

補償光学観測で得られた PSFの推定の現状と展望

大野 良人 (ハワイ観測所)

補償光学のPSF

地上観測において、大気揺らぎの影響を補正することで望遠鏡の回折限界に近いPSFを実現するシステム

感度、空間分解能、Photometry、Astrometryの精度を大きく向上させる

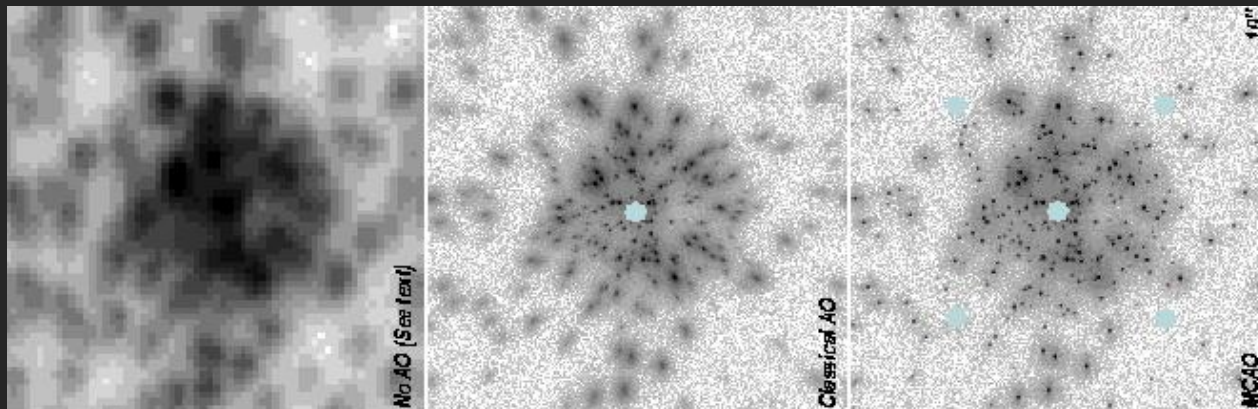
複数のガイド星を用いた広視野補償光学の登場による「補償光学の広視野化」も進んでいる
(ULTIMATE-Subaru GLAO、TMT NFIRAOS-MCAOなど)

