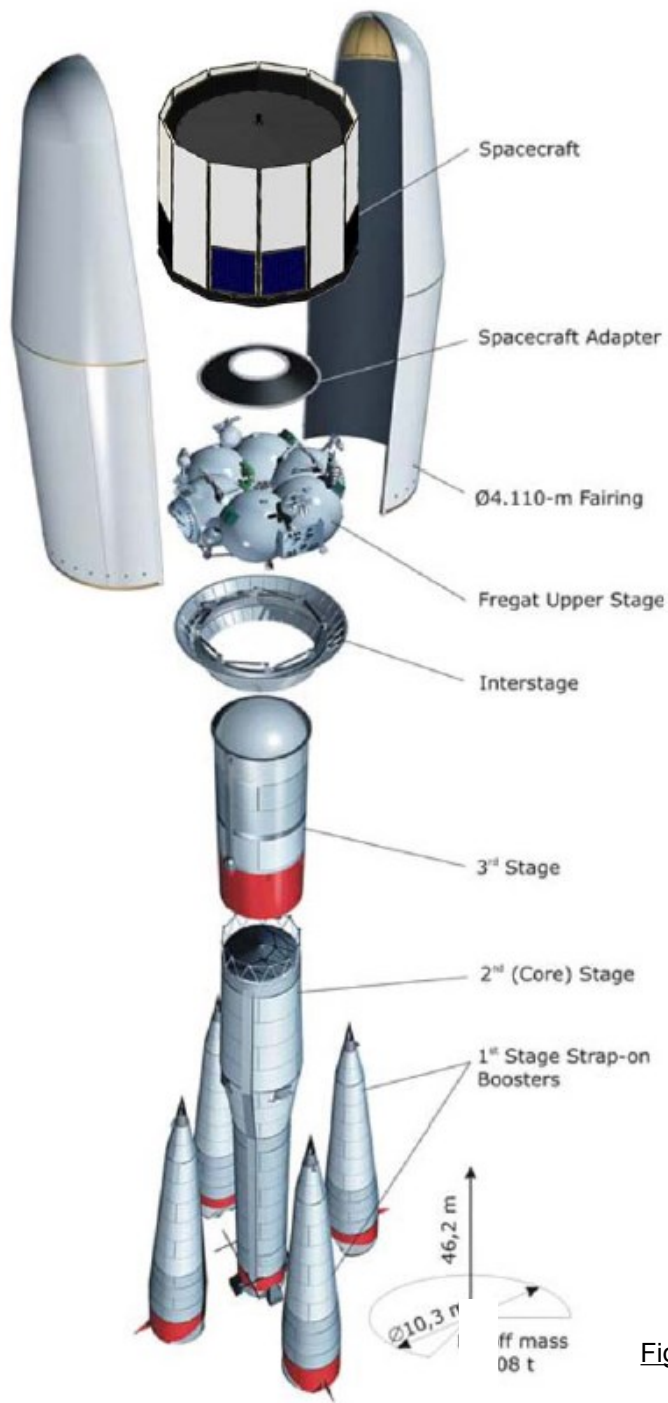
Nano-JASMINEが補完！

* 最終的に2つのカタログを
マージしたアーカイブを作成予定。
そのための検討費用がヨーロッパで
採択された。



Satellite and System

- ESA-only mission
 - Orbit: L2 Lissajous orbit
 - Lifetime: 5 years (1 year potential extension)
 - Downlink rate: 4 – 8 Mbps
-
- Sunshield diameter: 11 m
 - Total mass: 1700 kg
 - Instruments: 800 kg



Figures courtesy Arianespace and EADS-Astrium

Gaia launch and orbit

(credit: EADS Astrium)

Sun - Earth line

Lissajous orbit around L_2
 ~ 1 orbit correction per month

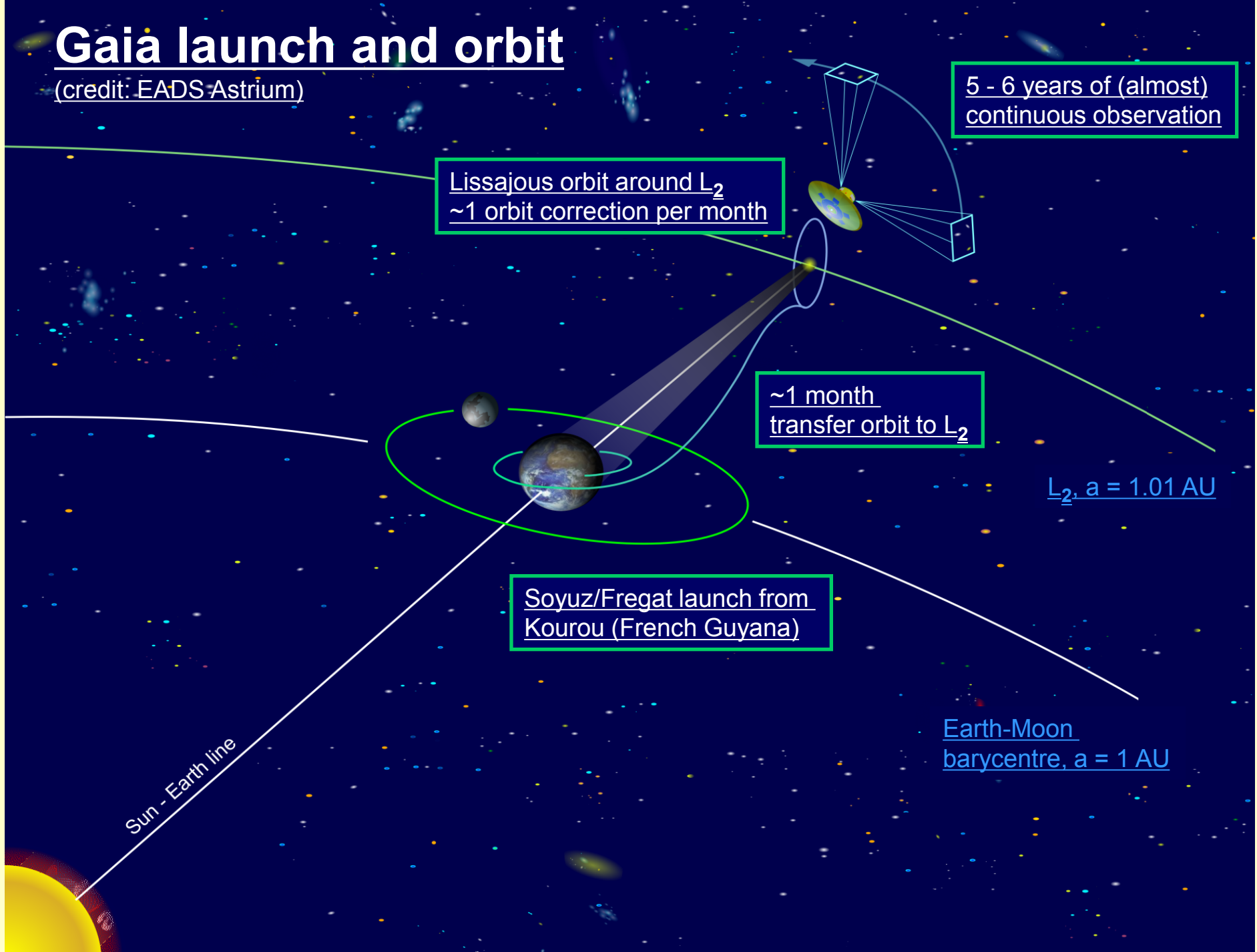
~ 1 month
transfer orbit to L_2

Soyuz/Fregat launch from
Kourou (French Guyana)

