

# TMT-AGE: 超広視野多天体補償光学系のシミュレーション

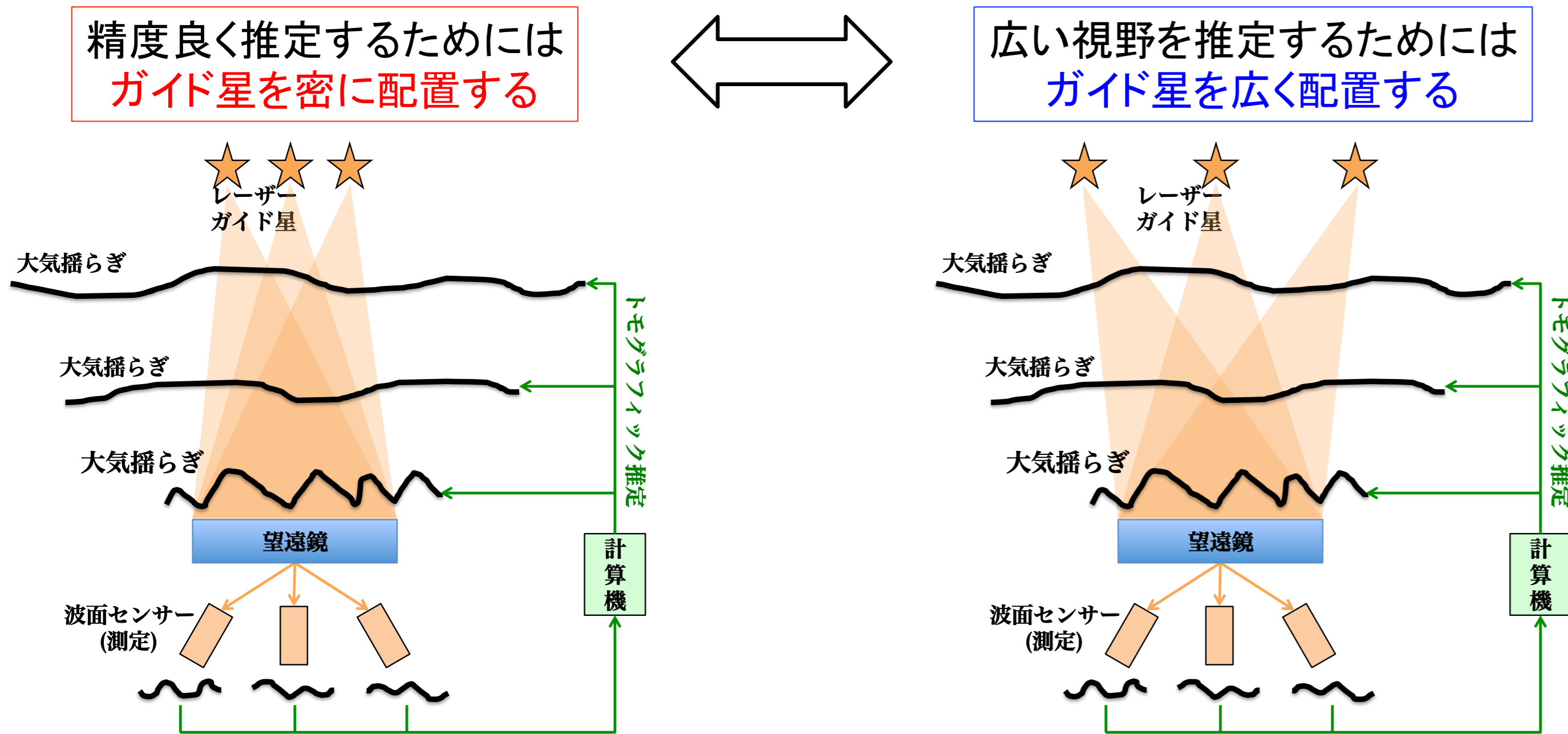
大野良人、秋山正幸(東北大)、大屋真(国立天文台)

## 概要

我々はTMTの次世代装置として多天体補償光学(Multi Object Adaptive Optics, MOAO)を検討している。MOAOは地上観測において大気揺らぎの影響を補正する補償光学を、直径5分角以上の広い視野内の複数の天体に対して同時に適用させる新しい補償光学である。高赤方偏移天体に対してMOAOの多天体性を生かすためには、MOAOの視野として直径10分角程度が必要である。本研究では数値シミュレーションによる超広視野のMOAOの開発、評価を進めている。本発表ではMOAOの広視野化を達成するための風速の情報を用いた新しいトモグラフィック推定について紹介する。

