

20マイクロ秒角の位置天文精度達成のためのデータ解析 HSTデータとシミュレーション

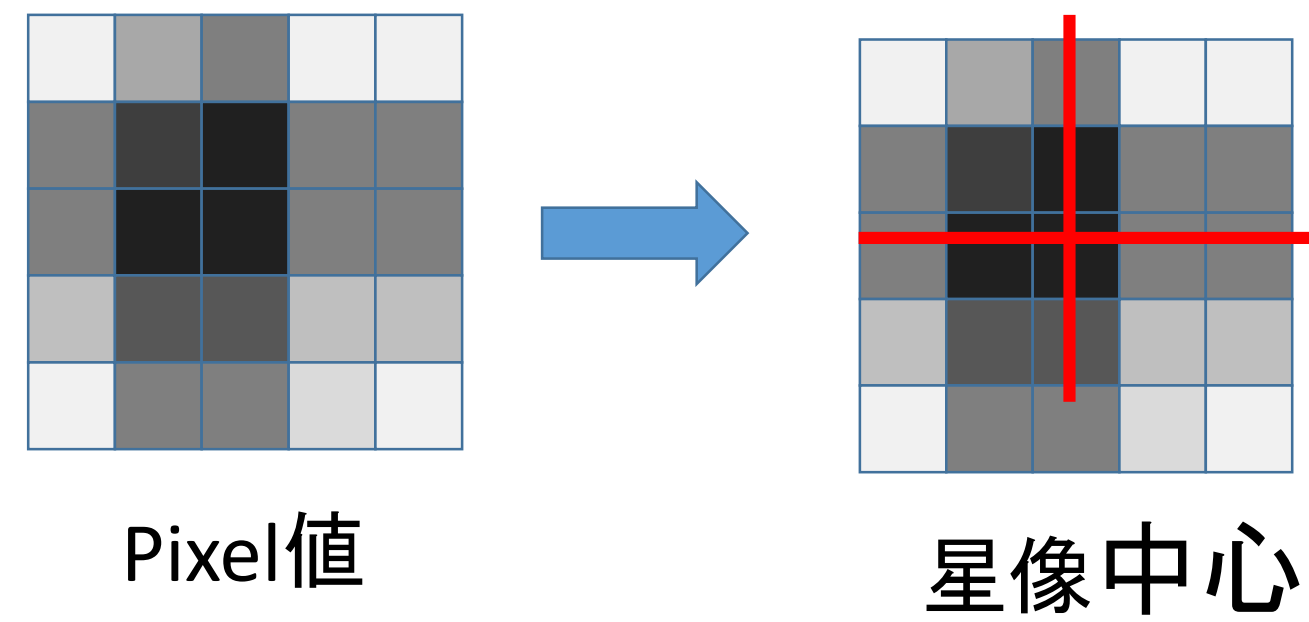
Study of HST data and simulation for achieving 20 micro arcsecond astrometric accuracy

