

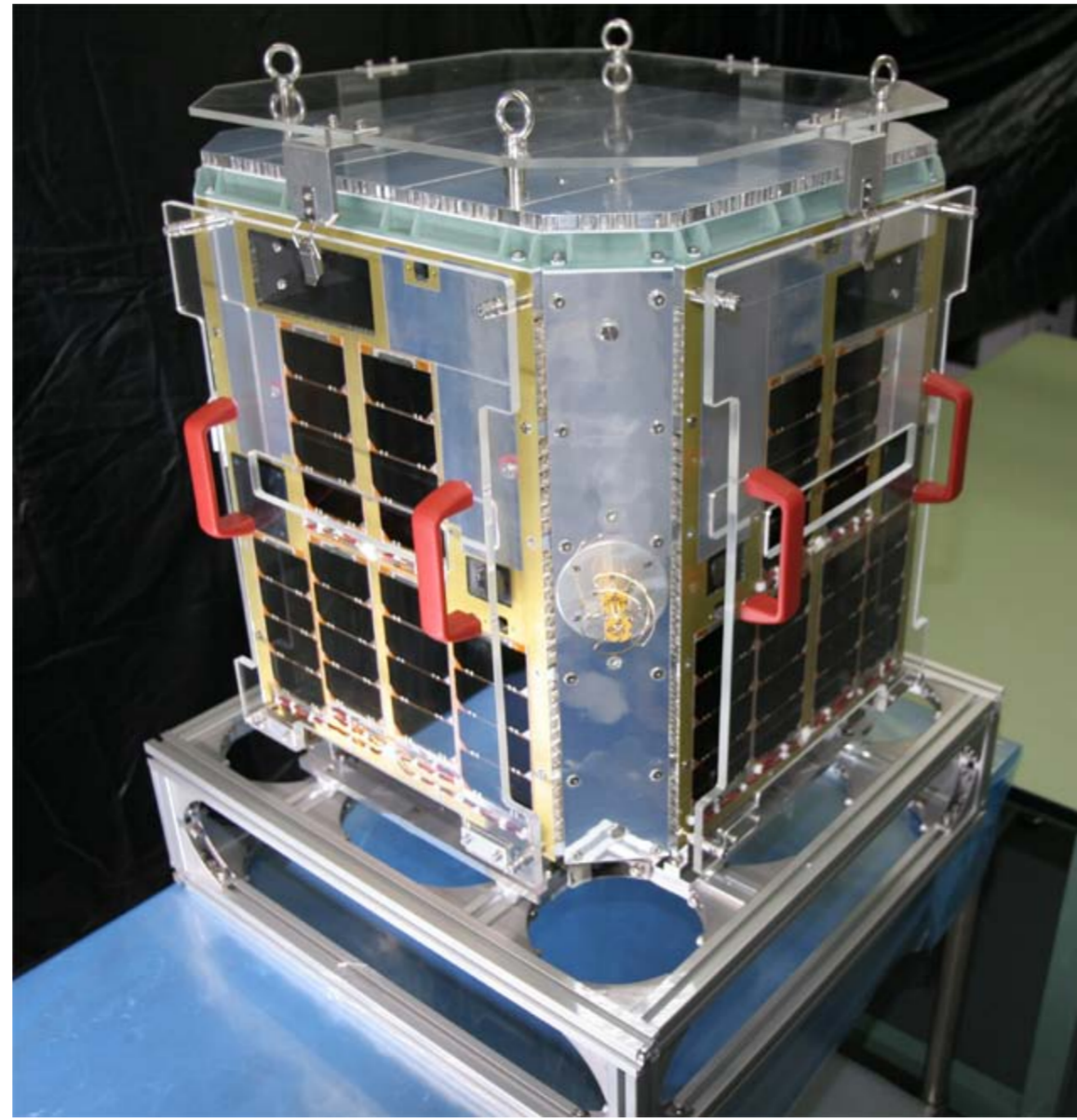


Nano-JASMINE データ解析- Gaia ソフトウェア AGISの適用 -

山田良透¹⁾、郷田直輝²⁾、矢野太平²⁾、小林行泰²⁾、初鳥陽一^{2,3)}、丹羽佳人⁴⁾、稲守孝哉⁴⁾、酒匂信匡⁵⁾、Uwe Lammers⁶⁾、Daniel Michalik⁷⁾
1)京都大学、2)国立天文台、3)IBM東京基礎研究所、4)東京大学、5)信州大学、6)ESAC/ESA(スペイン)、7)Lund天文台(スウェーデン)

