

超小型衛星による位置天文 衛星 Nano-JASMINEのデータ解析

山田良透

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。

位置、固有運動、年周視差

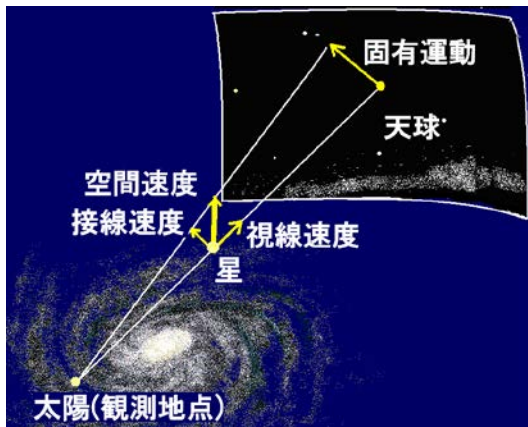
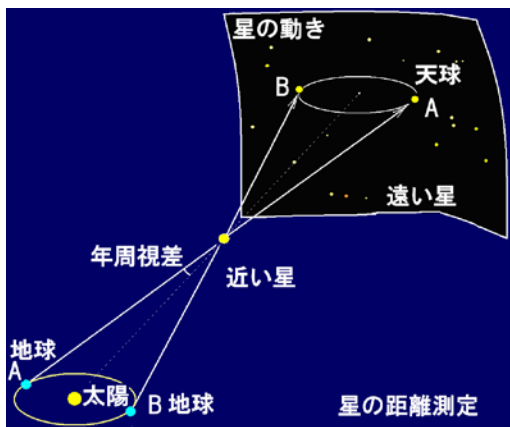
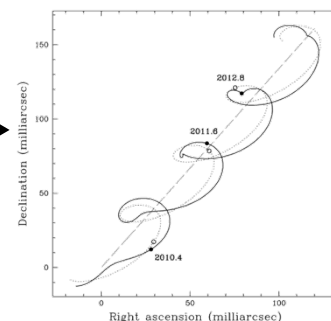
+ 特殊な動き

らせん運動



らせん運動からの“ずれ”