5 - 6 years of (almost)
continuous observation

L_2 , $a = 1.01$ AU

Earth-Moon
barycentre, $a = 1$ AU

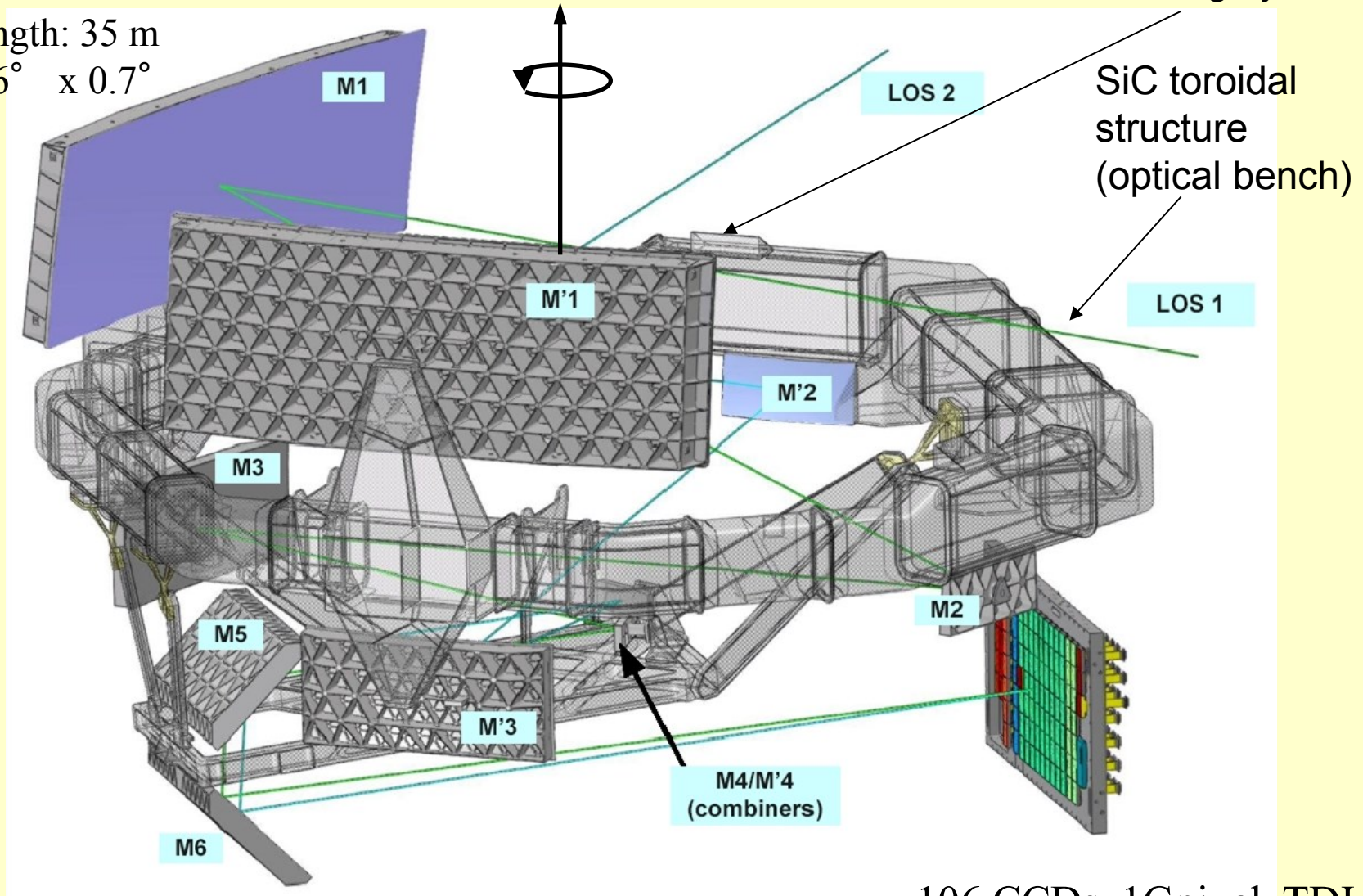


Gaia: telescope

2 SiC primary mirrors at 106.5°
Aperture: 1.45 m x 0.5 m
Focal length: 35 m
FOV: $1.6^\circ \times 0.7^\circ$

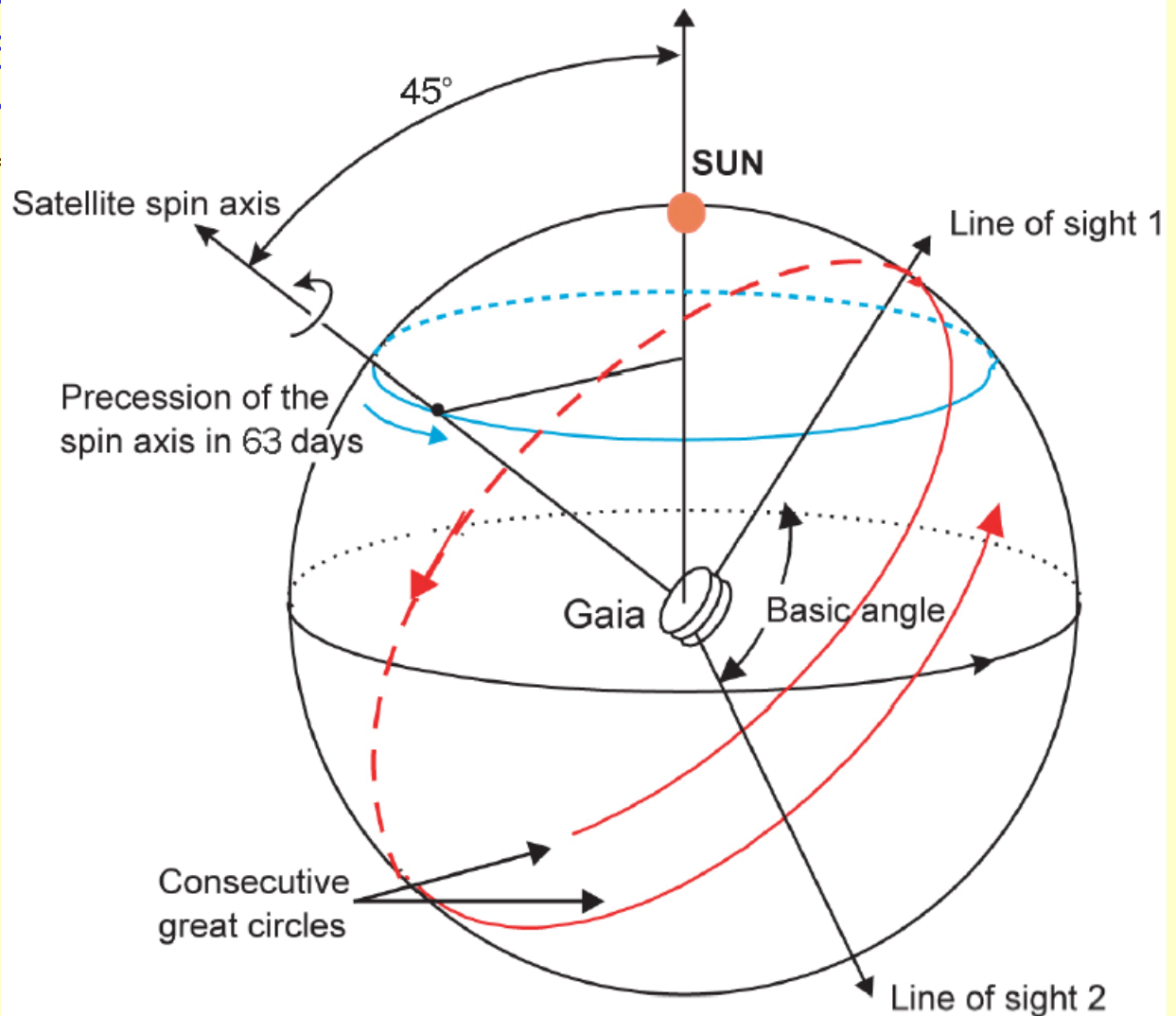
Rotation axis (6 hours)

Basic angle
monitoring system

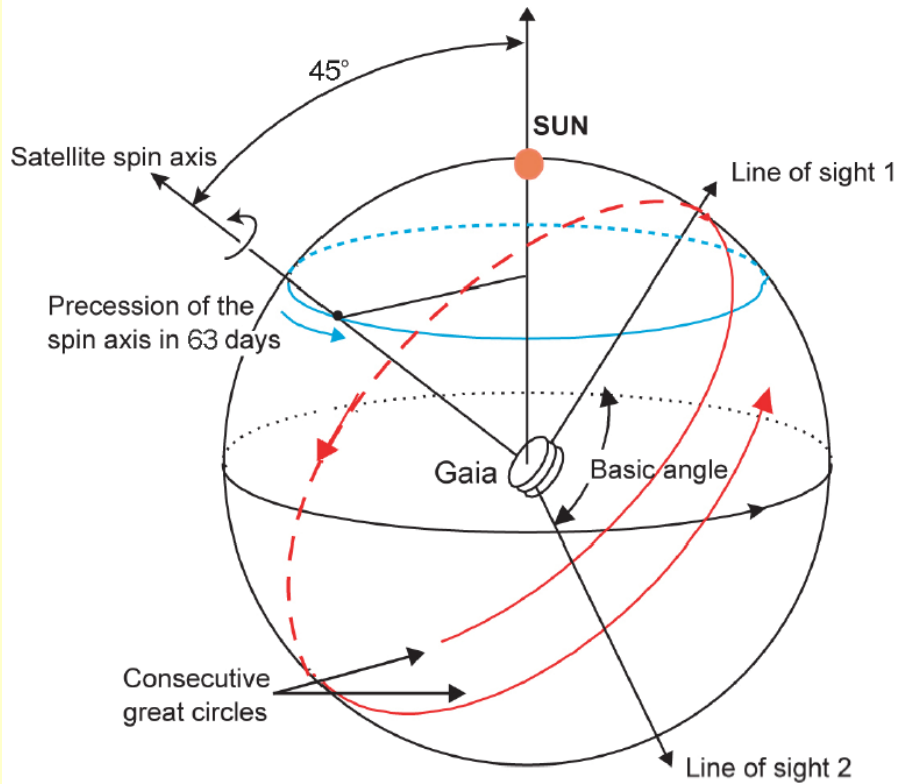


Gaia: scanning satellite

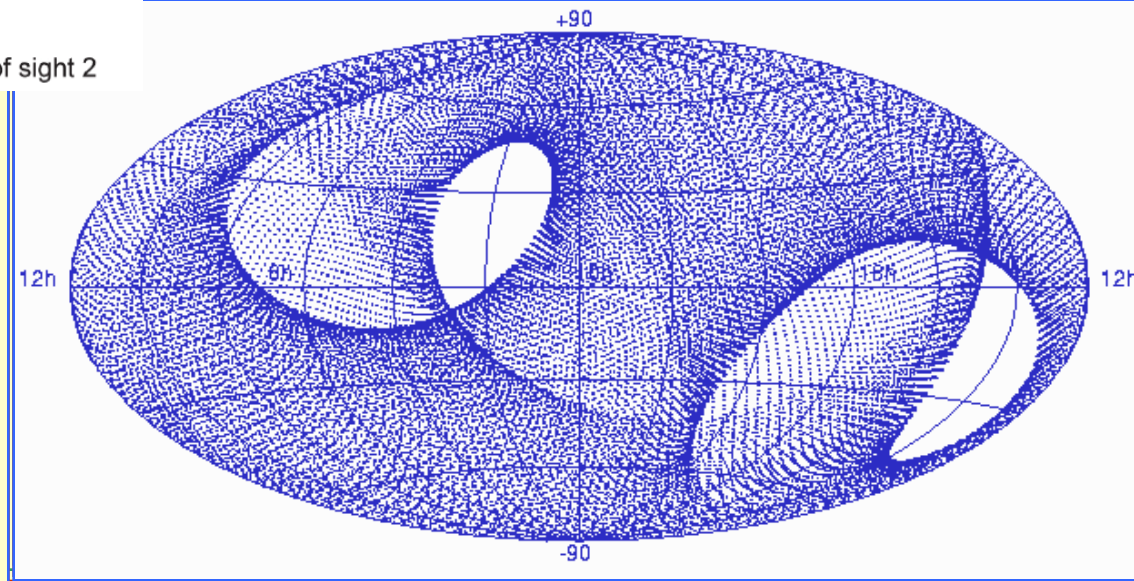
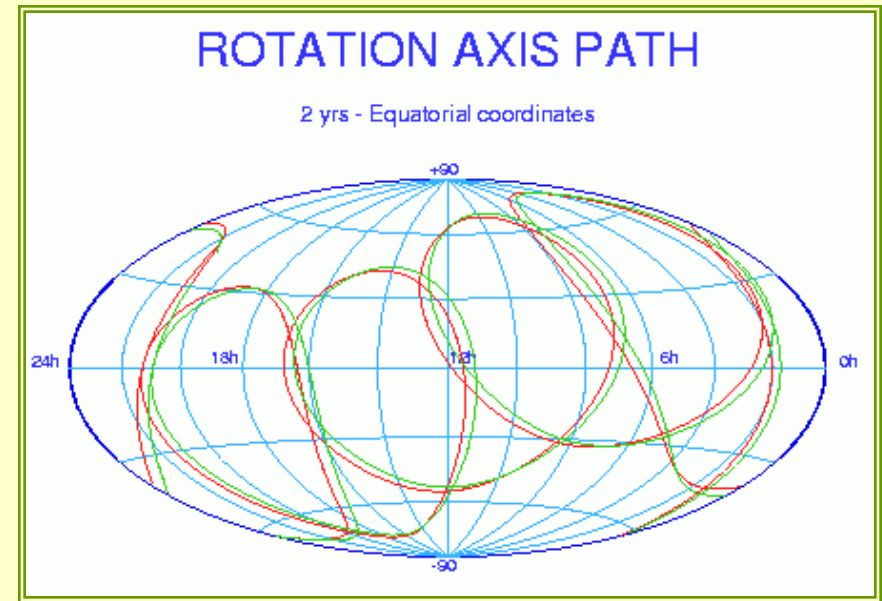
spin/Sun angle	45°
scan rate	60 "/s
period	60 h
precession	63 days
basic angle	54.7°



