



New Generation AO EAGLE and CANARY for E-ELT

"MOAO first on-sky demonstration with CANARY"
Gendron et al., 2011 A&A...529L...2G

"EAGLE : an MOAO fed multi-IFU working in the NIR on the E-ELT"
Cuby et al. 2010 SPIE, 7735

Yoshito Ono

@Zasshikai 2011/12/21

Contents

1. Adaptive Optics
2. New Generation AO
3. EAGLE for E-ELT
4. CANARY
5. Summary

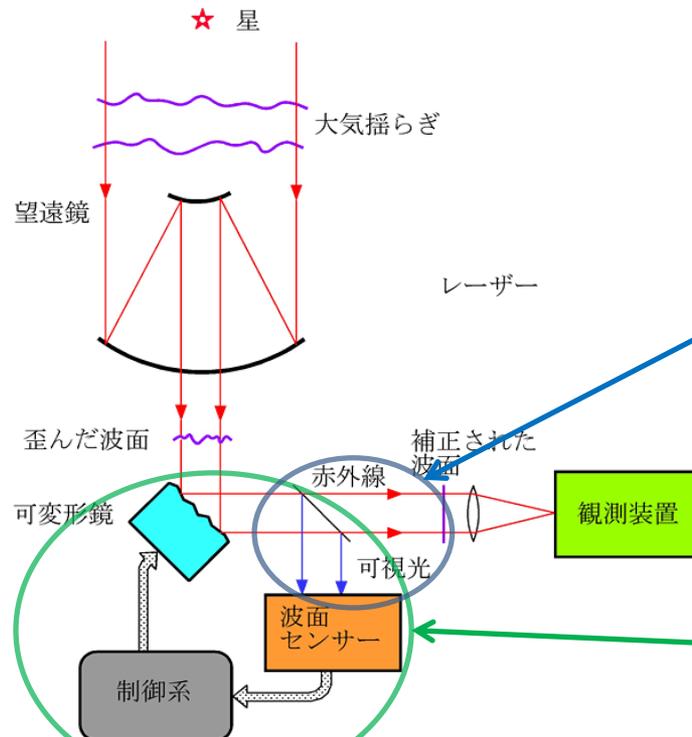
1. Adaptive Optics

大気の影響で地上観測では望遠鏡本来の性能を発揮できない



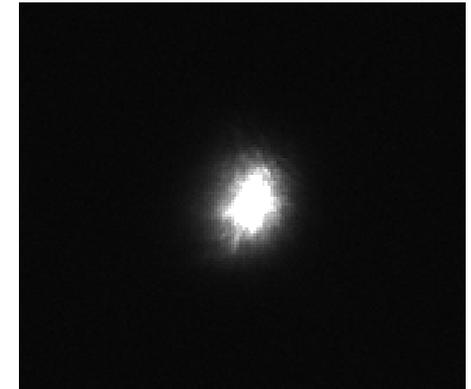
補償光学(Adaptive Optics, AO)が必要である

(望遠鏡の回折限界 $\sim 0.07''$, Seeing $\sim 0.5''$ @Subaru @K-band)