さらなる改善のためにはPSFの空間的・時間的な変動が課題の一つ

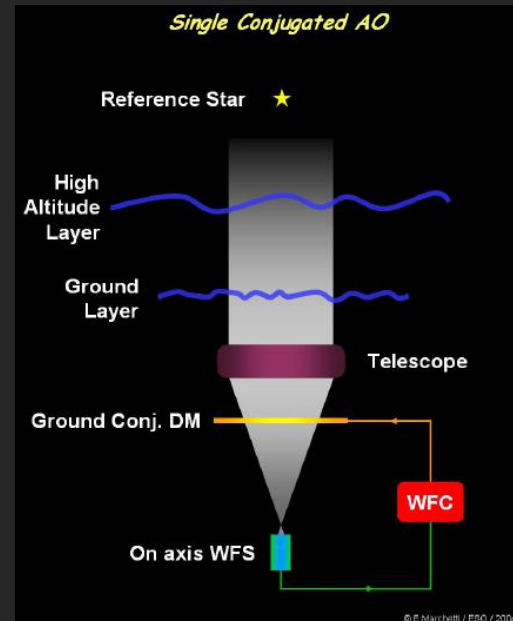
補償光学なし

従来の補償光学

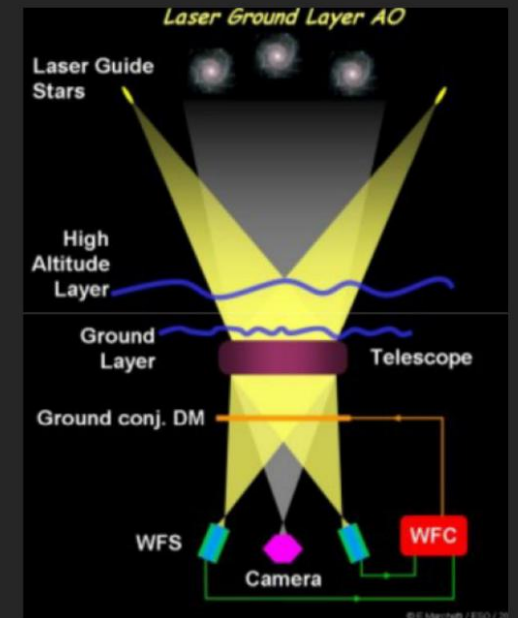
広視野補償光学



従来の補償光学



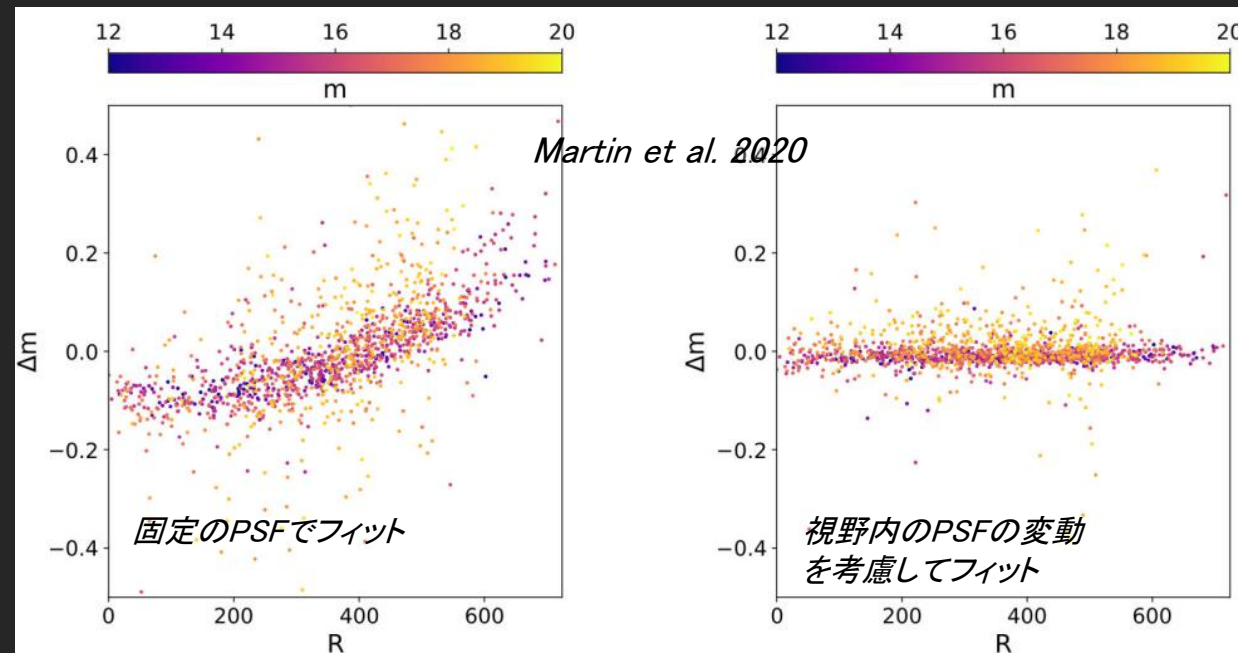
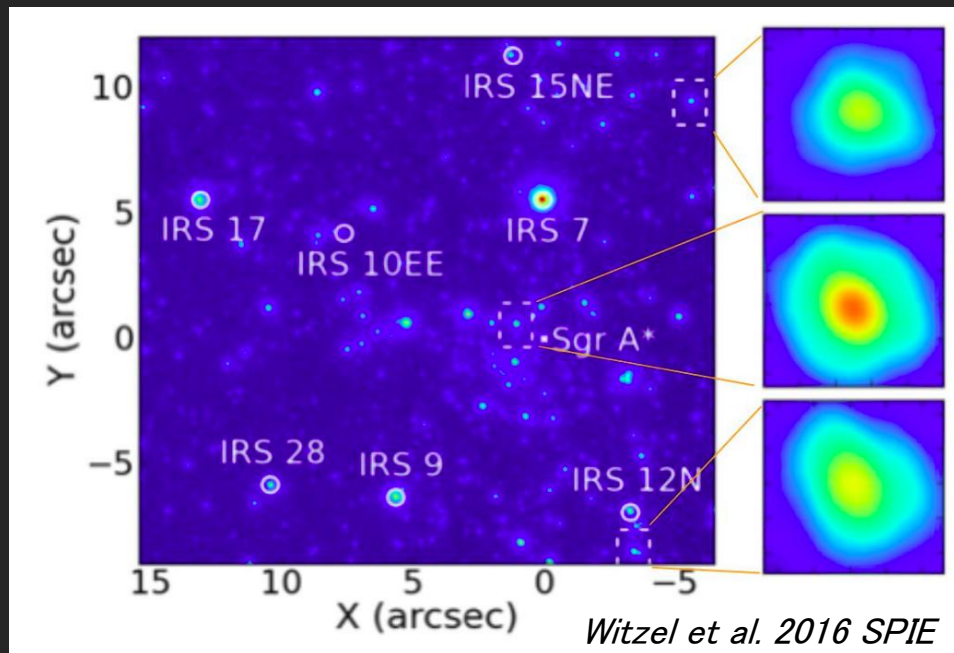
広視野補償光学



なぜPSFが必要か？

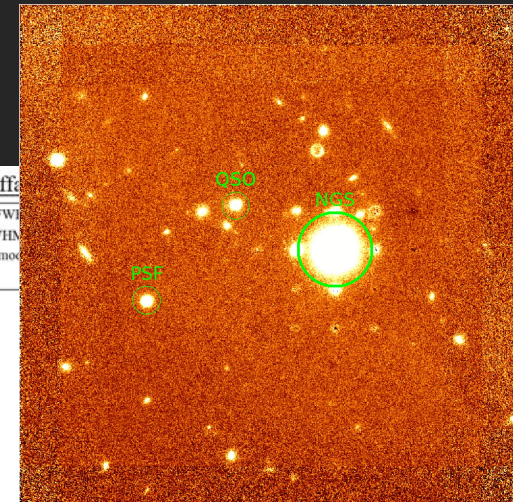
Galactic Center、近傍の星団の観測

- 視野内に星が密集している
- 高精度なAstrometryやPhotometryを達成するために、補償光学で星像をシャープにする
- PSFの視野内の変動、時間変動がPhotometry、Astrometryに影響を与える
- 視野内にPSFを参照できる星はたくさんある