惑星系、連星系、重力レンズ効果など

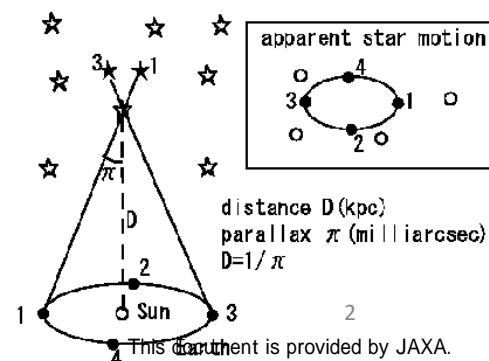


距離が分かる

=>見かけの量から真の量への変換がより信頼性高く行える

相空間内での情報が分かる

=>現象の物理プロセス理解が深まる



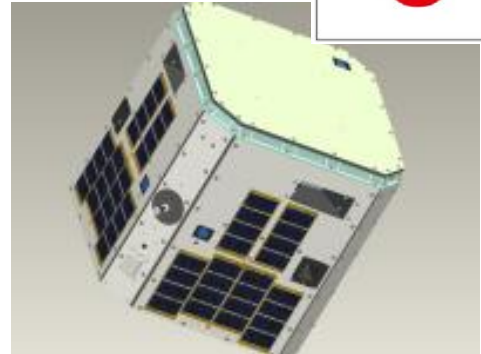
星の重要な基本情報



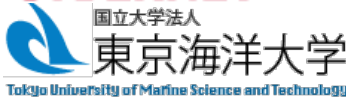
Data analysis

Science using ultra small satellite

Nano-JASMINE



Satellite



launcher company at Дніпропетровськ

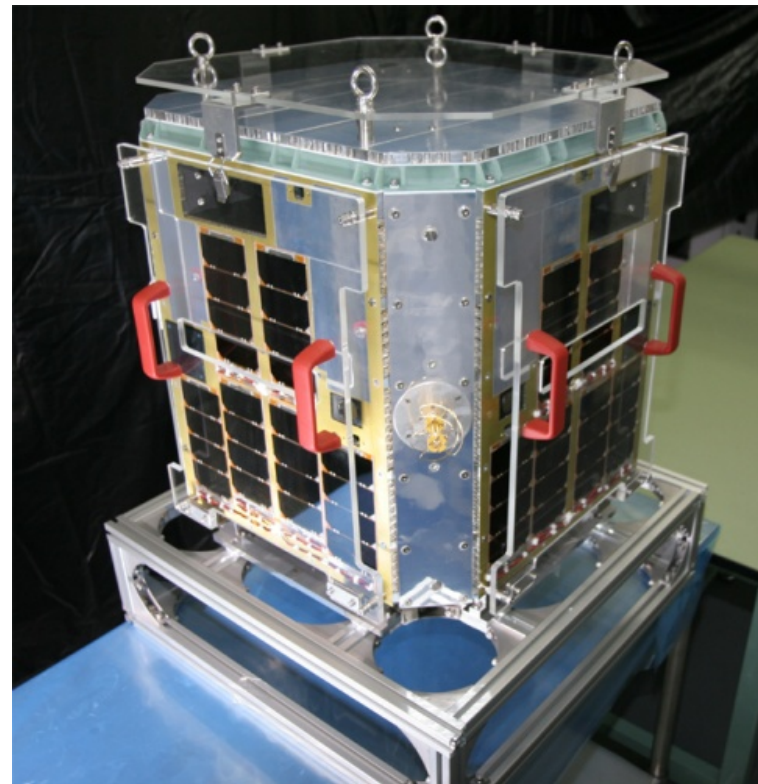


2015/2/5

2014/7/17

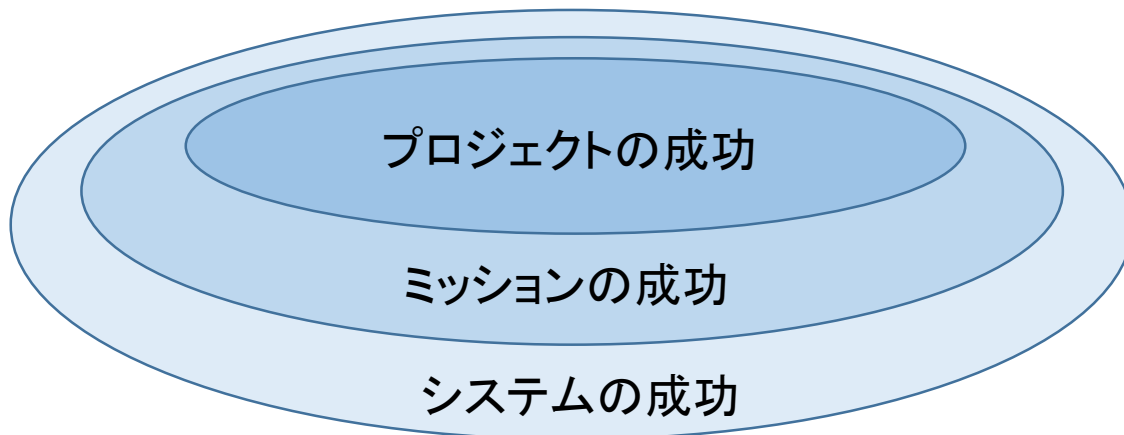


質量	33～38 kg
大きさ	559mm x 559mm x 535mm
姿勢制御	三軸安定
ミッション 期間	2年
軌道	太陽同期軌道(高度800 k m) LTAN 22:34:54
打ち上げ	2014年12月～2015年12月
主鏡口径	5.3cm
2視野の相 対角	99.5°
焦点距離	1.67 m
視野	0.5° × 0.56°
検出器	完全空乏裏面照射型CCD 1024 × 1152pixels
ピクセルサ イズ	15μm × 15μm, 1.8秒角 × 1.8秒角
自転周期	100分
観測波長帯	0.6μm~1.0μm
精度	～3 mas @ zw = 7.5