波面測定は可視光
補正は赤外

Closed Loop制御

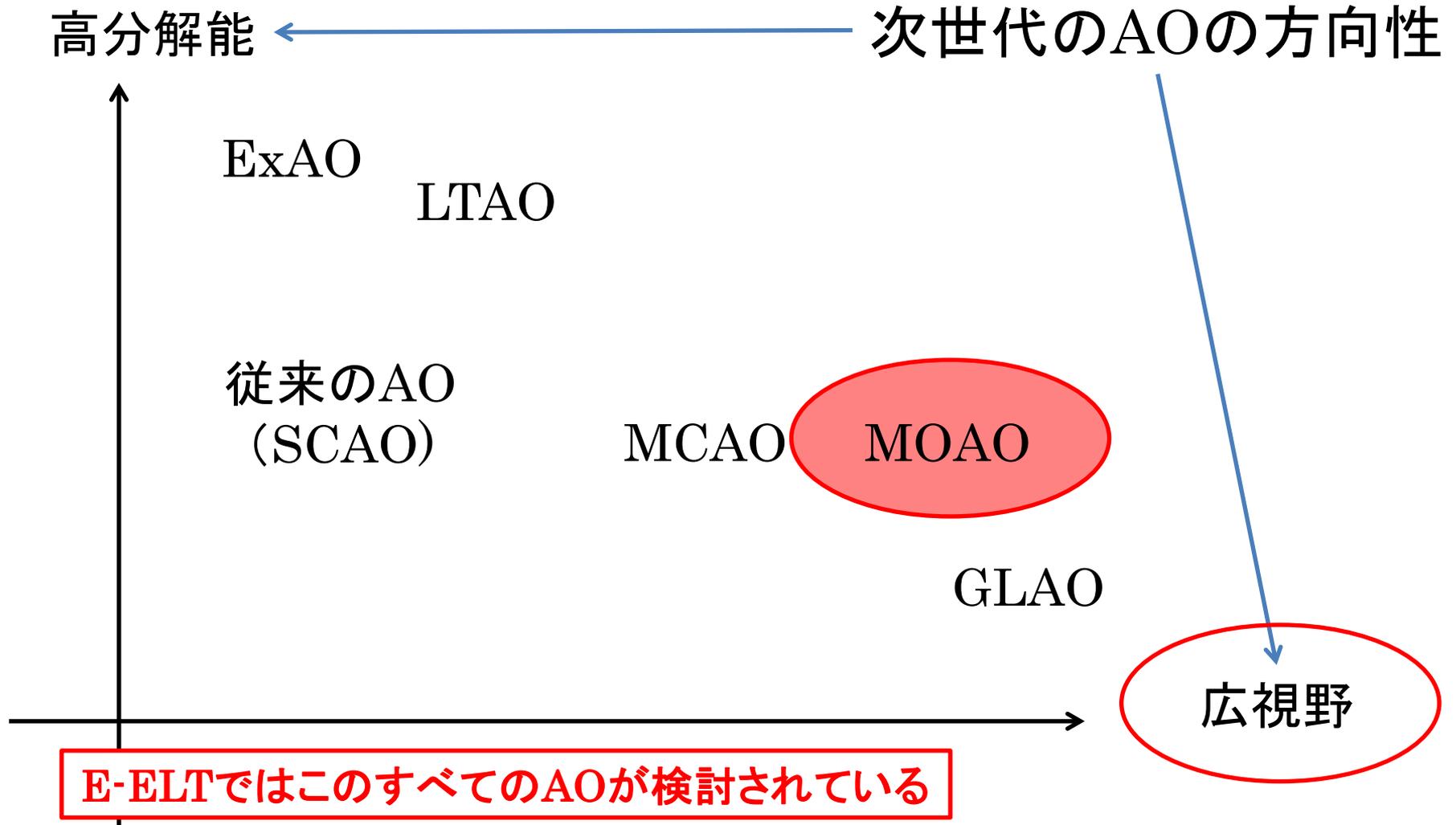


補償光学系の概念図

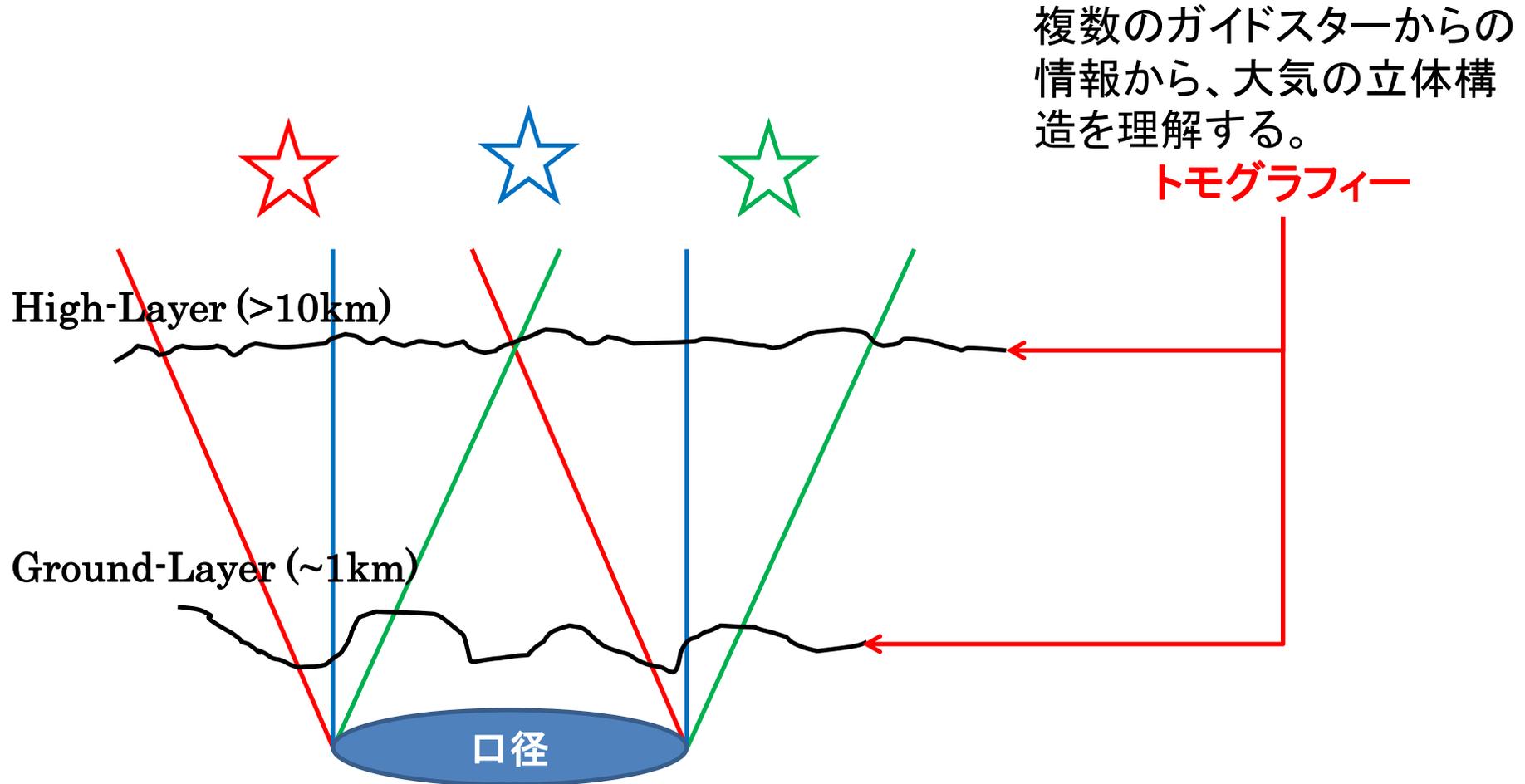
1. Main Parameters in Adaptive Optics

- ◆ Fried's Parameter $r_0 \propto \lambda^{1.2}$
角度分解能程度の開口直径。波長に対して大気揺らぎが無視できるサイズ。
ベストサイトで10-20cm(@ $\lambda \sim 500\text{nm}$)くらい。
- ◆ Strehl Ratio (SR) $\sim \exp\{-2\pi(\sigma_\lambda/\lambda)^2\}$ σ_λ : RMS波面誤差(単位は波長と同じ)
回折限界のPSFのピーク値と実際のPSFのピーク値の比。0.8以上で回折限界とされる。
- ◆ Ensquared Energy(EE) ある半径の領域に何%の光量が含まれているか。 ◆回折限界 $\sim 1.22\lambda/D$
望遠鏡の性能
- ◆ Seeing $\sim \lambda/r_0 \propto \lambda^{-0.2}$
大気揺らぎにより天体の像がふらつくことによる像の広がり。
- ◆ Isoplanatic Angle $\sim r_0/h \propto \lambda^{1.2}$ h : 大気揺らぎの高さ
大気揺らぎが一定と思われる範囲。ガイド星からの補正が効く範囲。
赤外で~数10"。 ←現在のAOの限界
- ◆ Coherent Time
大気が一定とみなせる時間。これよりも速く補正を行う。

2. New Generation Adaptive Optics



2. Tomography



毎回、トモグラフィを用いて大気構造を計算するため従来のClosed-Loopではなく、**Open-Loop制御**が必要となる。

2. MCAO, GLAO

MCAO (Multi-Conjugate AO)
それぞれの大気の層を共役なDMで補正する。

メリット

視野全体を高い分解能で観測できる。

デメリット

広視野を一度に補正するため、光学系が巨大になってしまう。

GLAO (Ground-Layer AO)