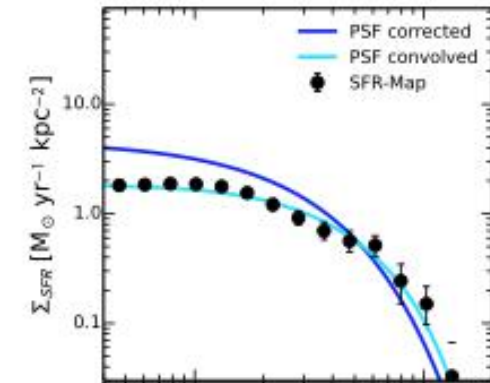
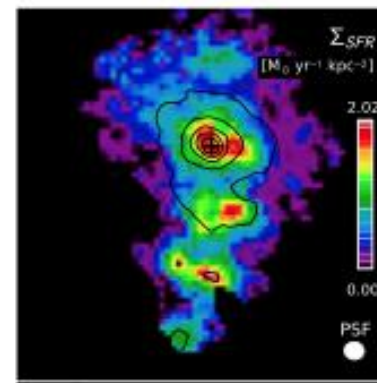
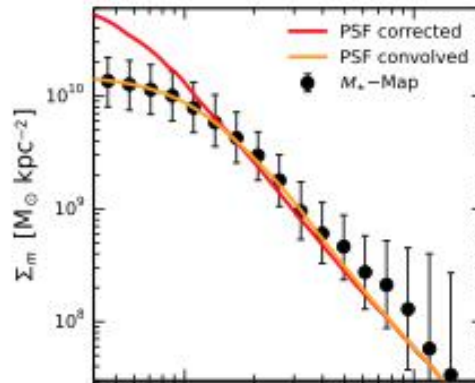
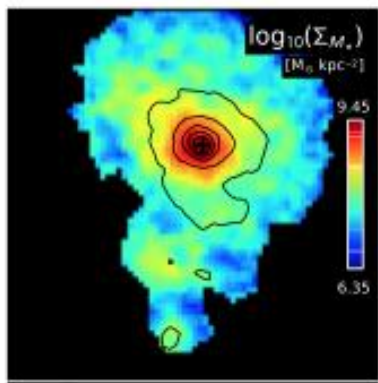
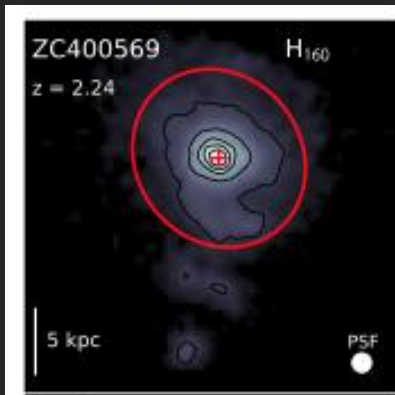
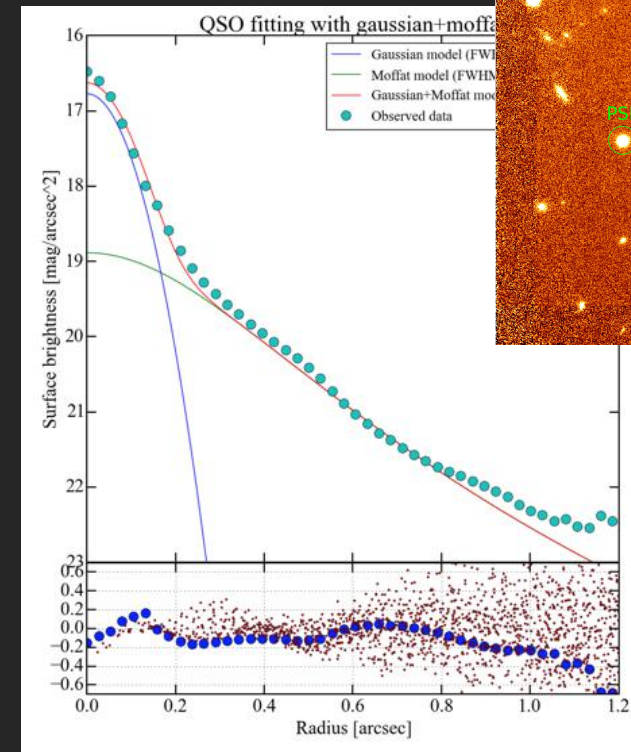
なぜPSFが必要か？

Saito PhD thesis, 2016
 $z \sim 3$ のQSO母銀河



遠方銀河やQSOの母銀河の観測

- 銀河の内部構造やQSOの母銀河がPSFに埋もれてしまっている。
- 正しい銀河の情報を抽出するためには、PSFのハロー成分まで含めた詳細な理解が必要
- 観測したいターゲット付近に必ずしもPSFを参照できる星がいるわけではない



PSFの推定

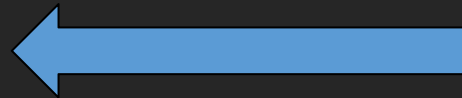
$$\text{PSF} = \text{PSF}_{\text{tel}} * \text{PSF}_{\text{static}} * \text{PSF}_{\text{ao}}$$

