

Australian  
National  
University



# ULTIMATE-Subaru : 地表層補償光学(GLAO)の制御について

大野 良人、美濃和 陽典、吉田 裕茂、寺尾 航暉  
(ハワイ観測所)



ULTIMATE  
Subaru

# 目次

---



- 地表層補償光学(GLAO)とは？
- GLAO制御の概要
- 制御に関する課題
- まとめと今後

# 目次

---

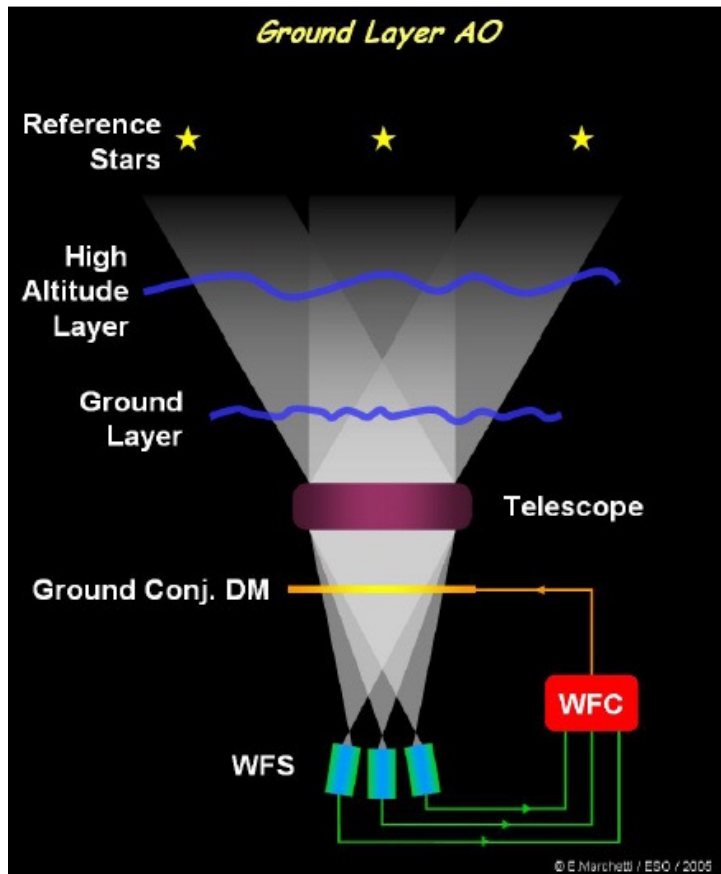


- 地表層補償光学(GLAO)とは？
- GLAO制御の概要
- 制御に関する課題
- まとめと今後

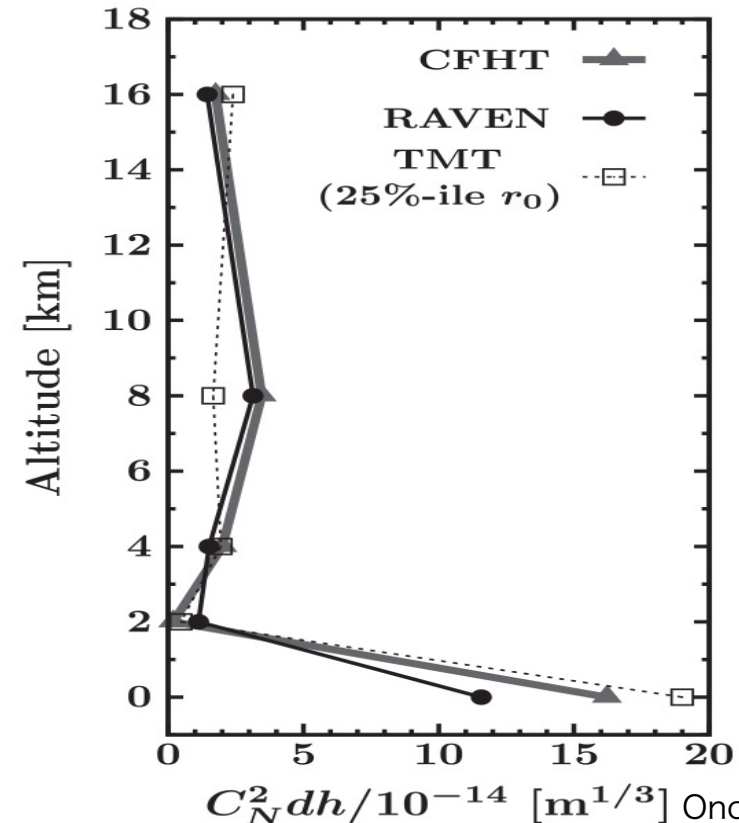
# 地表層補償光学 (GLAO)

複数のガイド星・波面センサーを用いて補償光学の広視野化を実現する。

14'x14'という広視野で大体シーイングサイズが2倍向上する。(MedianでFWHM~0.25" @K)



マウナケアの典型的な  
大気揺らぎプロファイル

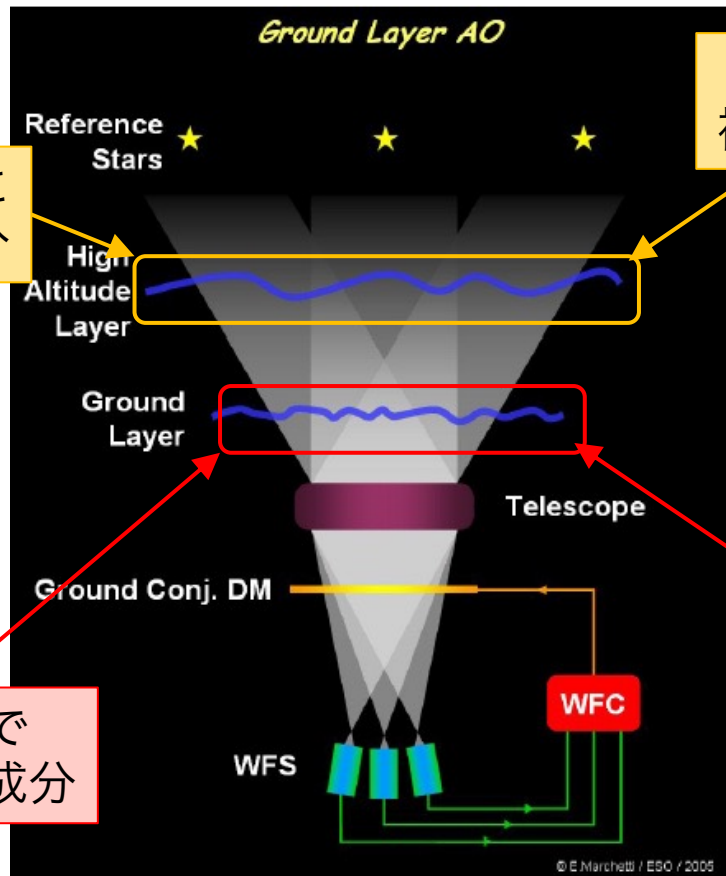


Ono et al 2017 (MNRAS)

# 地表層補償光学 (GLAO)

複数のガイド星・波面センサーを用いて補償光学の広視野化を実現する。

14'x14'という広視野で大体シーイングサイズが2倍向上する。(MedianでFWHM~0.25" @K)