## トモグラフィック推定

MOAOでは複数のガイド星を波面センサーで測定し、測定値からトモグラフィック推定の手法を用いて大気揺らぎの位相を高さごとに推定するトモグラフィック推定が重要となる。トモグラフィック推定の精度はガイド星の配置に強く依存する。



MOAOの視野拡大のためにガイド星の配置を広げると、上層の大気揺らぎの情報不足により、トモグラフィック推定の精度が落ちる。推定誤差への寄与を調べると、従来のトモグラフィック推定の手法では推定計算による誤差が支配的である。視野を広げるほどその傾向は強くなるため、従来のトモグラフィック推定の手法で推定精度を保ったままMOAOの視野を広げることは困難である。

	視野5分角のMOAO (nm)			視野10分角のMOAO (nm)		
	average	best (center)	worst (edge)	average	best (center)	worst (edge)
DM fitting	108			108		
Tomography WFS sampling	136.1	110.0	179.4	214.6	209.4	228.0
LGS WFS Noise readout = 1 (5)	80.5	72.7	96.1	88.2	85.8	91.4
Total	191.6	170.5	230.0	305.7	251.1	399.2

## 風の情報を用いた新しいトモグラフィック推定手法

そこで我々は風の情報を用いる新しいトモグラフィック推定手法を開発した。大気揺らぎは短いタイムスケールであれば、風により連続的に変化していると考えられる。この新手法では上層の大気揺らぎの情報不足を補うために、**風速・風向の情報から少し前のステップでの測定値の時間変化を計算し、現在の推定計算に過去の測定値も加えることで推定精度を向上させる。**

新しい推定手法では現在の波面センサーの測定値  $s$ 、過去の波面センサーの測定値  $s'$  と各高さの大気揺らぎの位相  $\phi$  の関係を式(1)のように考える。

$$\begin{bmatrix} s \\ s' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G \\ G' \end{bmatrix} \phi + \begin{bmatrix} \eta \\ \eta' \end{bmatrix} \quad \dots (1) \quad \Rightarrow \quad [s] = [G] \phi + [\eta]$$

ここで  $G$  は  $s$  と  $\phi$ 、 $G'$  は  $s'$  と  $\phi$  の関係を表す行列である。この  $G'$  を計算する際に各高さの風速・風向の情報が必要となる。この式を最小分散推定 (Ellerbroek 2002) によって解くことで、大気揺らぎの位相の推定値  $\phi_{est}$  が式(2)から求まる。

$$\phi_{est} = R [s] = \left( [G]^T N_{\eta}^{-1} [G] + C_{\phi} \right)^{-1} [G]^T N_{\eta}^{-1} [s] \quad \dots (2)$$