位置天文： 解析の重要性、ミッションの特殊性

普通のミッション

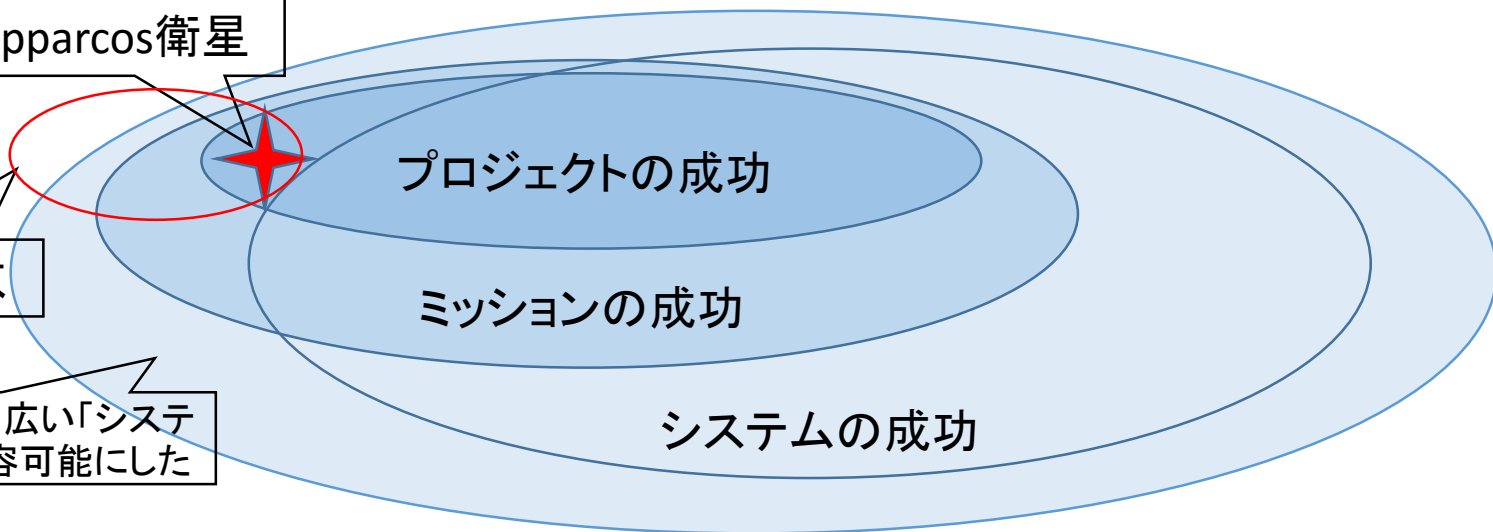


位置天文ミッション

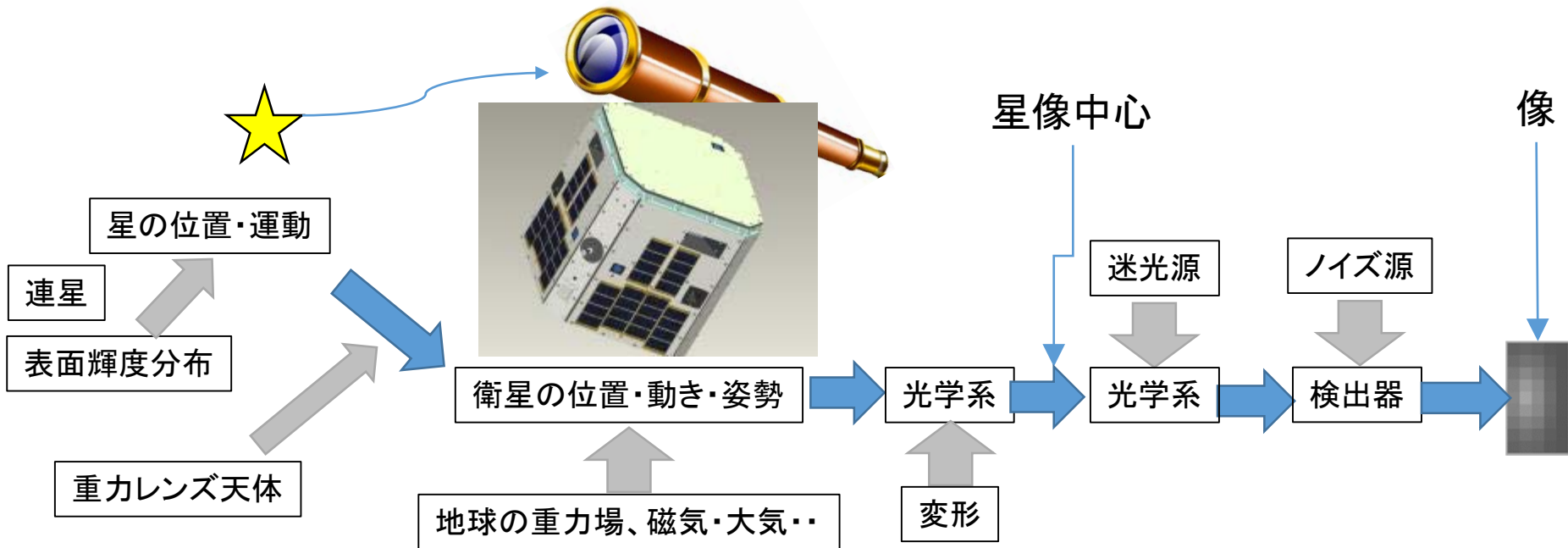
Hipparcos衛星

軌道投入失敗

解析の改良でより広い「システム」をあとから許容可能にした



位置天文データ解析



\vec{a} : パラメータ

(四角で囲ったもの全て)