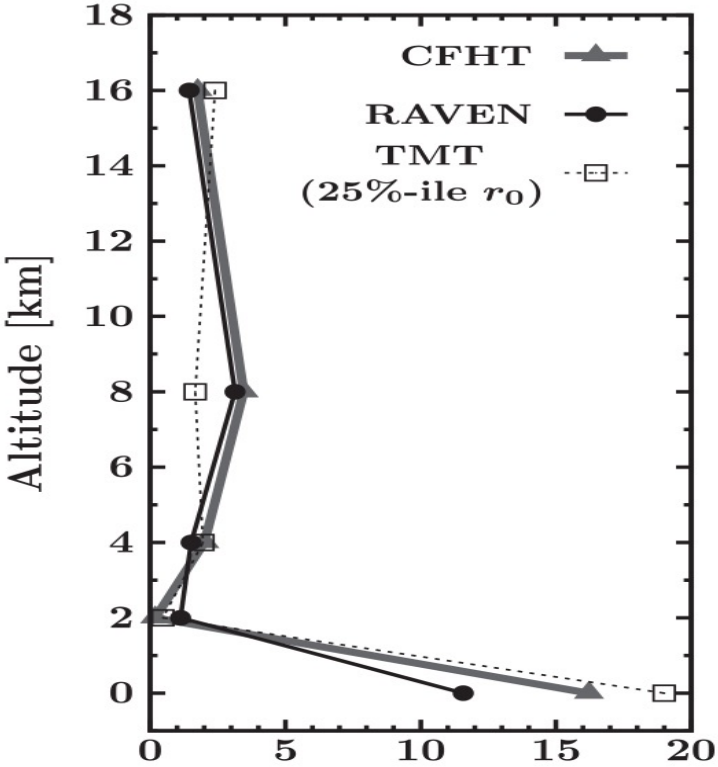
GLAOでは補正されない

GLAOで補正する

視野の場所ごとに異なる揺らぎ成分

異なる方向で共通の揺らぎ成分

マウナケアの典型的な大気揺らぎプロファイル



$C_N^2 dh / 10^{-14} [m^{-1/3}]$  Ono et al 2017 (MNRAS)

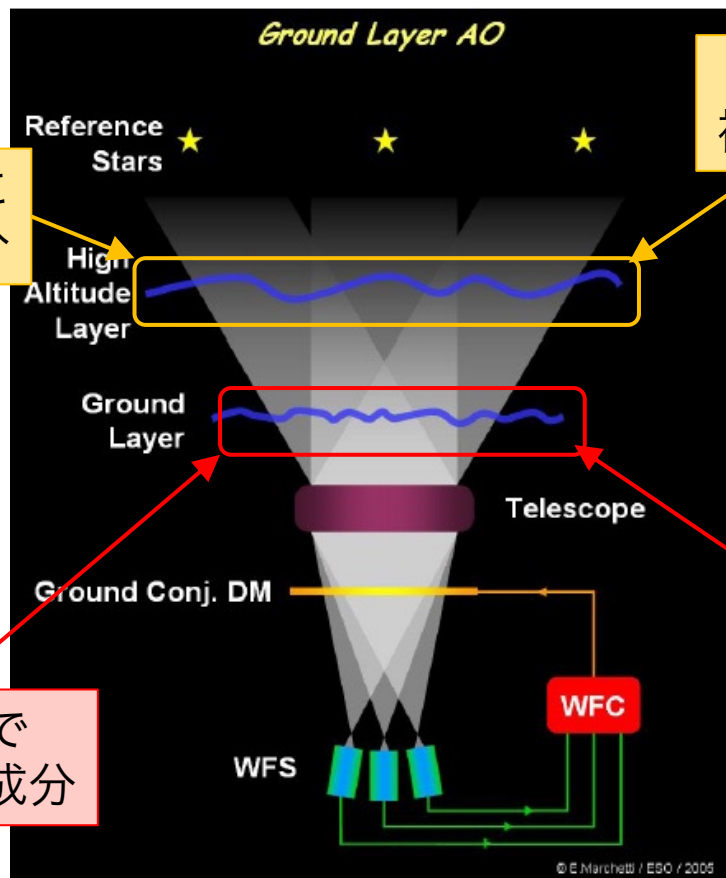


ULTIMATE  
Subaru

# 地表層補償光学 (GLAO)

複数のガイド星・波面センサーを用いて補償光学の広視野化を実現する。

14'x14'という広視野で大体シーイングサイズが2倍向上する。(MedianでFWHM~0.25" @K)