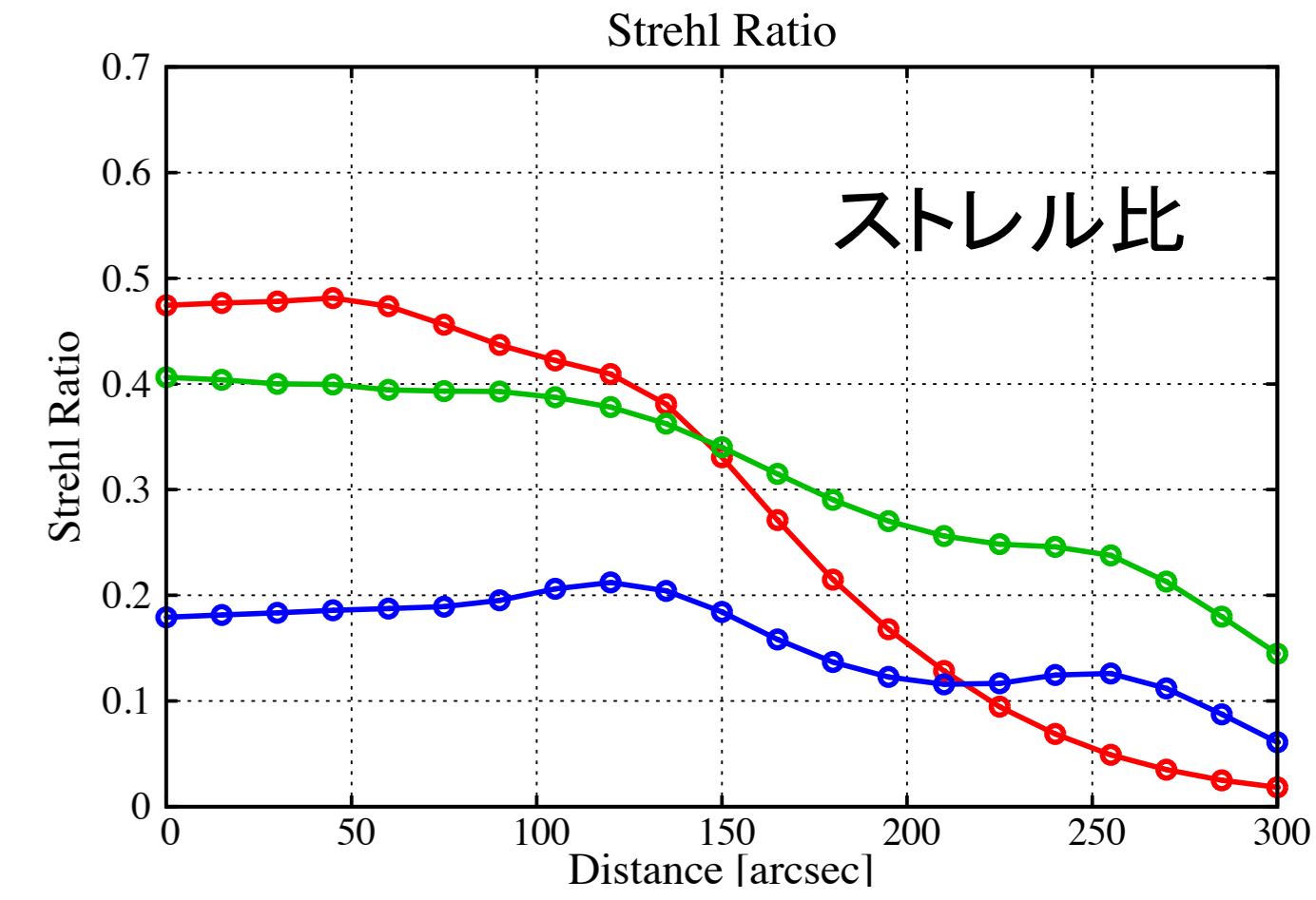
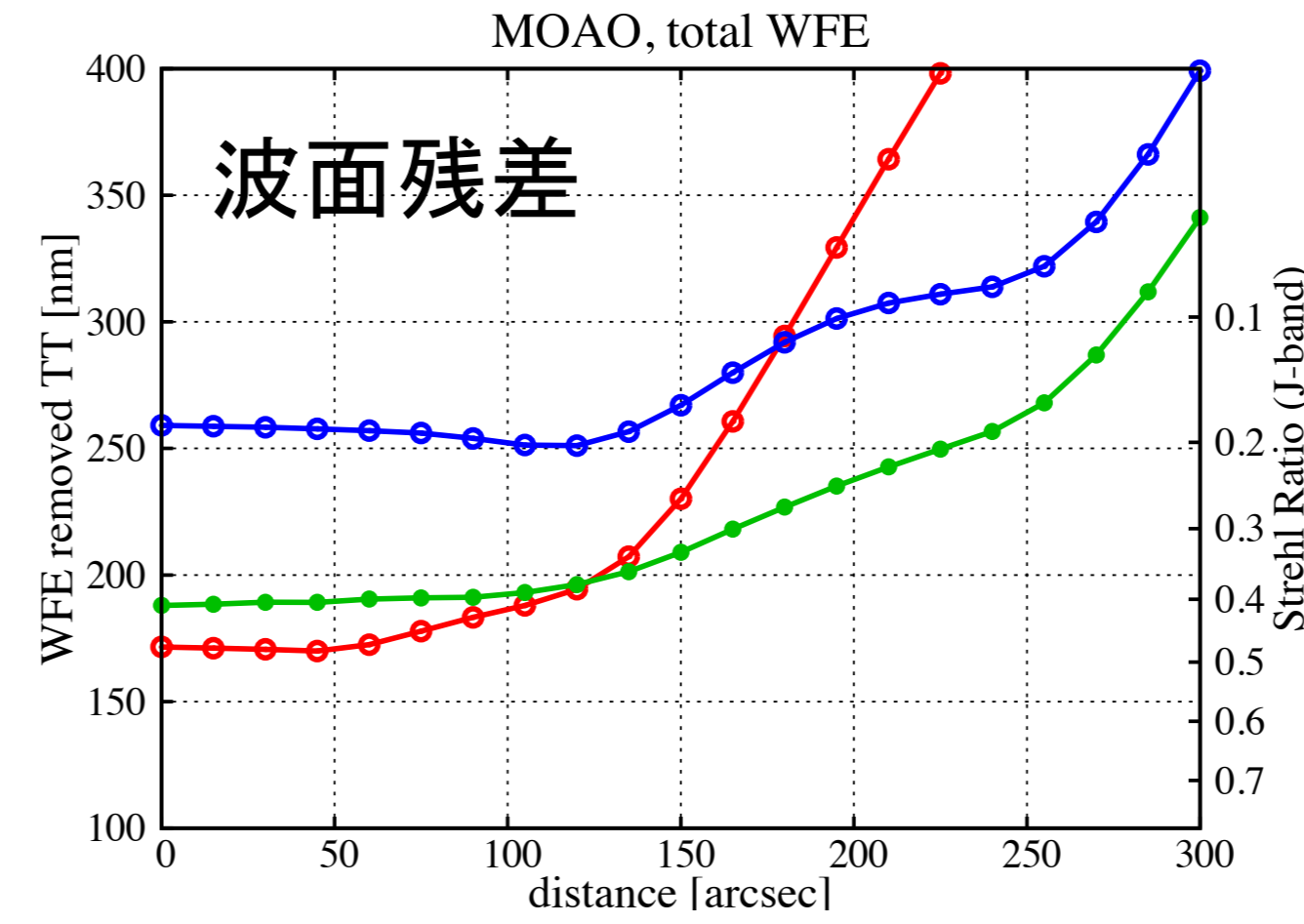