Abstract: 2011年打ち上げ予定のJASMINEシリーズ第一弾、Nano-JASMINEのデータ解析の準備が、ESAを中心とするGaiaデータ解析チーム(DPAC)との協力で進められている。位置天文のデータ解析は巨大な最小二乗問題をいかに正確に、いかに効率よく解くかという問題と集約される。特に、GaiaとNano-JASMINEはいずれも回転する衛星による二視野同時観測の位置天文であり、CCDを使うなど、観測手法も酷似している。また、Gaiaチームが作ったAGISは、テレメトリから入力データへの変換部分が独立しており、衛星固有のパラメータはデータベースから読み込むようになっていてハードコードされていないので、他の類似のミッションへの適用は容易である。同じソフトウェアが、異なる組織の異なるミッションに利用されることも、ソフトウェア開発の分野では新たなチャレンジである。本ポスターでは、この国際協力の進捗状況を中心に、Nano-JASMINEのデータ解析全般の進捗状況を報告する。

日本のスペース位置天文プログラムとNano-JASMINE: 現在我々は、3つのスペース位置天文プログラムを計画している。技術実証衛星Nano-JASMINE(P3-185)は既に打ち上げが決まり、フライトモデル(P3-184)の開発がほぼ完了し、現在動作試験を行っている。この衛星は、超小型ながら20年前のESA大型衛星なみの精度の全天観測をすることを目標としている。これにつづく小型JASMINE(P3-180)およびJASMINEは、赤外線での位置天文観測の利点を生かし、小型JASMINEではバルジの狭い領域で10マイクロ秒角を達成、続くJASMINEではバルジのほぼ全域(200平方度)の10マイクロ秒角達成を目標としている。海外のスペース位置天文プログラムはすべて可視光であることから、バルジに到達できるの本の赤外線スペース位置天文計画は、海外からも大きな期待を持たれている。



Nano-JASMINE Flight Model

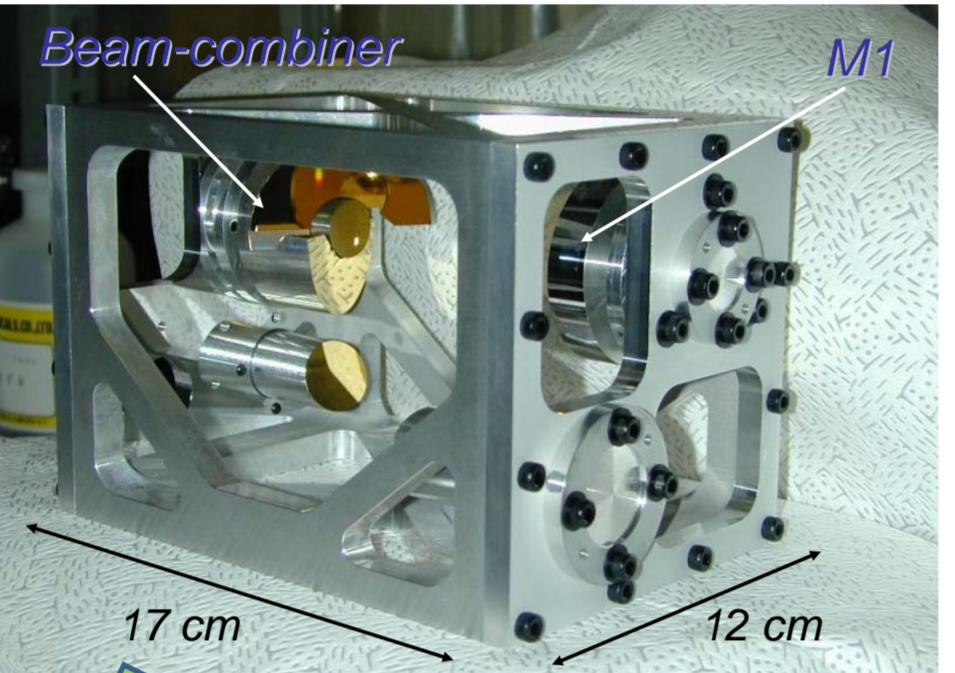
AGISと位置天文データ解析: AGISは Astrometric Global Iterative Solution の略で、ESAの大型位置天文衛星Gaiaのグループがデータ解析のために開発したソフトウェア。位置天文のデータ開発は、巨大な最小二乗問題である。上記の様々なモデルから作った正規化方程式

$$\begin{pmatrix} S & U^T & V^T \\ U & A & W^T \\ V & W & C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta s \\ \Delta a \\ \Delta c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_s \\ b_a \\ b_c \end{pmatrix}$$