山田良透¹⁾、鹿島伸悟²⁾、上田暁俊²⁾、矢野太平²⁾、宇都宮真²⁾、郷田直輝²⁾、小林行康²⁾ 1)京都大学、2)国立天文台

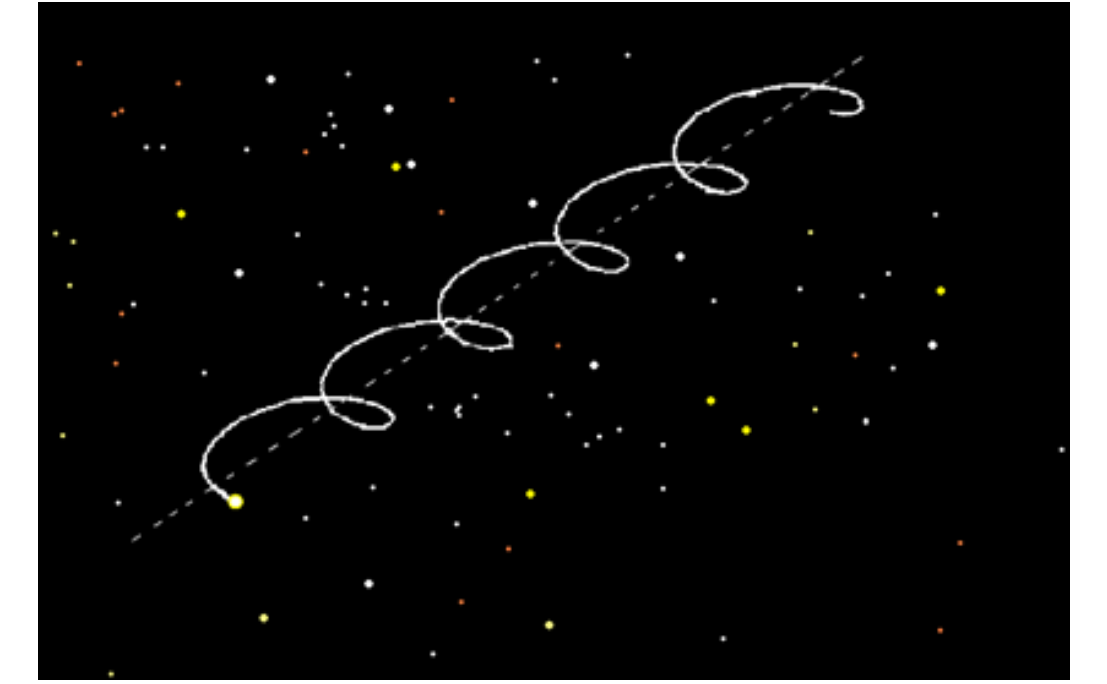
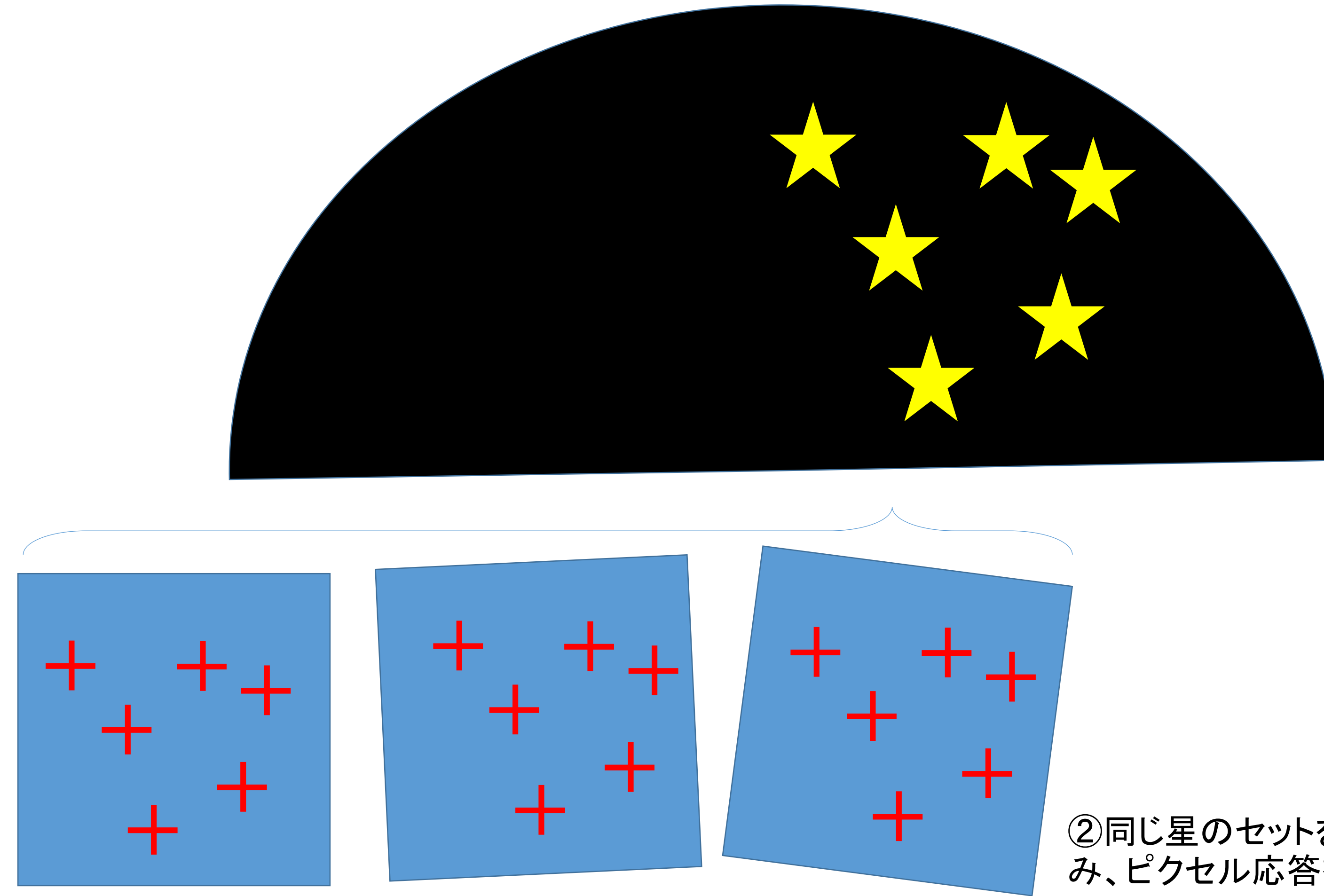