\vec{b} : 独立変数(時刻など)

$$f_i(\vec{a}, \vec{b}) = x_i, o_i = x_i + \varepsilon_i$$

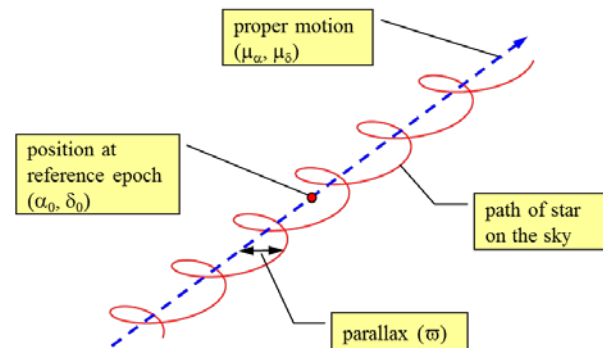
o_i : 観測値: 各ピクセルのカウント

ε_i : 誤差

$$\min_{\vec{a}} \sum \frac{|f_i(\vec{a}, \vec{b}) - o_i|^2}{\sigma_i^2}$$

観測値から、最小二乗法でaを求める。

最小二乗法とは？



- 解きたい物理現象(姿勢・軌道・星の運動)を指定しても問題は定まらない。
- 物理現象を表現する「モデル」を指定して、初めて問題が定まる。

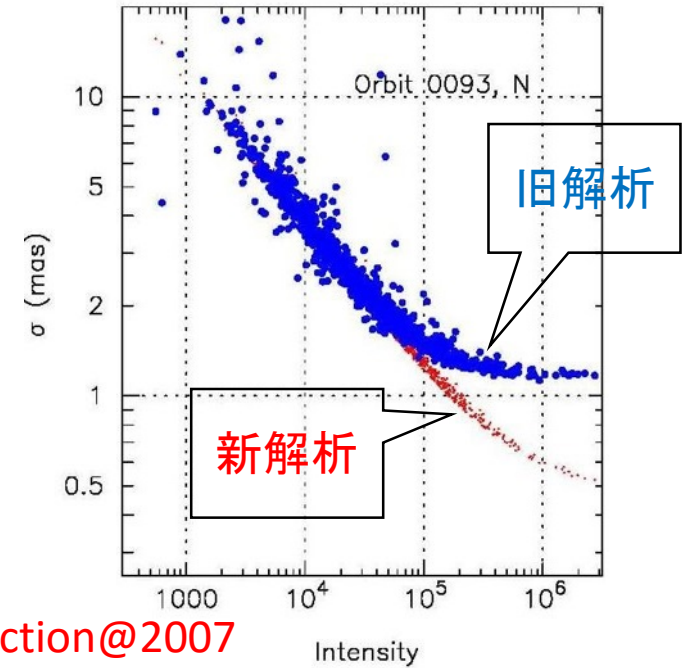
物理現象	モデル
星の運動	5パラメータでfit
衛星姿勢	姿勢Quaternionの区分的Spline関数
衛星軌道	チェビシェフ多項式による展開
星像	PSFのテンプレートを用意して主成分で展開
像面の変形	像面座標の多項式
chromaticity	色指数の一次式

.....

3つの重要課題

- どのようなモデルを採用するか？
 - HipparcosやGaiaでの検討をもとに、採用するモデルを選んでいる。
 - モデルをひとつ決めて、コード開発・検証に数年を要する。
 - よりcleverなモデルを迅速に試すには？
- Super resolution
 - 統計精度 $1/200 \sim 1/100$ pixel、系統誤差 $1/600 \sim 1/50,000$ pixelでの推定
- ノイズや擾乱をどう扱うのか？
 - Hipparcosは1.4tの衛星、GaiaはL2点での運用
 - Nano-JASMINEは地球周回、35kg
 - 地磁気、地球大気、太陽輻射圧、重力傾斜などの影響をより強く受ける。

モデルを改良すれば精度が良くなる例

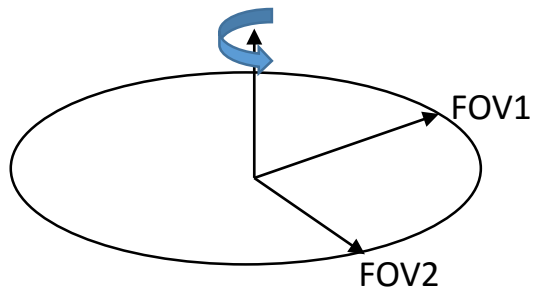


Hipparcos catalogue@1997

衛星はスピン軸の周りに連続的に回転する。

回転速度は擾乱を受けるかもしれないが、スピン軸そのものの擾乱はない(同じオーダーで擾乱が存在してもデータへの影響は小さい)