望遠鏡の開口で決まる
回折限界像

望遠鏡や装置の光学系で決まる
視野内の(準)静的な収差。

補償光学で決まる成分。大気ゆらぎの状態や補償光学のパラメータに依存して、空間的・時間的に変化していく。

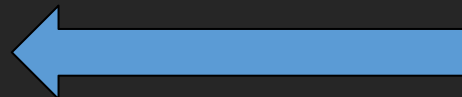
GCや近傍星団の観測



PSFモデリング+フィッティング

いくつかの事前情報と実際の観測画像を用いて視野内のPSFを決定する

遠方銀河・QSO母銀河の観測



PSF再構成

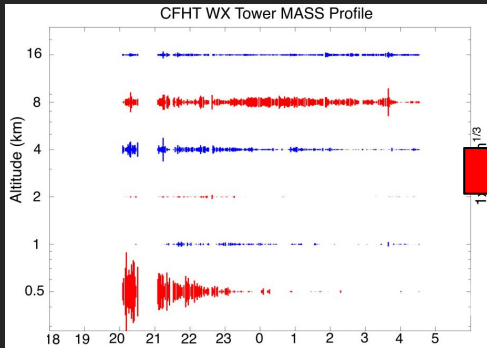
補償光学データと理論計算を用いることで補償光学のPSFを再構成する

PSFモデリング + フィットティング

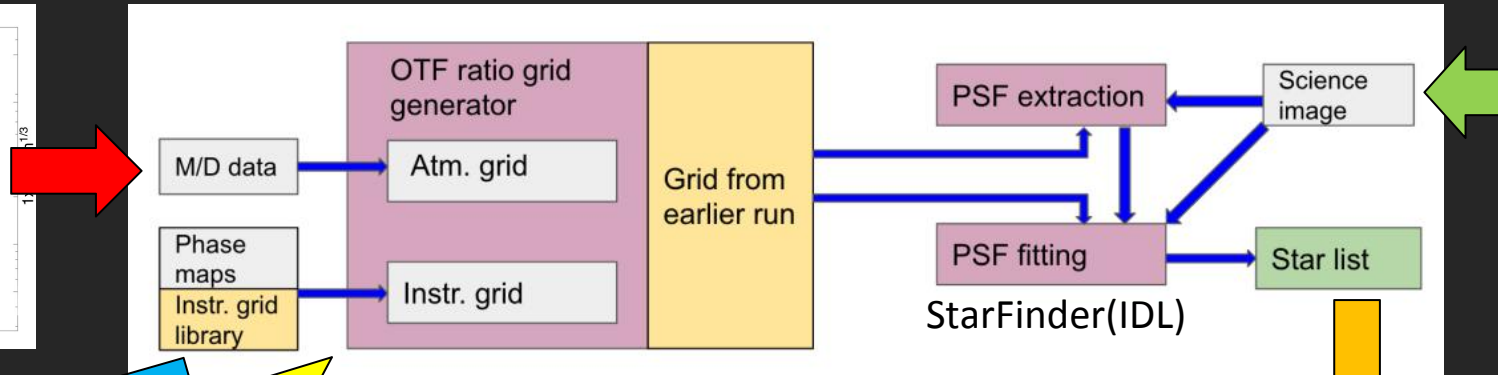
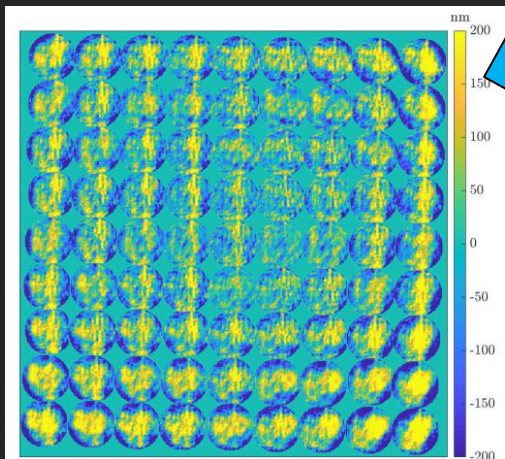
AIROPA (Witzel et al. 2016)

(Anisoplanatic and Instrumental Reconstruction of Off-axis PSFs for AO)

Atmosphere info (CFHT MASS-DIMM)