ワーキンググループでは、小型JASMINEのミッション目標である20マイクロ秒角の位置天文精度を達成するための解析手法の開発、その手法の実現性を確認するために、シミュレーションとHSTの公開データを用いた解析を行っている。20マイクロ秒角達成のためには様々な誤差要因をモデル化して推定することが必要だが、実データを用いて、このプロセスが正しく働いていることを示すことが、本検討の目標となる。

データ解析の流れ



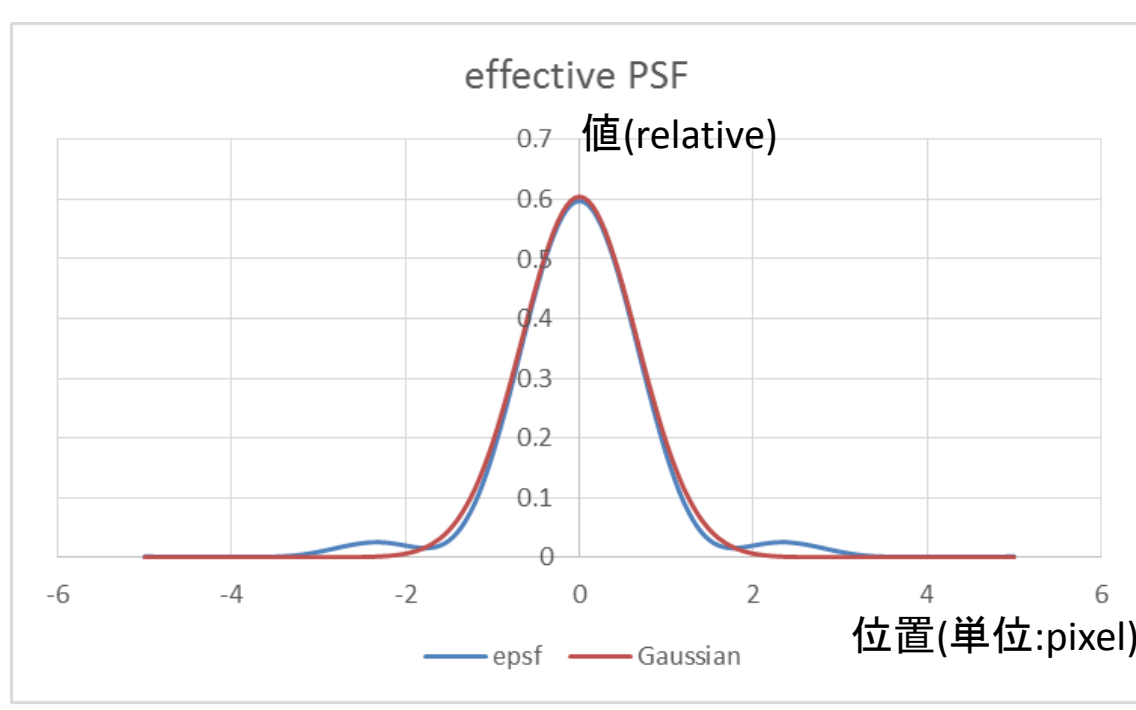
①星の中心周りのピクセル値をダウンリンク、星像Window内でサブピクセルレベルの星像中心を、PSFモデル、ピクセル応答を同時に推定する。



