“Reducing ground-based astrometric errors with Gaia and Gaussian processes”

:Fortino et al.2020, ArXiv: 2010.13742v1

GAゼミ@201005 津久井

[アブスト]

地上観測で得られるAstrometryの精度は、ある確率過程にしたがって変動する大気の揺らぎが限界を決めている。Gaia DR2のように、非常に精度の高い星の位置を使うことによって大気の揺らぎによる画像の歪みは測定することができる。本研究では、Gaussian process regression (GPR)を用いて、Gaia DR2との比較によって得られた画像の歪みを任意の位置にinterpolationすることで、地上望遠鏡のastrometryの精度を向上させることに成功した。大気の揺らぎによる画像の歪みは7masから2masに減少させることができた。また、Erisの軌道に適応したところ、その軌道のbest fit modelとの残差RMSは10 mas から 5masに減少させることができた。

[ゴール]

Gaia DR2を使い、大気の揺らぎを測定し、それをモデル化して任意の位置に内挿することで、地上観測でしか取得できない暗い星のAstrometryの精度を向上させる。

[オリジナリティ]

大気の揺らぎによる、天体画像の歪みの場(distortion field)をGaussian process regressionを用いてモデルした。このとき、distortion fieldの回転がゼロであるという制限を加えた定式化を行なった。歪みを表す、ベクトル場(u,v)の二変数を解くのではなく、(u,v)= $\nabla_{\mathbf{x}}\phi(\mathbf{x})$と書いて、一変数$\phi(\mathbf{x})$について解けばよくなりモデルの精度が向上する。

[ロジック]

1. 用いた観測データ: 一露光のDES data(r, i, z band)から得られたsingle epochのastrometric solution。Gaia DR2 5 parameterが得られた星のastrometric solution。Gaia DR2はDESの観測時間での2次元位置に変換し、DESのastrometric solutionとcross matchさせる(r<0.5”)。また、観測装置の熱膨張等による大きなscaleでの歪みはpolynomial fittingで大雑把に差し引いておく。$\mathbf{u} = (u, v) = \mathbf{x}_{DES} - \mathbf{x}_{Gaia}$がDESとGaiaのastrometryの残差。大気の揺らぎによるdistortionの大きさを表す量として2点相関関数 $\xi_{uu}(\mathbf{x}) = < u_i u_j >$ の和$\xi_+(\mathbf{x}) = \xi_{uu}(\mathbf{x}) + \xi_{vv}(\mathbf{x})$を計算する。($i, j$はベクトル$\mathbf{x}$離れた星を全て平均する。shot noiseによるerrorは相関しないので、２点相関関数への寄与はゼロになる、そのため、ここで計算した$\xi_+(\mathbf{x})$は大気によるdistortionであるとみなせる。; 図1)
2. GPRモデル: $\phi(\mathbf{x})$がrandom gaussianで記述できるという仮定をおく。Power spectrum, 望遠鏡のAperture, 大気を特徴つける5つのパラメータ π_Kで、大気揺らぎによるdistortion (u,v)をモデルした。観測量$\xi_+(\mathbf{x}) = \xi_{uu}(\mathbf{x}) + \xi_{vv}(\mathbf{x})$とモデルから得られる$\xi_+(\mathbf{x})$の比較を行い、パラメータ π_Kを推定した。
3. パラメータ π_Kをさらに$\xi_{1.2} = < \xi_+(\mathbf{x})_{|\mathbf{x}|<1.2}$が最小になるように最適化した(2.では大気のモデルがdistortionの特徴を一番よく再現するπ_Kを求めたが、3.では補正後のdistortionが最も小さくなるようにπ_Kを最適化している。)。この最適化したモデルを使って、大気の揺らぎを補正し、評価した。(図3, 4)

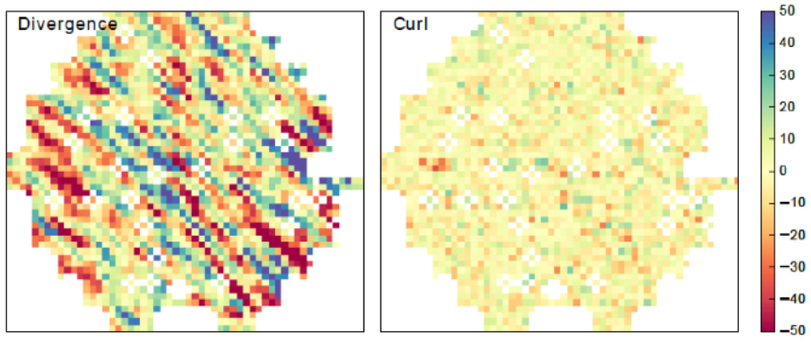
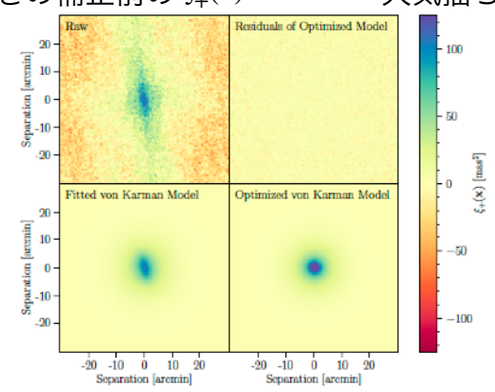


図1 (u,v)の発散と回転、発散。
発散がstreakyな形状をしているのと回転がゼロであるのは、
大気の擾乱によるdistortionによるものであると筆者は主張している。