Gaia: scanning satellite

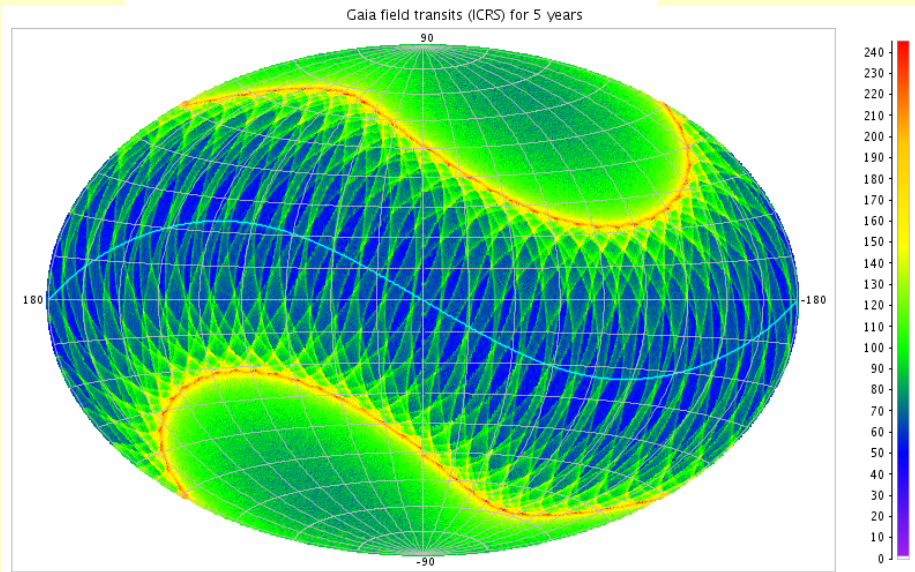


100 days

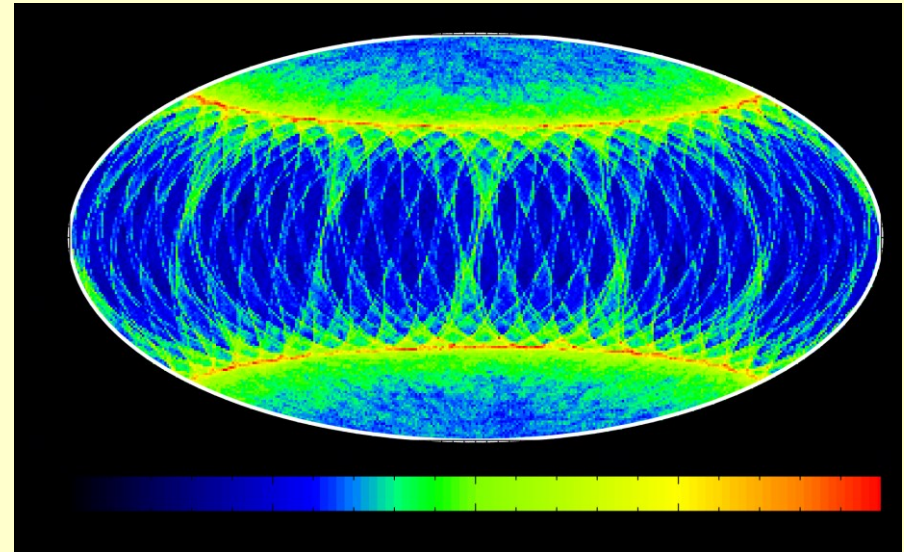


Gaia: observation distribution

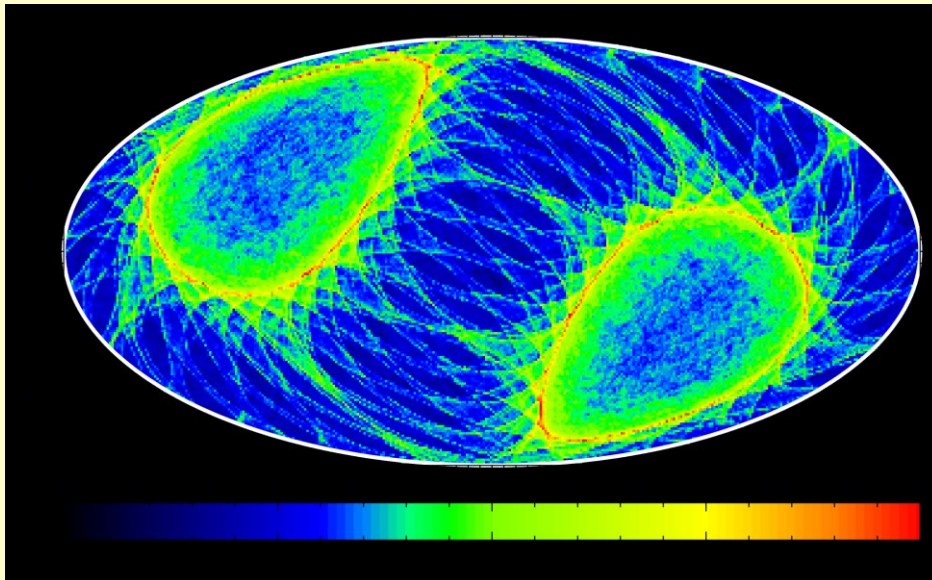
Equatorial projection



Ecliptic projection



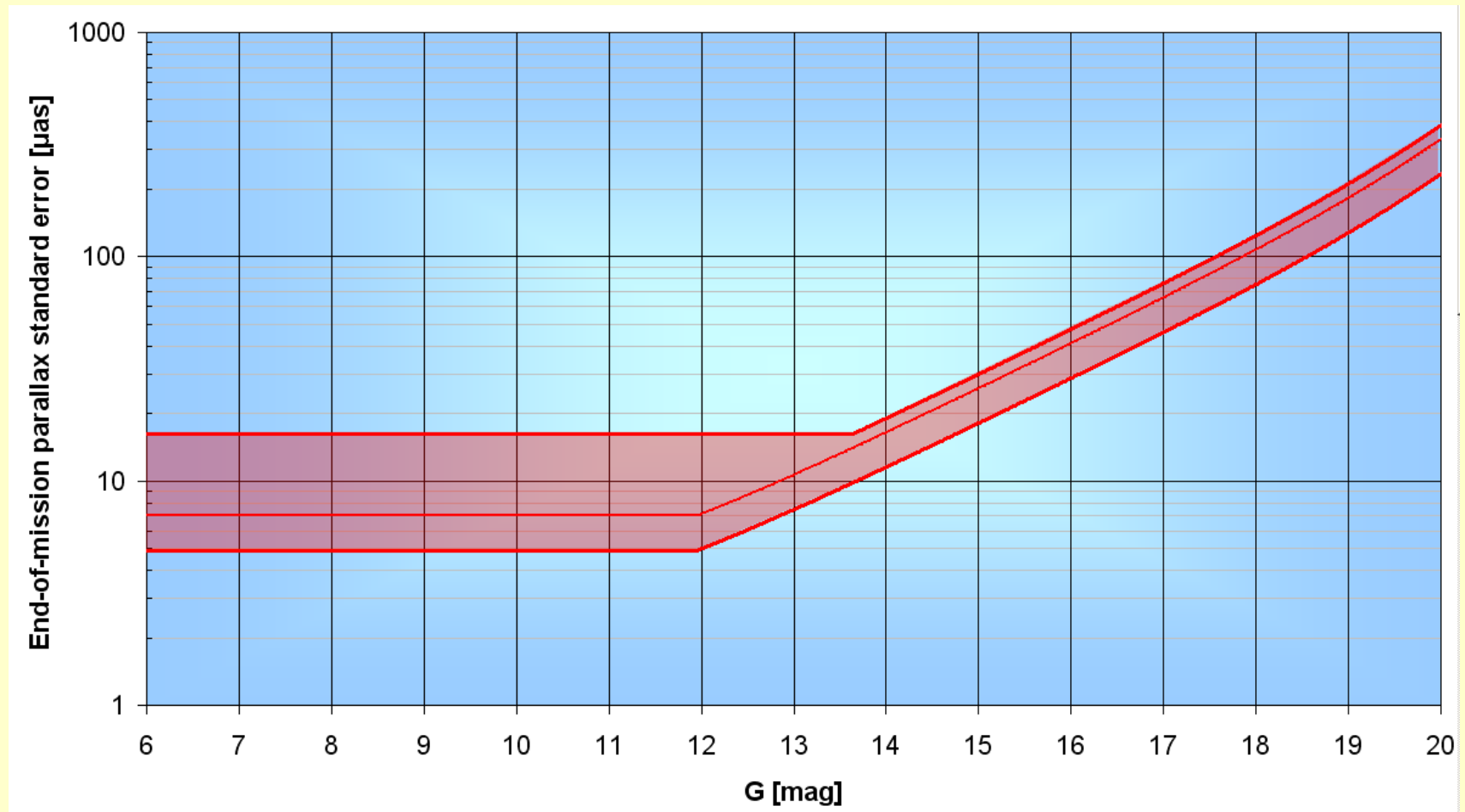
Galactic projection



sky average
= 83

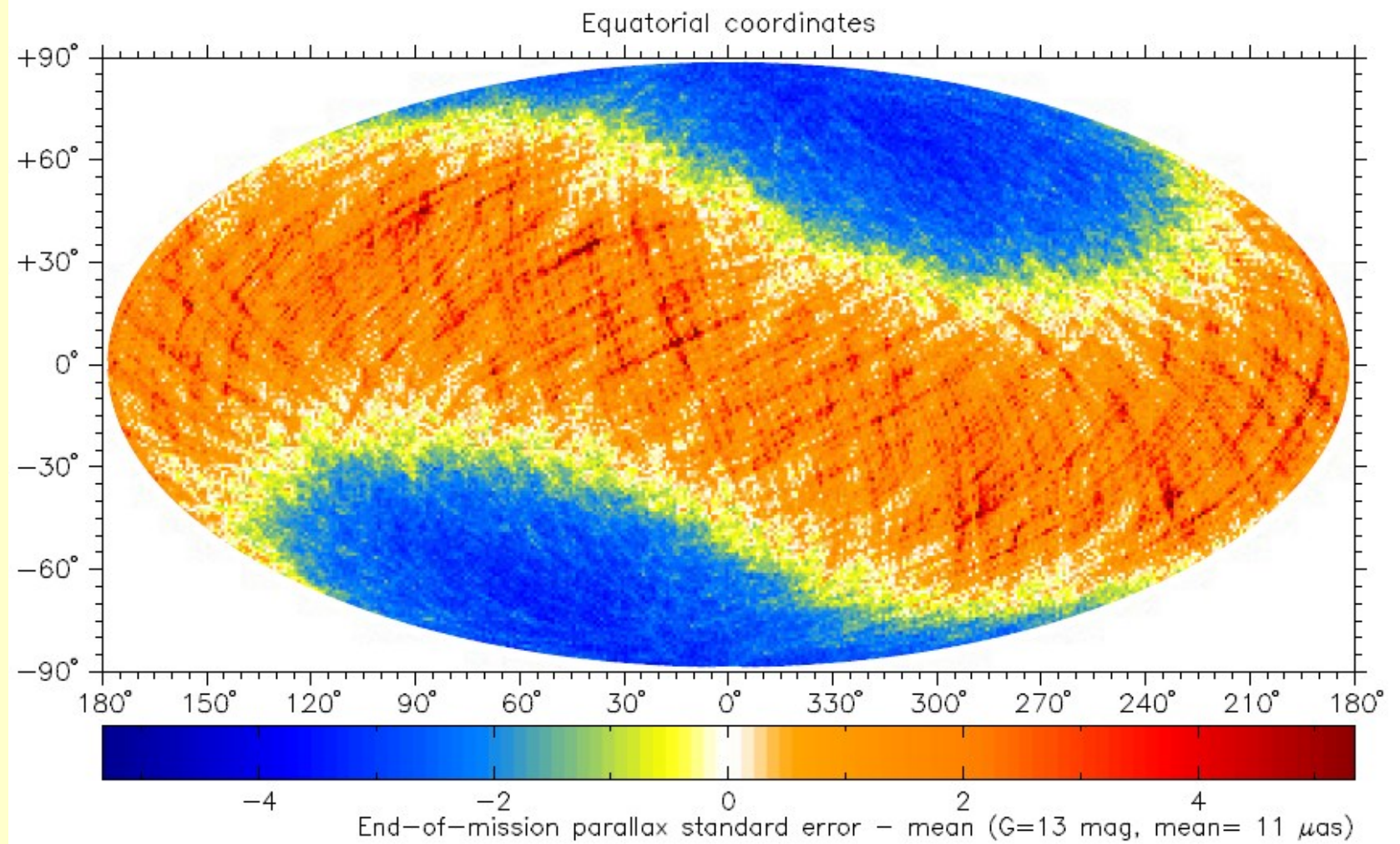
Gaia: expected astrometric accuracy

約5年間のミッション期間終了後の年周視差の最終精度



$$G = V - 0.0257 - 0.0924(V - I_C) - 0.1623(V - I_C)^2 + 0.0090(V - I_C)^3$$

The predicted errors vary over the sky... (∵ 場所により観測回数が異なる)¹⁵



Nicely consistent with our
“official” accuracy numbers

>1 – too few bright stars -
attitude errors ($\sim 20 \mu\text{as}$) larger
than photon-noise

Magnitude range	Number of stars	RSE (error) [μas]					RSE (norm-error) []				
		α	δ	ϖ	μ_{α^*}	μ_{δ}	α	δ	ϖ	μ_{α^*}	μ_{δ}
All	2256222	116.8	98.7	145.6	82.4	70.6	1.009	1.009	1.007	1.009	1.008
<13	18253	6.6	5.7	7.5	4.5	4.0	1.507	1.470	1.369	1.443	1.425
[13, 15)	70355	12.4	10.6	14.9	8.7	7.5	1.112	1.100	1.082	1.098	1.100
[15, 16)	88116	20.2	17.3	24.9	14.3	12.3	1.024	1.024	1.022	1.032	1.024
[16, 17)	151639	30.8	26.7	38.4	21.8	19.0	1.010	1.010	1.010	1.014	1.008
[17, 18)	272424	49.4	42.8	61.8	34.8	30.4	1.004	1.006	1.003	1.002	1.003