二視野の相対角度は大円4~5周の間動かない。

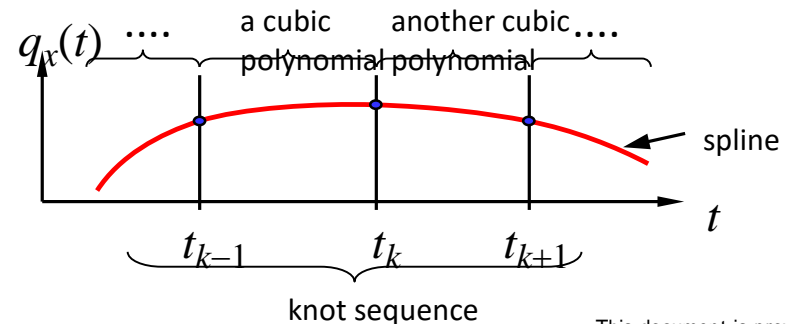


New Reduction@2007

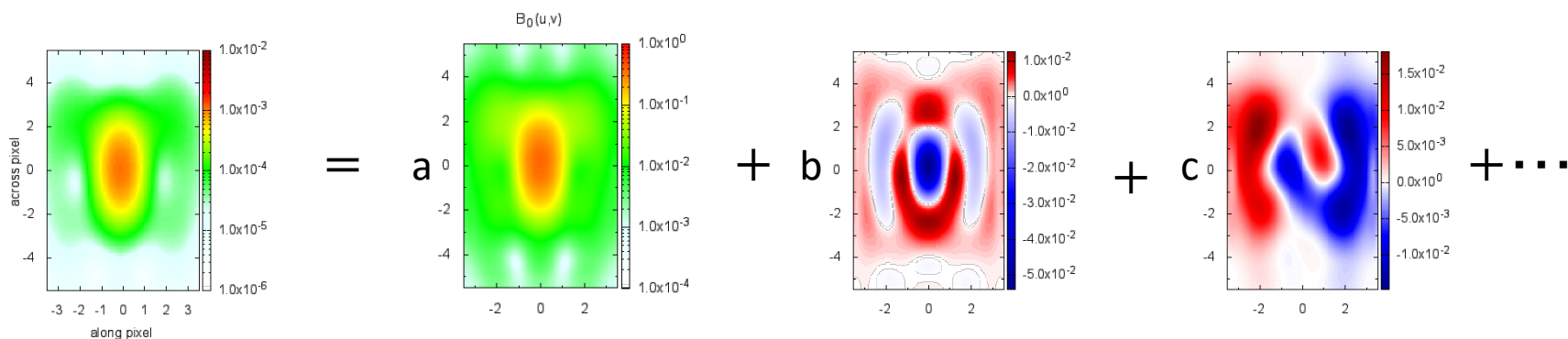
スピン回転は連続ではない。Micro meteorite hit で不連続に変化する場合がある。