大気揺らぎの補正前の $\xi_+(\mathbf{x})$　　大気揺らぎの補正後の $\xi_+(\mathbf{x})$



2.で得られたbest fit $\xi_+(\mathbf{x})$　　3.で最適化した $\xi_+(\mathbf{x})$

図2 大気によるdistortion補正前/後に計算した$\xi_+(\mathbf{x})$とmodel $\xi_+(\mathbf{x})$

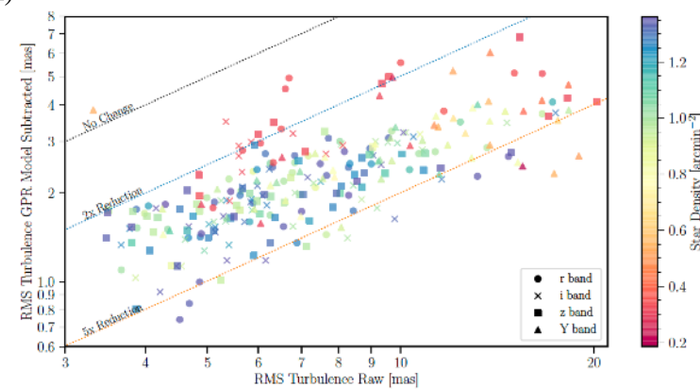


図3 大気の揺らぎによるrmsと
GPR modelによって補正した後のrms

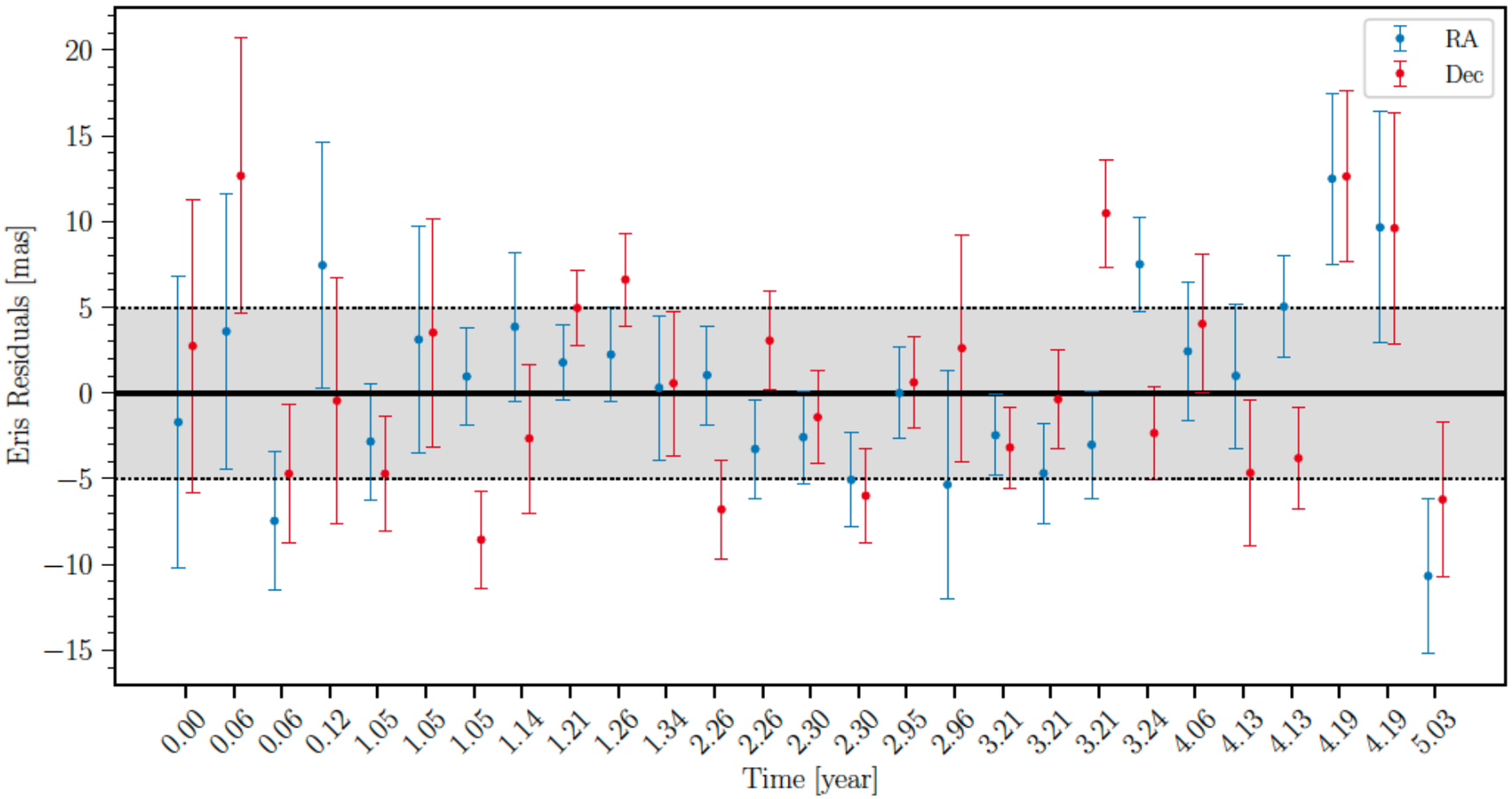


図4 Gaussian process regressionで補正後の位置と、best fit軌道との残差。
補正前はRMS residualは10 masであったのが、5masとなった。

[コメンツ]

筆者はLSSTを想定して、開発しているが、この手法はHSCのデータに直接適応できる。
HSCで数を稼げば、shot noiseも抑えられ、さらに精度はよくなる。HSCで天の川近傍銀河やそのsubstructureの固有運動を測定したい！