④天球上の星の位置の時間系列データから、星の運動パラメータを推定する。

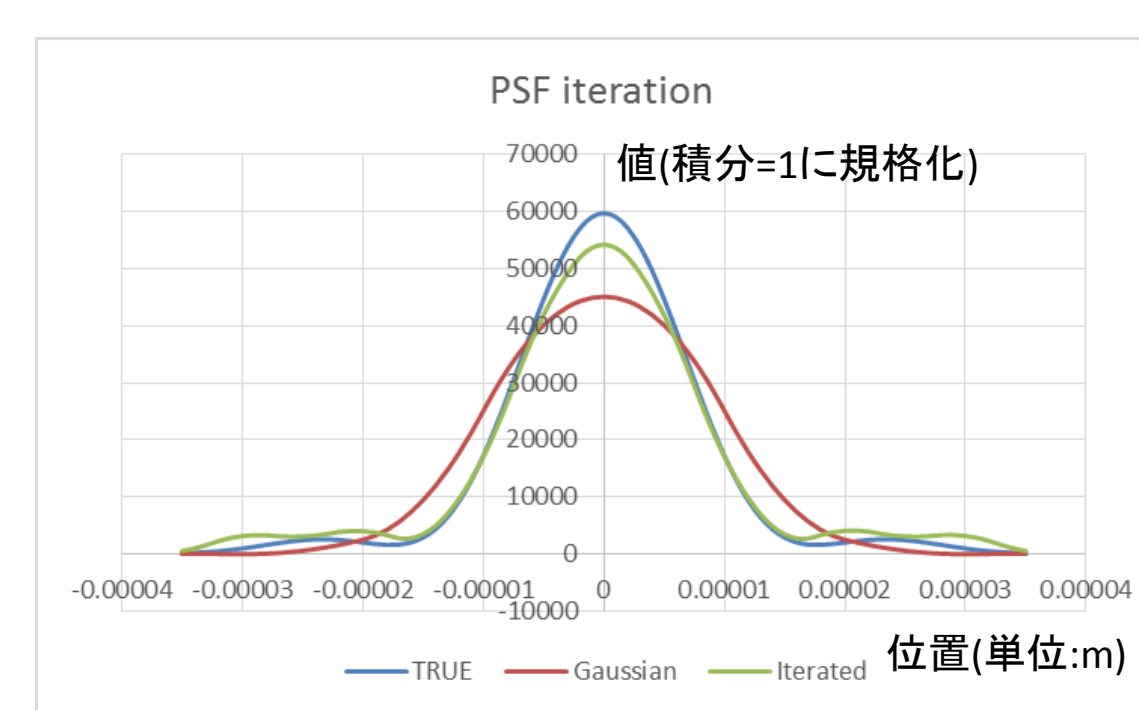
③位置が既知の星を頼りに、像面での星の相対位置を天球上の位置にマップする

星像中心

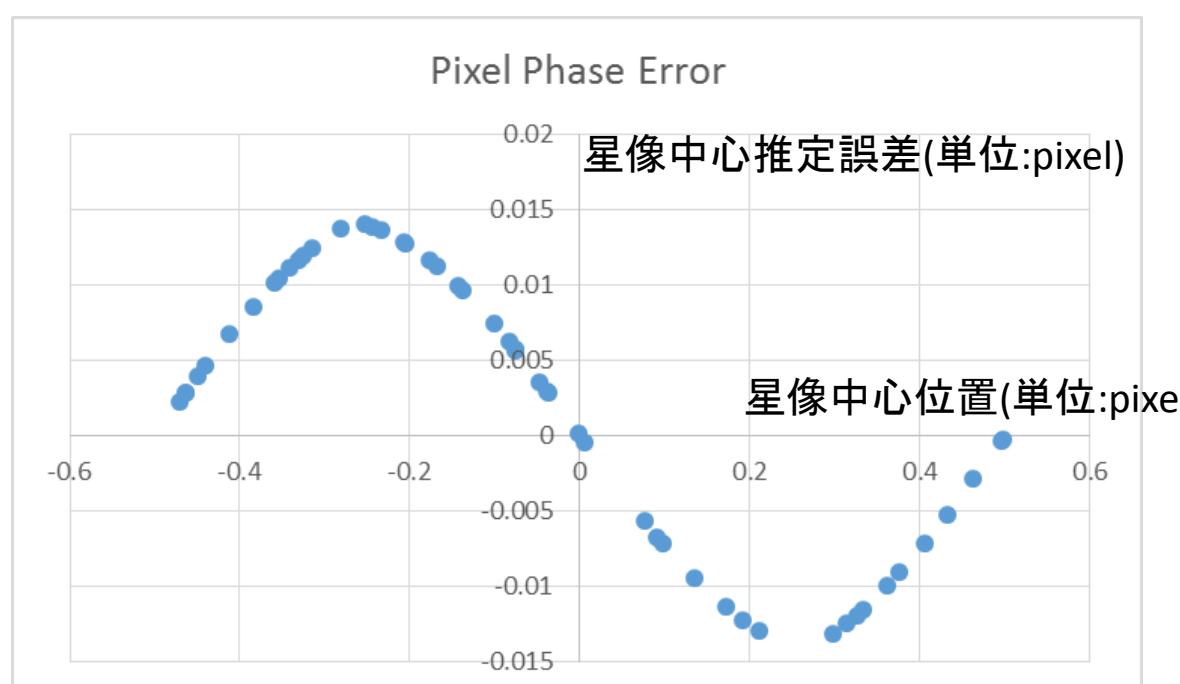