スピン軸指向擾乱も場合によっては無視できない。

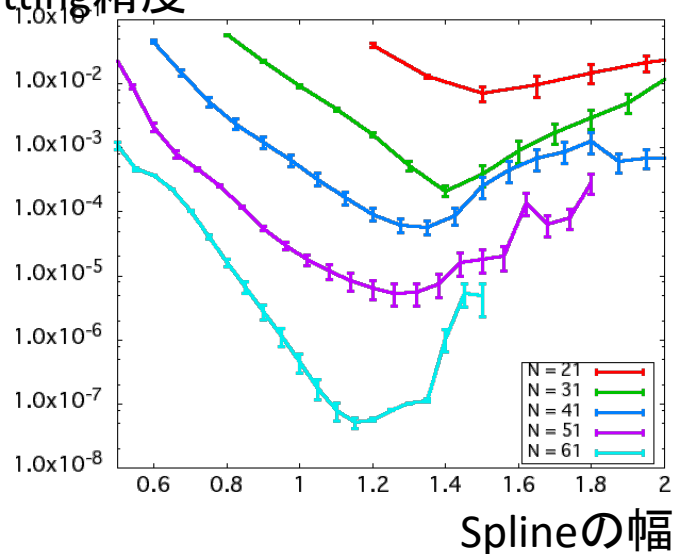
二視野の相対角度の変化が見つかった。



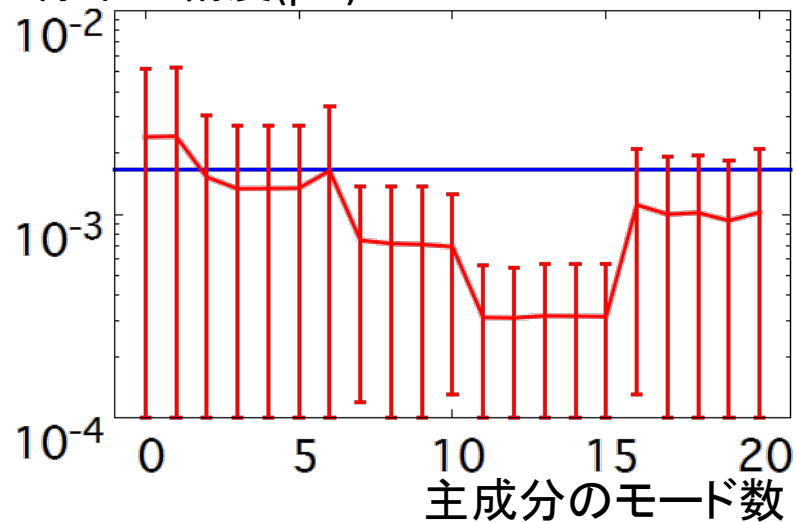
星像中心推定



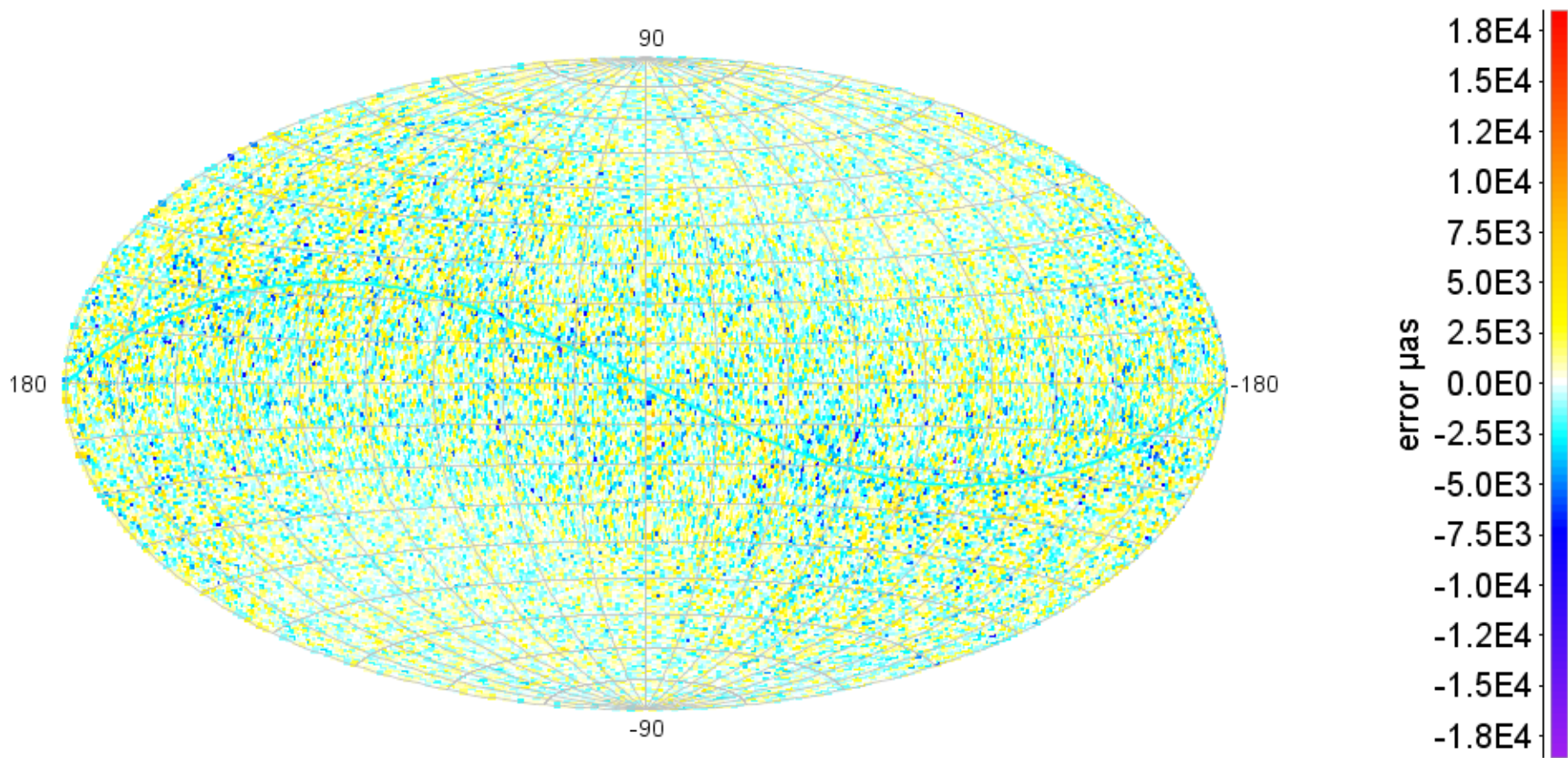
fitting精度



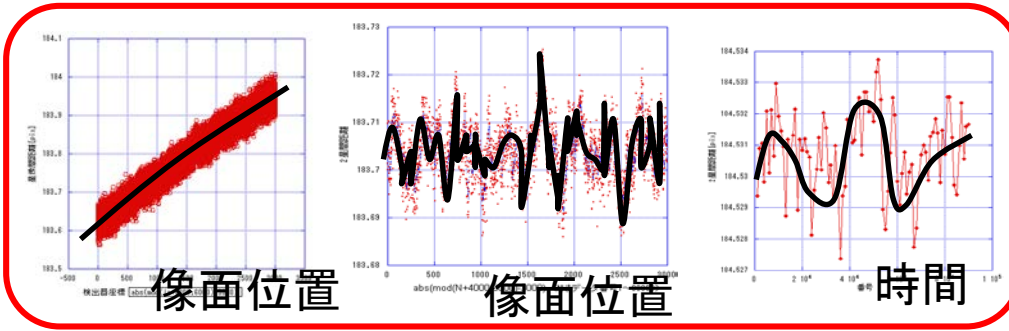
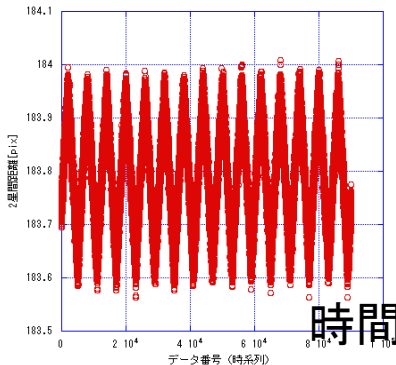
星像中心精度(pix)



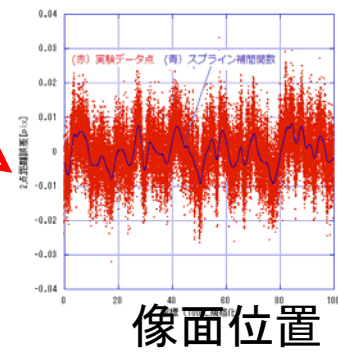