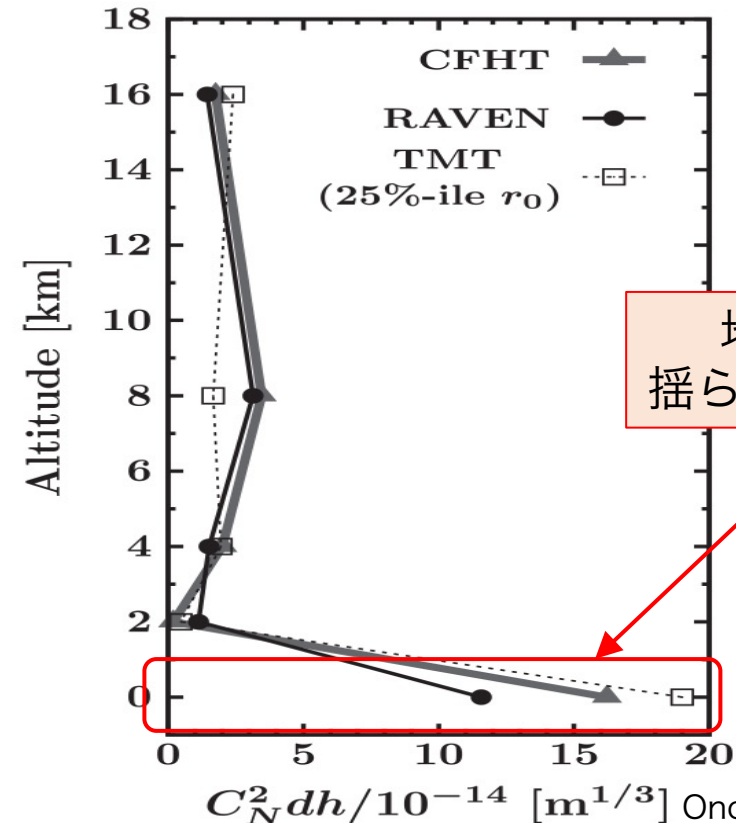
GLAOでは  
補正されない

GLAOで  
補正する

視野の場所ごとに  
異なる揺らぎ成分

異なる方向で  
共通の揺らぎ成分

マウナケアの典型的な  
大気揺らぎプロファイル

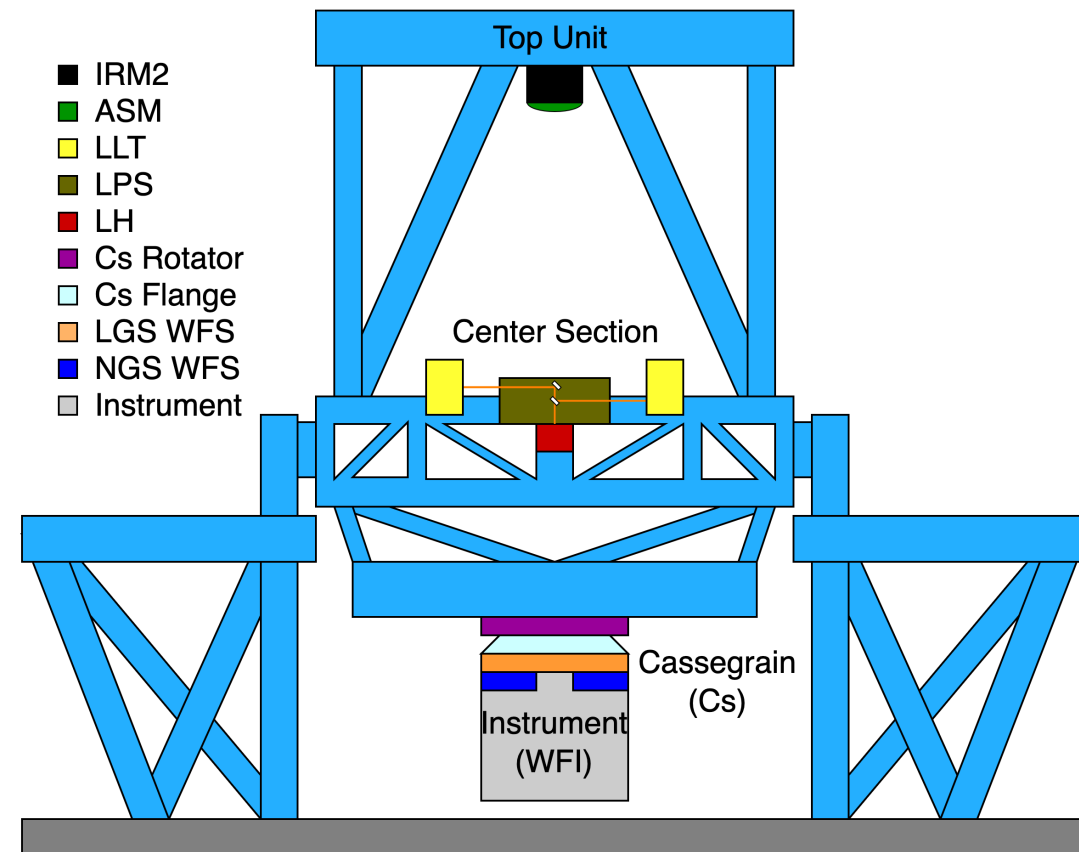


地表付近の  
揺らぎが支配的！

# ULTIMATE-Subaru GLAO

ULTIMATE-Subaru : 将来の広視野近赤外撮像装置 + GLAO

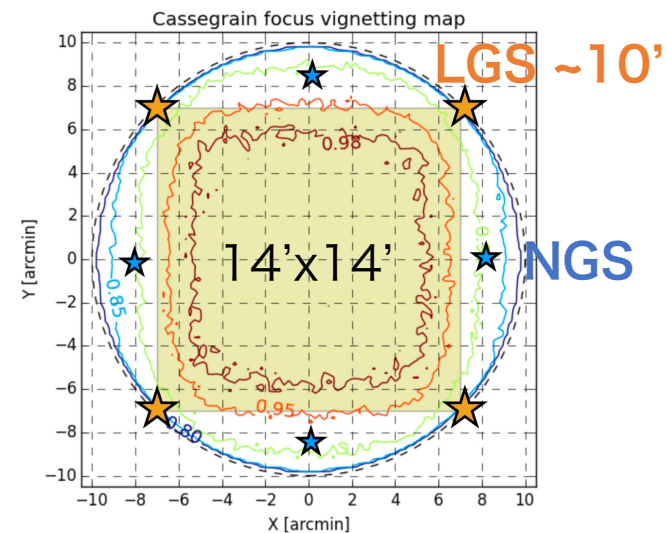
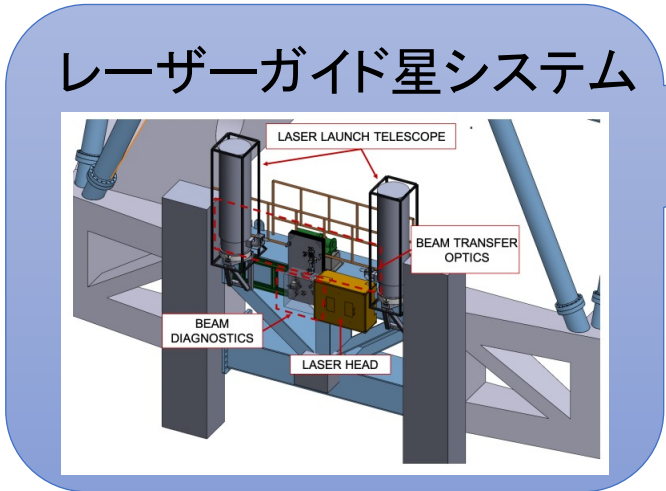
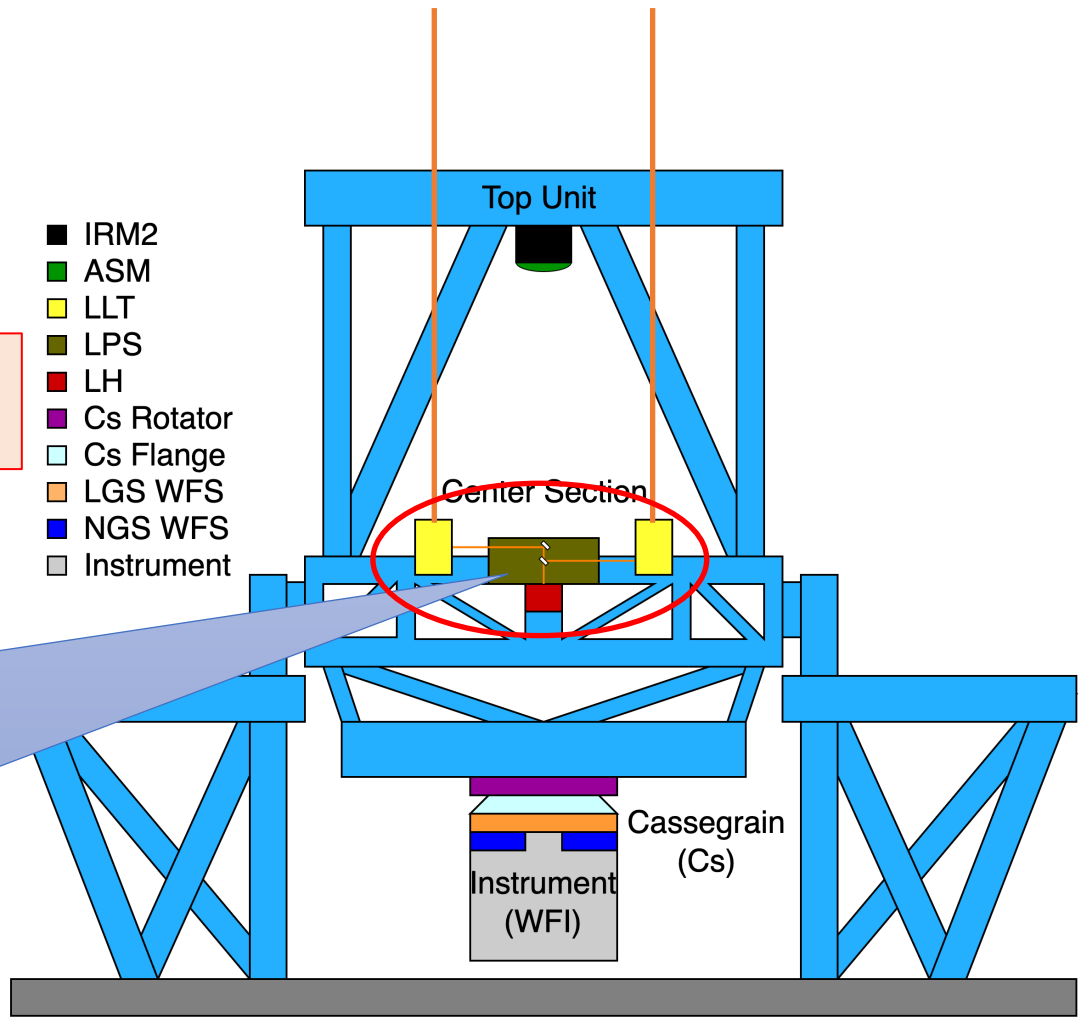
先月にGLAOのPreliminary Design Reviewが行われ、現在はCritical Design Phaseに向けて準備中