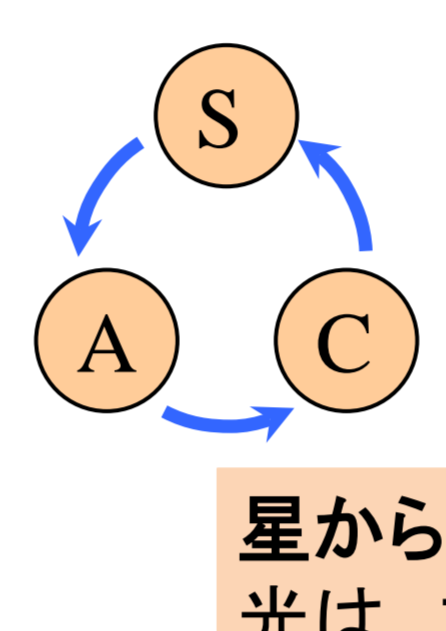
を解く。ここで、 s, a, c は下図に示すようなパラメータである。パラメータの総数は、Nano-JASMINEの場合、 s が 10^7 個程度、他のパラメータはこれに比べて優位に少ない。AGISは、これら3種のパラメータについて、観測データからbest fit値をiterationで計算する。Iterationは、 s と a が既知として c を求め、 a と c が既知として s を求め、 c と s が既知として a を求めるといったステップを繰り返すことで行われる。

- 色と等級により、(ノイズ等を含む)星像の形状が異なり、星像中心の導出に影響する。
- 熱変動で二視野の相対角や画角が変動する。
- 基準線通過時刻はGPSデータからクロックで内挿するが、水晶発振子の変動がある。
- 放射線により検出器特性が変化し、星像中心がずれる。(P3-183)
-