Calibrated static aberration map in Keck NIRC2 FoV



Science image



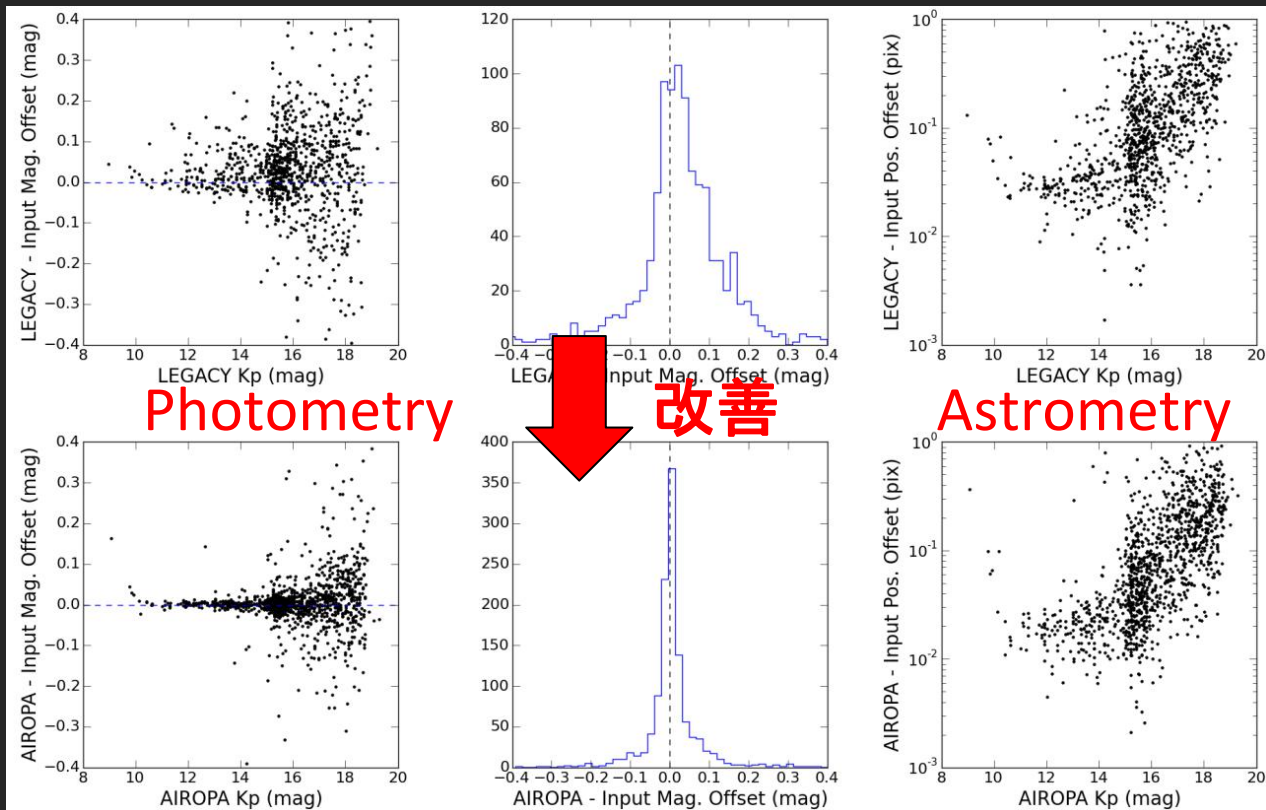
PSF, photometry, astrometry

大気揺らぎプロファイルと装置の視野内の収差の情報を事前情報として、観測画像内の複数のPSF参照星からモデルPSFを作成する。

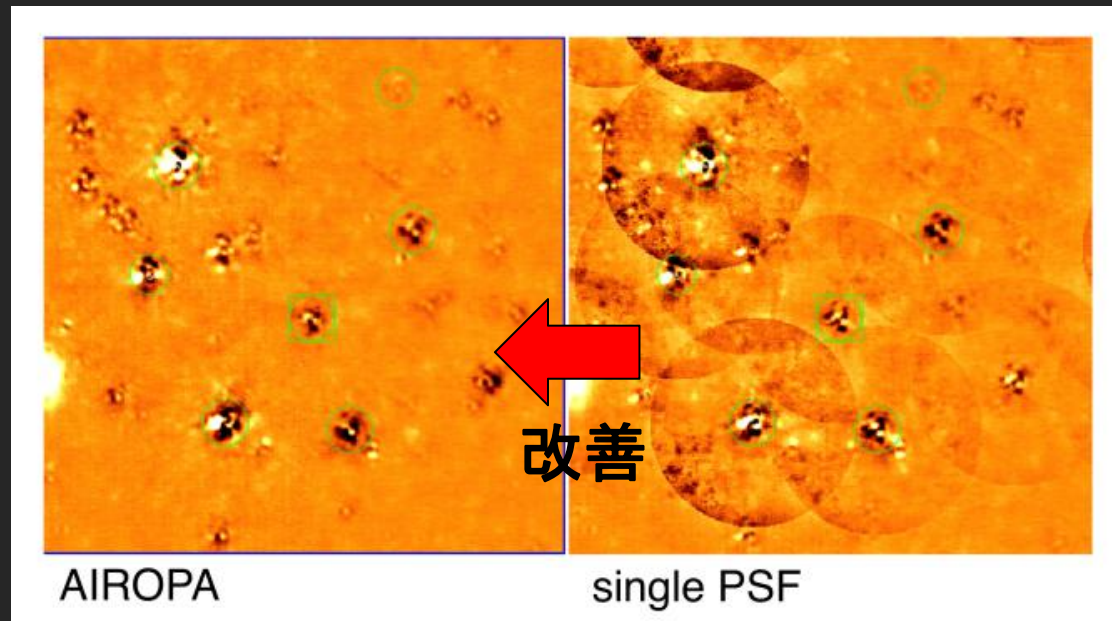
PSFモデリング + フィットティング

Galactic Centerの画像を用いたAIROPAの試験 (w/ simulation and on-sky image)

Simulation, single PSF vs AIROPA



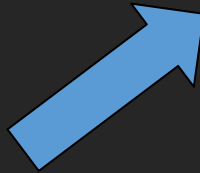
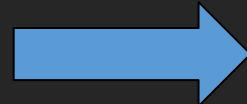
On-sky image, single PSF vs AIROPA



PSF再構成

Input

大気揺らぎプロファイル
装置の収差
補償光学データ、設定
(波面センサー、可変形鏡)



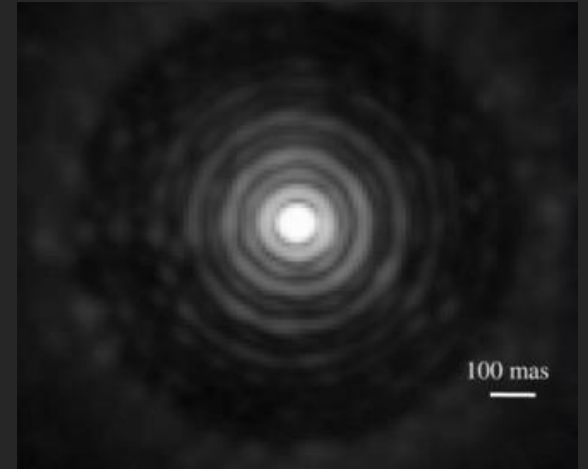
補償光学の残差モデル

(OTF, Structure Function, PSD)

- フィッティングエラー
- 時間遅れエラー
- 波面センサーの測定誤差
- Angular Anisoplanatism
- コーン効果 (LGS)
- 低次波面エラー (LGS)
- Aliasingエラー
- それ以外(望遠鏡振動、NCPA)