星像中心を1/100ピクセル精度で求めるため、PSFモデルを構築する。以下にリストする要因のPSF形状への効果を評価することになるが、すべての要因を知ることは出来ない。そこで、HSTにならって、データからPSFモデルを構築する。

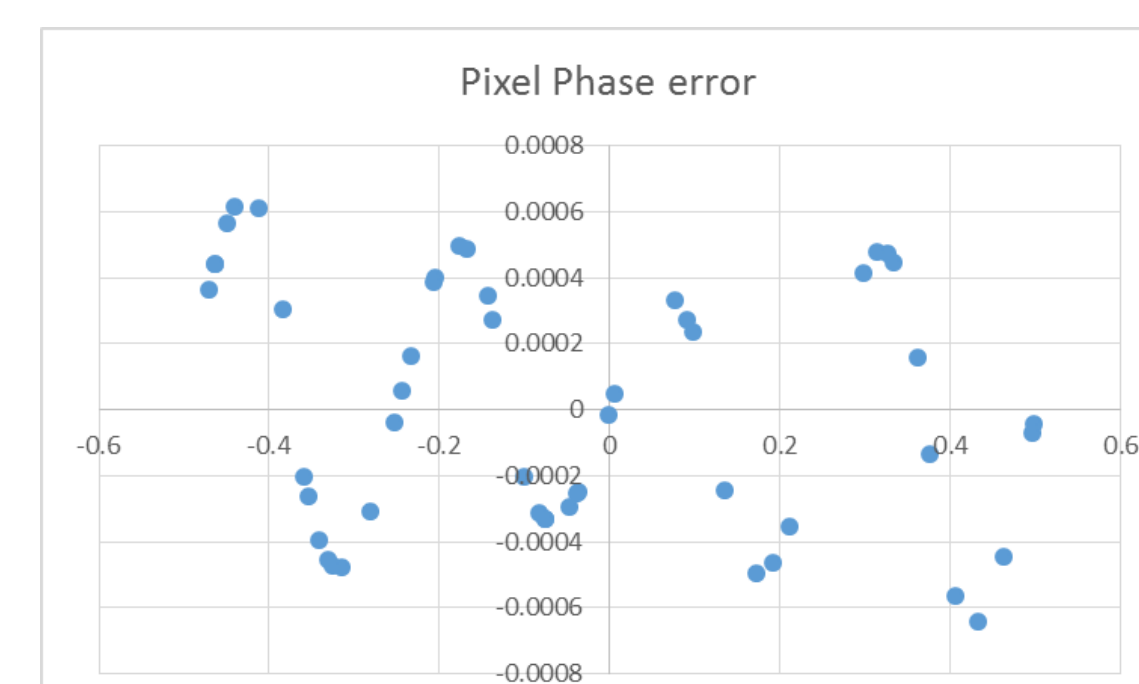
左図は、PSF形状も出る初期値(ガウス分布)とシミュレーションで用いた真値の比較。