# ULTIMATE-Subaru GLAO

合計4本のレーザーを空に打ち上げて、4つのLGSを生成する

- IRM2
- ASM
- LLT
- LPS
- LH
- Cs Rotator
- Cs Flange
- LGS WFS
- NGS WFS
- Instrument





# ULTIMATE-Subaru GLAO



ULTIMATE  
Subaru

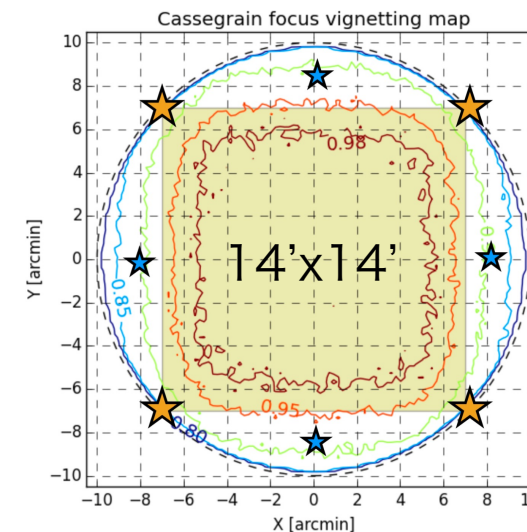
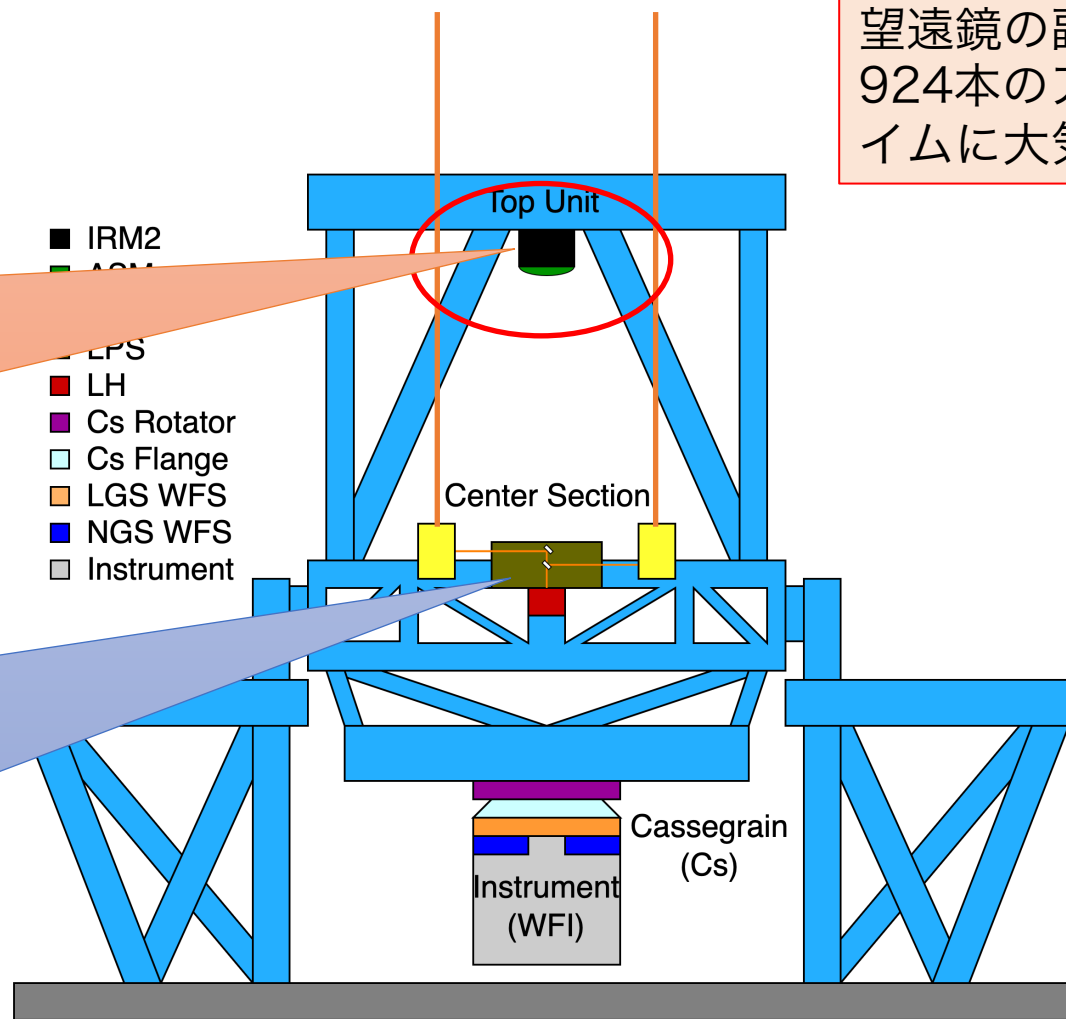
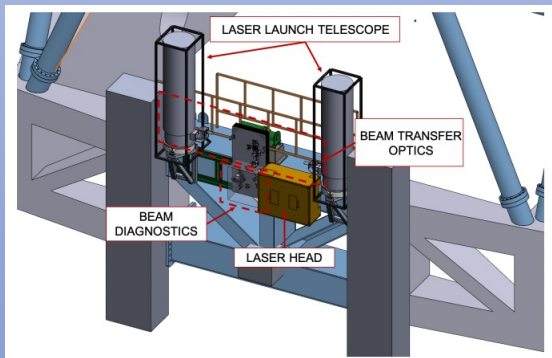
## 可変副鏡



- IRM2
- ACM
- LPS
- LH
- Cs Rotator
- Cs Flange
- LGS WFS
- NGS WFS
- Instrument