[18, 19)	489253	83.3	70.7	104.1	58.9	50.8	1.001	1.001	1.002	1.003	1.002
>19	1166182	167.9	140.0	207.6	118.5	100.2	1.001	1.000	1.000	1.001	1.000

★星のタイプ別、V等級別の精度例

	B1V	G2V	M6V
V-I _c [mag]	-0.22	0.75	3.85
Bright stars	5-14 μas (6 mag < V < 12 mag)	5-14 μas (6 mag < V < 12 mag)	5-14 μas (8 mag < V < 14 mag)
V = 15 mag	26 μas	24 μas	9 μas
V = 20 mag	330 μas	290 μas	100 μas

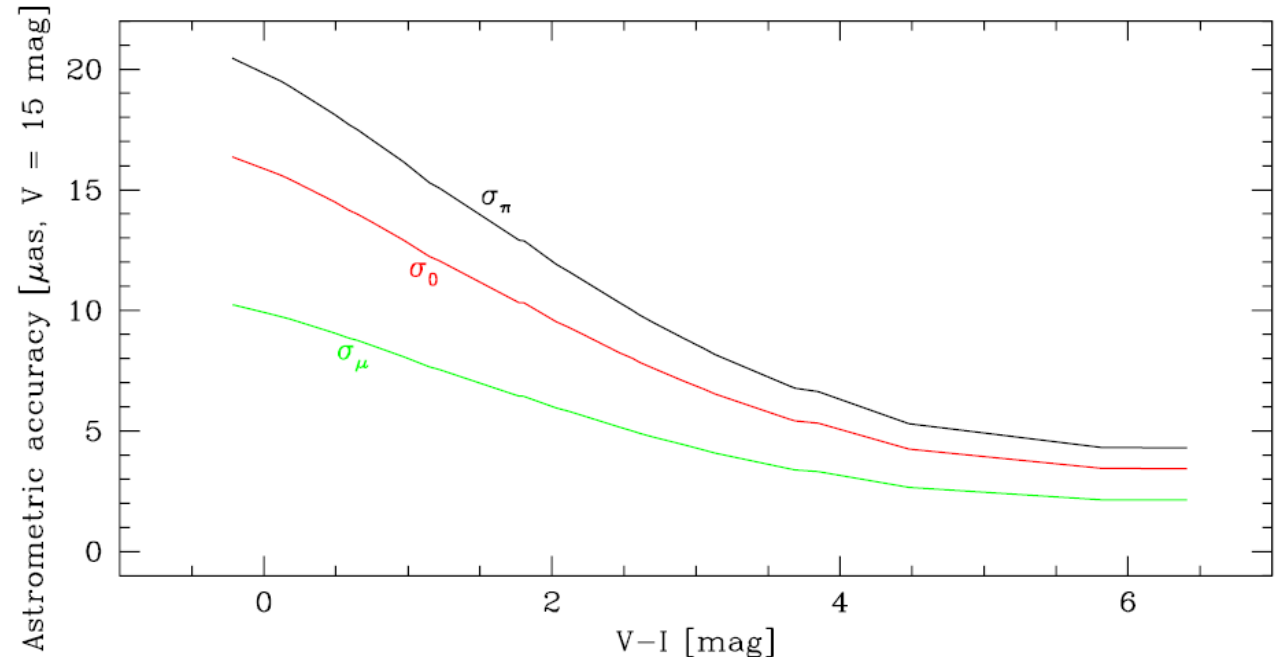
年周視差の精度評価式(全天での平均)

$$\sigma_n [\mu\text{as}] = (9.3 + 658.1 \cdot z + 4.568 \cdot z^2)^{1/2} \cdot [0.986 + (1 - 0.986) \cdot (V - I_c)],$$

$$z = \text{MAX}[10^{0.4 \cdot (12 - 15)}, 10^{0.4 \cdot (G - 15)}]$$

注意: 6<G<12は、7μasとしてある。
実際は、5-14μasの不定性(観測システムに依存)がある。

年周視差、位置、
固有運動の精度の
(V-I)依存性@V=15mag



★Gaiaカタログの特徴

◎位置天文観測

○観測される等級: $6 < G < 20$

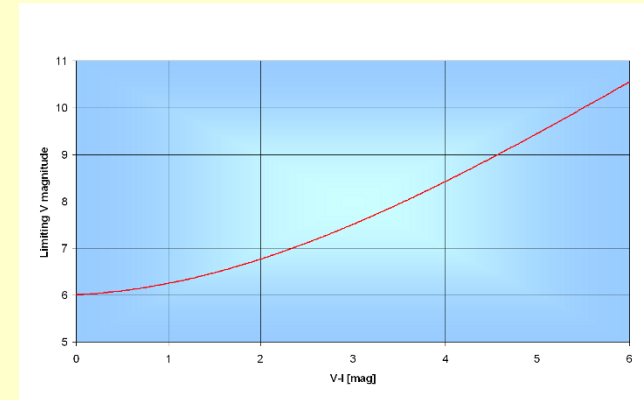
○測定される星の個数: $V < 10\text{mag}$: 0.34×10^6

$V < 15\text{mag}$: 26×10^6

$V < 18\text{mag}$: 250×10^6

$V < 20\text{mag}$: 1000×10^6 (高密度領域を除いてcomplete)

* 等級の下限



○測定される星の個数密度: 平均 $\sim 25,000$ 個/平方度
最大 $\sim 3 \times 10^6$ 個/平方度

○距離の精度について: 誤差1%以内 ~ 300 万個
2%以内 ~ 500 万個
5%以内 ~ 1000 万個
10%以内 ~ 3000 万個

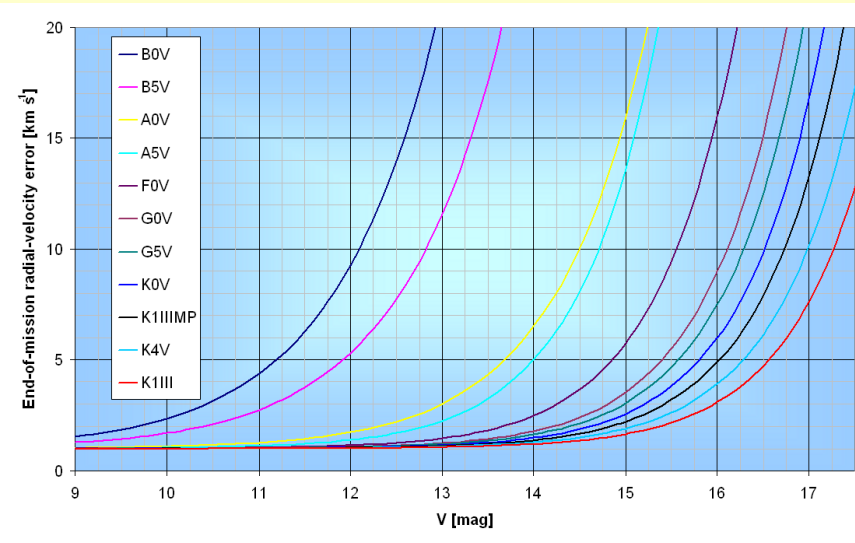
○接線速度の精度: 誤差0.5km/s以内 ~ 500 万個
1km/s以内 ~ 1000 万個
3km/s以内 ~ 2500 万個
5km/s以内 ~ 4000 万個
10km/s以内 ~ 6000 万個