装置モデル: 星からの光が最終的に結像する様子は、望遠鏡や検出器特性、さらには像としては見えない背景の暗い多数の星の分布などにも依存する。

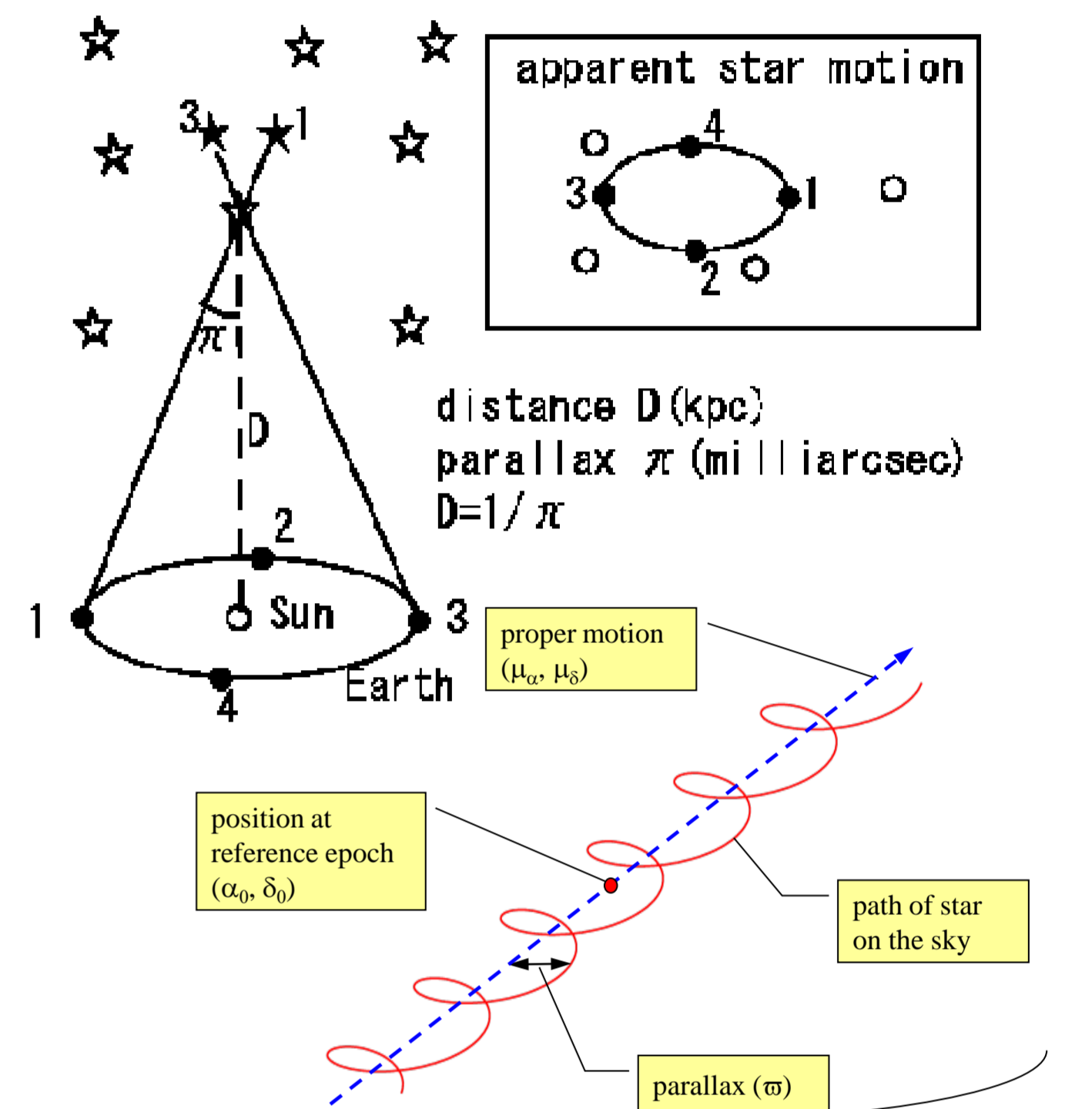


衛星運動モデル: 星からの光が観測装置に入る方向は、衛星の軌道位置(視点)・軌道速度(光行差)・姿勢(機体座標と天球座標の回転変換)に依存する。軌道は地球重力の10次程度の展開からGPSデータのbest fit値を代入、姿勢は三次の区分的スプラインモデル(微分不連続が表現可能なモデルが必要)で星の運動と同時に解く。



