

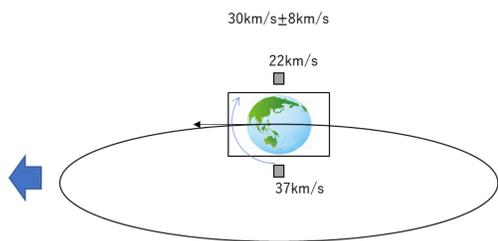


地球周回スペース位置天文観測における相対論効果 v210b

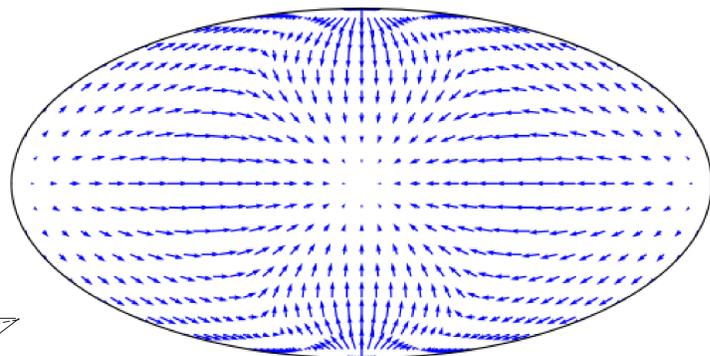
山田良透(京大理)、JASMINE チーム

位置天文観測では、ミリ秒角の精度で撮像プレート上の星の中心位置を測定する。測定回数 M に対して $1/\sqrt{M}$ で低減しない誤差については、 μ 秒角精度の誤差を知る必要がある場合もある。そのため、検出器や望遠鏡の特性も推定パラメータに含める。

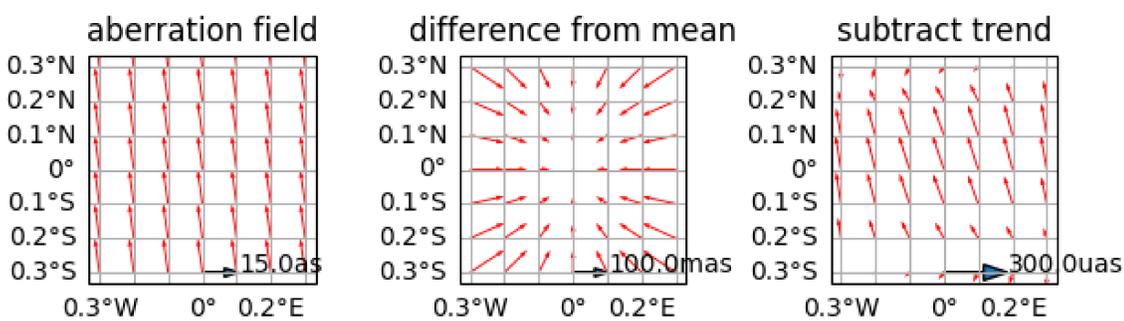
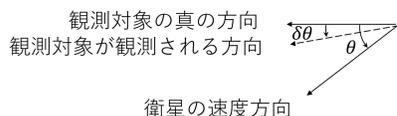
衛星の運動による光行差や惑星の重力による光線の曲がりは、目標精度に比べて無視できないデータの位置ずれを発生させるため、これらも推定する必要がある。光行差で 20μ 秒角 (JASMINE の目標精度) は、速度推定誤差で 3cm/s のオーダーに相当する。Gaia は、このレベルの速度推定を要求している。Gaia は全球の絶対 Astrometry であるのに対し、JASMINE は銀河中心付近の限られた領域を観測する相対 Astrometry を行う。JASMINE の視野の広さは 0.55 度、視野内のもっとも離れた二点は対角線上の二点で、その距離は $1/70$ radian 程度である。従って、速度推定精度の要求は、 $1/70$ radian での光行差の差が 20μ 秒角程度で良いと考えられる。速度推定精度は 2m/s 程度であれば良いことになる。