Iter 15.0 VarPi errors (250000 stars)



ノイズモデル(水沢実験、慶応大)



Bayes Spline



水沢実験
星像中心推定

説明変数と誤差の相関

「隠れたパラメータ」を探す
Over fit / under fit

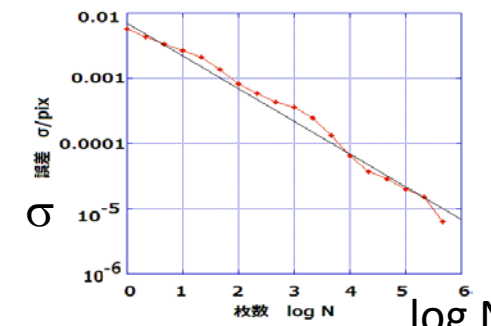
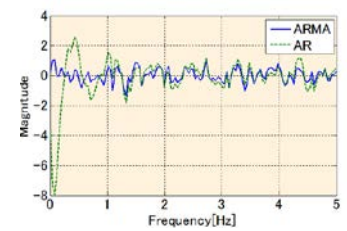
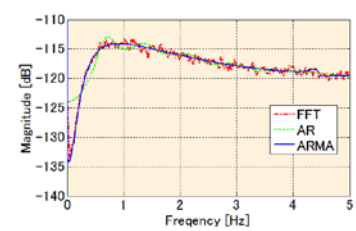
$$y_{ij} = \sum a_j X_j + \underbrace{\sum b_m Z_{i-m}}_{\varepsilon_{ij}} + w_{ij}$$