望遠鏡の副鏡を可変形鏡に改造。  
924本のアクチュエータでリアルタイムに大気揺らぎを補正する

## レーザーガイド星システム



2022年12月21日

第11回 可視赤外線観測装置技術ワークショップ

# ULTIMATE-Subaru GLAO

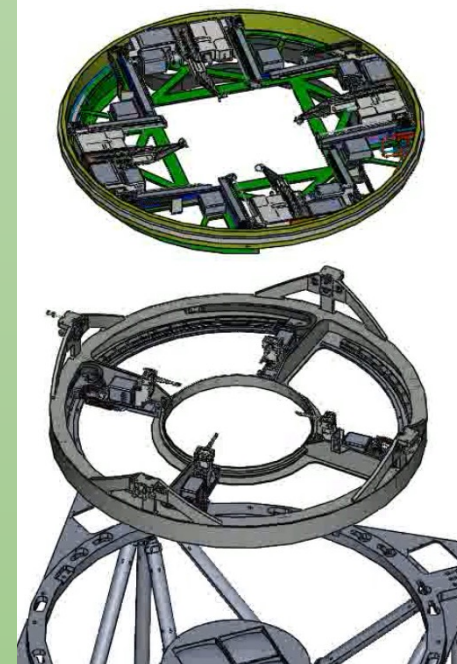
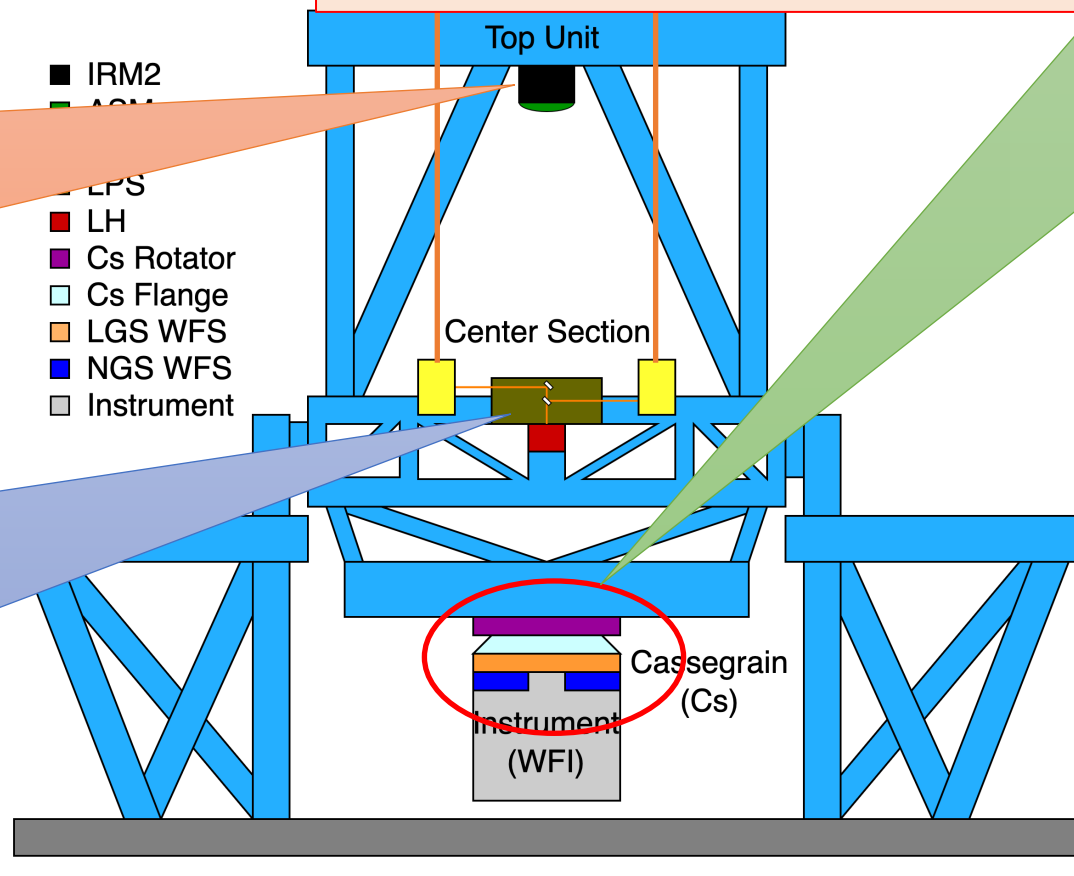
## 波面センサーシステム

### 可変副鏡

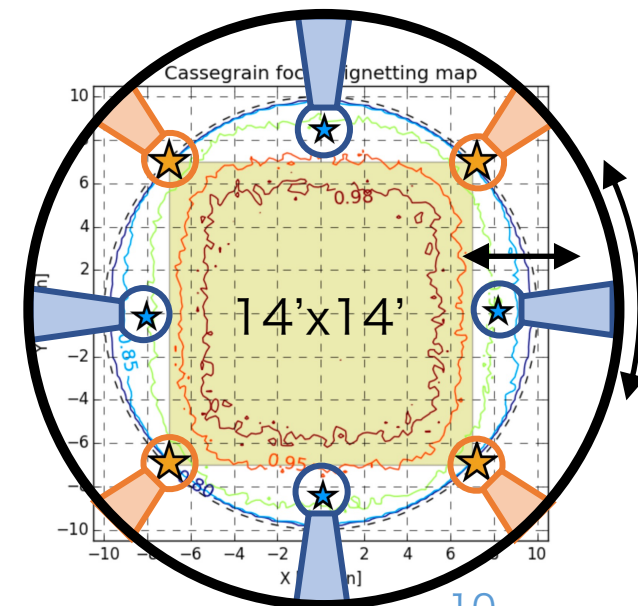
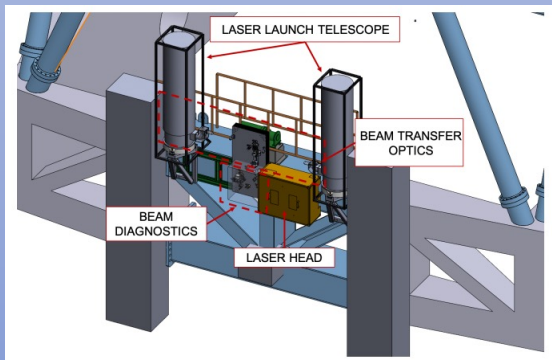


4つのLGS用のWFSと、4つのNGS用のWFSがそれぞれ動いて焦点面でガイド星の光を捕まえる

- IRM2
- AGM
- WFS
- LH
- Cs Rotator
- Cs Flange
- LGS WFS
- NGS WFS
- Instrument