ガウス分布からはじめて、データとPSFモデルを最小二乗fitして中心を求める。数百のデータの点数(2次元なら数十点)のデータが、数千のデータ点を与える。これをもとにPSF形状をiterativelyに補正しつつ、PSFモデルを更新してゆく様子を左図に示す。(アルゴリズムはAnderson and King, 2000)。左下図は、iteration後のpixel phase error。1/1000ピクセル以下の誤差に抑えられている。

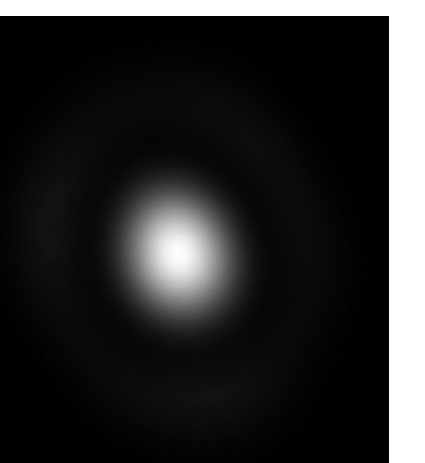


シミュレーションで生成したPSFは、真の中心が分かっているので、PSF形状をモデルとfittingした際の中心推定誤差が評価できる。±0.5ピクセルの範囲でピクセル中心から真の中心がずれているケースについて、推定残差を示したのが左図(pixel phase errorと呼ぶ)。ガウス分布では、1.5/100ピクセル程度のずれがある。



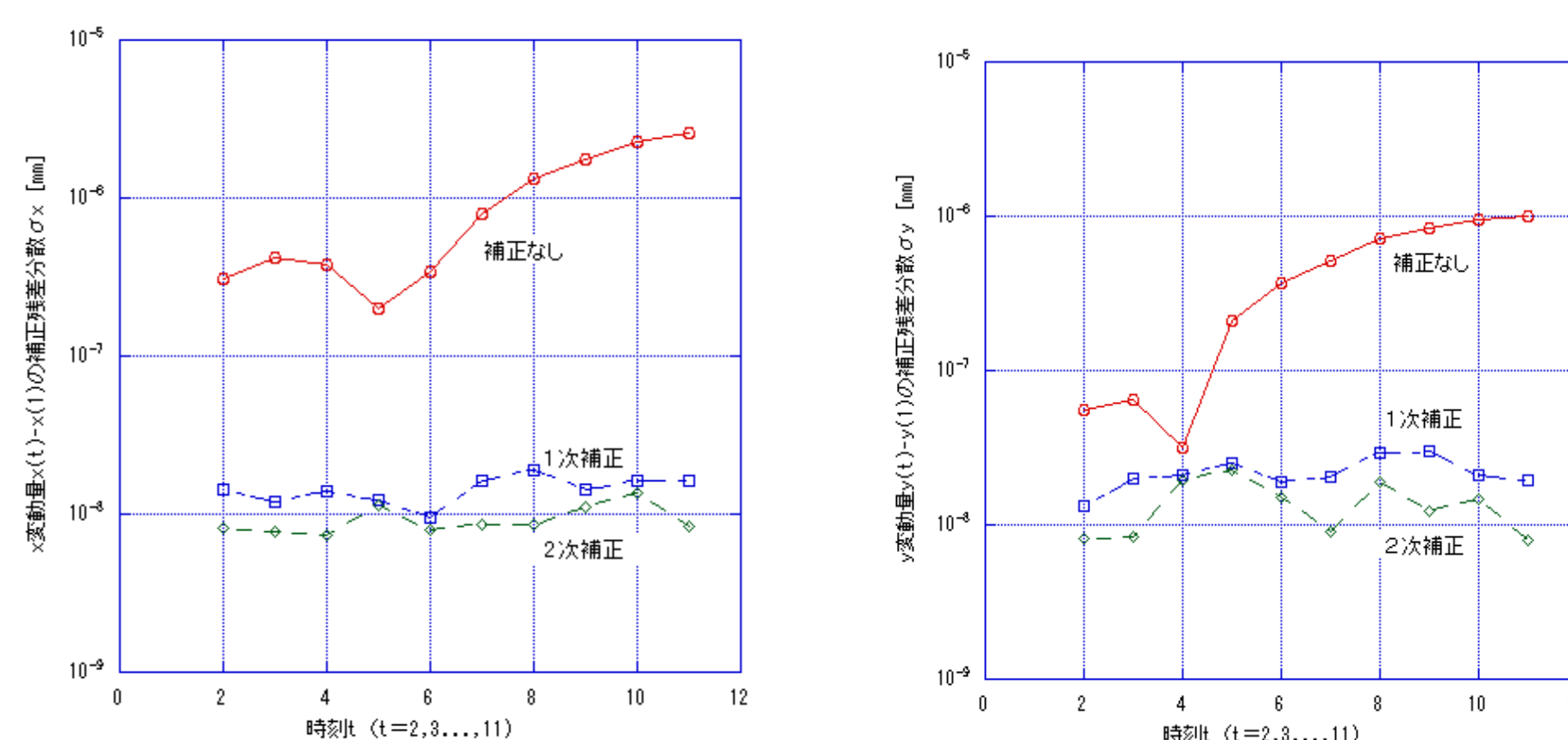
色や像面上の位置でサンプルを分ける必要があるかどうかについては、今後の検討課題。HSTでは、初期は像面を9分割して別々のPSFモデルを作っていたが、今はその必要は無い。