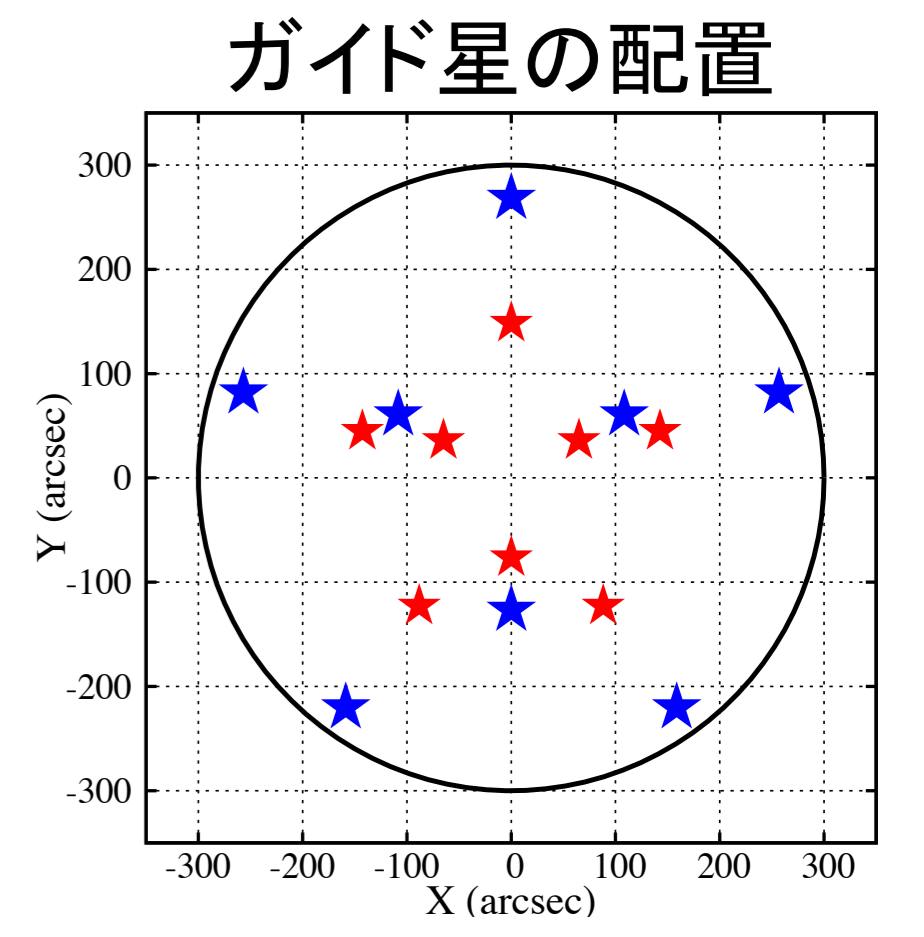
ここで  $N_{\eta}$  は測定ノイズの共分散行列、 $C_{\phi}$  は大気揺らぎの共分散行列である。