PSF



補償光学理論計算

or

数値シミュレーション

補償光学のシステムの理解にもつながる

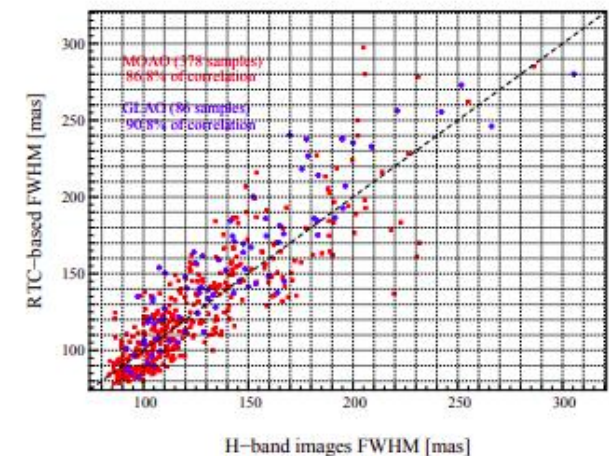
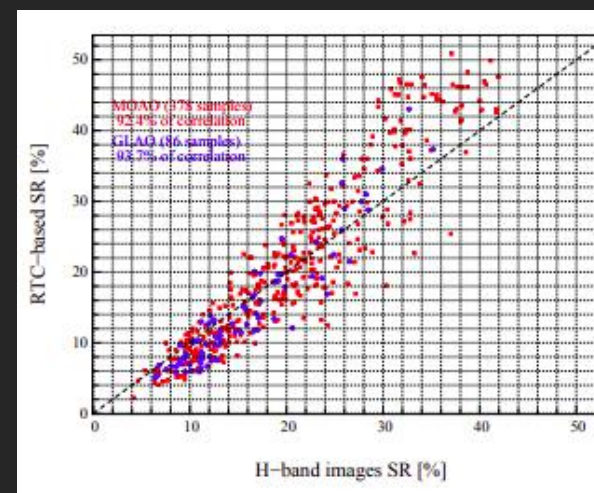
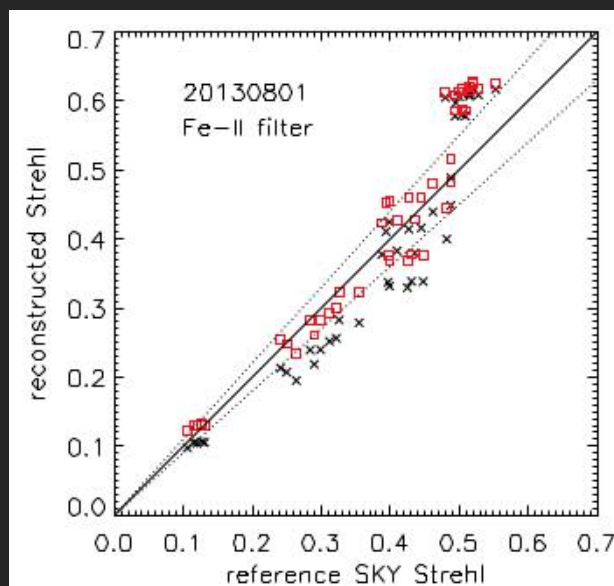
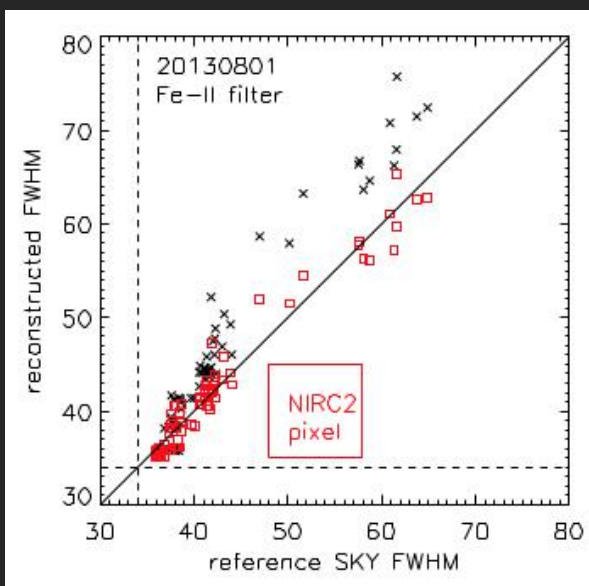
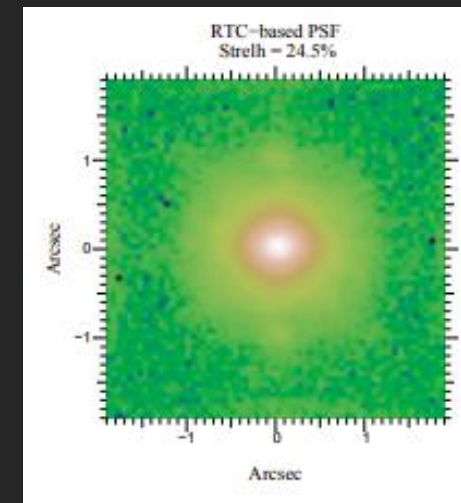
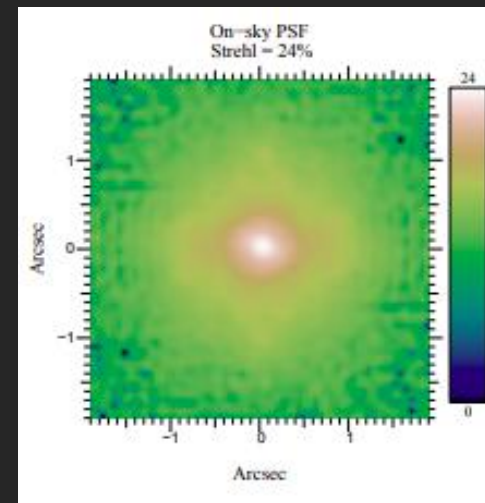
PSF参照星が無くても推定可能