★カタログの特徴(続き)

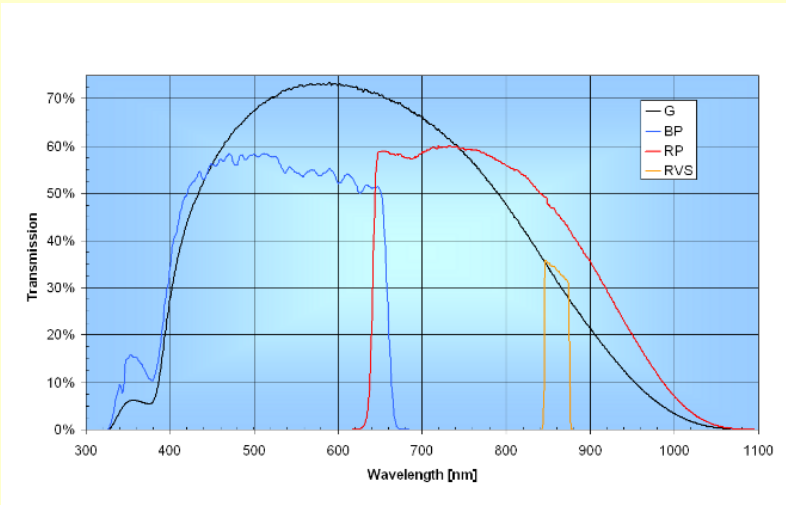
◎位置天文観測以外

○視線速度

Radial Velocity Spectrometer
R~11,500
波長: 847-874nm



○測光



Spectral type	V [mag]	Radial-velocity error [km s ⁻¹]
B1V	7	1
	12	9
G2V	13	1
	16.5	13
K1III-MP (metal-poor)	13.5	1
	17	13

ミッション終了後の測光の最終精度 (milli-magnitude)

G [mag]	B1V			G2V			M6V		
	G	BP	RP	G	BP	RP	G	BP	RP
6 - 13	1	4	4	1	4	4	1	4	4
14	1	4	4	1	4	4	1	5	4
15	1	4	5	1	4	4	1	6	4
16	1	4	5	1	5	5	1	9	4
17	2	5	7	2	5	5	2	20	5
18	2	7	14	2	9	8	2	49	5
19	2	13	34	2	18	18	2	120	8
20	3			3			3	301	

Broad-band: G-band(330-1050nm)
Low-resolution spectro-photometry
*Blue photometer: BP(330-680nm)
*Red photometer: RP(640-1050nm)

Schedule

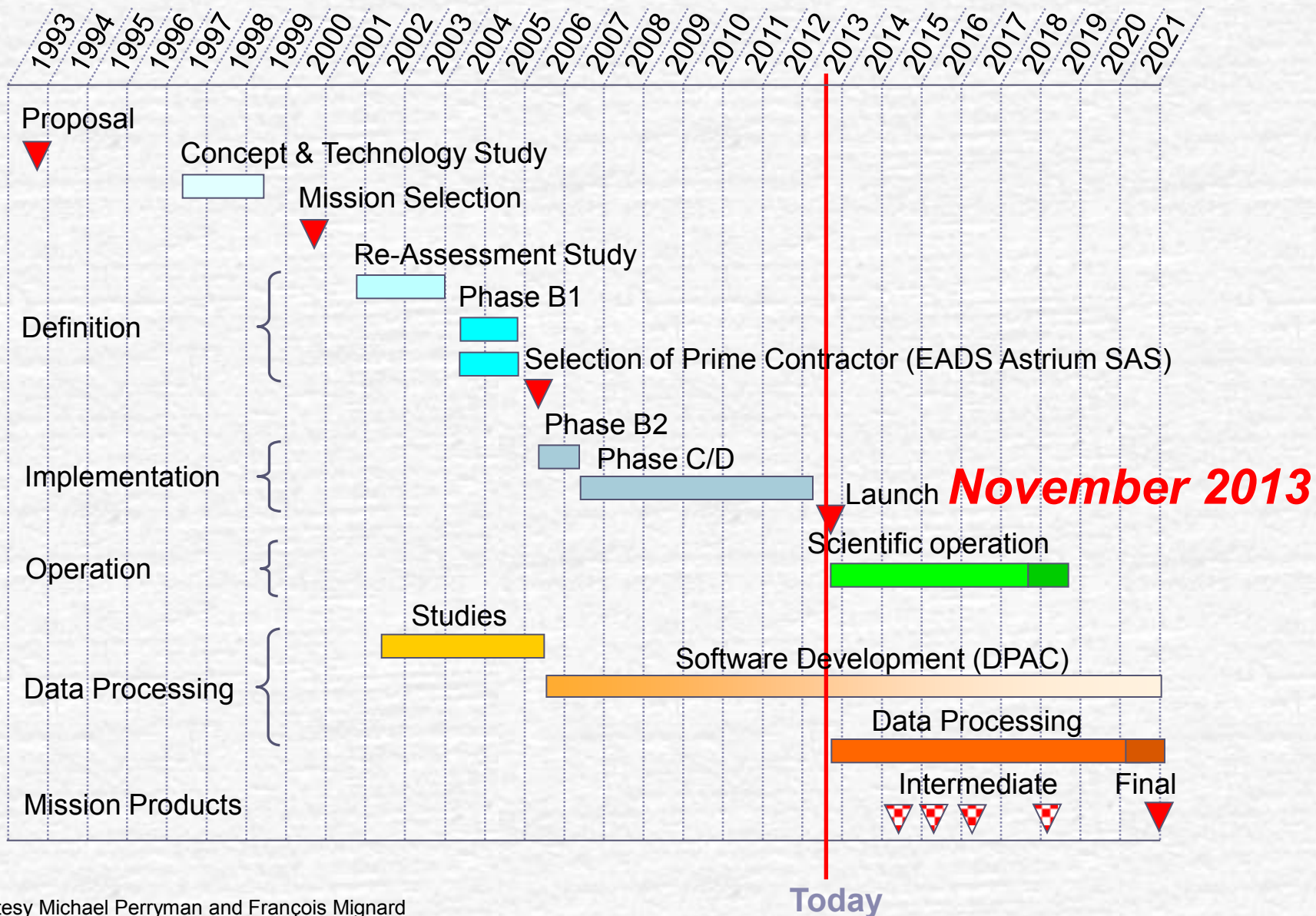


Figure courtesy Michael Perryman and François Mignard

★カタログのリリース

○打ち上げ予定日(L):2013年11月17日～12月5日の期間中

○運用:約5.5年間(テスト期間の半年を含む。さらに1年間の延長の可能性あり)

○最終カタログのリリース:2021年頃 見かけ上、単独星で変光していない星に対して
(運用終了から約3年後)

○中間リリースについて:

Timo Prusti氏(Gaiaのリーダー(Project Scientist))の
発表資料より抜粋(2012年6月時点)

* 打ち上げ後の試験運用の結果に応じて、
中間リリースのシナリオの変更や詳細が
確定される。

○最終カタログについて

The catalogue will be consisting of:

- Full astrometric, photometric, and radial-velocity catalogues.
- All available variable-star and non-single-star solutions.
- Source classifications (probabilities) plus multiple astrophysical parameters (derived from BP/RP, RVS, and astrometry) for stars, unresolved binaries, galaxies, and quasars. Some parameters may not be available for faint(er) stars.
- An exo-planet list.
- All epoch and transit data for all sources.
- All ground-based observations made for data-processing purposes.

- L+22m positions, G-magnitudes, proper motions to Hipparcos stars, ecliptic pole data
- L+28m + first 5 parameter astrometric results, bright star radial velocities, integrated BP/RP photometry, (astrophysical parameters)
- L+40m + BP/RP data, some RVS spectra, astrophysical parameters, orbital solutions for short period binaries
- L+65m + variability, solar system objects

周期が2ヶ月から観測時間の75%のものまで

★中間リリースでの精度評価について

◎精度に関しては公表された数値はまだない。

○参考情報

理想的には・・・

T: データの観測年数

* 年周視差、位置 $\propto T^{-1/2}$

* 固有運動 $\propto T^{-3/2}$

ただし、年周視差は、約1年半以上の観測データがないと、固有運動成分との分離が悪く、精度がよくない。よって、上記の式には、従わない。

さらに、系統誤差等の解析には時間がかかるため、現実的には、観測年数が少ない中間リリースのデータでは、上式の評価よりは悪いと見込まれる。

例えば、3年程度以内だと、明るい星でも100 μ asオーダー程度。

§ 4 Nano-JASMINE計画の概要

Nano-JASMINEの仕様

主鏡口径5cm

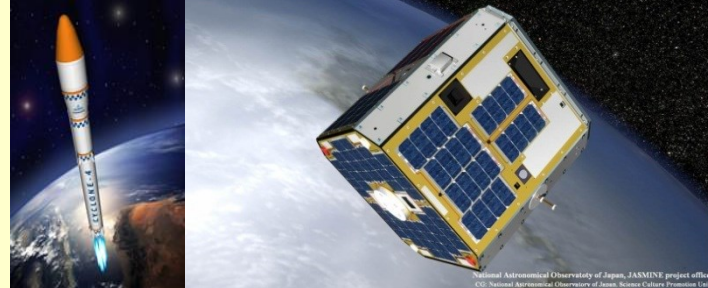
～3mas 全天サーベイ

zw-band(0.6～1.0ミクロン)

打ち上げ日程:(射場建設の遅れから)2014年12月の予定

衛星重量:35kg

主要推進機関:国立天文台JASMINE検討室、
東大工学部中須賀研究室、京都大学理学部、東京海洋大学など



○推進状況:FMは完成。最終試験も終了。

運用訓練を実施。データ解析準備

*Nano-JASMINEとGaiaは観測手法やデータ解析方法が同等のため、
データ解析に関してGaiaデータ解析チーム(DPAC)との国際協力でも
精力的に進められている。国内体制も強化した。

○科学的成果: 単独ではヒッパルコス程度の精度(～3mas)だが、

ヒッパルコスカタログと組み合わせると、

固有運動精度は1桁程度向上(～0.1mas/year)

年周視差も精度向上(～0.75mas)

長周期(10年～40年程度)連星の判別と軌道要素決定

20万個の星($zw < 7.5$ 等) (精度は多少悪化するが、

50万個の星($zw < 9$ 等)をダウンロード予定)

* JASMINEチーム以外のコミュニティ有志

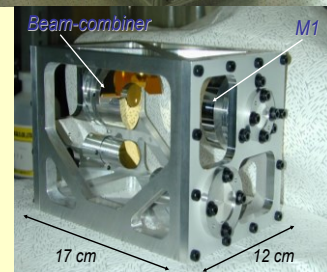
からなるサイエンスWG(代表・西 亮一
(新潟大))が別途形成され、具体的な科学的
成果の検討が進んでいる。