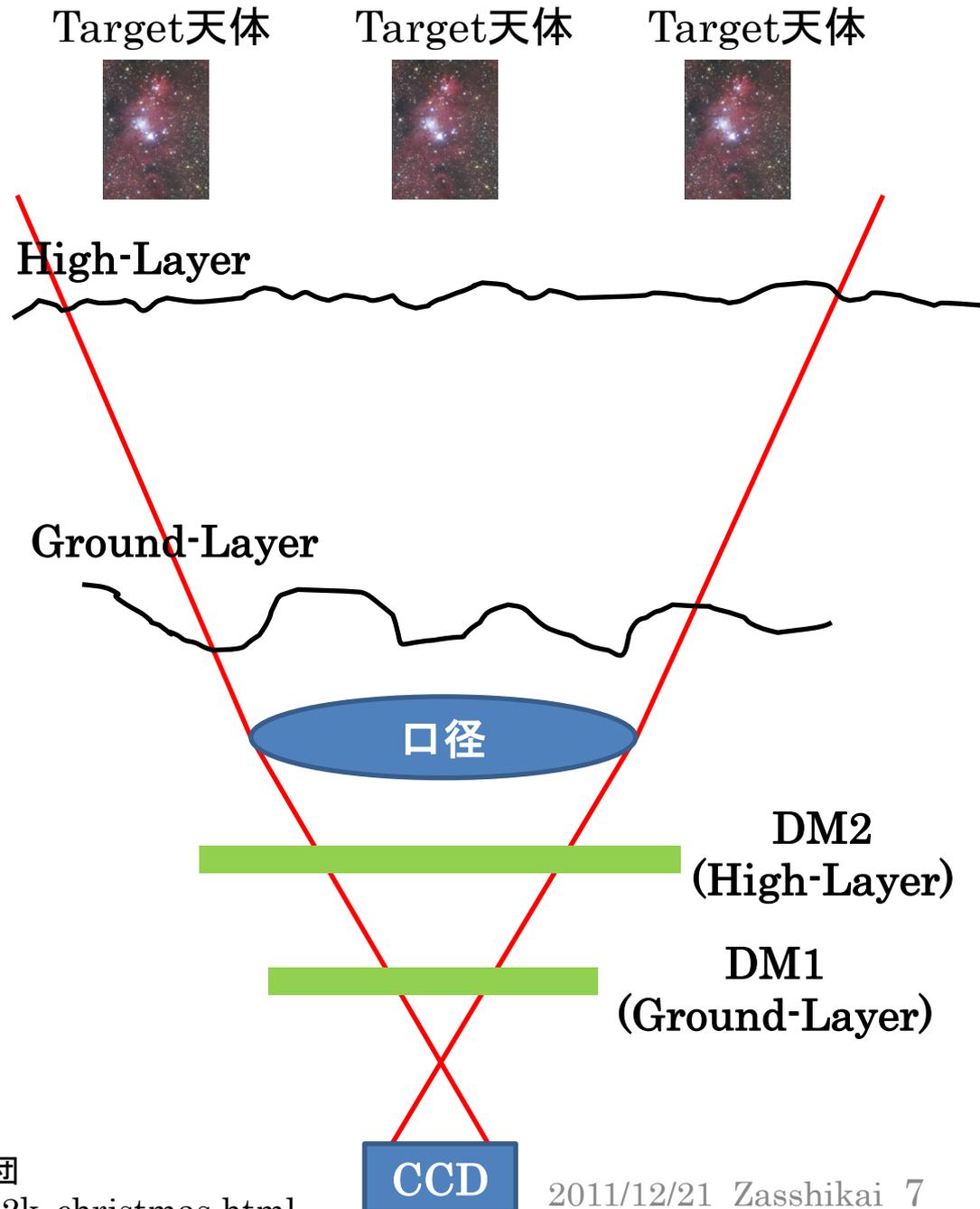
Ground-Layerだけ補正する。

メリット

より広視野を測定できる。

デメリット

High-Layerを無視するため、補正精度は少し落ちる。



画像: クリスマスツリー星団

http://ryutao.main.jp/st2k_christmas.html

2011/12/21 Zasshikai 7

2. MOAO

MOAO (Multi-Object AO)