新しいトモグラフィック推定を行うためには**大気揺らぎ層の高さや強度の情報、風速・風向の情報が必要**である。今回の計算ではこれらの情報は既知であるという理想的な場合を仮定している。大気揺らぎの強度分布、風速、風向の推定についても検討を進めているので、ここではそれについても簡単に紹介する。

## 風速を用いた推定手法による結果

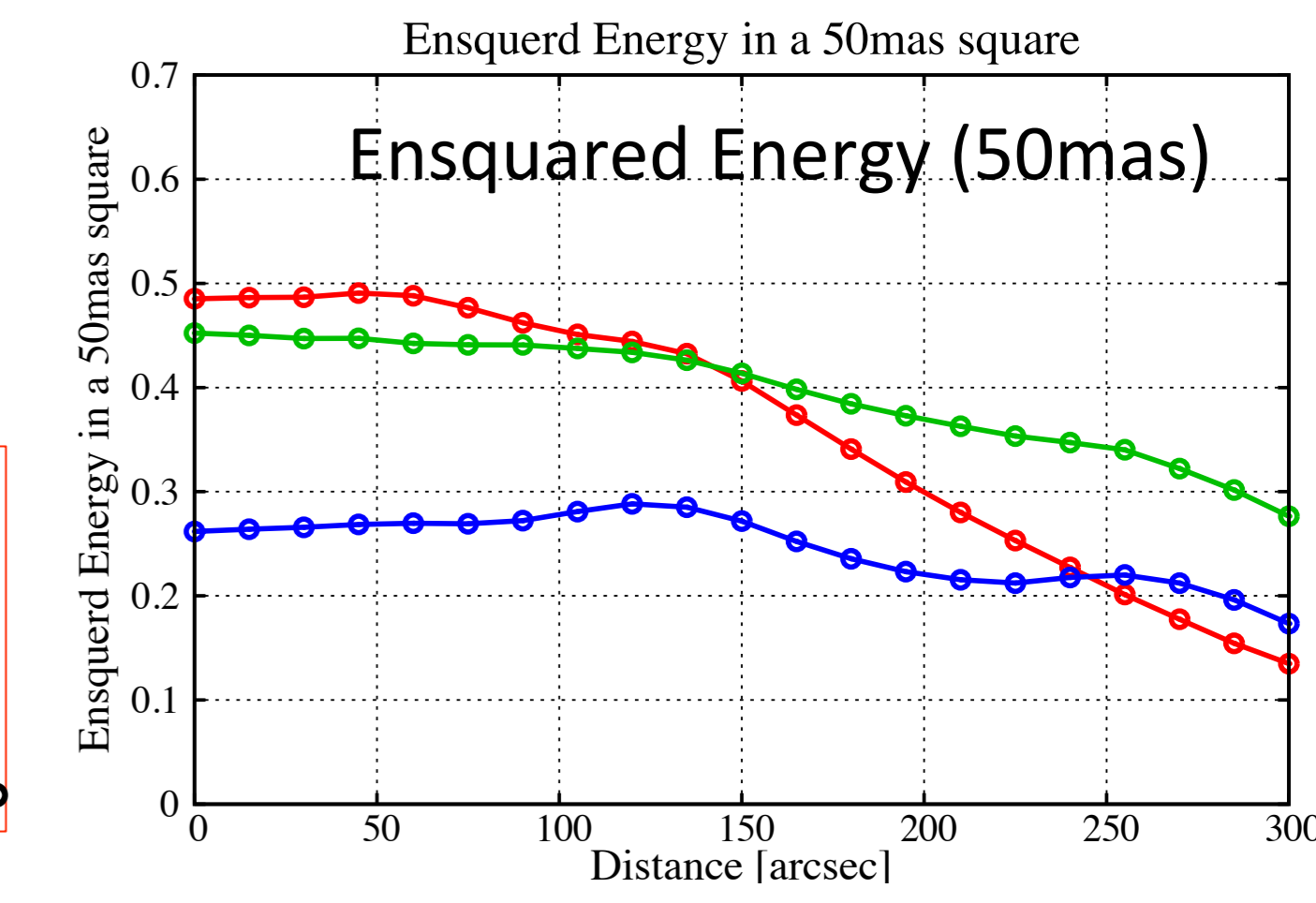
### シミュレーションの設定

- 口径30m
- $r_0=0.156m$
- $L_0=30m$
- 7層の大気揺らぎ層
- LGSの高度 88km
- LGSの数 8個
- LGSの明るさ 900counts/subaperture
- 読み出しノイズ 1count/pix/read
- シャックハルトマンセンサー
- subapertureのサイズ 0.5m
- DMのアクチュエーター 0.5m
- 風速 5m/s~25m/s