* ヒッパルコス衛星のリーダでかつ途中まで

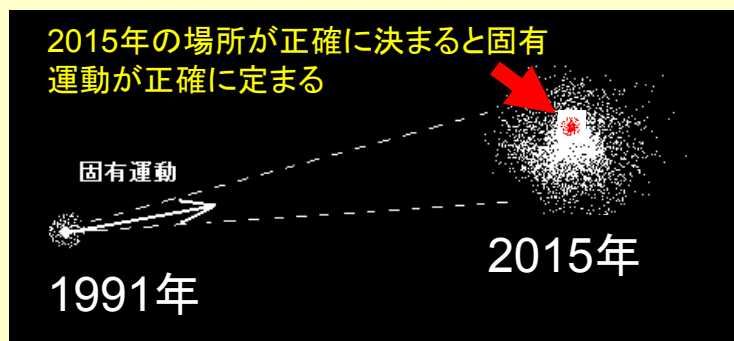
GaiaのリーダであったM.Perryman氏もサイエンス検討で国際的な協力。

* Gaiaでは測定できない明るい星($G < 6$)の位置天文情報を提供可能。Gaiaの補完となるため、
Gaiaデータ解析チーム、ESAからの期待も大きい。公式なサポートレターも得ている。

FMの組立完成

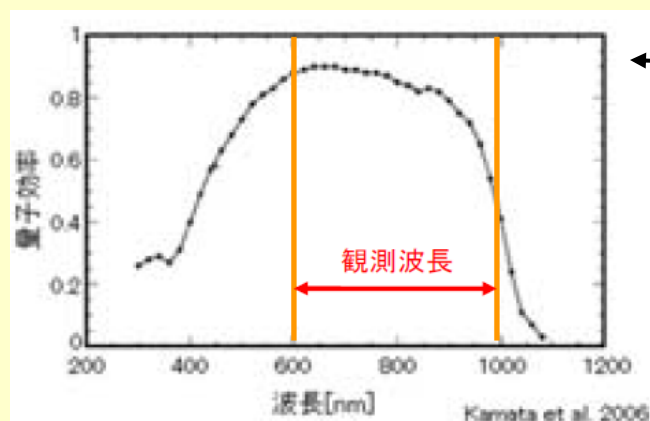


Spaceport
@Alcantara, Brazil



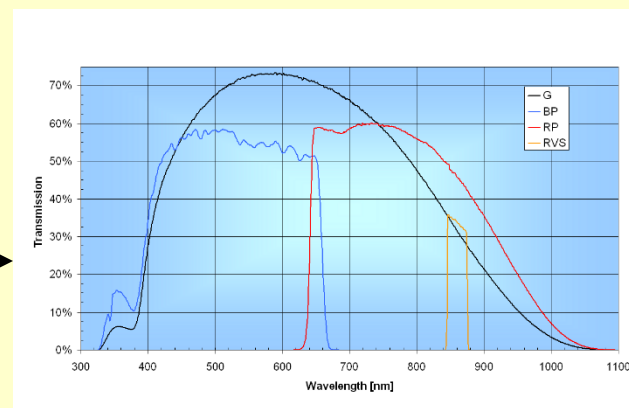
Nano-JASMINEで期待される科学的成果

- **日本初**の位置天文観測衛星（観測精度～(単独では) 3ミリ秒角)
- **Gaiaでは明るい星（6等星以内）が測定できない。**
これが測定できるのは、Nano-JASMINEのみ！
- **ZW-バンド**における世界初の全天位置天文カタログ



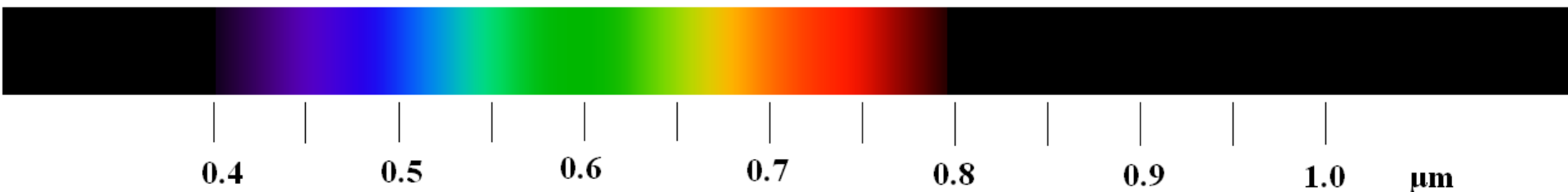
← Nano-JASMINEのCCD

GaiaのCCD →



← Nano-JASMINEの観測波長域 →
zw バンド

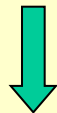
← 可視光 →



★Nano-JASMINEの具体的なサイエンス例

I.(ヒッパルコスカタログとの組み合わせによる)固有運動の精度アップ:

全天で50万個の星



～0.1mas/year(1km/s@1kpc)@ zw=7等

～0.2mas/year(2km/s@1kpc)@zw=9等

○星形成領域での星の位置と固有運動

* オリオン領域での大質量星の固有運動

=> 個々の大質量星の形成場所や形成起源の研究

* Gaiaでは測定できない

明るい星($G < 6\text{mag}$)の観測を
補う意義もある。

興味ある重要な個別天体が
多数ある。

○変光星の種類、種族による運動の違い。

* zwバンドの有効性を活かし、ヒッパルコスでは見えなかったすこし遠くのミラ型変光星の運動が見えてくる。

○変光星、星団の固有運動を用いた銀河力学、渦巻き構造

○太陽系近傍のダークマター量と分布

太陽系近傍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。

* ダークマターの直接検出による正体解明に近傍の存在量、速度分散が必要。

* ダークマターの分布=>dark diskか！？ BHや暗い星は？

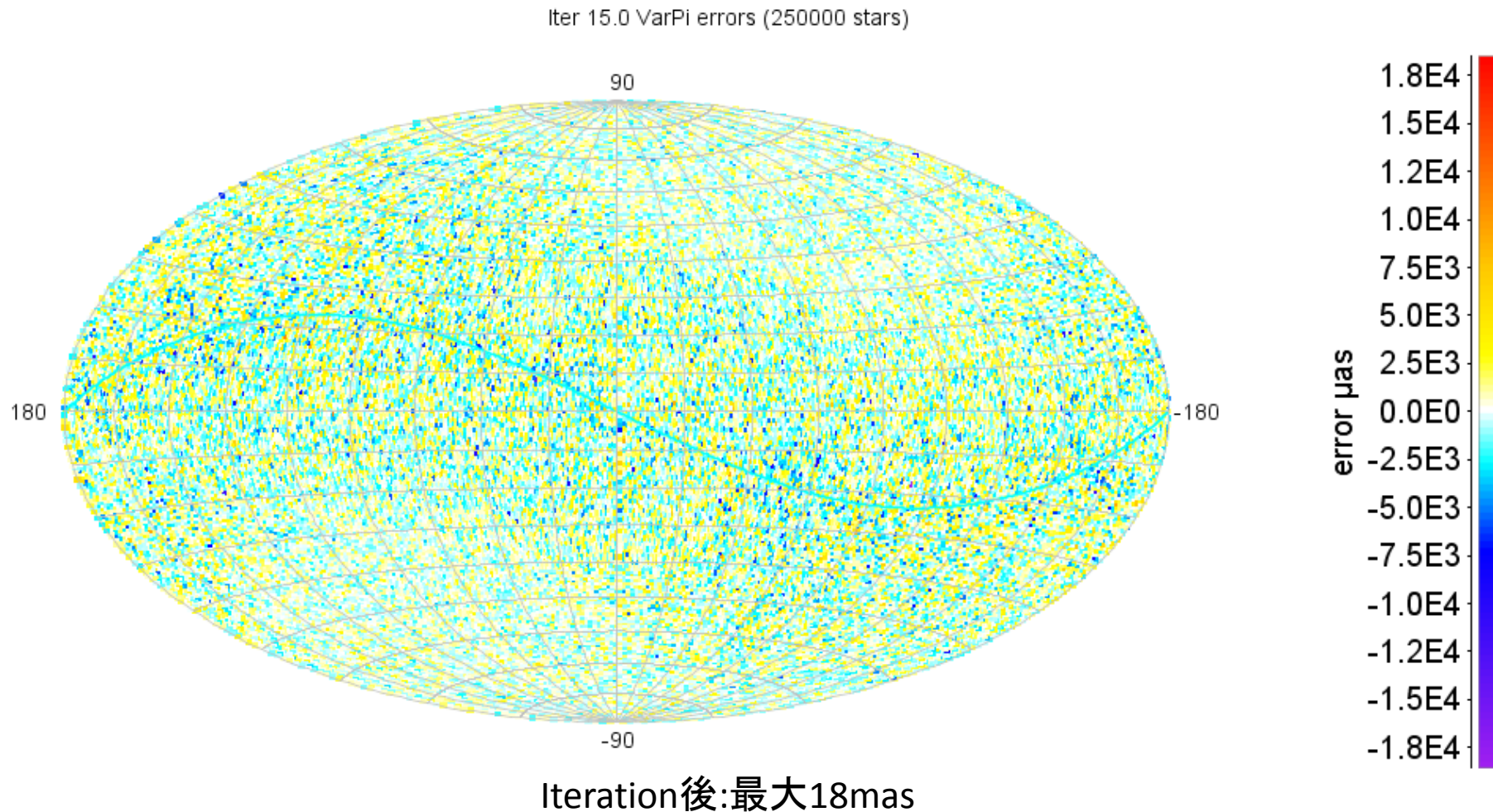
II.全天のzwバンドでの星のモニター

○変光星のサーベイ

○全天サーベイデータを組み合わせた色一等級図and/or色一色図での星の分類

Nano-JASMINE (NJ) Catalogue (All sky survey)	
Number of stars	520,000 stars brighter than about 9mag 200,000 stars brighter than 7.5mag
Position accuracy	2-3 mas@<7.5mag 3-4mas @9mag (HIP only: ~20mas)
Parallax accuracy	3-4mas @<7.5mag 4-5mas@9mag (NJ data only) ~0.75mas@<7.5mag ~1.2mas@9mag (by using NJ data and Hipparcos catalogue)
Proper motion accuracy	2-4mas/yr @<7.5mag 3-6mas/yr@9mag (NJ data only) ~0.1 mas/yr @<7.5mag ~0.2 mas/yr@9mag (by using NJ data and Hipparcos catalogue)
First version catalogue (Publish:~2016)	The proper motions of stars with accuracies of ~0.2 mas/yr @<7.5mag(~0.3mas/yr@9mag) using 0.5~1 year data obtained by NJ and the Hipparcos catalogue.
Second version catalogue (Publish:~2017)	The positions, the parallaxes and the proper motions with better accuracies than those in the first version, for all stars obtained by NJ.
Frequency of observation	More than 6 times a year.