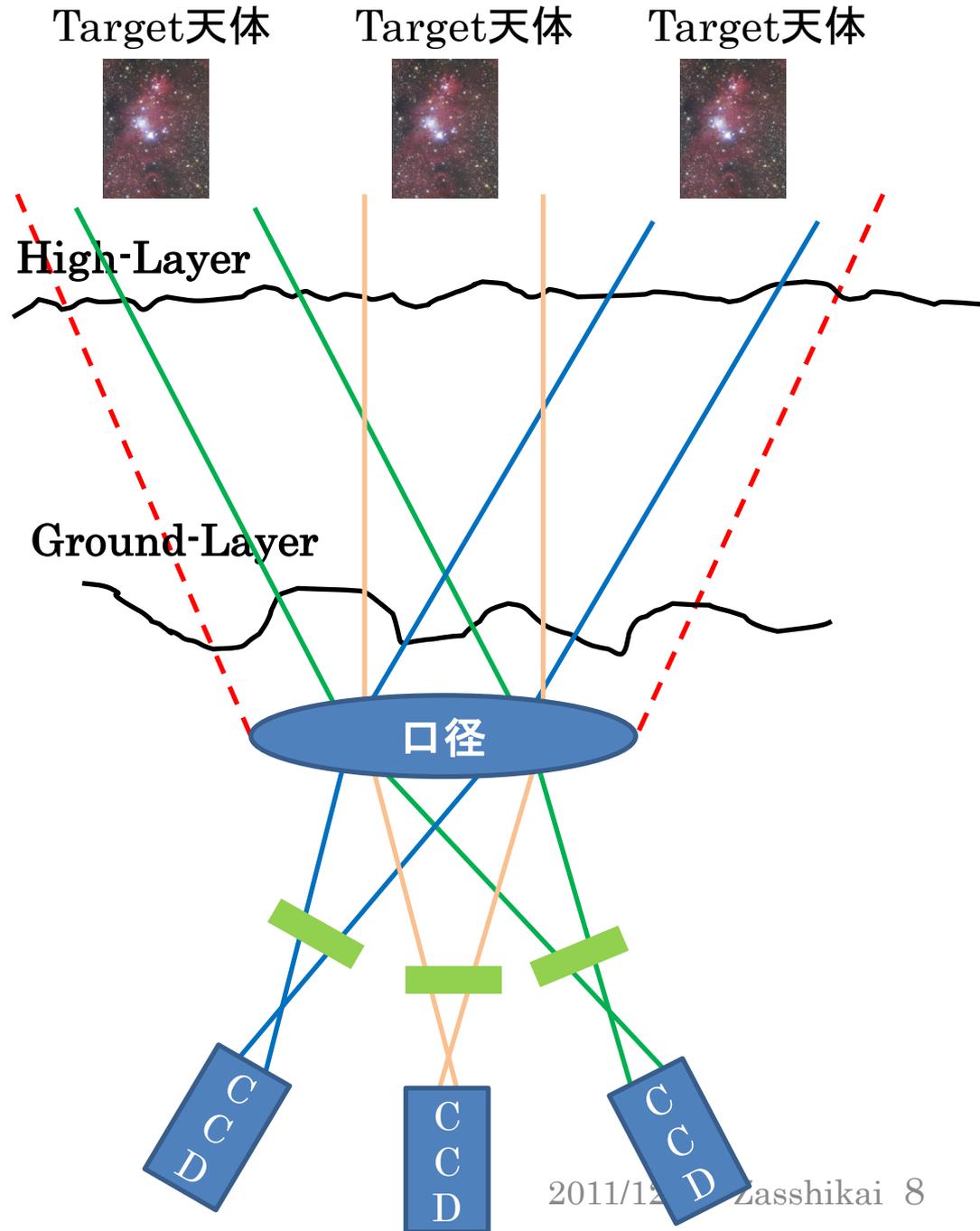
得られた大気の情報を用いて、目標の天体ごとに最適化した局所的な補正を行う。

メリット

視野全体を補正しないので、光学系は巨大にはならない。

デメリット

局所的な補正しかできない。



3. E-ELT (The European Extremely Large Telescope)

- ✓ ESOが検討している超大型望遠鏡。
- ✓ 口径39.3m
- ✓ 可視から中間赤外
- ✓ チリのアタカマ砂漠に建設予定(3060m)
- ✓ Median Seeing が 0.6”



画像(ESO)

Schedule

Phase A : 概念設計 現在

Phase B : 技術仕様、設置場所調査

Phase C : 建設開始

Phase D : 運用開始

Phase E : 公募運用開始

運用は2022年からを予定

3. Instruments for E-ELT

	Wavelength Range	Spectral Resolution	FoV	AO 今回
EAGLE (多天体面分光器)	0.8 – 2.45 μ m	R=4000,(10000)	IFU 1.65" x 1.65"	MOAO
EPICS (系外惑星撮像分光器)	0.6 – 1.65 μ m	R=125, 3000, 20000	IFU 0.8" x 0.8"	ExAO
HARMONI (面分光器)	0.4 – 2.45 μ m	R=4000, 10000, 20000	10" x 5" ~1" x 0.5"	AO
CODEX (高分解能可視分光器)	0.37 – 0.71 μ m	R=135000	0.82"	???
METIS (中間赤外撮像分光器)	2.9 – 14 μ m	900<R<5000 R~100000	17.6"x17.6" 0.4x1.5"	AO
MICADO (撮像、スリット分光器)	0.8 – 2.5 μ m	R<3000	Up to 53"	AO

参照: <http://www.eso.org>

Etc....

補償光学は必須な技術である!!

3. EAGLE

- 遠方銀河をターゲットとした近赤外多天体面分光器
- MOAO付き
- 補正範囲は $>5'$
- 同時に ~ 20 の天体について面分光
- 各IFUは $1.65'' \times 1.65''$
- Pixelスケールは $0.0375''$
- 空間分解能は $EE > 30\% @ 0.075''$
- 波長範囲は $0.8 - 2.45 \mu\text{m}$
- 波長分解能は低分散で $R=4000$ 、高分散で $R=10000$
- 設置場所はGravity Invariant Focal Station(GIFS)。ナスミスの下。安定な場所

Science Targets

- The physics and evolution of high-redshifts galaxies.
- Detection and characterisation of first-light galaxies.
- The physics of galaxy evolution from stellar archaeology.
- The stellar content, mass function and dynamics of stellar clusters.
- Co-ordinated growth of black holes and galaxies.