星からの光伝搬モデル: 星からの光は、木星など大きな惑星や太陽、その他の天体の影響を受け、重力レンズ効果で曲がる。

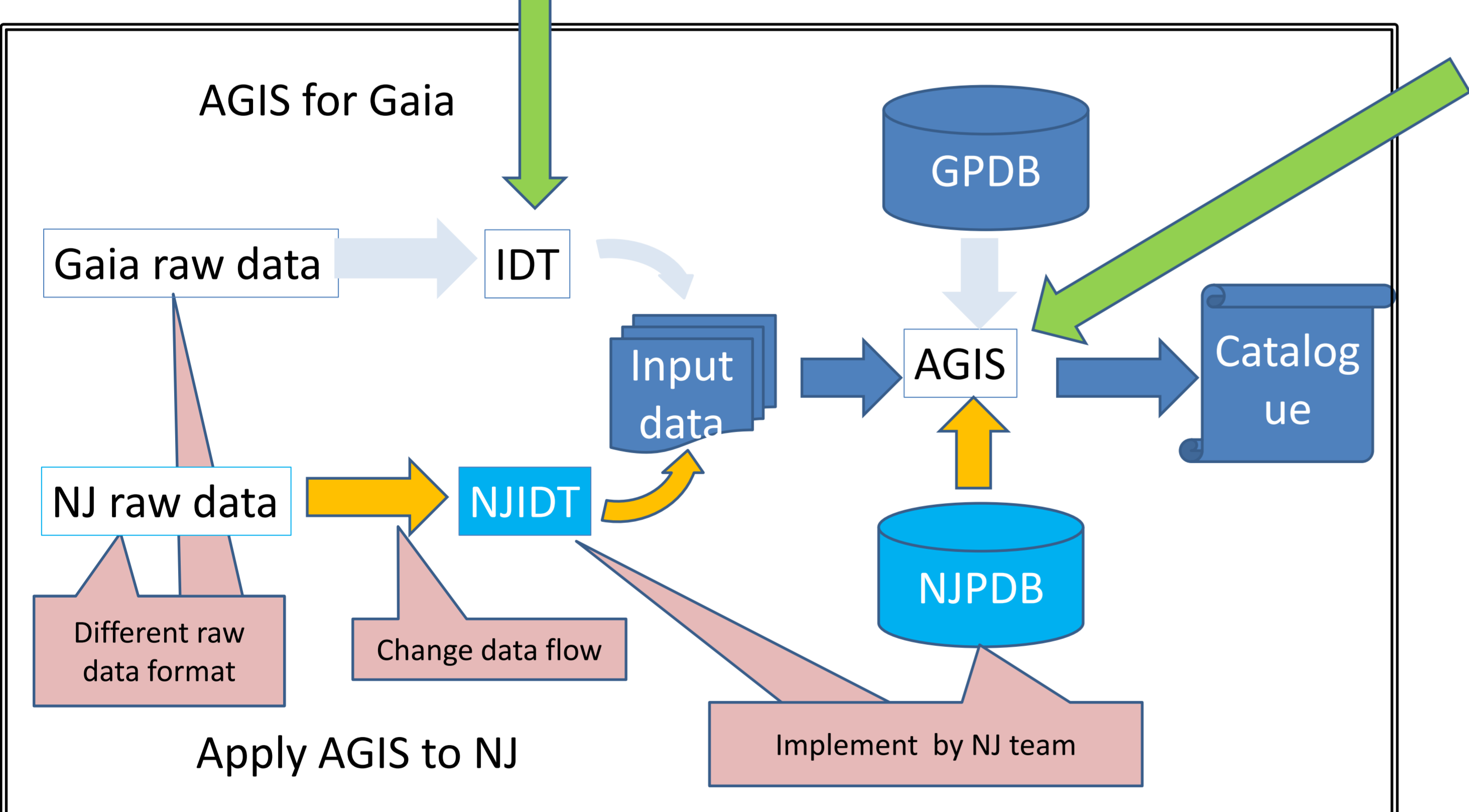
星の運動モデル: 天球上の恒星の運動は、5つのパラメータで書ける。ある時刻での位置、横断速度、年周視差である。



基本データ: 星が検出器面上の基準線を通過する時刻と、スキャン垂直方向の検出器座標を、それぞれ1/100 pixelレベルの精度で求める。

IDTでは、装置モデルを用いて検出器画像から星像の縦横座標を求める。装置モデルの一部は「較正モデル」としてAGIS側で処理される。これはいずれも**日本側のタスク**である。必要であれば、AGISとは独立にiterationを行う。モデルの検討のため、日本でもデータ解析チームを発足させた。また、並行して検出器の特性評価実験を進めている。

AGISでは、「基本データ」に変換された観測結果から、星の運動モデル、衛星の運動モデル、その他の較正モデルを用いて、位置天文パラメータを導出する。テレメトリデータから「基本データ」を計算する部分は、IDTとしてメインプログラムから分離されている。また、衛星固有のパラメータはParameter Data Base(PDB)にカプセル化されている。従って、IDTとPDBの二つをGaia用のものからNano-JASMINE用に置き換えれば、位置天文パラメータや姿勢パラメータのiterationはAGIS本体が自動的にやってくれる。(下の図)PDBの取り扱いはGaiaチームのタスクである。Gaiaのデータを扱うときには下図上側の薄い矢印に沿って、Nano-JASMINEのデータを扱うときは、下図下側の濃い矢印に従ってデータを流す。