Astrometric error map (iteration後)





§ 5. 小型JASMINE計画概要

小型科学衛星(3号機相当)@ISASのミッション募集へ応募予定 (2013年度)

標準バスの使用、イプシロンロケットでの打上が条件。

打ち上げ目標(3号機の場合): 2018年度頃, 予算: 小型科学衛星の予算枠内であることが条件
(ミッション部: 10億円、バス部(共通の標準バスを使用): 約25億円、打ち上げ(イプシロンロケットを使用): 約38億円)

1. 小型JASMINEの仕様

主鏡口径: 30cm、焦点距離: 3.9m

視野面積: 0.6度 × 0.6度

アストロメトリ用検出器: HgCdTe (4k × 4k) 1個

アストロメトリ用観測波長: Hw-band (1.1 ~ 1.7ミクロン)

photometry用観測波長: J, Hバンド、HgCdTe (1k × 1k) 2個

衛星重量: 333.6kg

観測精度: 位置、年周視差 10 ~ 70 μ as

固有運動 10 ~ 70 μ as/yr

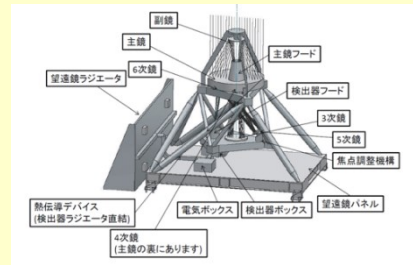
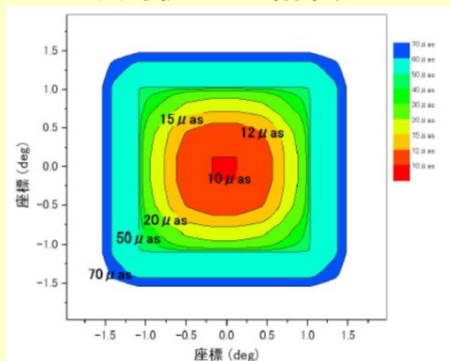
(Hwバンドで11.5等級より明るい星に対して達成)

特定領域サーベイ: 銀河系中心付近の3度 × 3度の領域方向
(約10万個の星数)

+ 特定天体方向 (候補天体例: Cyg X-1)

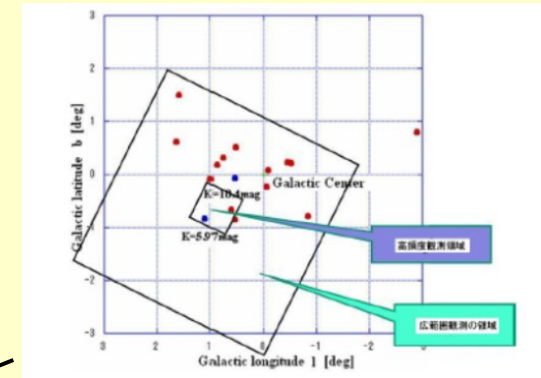
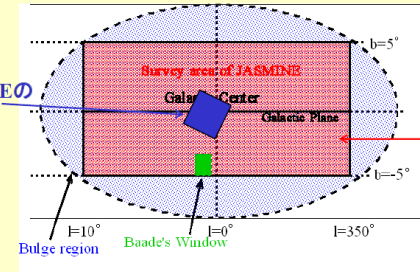
観測期間: 1年間 ~ 3年間程度

年周視差の精度マップ



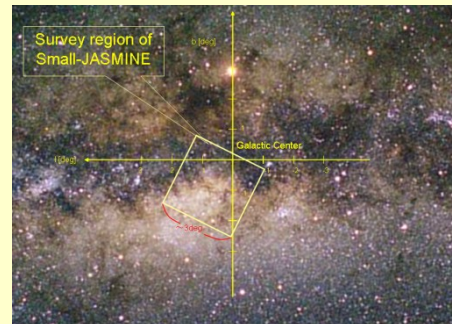
ミッション装置

小型JASMINEの
サーベイ領域



観測領域候補 (銀河系中心付近)

* 領域はまだfixしていない。
今後のサイエンス検討など、
皆様からの意見ももとに、
fixしていく予定



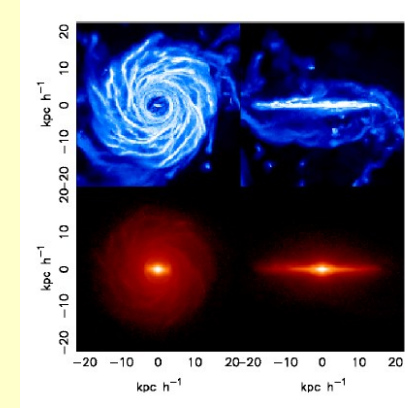
小型JASMINEの視野に撮像される画像
@銀河系中心付近(2MASSを参考)

H

★小型JASMINEの科学的成果

概要:

- 世界に先駆けて、星の3次元的位置や運動情報を用いた銀河系中心付近での**バルジ構造とその形成史、バルジ内の星形成史、巨大BHの進化、中心付近での星団形成、星間吸収物質の3次元分布、変光星等**の研究進展。
- X線連星(例: Cyg X-1)やガンマ線連星**の軌道要素決定や構成天体の物理的特徴、**系外惑星探査、星形成領域**などの**特定天体をターゲット**にし、高時間分解能と高精度な運動情報を活かした科学的成果。



小型JASMINEサイエンスワーキンググループ(JASMINEチームメンバー以外から構成)

代表: 梅村雅之(筑波大)

バルジ班: 長島(長崎大、チーフ)、

羽部(北大)、岡本(北大)、馬場(東工大)、河田(MSSL, ロンドン大学)、斉藤(東工大)、榎(東京経済大)、泉浦(NAOJ)、井上(KASI)

巨大ブラックホール・銀河中心班: 梅村(筑波大、チーフ)、

谷川(理研)、藤井(NAOJ)、本間(NAOJ)

コンパクト天体班: 植村(広大、チーフ)、

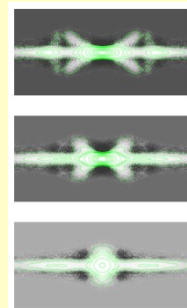
川口(山口大)、野上(京大)

星班: 西(新潟大、チーフ)、

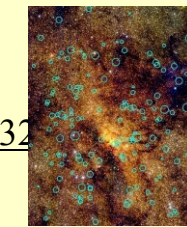
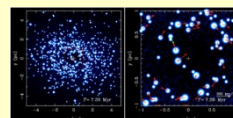
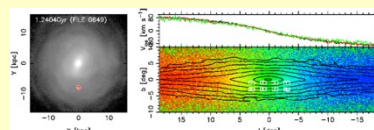
宮田(東大)、田辺(東大)、松永(東大)、板(東北大)、廣田(NAOJ)、中川(鹿児島大)

連星系・重力レンズ・系外惑星班: 浅田(弘前大、チーフ)、

住(阪大)、福井(NAOJ)



三軸不等
楕円体の力学
構造の初解明



★小型JASMINEで期待される科学的成果例

1. バルジの正体の解明: 銀河系バルジのタイプは? その構造形成史は?

- * バルジ星の3次元分布と運動情報 → バルジの力学構造(X-shape!?) ⇒ バルジの重力ポテンシャル
- classical bulge vs pseudo bulge → 形成原因の違い → 銀河形成論、進化論にも影響
- * バルジ星の色一等級図(+化学組成) → 星形成史

2. 銀河系中心付近の物理

- * 巨大ブラックホール形成の痕跡 → 中心付近の星の速度分布に影響
- * 星団の運動 → 星団の起源、中心付近の重力場情報
- * 内部バーの存在 → 中心付近での星形成への影響
- * SgrA*の赤外線モニター → QPOの存在 → 巨大BHのスピン情報

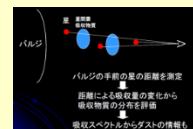
3. コンパクト天体

- * X線連星の軌道要素決定 → 研究史上の「事件」 → 降着円盤やジェットの基礎的な物理に迫る。
有力候補天体: Cyg X-1: ($l=71^\circ$, $b=+3^\circ$)、周期5.6日 (Gaiaでは解析困難)、
伴星: $m_v \sim 9$ mag (小型JASMINEで検出可能)、位置変化は、 $40 \sim 50 \mu$ 秒角 → 小型JASMINEで測定可能
- * バルジ内の共生星X線連星やX線点源の解明
- * ガンマ線連星系の軌道要素解析によるガンマ線天体の解明 → 高密度星の正体判別
放射モデルへの強い制限

候補例
LS5039
J1018
LSI+61

4. 系外惑星 * アストロメトリ法による惑星の検出

主星が低質量星($M_s < 0.1 M_{\text{sun}}$, $V-H > 7$ mag)の場合は、Gaiaより有利。3ヶ月間で惑星を検出可能。
褐色矮星周りの惑星が発見されればインパクト大



5. 重力レンズ: ワームホール探査! ?

- 6. 恒星、星形成 * オリオン星形成領域の3次元分布、星間減光物質の3次元分布と性質
- * バルジにあるミラ型変光星(赤いのでGaiaより有利)の年周視差、固有運動

★小型JASMINEのカatalogの特徴

○位置測定精度: $10\mu\text{ as}$ を近赤外線で達成可能

→ダストによる吸収が大きいところ(バルジ方向)、赤い星、
星形成領域の観測はGaiaより有利。

バルジの星に対しては、高精度な星の観測個数で圧倒的にGaiaより有利。

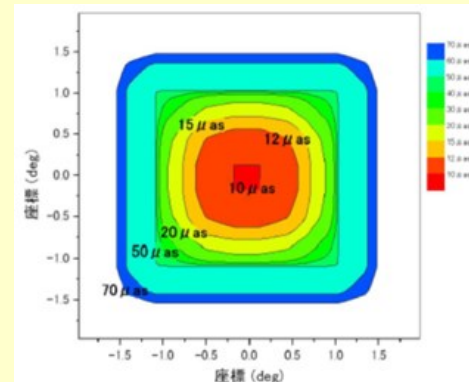
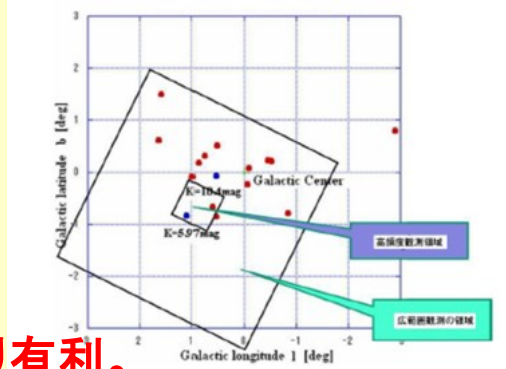
* $3^\circ \times 3^\circ$: ~ 1 万個/平方度 (領域はまだfixしていない)

年周視差の誤差が10%以内(必要条件)

可能なバルジに属する 星の数(見込み)

小型JASMINE(中心付近)の観測領域で比較

小型JASMINE: ~ 1 万個 vs Gaia: 数個程度



○同一天体を観測する観測周期が短い(90 分に一度: Gaiaは2ヶ月に1度程度)

→時間分解能が高い→短い周期変動現象(連星や惑星系、変光星など)に

対応可能

→ * 候補: CygX-1(植村氏(広大)等と検討中)

ガンマ線連星(山口氏(NAOJ)と検討中)→

系外惑星(須藤氏(東大)と検討中)

候補例
LS5039
J1018
LSI+61

○銀河系中心方向以外の観測も可能

* 冬期と夏期(6ヶ月)、観測時間を割り振ることは可能。

→興味ある特定天体の観測の対応も可能

(衛星の熱環境等で観測方向に制限はある)

○ $H_w < 11.5$ で測光精度1% 以内(7秒積分)

→測光データを用いたサイエンスの展開も可能

SGMAPとの連携も!