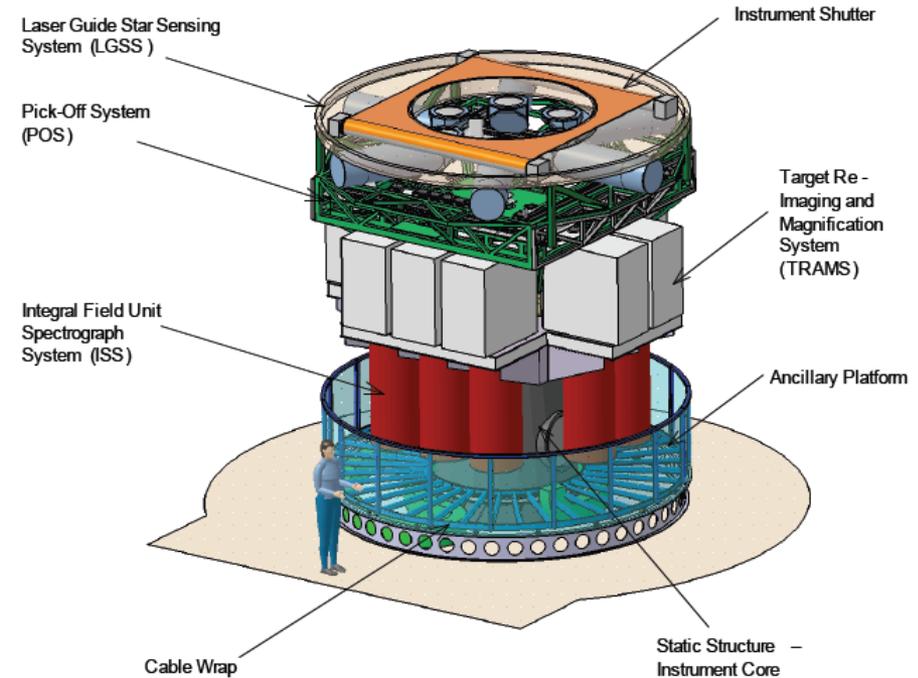


Figure 7. Left: The overall implementation of EAGLE at the Gravity Invariant Focal station of the E-ELT.

4. CANARY

- ◆ EAGLEのためのトモグラフィーとOpen-Loop制御の試験装置
- ◆ カナリア諸島にあるWilliam Herschel Telescope (WHT、4.2m) で試験されている (E-ELTの約1/10)
- ◆ 従来のSCAO、GLAO、MOAOを搭載している

今回

Phase A : Natural Guide Star (NGS) 実際の天体

Phase B : Laser Guide Star (LGS) レーザーによって作られた人工星

Phase C : NGS + LGS

Phase A

- ◆ 2010年の9月に4日間観測
- ◆ 今回は3つNGSを使用した
- ◆ 星団を観測し、その中からTargetとNGSを選ぶ
- ◆ 観測はHバンド

Table 1. Three asterisms extracted from the Tycho 2 catalogue.

#	Sep	m_V	Sep	m_V	Sep	m_V	m_V
47	47.9"	9.9	40.6"	10.2	53"	8.7	11
53	61.7"	11.2	49.1"	9.9	56.8"	9.8	10.9
12	39.3"	11.2	31.4"	10.7	51.5"	10	8.3

Notes. The columns indicate the CANARY reference number, the separation (in arcsec) of the off-axis stars from the central one, and the V magnitudes of each.