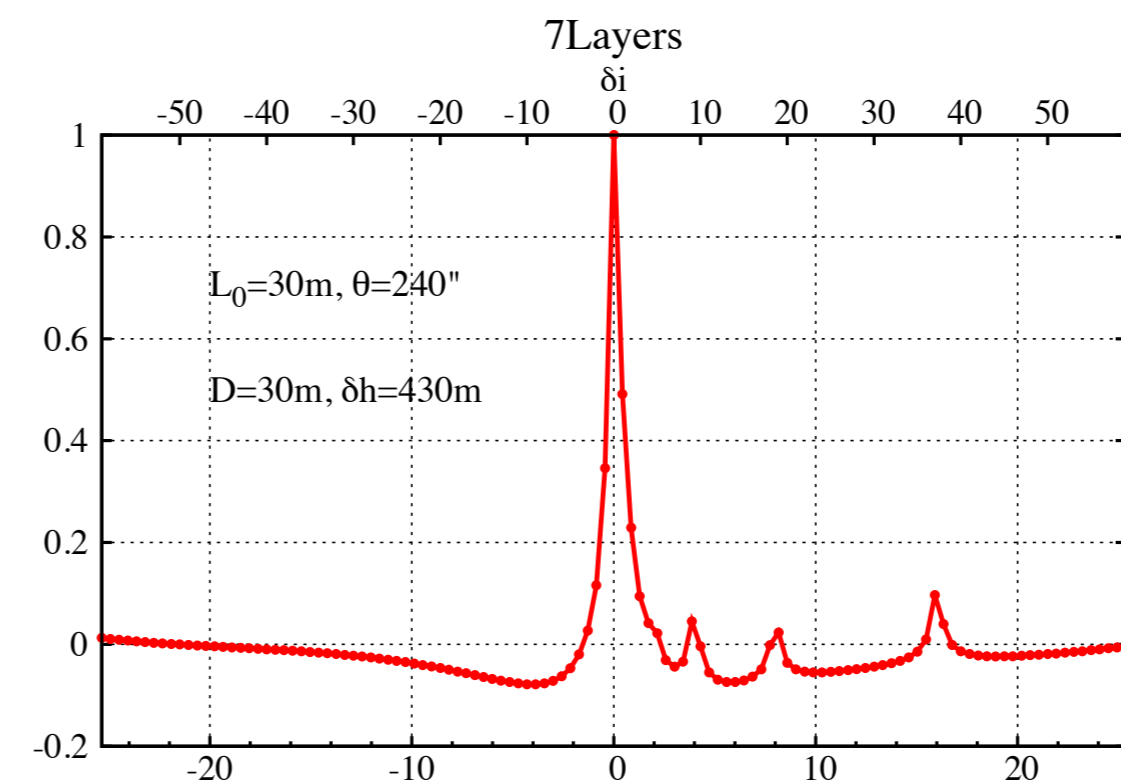
- 赤: 視野5分角、従来の推定手法
- 青: 視野10分角、従来の推定手法
- 緑: 視野10分角、風速を用いた推定手法