HILSデータをもと
にしたモデル化

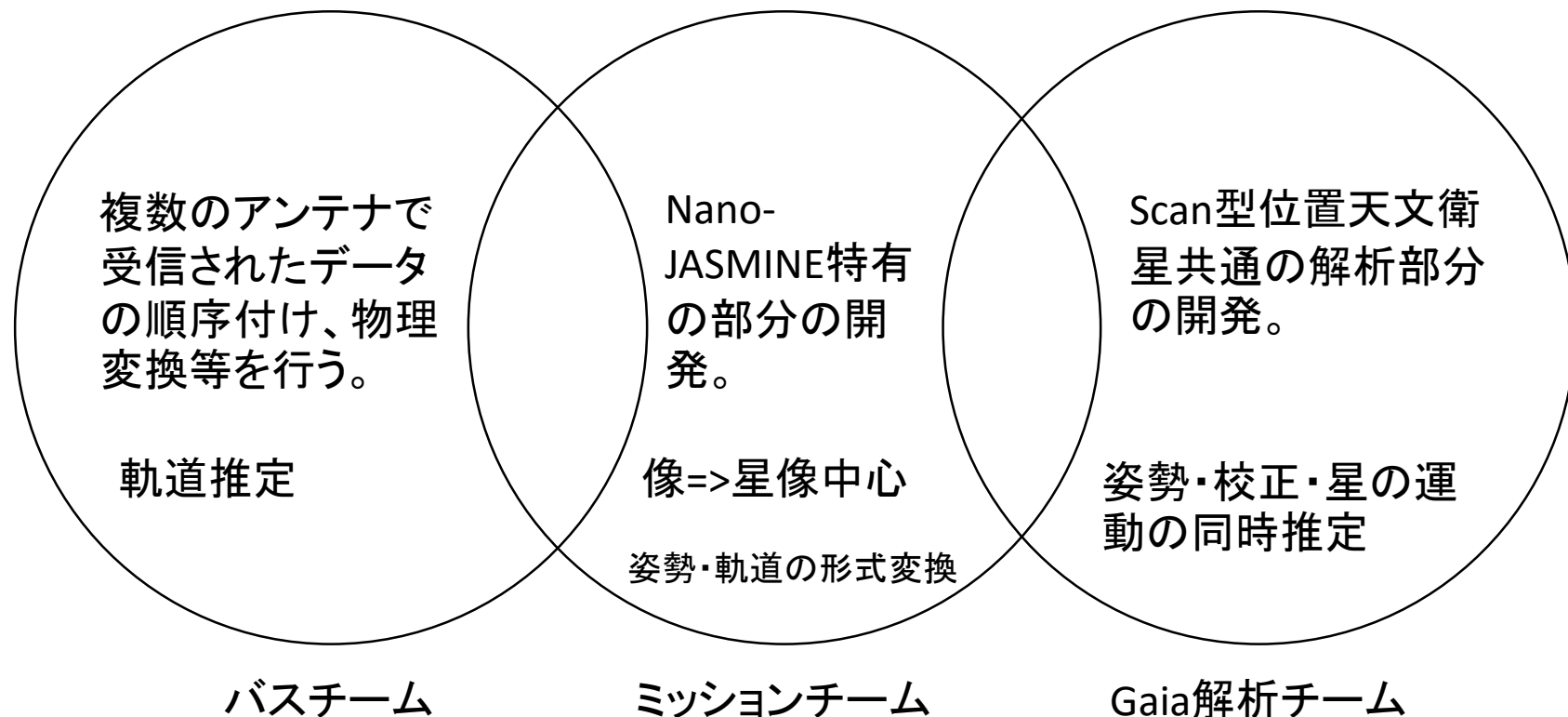
誤差の自己相関

誤差に相関はあるか?
共分散行列は既知か?

Mizusawa experimtn by Y. Niwa and T. Yano, RW analysis by IBM Tokyo and M. Ito at Keio Univ.



開発体制



同じソフトウェアをGaiaでもNano-JASMINEでも使う。

Gaiaの開発体制の紹介(Development)

LDAP	各サービスで共通のユーザー・パスワードが使える
svn	バージョン管理システム
Full java	Object指向言語でなければならない、無料の処理系
(Eclipse)	同じ開発環境を想定、無料・高機能な開発環境
Software common	Build.xmlのターゲット名やantのバージョン等を規定
Java Native I/F	Javaを使い慣れていないユーザーを取り込む仕組み
Ivy	Javaのライブラリをサーバーへ自動でとりに行く仕組み
NEXUS	Maven(ライブラリのバージョン管理)レポジトリ管理
mantis	Issue tracking system
外部library	derby, fft, fits, jetty, jfreechart, jhealpix等多数
Junit	Test first
Hudson	Nightly run(テストエンジニアがサポート)
データベース	Derby, Caché(インターシステム社)

まとめ

- 超小型衛星による位置天文衛星のデータ解析ソフトウェアの開発を進めている。
- Gaia衛星のチームとデータ解析に関する協力を行っている。
- 工学、理学が一体となり、モデルの改善に挑戦。

- 星像中心推定に主成分解析を適用し、1/600 pixel以下の精度の達成見込みがたった
- 姿勢擾乱、像面変形のモデル化については現在検討を進めている。
- 同じソフトウェアを異なる複数のミッションに適用することに挑戦。

- 今後、モデルの柔軟な変更への対応を目指す。