### レーザーガイド星システム



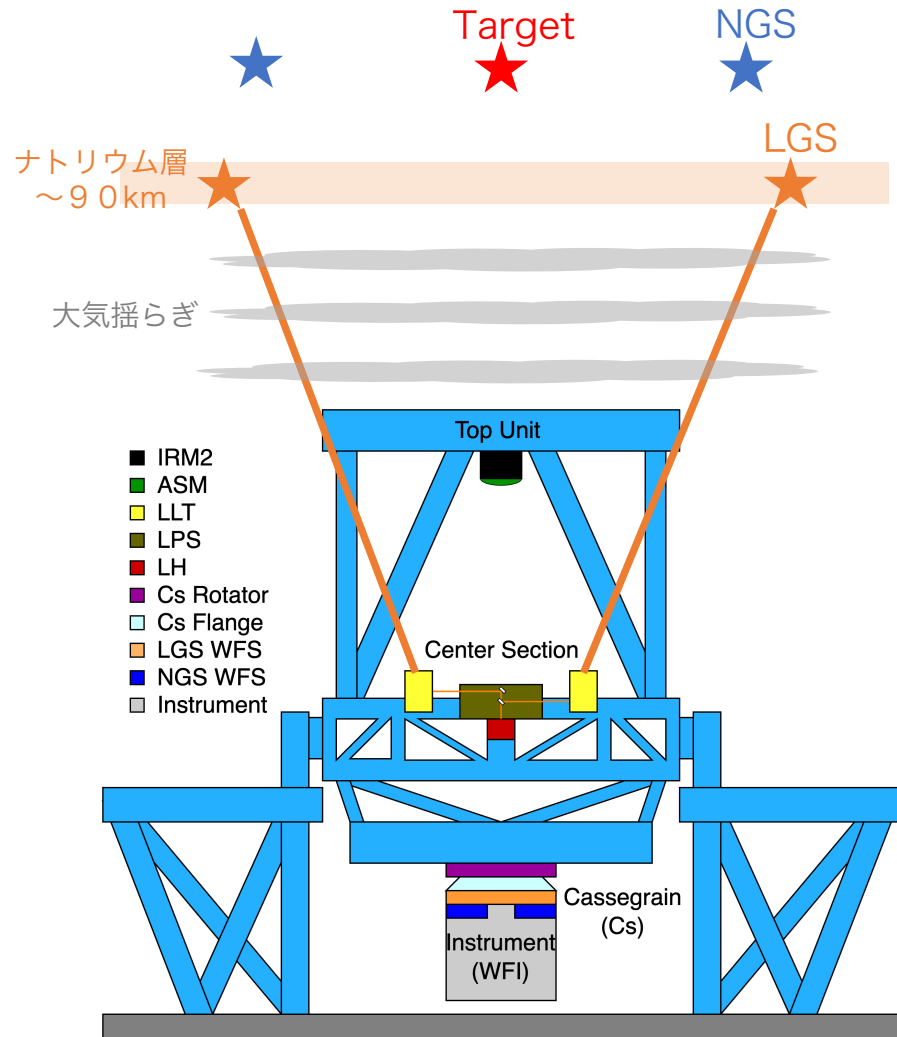
# 目次

---



- 地表層補償光学(GLAO)とは？
- GLAO制御の概要
- 制御に関する課題
- まとめと今後