* 星間ダストの分布

* 恒星タイプ別の光球非等方性

* 高エネルギー天体など

* 候補: SgrA*の赤外線モニター

→ QPOの存在 → 巨大BHのスピン情報
本間氏(NAOJ)が検討中

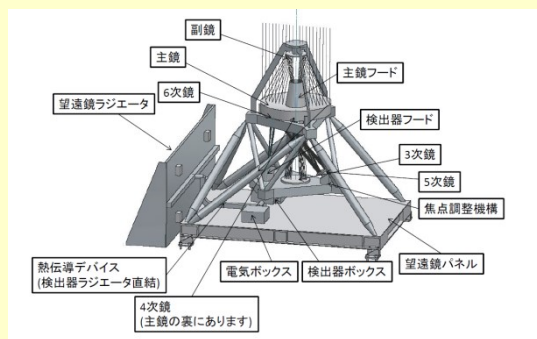
★最近の進捗状況

検討がかなり進み、衛星の概念設計がほぼできて、ミッション達成に必要な技術的見込みやデータ解析手法の確立と実証、さらにコストや開発体制の見込みがついてきている。
 近いうちに小型科学衛星の提案募集があってもミッション提案できるように準備をしてきている。

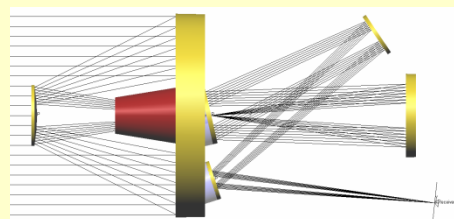
★フィージビリティ:

- * ミッション装置(望遠鏡、焦点面、電子モジュール)
- * ミッション部総合システム
(構造、軌道、姿勢、熱、通信、電力、コストなど)
- * バス部とのインターフェース

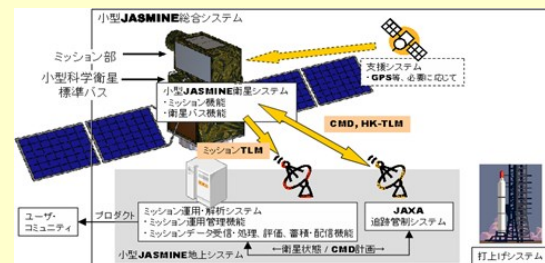
いずれも、ほぼ成立性の見込みがたってきた。
 実証が必要なものは、TRL4以上を達成の見込み



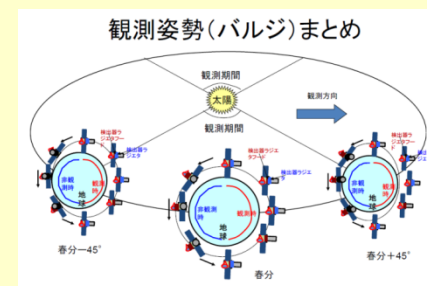
望遠鏡構造



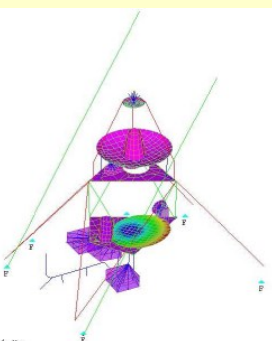
光学系(コルシュ系:3枚鏡)



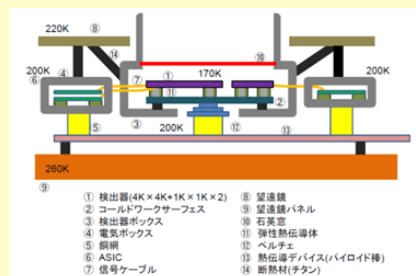
小型JASMINE衛星のシステム



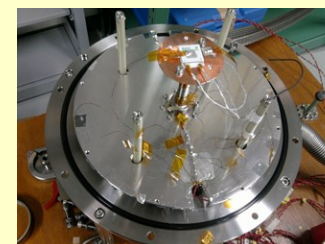
衛星の軌道と姿勢



構造解析モデルによる
周波数応答解析



熱設計

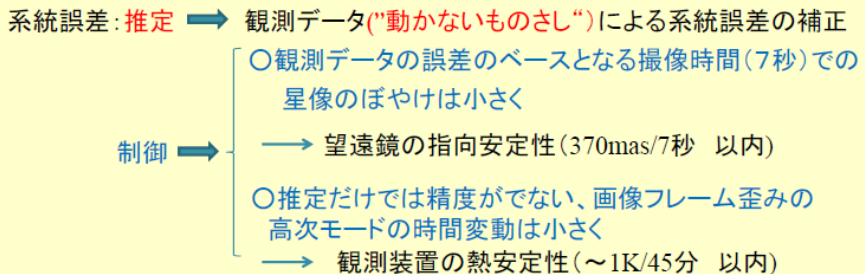


珀尔チェ冷却試験

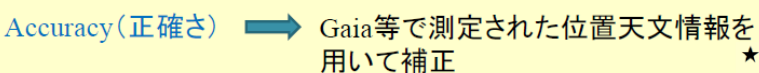
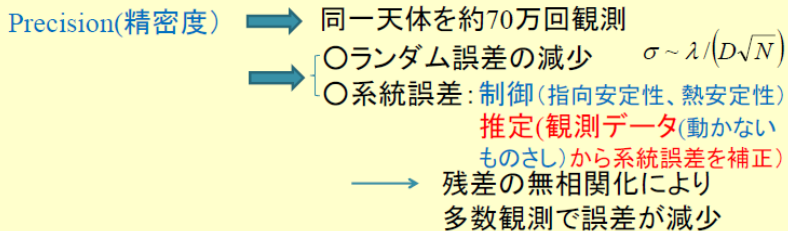
★データ解析手法の実証: 目標精度達成のための誤差対策法の確立

小型JASMINE: 1回の観測では達成できない高精度をミッション期間をかけて、
同一天体の多数回観測(約70万回)による統計処理で実現

目標精度達成のための手段: 技術とデータ解析



* 精度と推定について

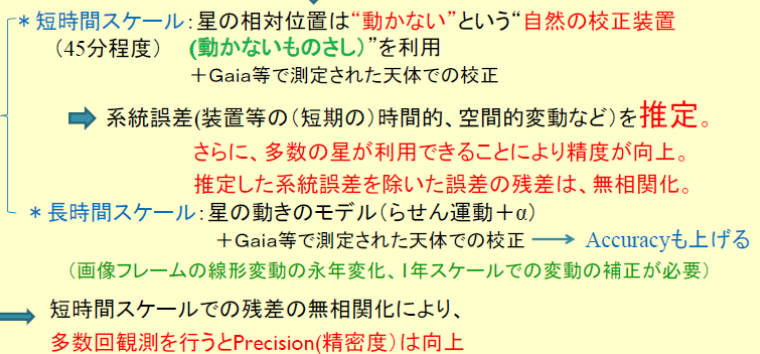


推定の方法: 動かない基準(ものさし)を使う
短時間で星は動かない。星間の角距離が“不変”
不変性を利用し、観測装置歪み量補正
(基準は観測装置ではなく天空にある)

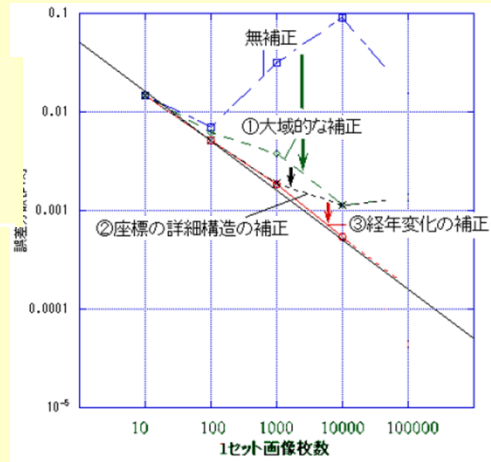
解析方法や検証手段:
統計数理研究所 石黒真木夫先生他
と相談の上、進めている。

◎観測データを用いた系統誤差の推定

- 局所的誤差(光学系や検出器による星像の形状に関わるもの)
*星像中心決定アルゴリズムにより系統誤差も推定し、中心位置決定誤差の低減化が可能(アルゴリズムとしては、重心法、または主成分分析を取り入れたPSF fitting法)
- 大域的誤差(光学系distortion、検出器のピクセルむら、観測装置の時間変動など)
同一天体の多数回観測、同一画像上に多数の星が存在



★星像中心決定に関する実験:
系統誤差のランダム化の実証
・星像中心位置決定精度が $10^{-4} \sim 10^{-5}$ pix(10μm)に相当を達成できる事を確認する実証実験
・多数枚の撮像データから系統誤差を適切に取り除き、ランダム誤差として、 $\sqrt{N}$ 分の1則に従い誤差分散が低減していくことを確認を進めている。
・熱変動など、一部の系統誤差を補正し、10万枚のデータでは実証済み(下図)。
現在、さらに検出器の系統誤差補正も含めて実験し解析中。



★ 小型JASMINEの現在想定しているスケジュール

2013年度: JAXA宇宙研による小型科学衛星(3号機相当)の募集(予定)に応募(ミッション提案)

* 以下は、3号機に採択された場合の想定スケジュール

2014年度: JAXAによる選考審査を受ける。もし採択され、予算化した場合は、詳細設計、開発を開始。

2014年度～2018年度頃: 小型JASMINEの詳細設計、開発、衛星の試作、製作、試験

2018年度頃～2021年度頃: 衛星打ち上げ、衛星運用(目標は3年間)

(2018年度頃)～2022年度頃: データ解析

* 2020年度頃: カタログの中間リリース

2022年度頃: 最終カタログの公開

* 3号機(相当)に不採択の場合は、審査結果に応じて概念設計、技術課題などの見直し、改善を行い、4号機(相当)の募集への応募を目指す。それに応じて上記スケジュールがずれる。

ご支援、ご協力をよろしく御願いたします。

Jasmine