地球周回衛星では、衛星の運動は地球の太陽の周りの公転運動の約 30km/s と、衛星の地球周りの周回運動の約 8km/s の合成運動となる。衛星は、慣性空間に対して 22km/s から 37km/s 程度の速度を持つ。(左上)
速度ベクトルと観測対象の方向の間の角度を θ とすると、光の方向が $\delta\theta$ だけずれて見える (Klioner 2003、左下および下)。速度方向を中心に、 $\delta\theta$ を図示したのが右図である。



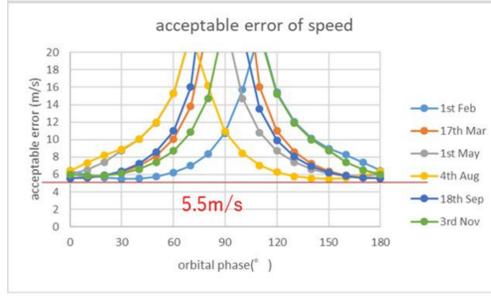
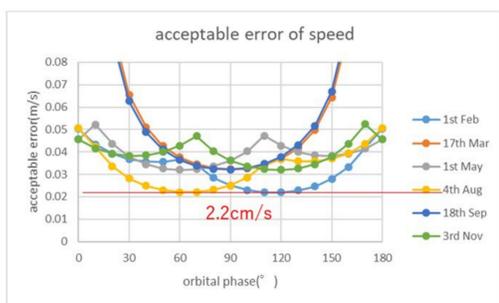
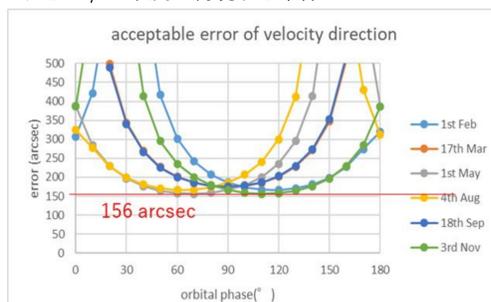
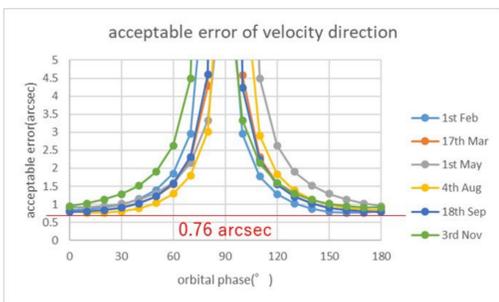
$$\delta\theta = \frac{1}{c} v \sin\theta \left(1 + \frac{2}{c^2} w(x) + \frac{1}{4} \frac{v^2}{c^2} \right) - \frac{1}{4} \frac{v^2}{c^2} \sin 2\theta + \frac{1}{12} \frac{v^3}{c^3} \sin 3\theta + O\left(\frac{v^4}{c^4}\right)$$



$10\mu\text{as}$ 精度の Astrometry を行うためには、衛星の運動による光の曲がりを数 μas 程度で補正する必要がある。光行差のパターンは衛星の周回 phase などにもよるが、一例を右図に示す。光行差の値は $15\text{as} \sim 25\text{as}$ 程度で、目標に対して 6 桁大きな値である。ただし、観測視野は狭いので、ほとんど同じ方向を向くベクトルである。
平均ベクトルを差し引くと、右図の中央の図のようになる。放射状のパターンが見える。観測方向によっては収束するベクトル場になることもある。この大きさも、 100mas 程度と、目標とする精度より 4 桁大きな値である。
さらに、放射状のパターンを差し引いても、まだ 1 桁大きな値が残る。ただし、これは計算可能な値である。