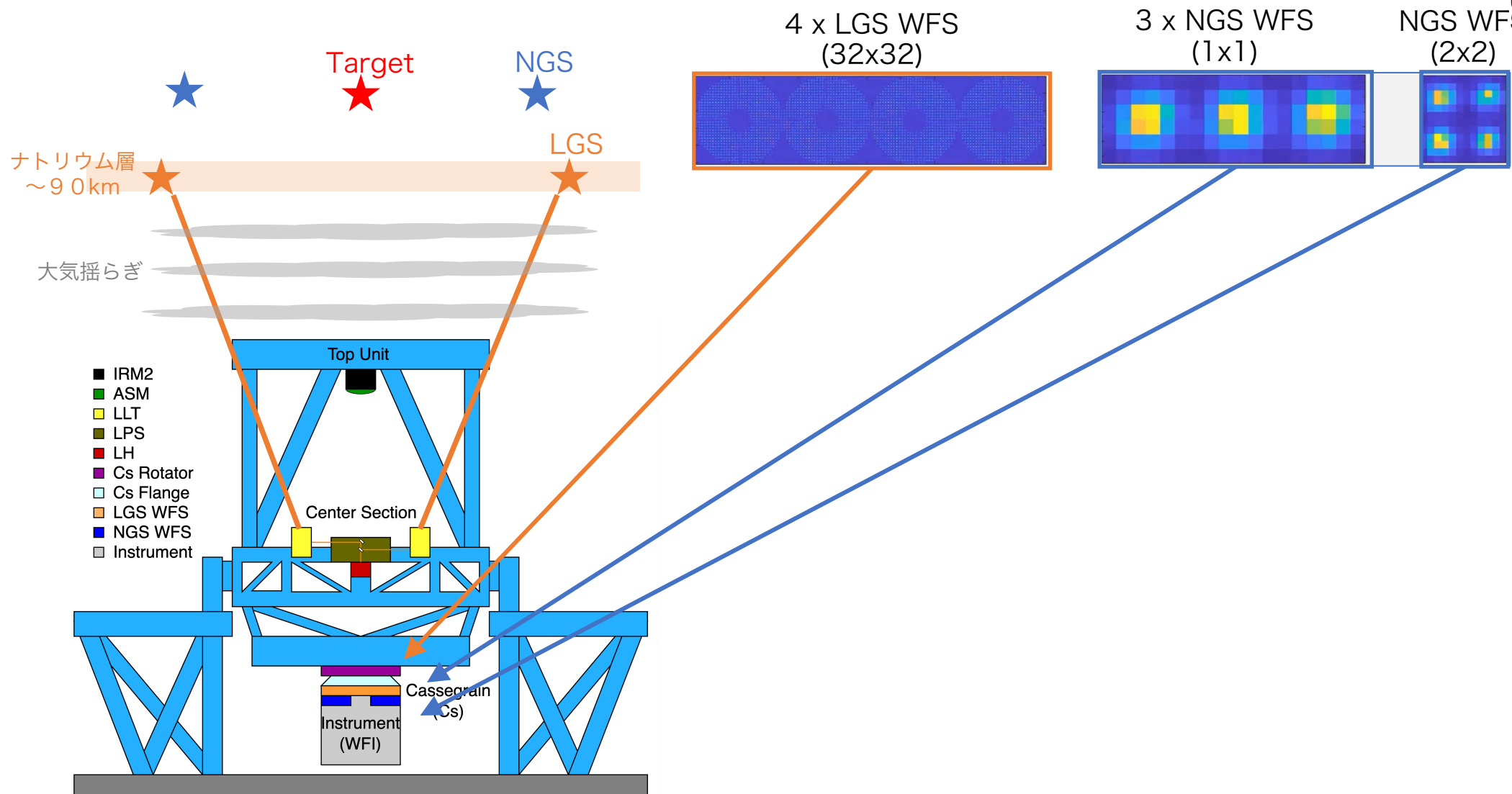
# GLAO補正制御





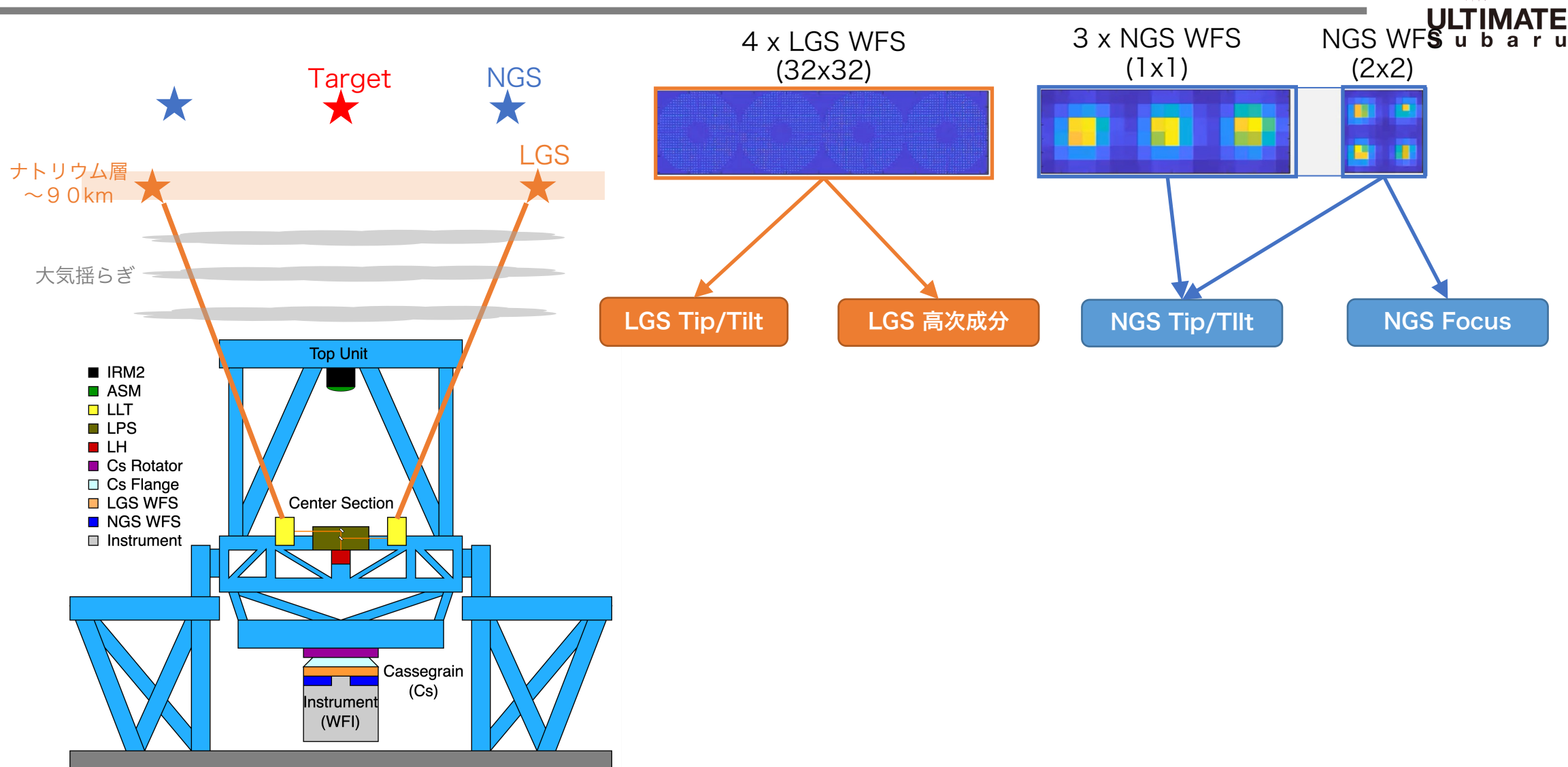
ULTIMATE  
S u b a r u

# GLAO補正制御



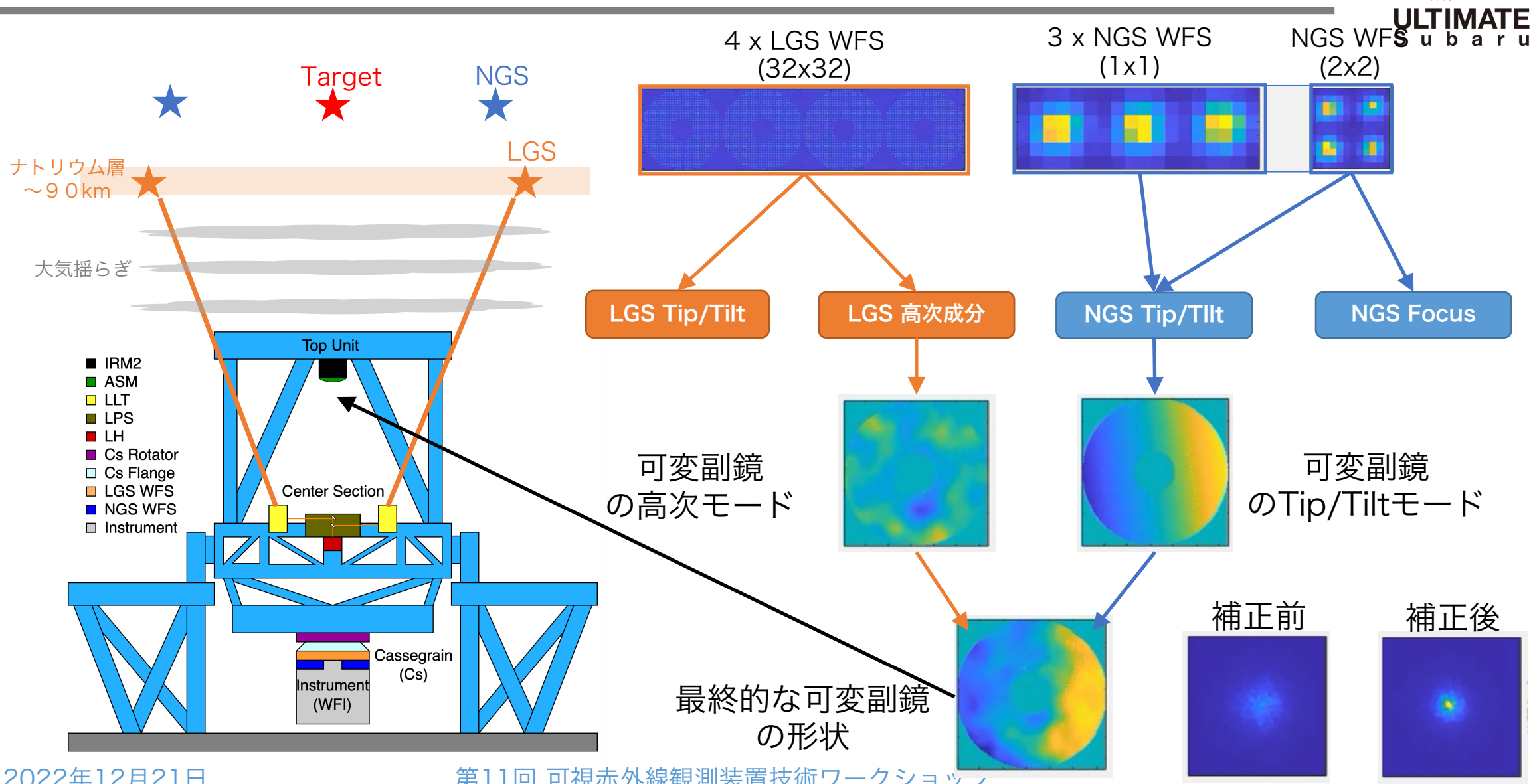