HSTプロジェクトで構築したPSFモデルを右図に示す。このPSF形状を再現することが、この手法の検証となる。



プレート張り合わせ

プレート張り合わせは、多数の星像中心のプレート上の座標(ピクセル)から、衛星の姿勢(望遠鏡光軸の方向と光軸周りの向き)、像面の大域的変形を同時に解くものである。



鏡の熱変形に伴い発生する像面変形による星像の位置ずれを評価したのが右図である。同様に、支柱の伸び縮み、検出器の熱変形についても評価している。システムの熱設計が成立していて、システムが所定の温度安定度要求内で変動しているとした場合、変形そのものは1nm程度あるが、低次(1次あるいは2次)の補正で位置推定残差を数十pmオーダーに抑えることができることを示している。これは、天球上での位置ずれに換算すれば、数μ秒角のずれに相当する。望遠鏡の設計、衛星システム全体の熱設計が、プレート張り合わせによる位置天文観測のキー技術である。

汎用の望遠鏡でAstrometryを行う場合、温度安定度が不十分だったり、温度変動による像面上の位置の変動が大きい場合、HSTなどでも、globalに4次補正を行いさらに像面を数分割して個別のlocalな補正を加えても、ミリ秒角程度の補正残差が残る。すばるも広視野であるため、像面変形の補正を10次以上の多項式で行っている。その状態では、多数枚の観測を行っても高精度アストロメトリを行うことは難しい。

PSFモデル構築時に考慮すべき要因	プレート張り合わせ時に考慮すべき要因
回折像の形状、スパイダパターン	光学系設計による像面の大域的歪み
設計・製造公差による収差によるPSF形状の変形	設計・製造公差による像面の大域的歪み
打ち上げ衝撃、熱変動由来の変形によるPSF形状変化	打ち上げ衝撃、熱変形による像面の大域的歪み
経年変化によるPSF形状の変化	経年変化による像面の大域的歪み
検出器特性(ピクセルサイズ非一様、ピクセル内感度ムラ、ピクセル間隔、ピクセル応答の補正残差等)	検出器の温度変動、温度不均一性による大域的歪み、ピクセル間隔の非一様に寄る位置ずれ、
色、フラット、等級によるPSF形状の違い	暗電流補正残差、フラット補正残差
バスからの振動擾乱、磁気による姿勢変動	重力補正残差

実際に、星像中心推定に所定の誤差を入れ、像面変形等を与え、星の位置、あるいは位置天文パラメータを推定して、誤差の分布を見る検討を行う(右図)。現在コードは完成して、いくつかの検討ケースについて計算を進めているところである。ただし、現在は星の数もプレート数も限定的な計算を行う。小型JASMINE規模の計算を行うには、クラウド環境など超並列環境の構築、Hadoopを用いた行列反転コードの実装などが必要で、これはプロジェクト化後に行う予定で、ソフトウェア会社とも調整済みで、開発予算に計上済みである。