風の情報を用いる新推定手法により、視野中心から150arcsec以上離れた領域での推定残差が減少し、推定精度が向上している。

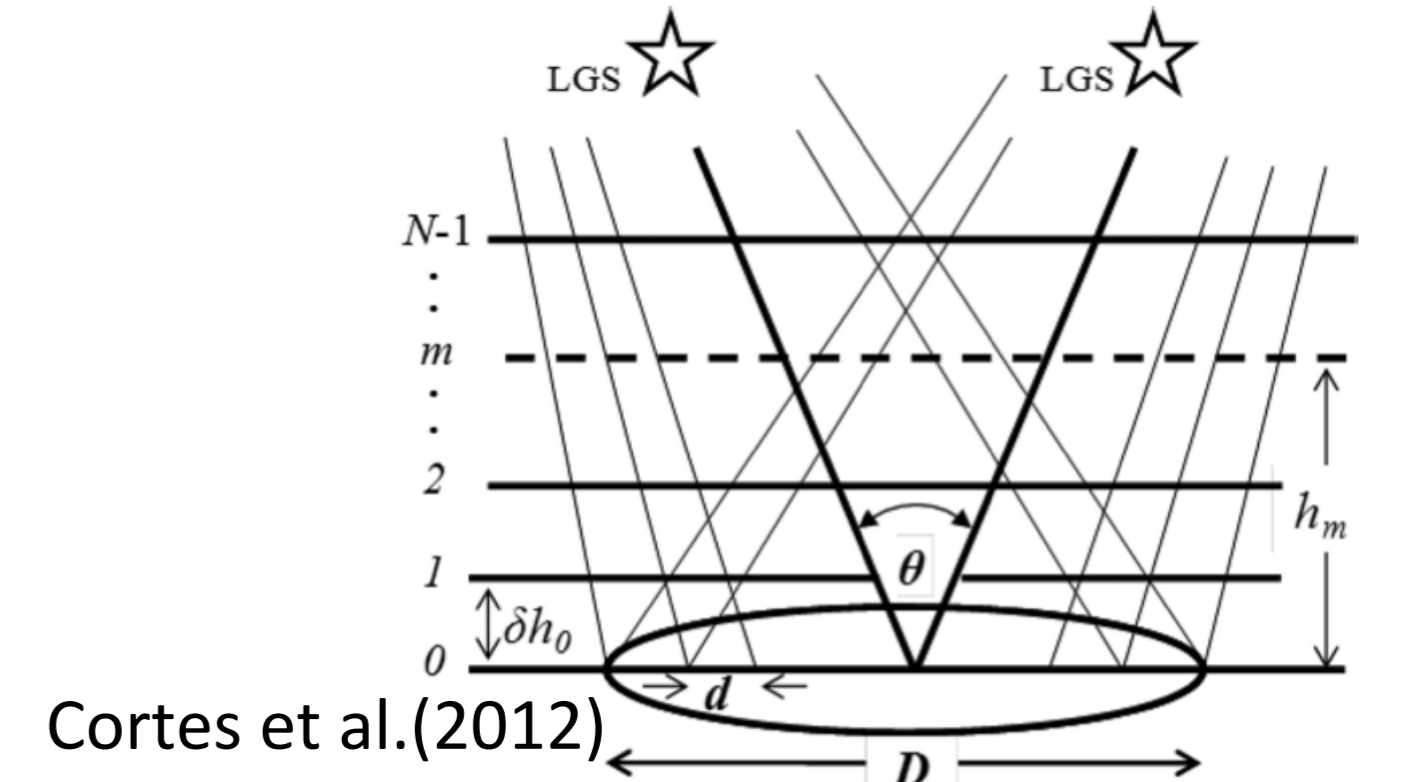


## 大気揺らぎの強度分布の推定

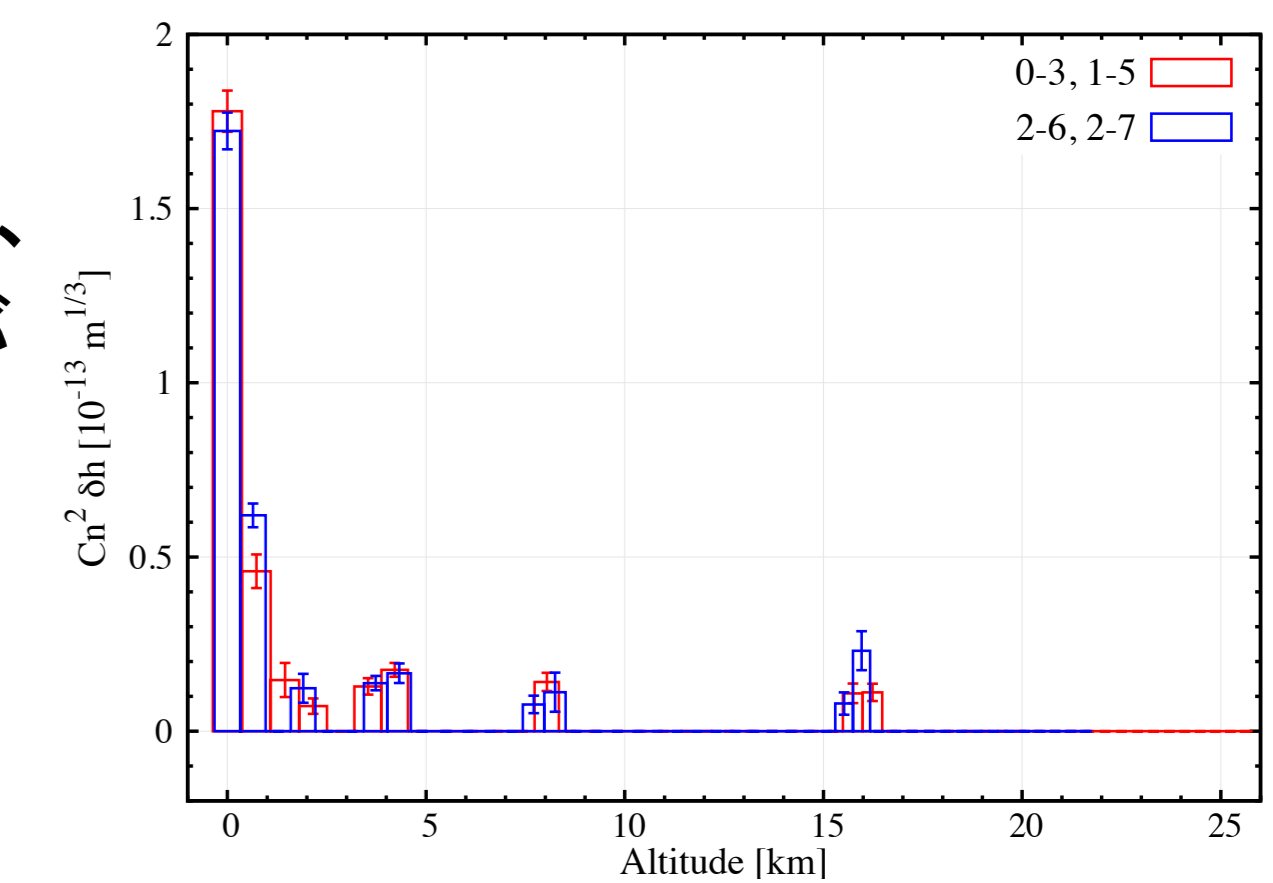
大気揺らぎの強度分布の推定にはSLODAR (SLOPe Detection And Ranging, Wilson 2002)を用いることを検討している。SLODARでは2つの星をそれぞれシャックハルトマンセンサーで測定し、その測定値の空間的な相関情報から各高さの大気揺らぎの強度を推定する。得られた空間相関のプロファイルを理論的なプロファイルでフィッティングすることで各高さの大気揺らぎの強度を推定する。