4. CANARY : Result

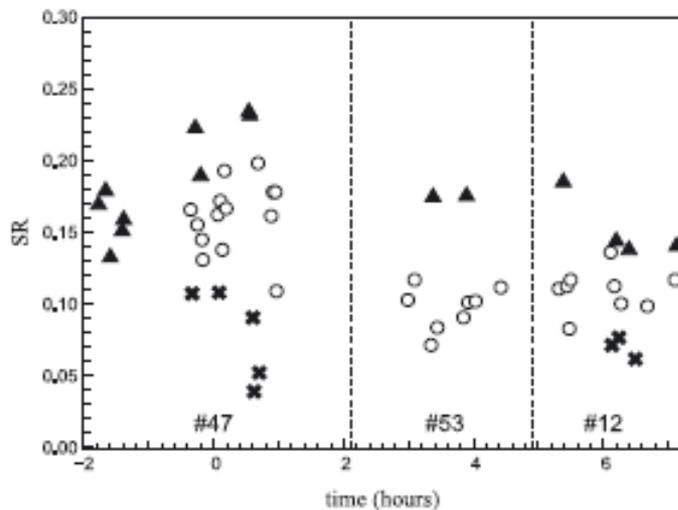


Fig. 1. Strehl ratios measured on the IR images (*H*-band) versus local time (negative time before midnight) for the three asterisms. SCAO = Δ , MOAO = \circ , GLAO = \times . The vertical dashed line indicates the change of asterism, labelled with their number.

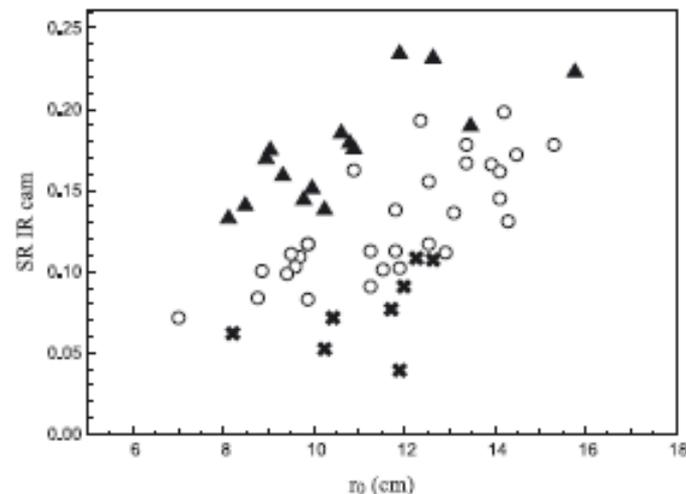


Fig. 2. Strehl ratios in *H*-band, same as in Fig. 1, versus $r_0(0.5 \mu\text{m})$ measured by the off-axis WFSs simultaneously with the IR images. SCAO = Δ , MOAO = \circ , GLAO = \times .

Seeingが良い



SRはSCAO>MOAO>GLAOとなってることがわかる。

補償はどのシステムでも機能している。

観測条件がすべて同じではないが、MOAOは補正精度に関しては従来のAOとGLAOの中間の性能と言える。

5. Summary

現在の大型望遠鏡、さらに次世代の超大型望遠鏡のために新しい補償光学が検討、試験されている。特に広視野の補償光学を実現するためには、**トモグラフィ技術**と**Open-Loop制御**が必要になる。

ESOで検討されている**42m望遠鏡E-ELT**では様々な種類の装置が検討され、またほとんどの装置で補償光学が必須のシステムとなっている。

その中で**近赤外多天体面分光装置EAGLE**では**多天体補償光学MOAO**が搭載される予定である。

EAGLEのための**トモグラフィ技術**と**Open-Loop制御**の試験装置**CANARY**が2010にfirst-lightを完了した。

CANARYの試験では、どのAOシステムも機能していた。また、**MOAOは従来のAOとGLAOの中間の性能を持つ**と言える。