正確な情報とモデルが必要

PSF再構成

Canary 多天体補償光学 (MOAO)
(Martin et al. 2016)

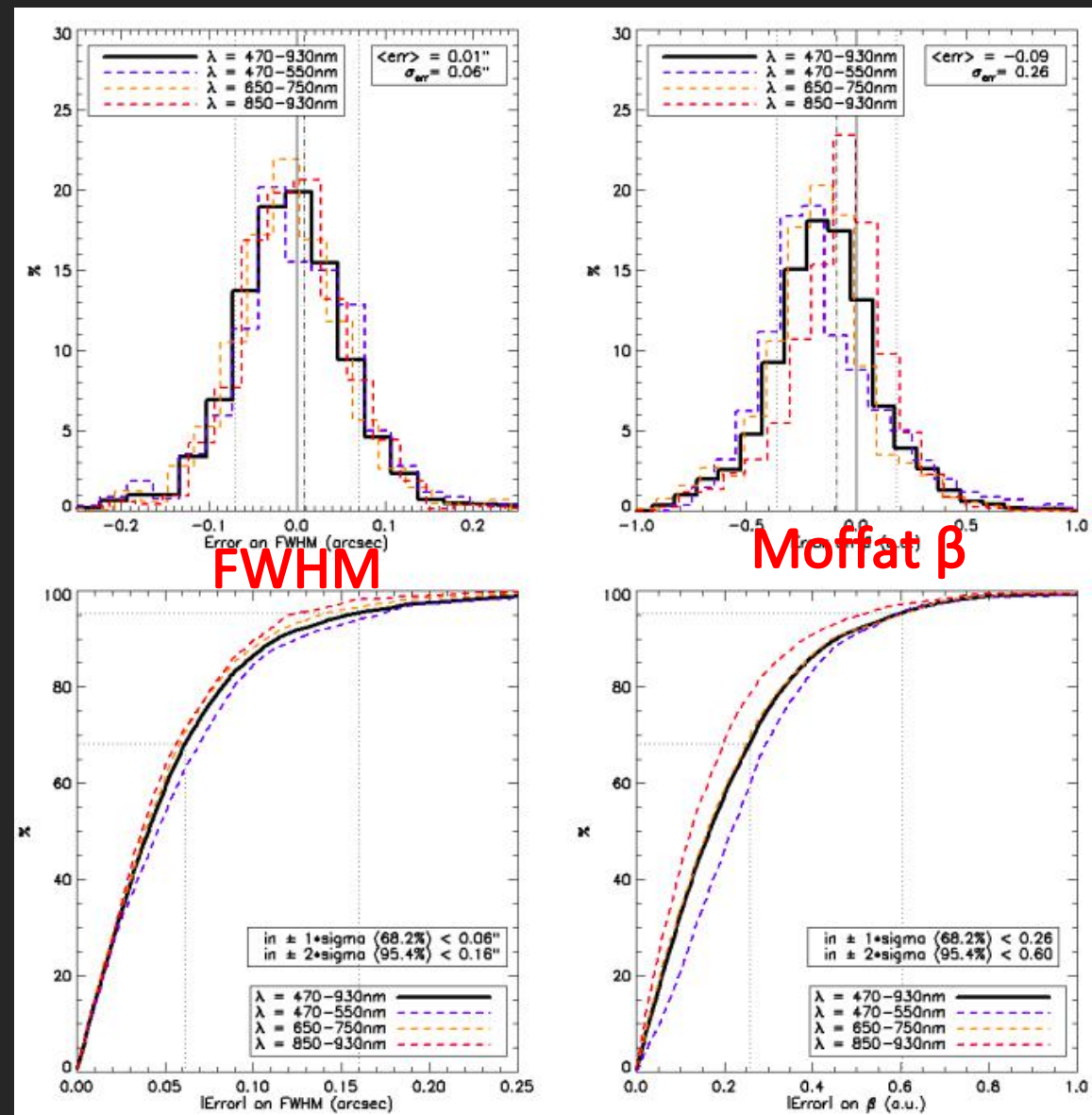
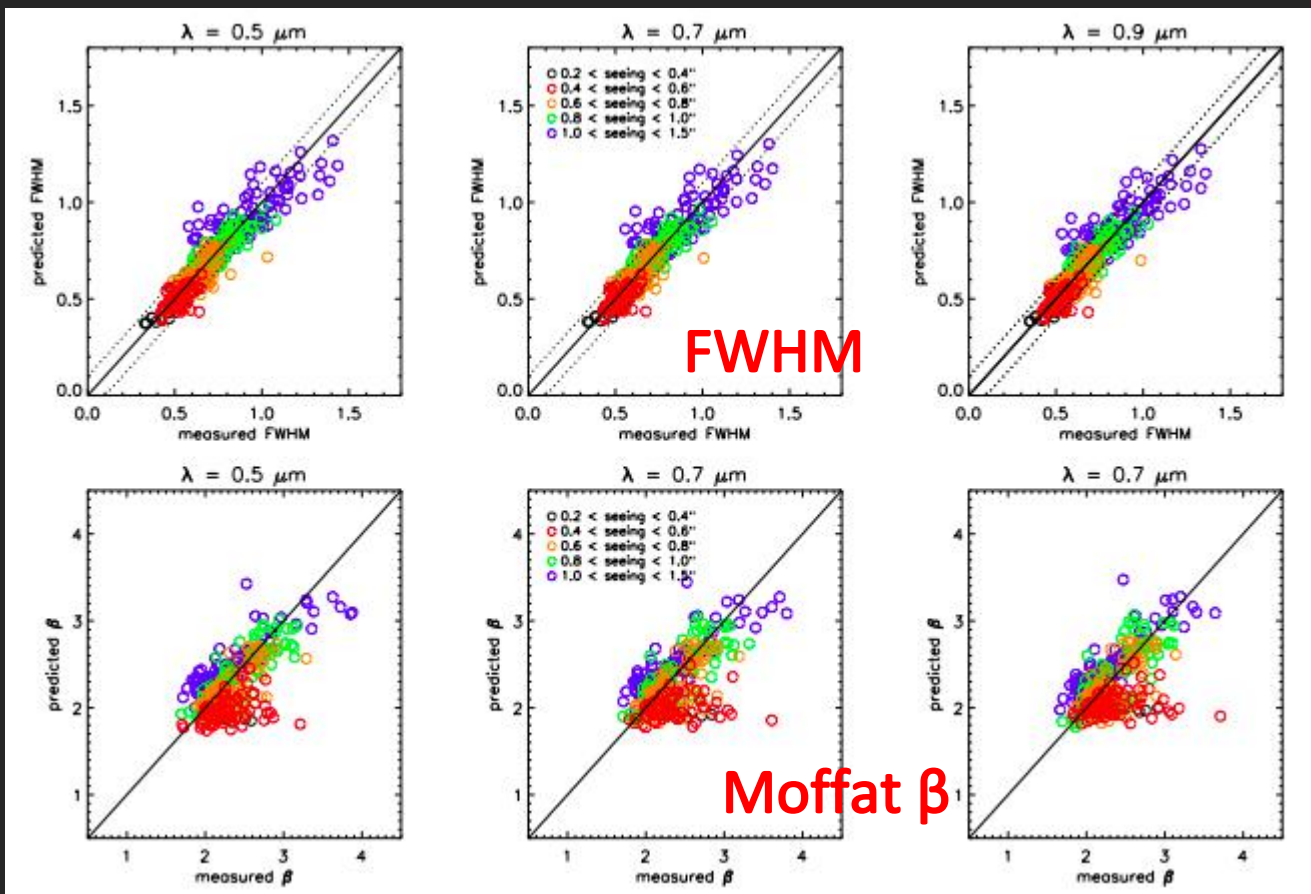
Keck NIRC2 補償光学
(Jolissaint et al. 2016)