空間的な相関プロファイル



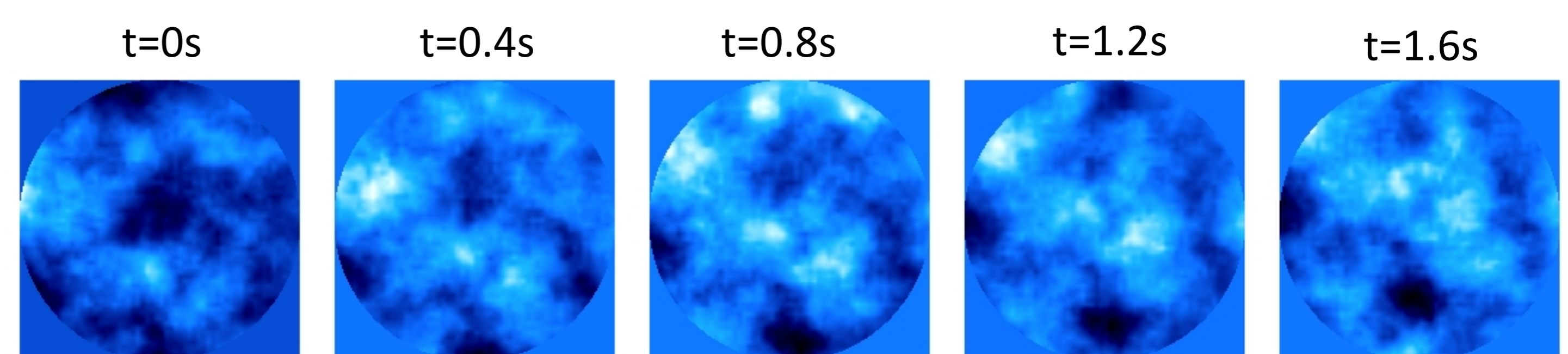
TMTのMOAOでは8個のLGSが使用できるため、計28パターンのLGSの組み合わせでSLODARが行える。2つLGSの距離によって高さ方向の分解能や測定できる最大の高さが異なる。



シミュレーションの結果

## 風速・風向の推定

トモグラフィック推定によって、各時間での各高さの大気揺らぎの位相が求まるので、この情報から各高さの風速・風向を求めることを検討している。



ある高さの大気揺らぎの位相の推定結果

- 各時間での、各高さ大気揺らぎの推定結果から、ガイド星方向の大気を抜き出す。
- それらの時間的な相関をとり、推定結果の時間変化を求める。
- すべてのガイド星の方向で1, 2の作業を行う。
- 3の結果の平均を取り、風速・風向を推定する。