これを $20\mu\text{as}$ 以内で再現する条件

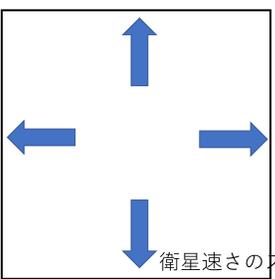
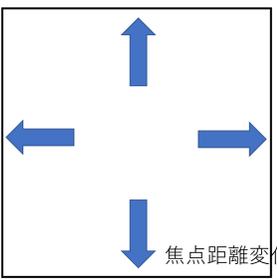
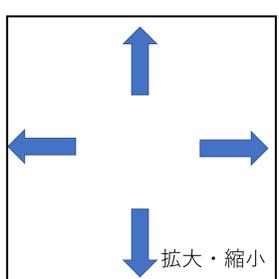
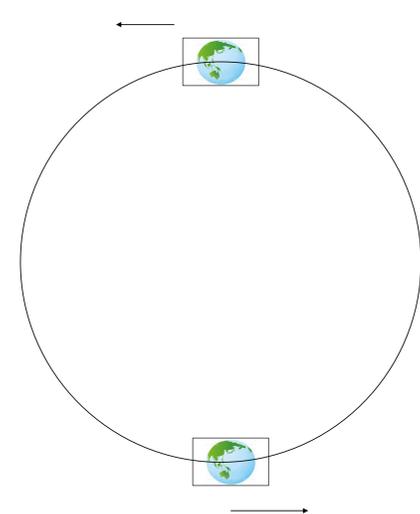
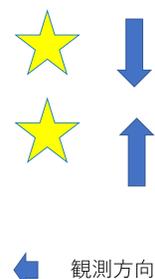
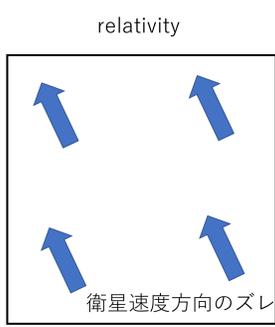
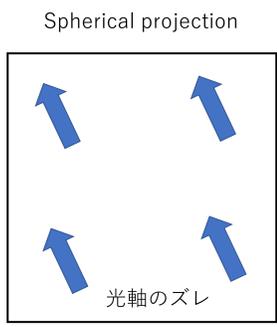
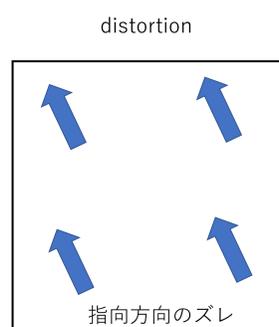
これを $20\mu\text{as}$ 以内で再現する条件



衛星の速度推定を誤った場合、撮像された星の方向の推定をどの程度誤るかを評価したのが、左図である。簡単のため、速度ベクトルの方向 (左右の図の上) と速度の大きさ (左右の図の下) を別々に評価した。また、左は星の方向の誤差が $20\mu\text{as}$ 以下になる場合に許される速度ベクトルの誤差を、右は視野内で星の方向の誤差の差が $20\mu\text{as}$ 以下になる場合に許される速度ベクトルの誤差を評価している。横軸は軌道フェーズ、グラフの線は JASMINE の観測日時として典型的な 6 点をとった。許容誤差が最低となるところが、必要な速度推定精度であると考えられる。
星の方向の誤差を許容しないとすれば、速度ベクトルの方向を 1arcsec 以下で、速度の大きさを 2.2cm/s 以下 (Abstract でオーダーで評価した 3cm/s に相当) の精度で知る必要がある。ただし、相対位置観測である JASMINE の場合、位置ずれの絶対値は何かの形で補正されるとすると、右図のように、速度ベクトルの方向は 150as 程度、速度の大きさは 5m/s 程度で知れば良いことになる。

$|a| < 20\mu\text{as}$

$|a - \langle a \rangle| < 20\mu\text{as}$



Dominant なモードが縮退するので、適切な規定で表現する必要がある。(今後の課題)