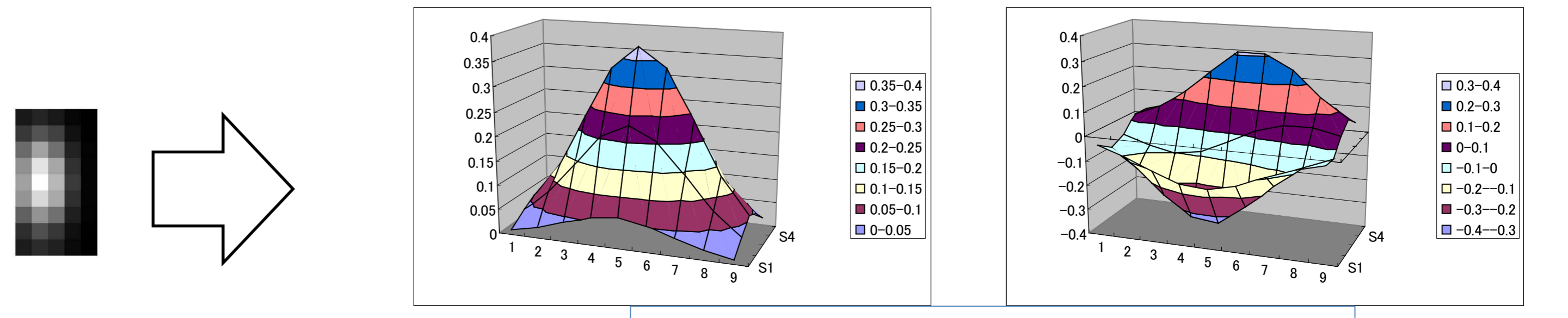


将来計画: 小型JASMINEでは、観測手法が異なるため、AGISをそのまま利用することはできない。そこで、より一般的な最小二乗solverの実装を企業と共同で開始した。この共同プログラムでは、「モデル」を柔軟に変更できるようにするための仕組みについて、さまざまな検討がなされている。位置天文では、「すべてをモデル化して最小二乗で解く」という原理は簡単だが、巨大でありかつ「興味あるパラメータ」と「補助的パラメータ」が密に結合した最小二乗問題を、如何にmanageableな問題とし、かつ効率よく解くかが重要である。そのために、モデルの構築とその処理の観点からさまざまな工夫がなされている。(下表) その意味で、共同プログラムはこの延長である。SysMLによるモデルの検討・構築・修正、構築されたモデルから主成分分析や特異値分析などにより影響度の高いパラメータ(の組み合わせ)の抽出、行列の効率的反転などのツールを組み込むことで、モデルの自由な変更に対応できるようなシステムを目指している。これにより、異なる衛星への適用が可能になるだけでなく、「統計モデル」で処理していたNano-JASMINEのモデルを「物理モデル」に置き換えることで、同じデータからでもより高精度な天文カタログを作ることが可能になるだろう。また、「物理モデル」が洗練されると、今後の衛星開発にもフィードバックが期待される。

実装の状況: Nano-JASMINEのテレメトリデータは、星像窓の9 x 5 pixelの値である。AGISの基本入力である縦横の中心座標への置き換えプログラムは、現在作成中である。
Centroid: このプログラムの中で、星像中心を精度よく求める必要がある。星像の主成分をとると、PSFおよびその中心からのずれの情報を保持していることが分かる。(右下図) 第一成分はPSF形状、第二成分はx方向のずれ、第三成分はy方向のずれを表す。多数のデータから、第二・第三主成分の係数と星像中心のずれとの係数を計算することができる。
Radiation damage: 放射線による電荷転送率(CTE)の変化が及ぼすPSF形状の変化は、上の星像中心推定に影響を与える。実際にどの程度電荷転送効率に変化するかは、京都大学のタンデム加速器を利用した放射線照射試験により検討されている。Gaiaでは星像中心のずれは等級の3次までの展開式の係数を同時に求めることで十分な精度が得られるという検討がある。Nano-JASMINEの条件でも同様のことが言えるのかどうかについて、今後詳細な検討を行う。
Proper motion: Nano-JASMINEとHIPPARCOSの間には、20年の時間ベースラインを取ることができ、これを利用して固有運動を求めると、HIPPARCOS固有運動の精度を約10倍向上させることができ、それにより新たなサイエンスが開ける可能性が指摘されている。サイエンスWGを中心に日本でも検討を進めている。

Yoshiyuki Yamada, yamada@amesh.org
京都大学大学院理学研究科物理学第二教室
この仕事は、文部科学省宇宙利用促進調整委託費のサポートで行われました。

項目(一例)	手法・モデル等の案
基礎方程式	興味のないパラメータを代数的に消去 興味のないパラメータも同時に最小二乗問題として解く
反転方法	直接行 短時間(星は不動)解 行列を反と長時間解に分ける 転する (HIPPARCOSの方法) 星・姿勢・較正の物理的な3つのカテゴリーに分ける (AGISの方法) データが出てくる順に逐次反転する
星像中心	PSFやLSFをモデル化する 重心法(星像中心のsub pixel成分がpixel weightの重心のそれと線形関係にあるというモデル)
姿勢	衛星回転則をsin/cosで展開⇒連続 (C∞)関数に制約される 区分的splineで展開(デブリの衝突などで微分が不連続でもOK)



The first two principal components