PSF再構成

MUSE WFM (GLAO)
(Fusco et al. 2020)

<https://github.com/musevlt/muse-psfr>

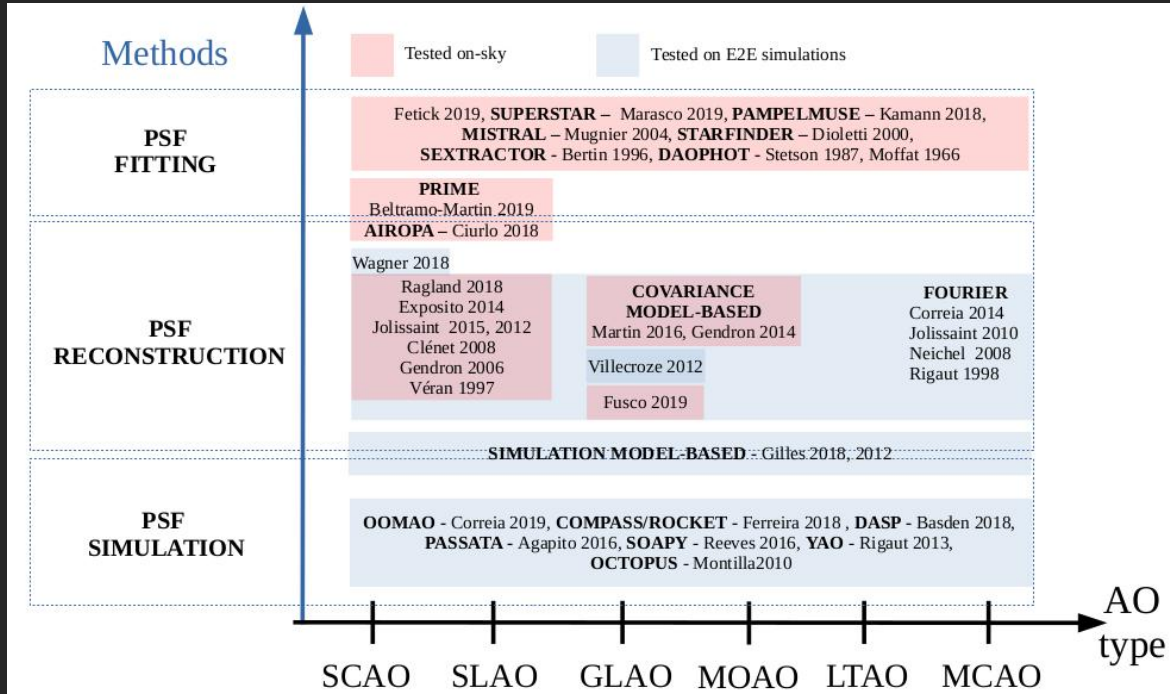


今後の展望

様々な補償光学に対して様々な手法が開発され、実際のオンスカイの観測データを用いた評価も進んでいる。

KeckやVLTではPSF推定コードがユーザーでも使えるようになっており、TMTをはじめとする超大型望遠鏡でも推定されたPSFを標準的にユーザーに提供することが検討されている

評価すべきパラメータ(SR、FWHM、Moffat、photometry, etc)や満たすべき推定精度は、AO研究者と科学者が連携して議論していく必要がある。



Wagner et al. 2020