# GLAO補正制御

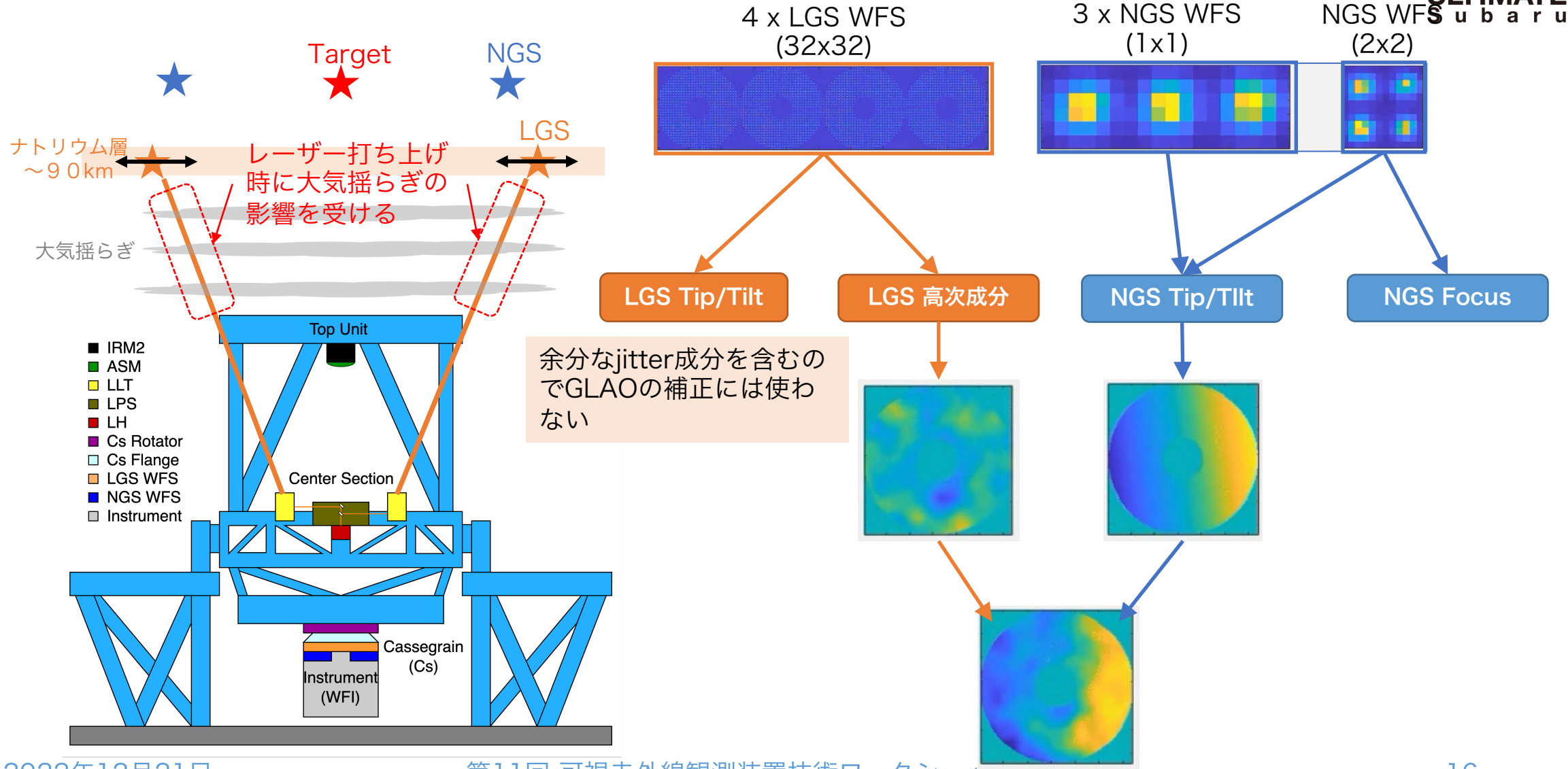




# GLAO補正制御

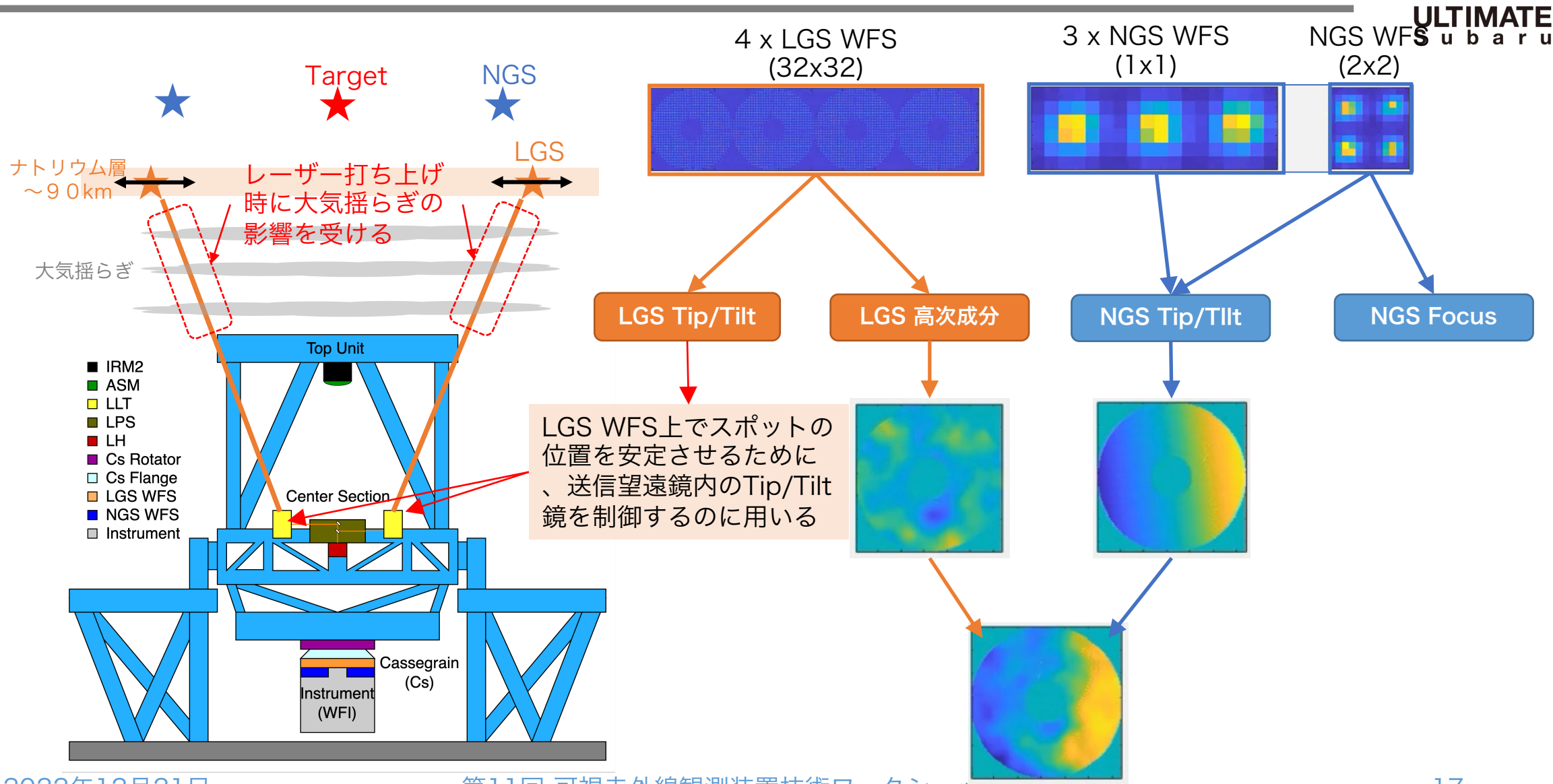


# LGSの制御(Jitter制御)

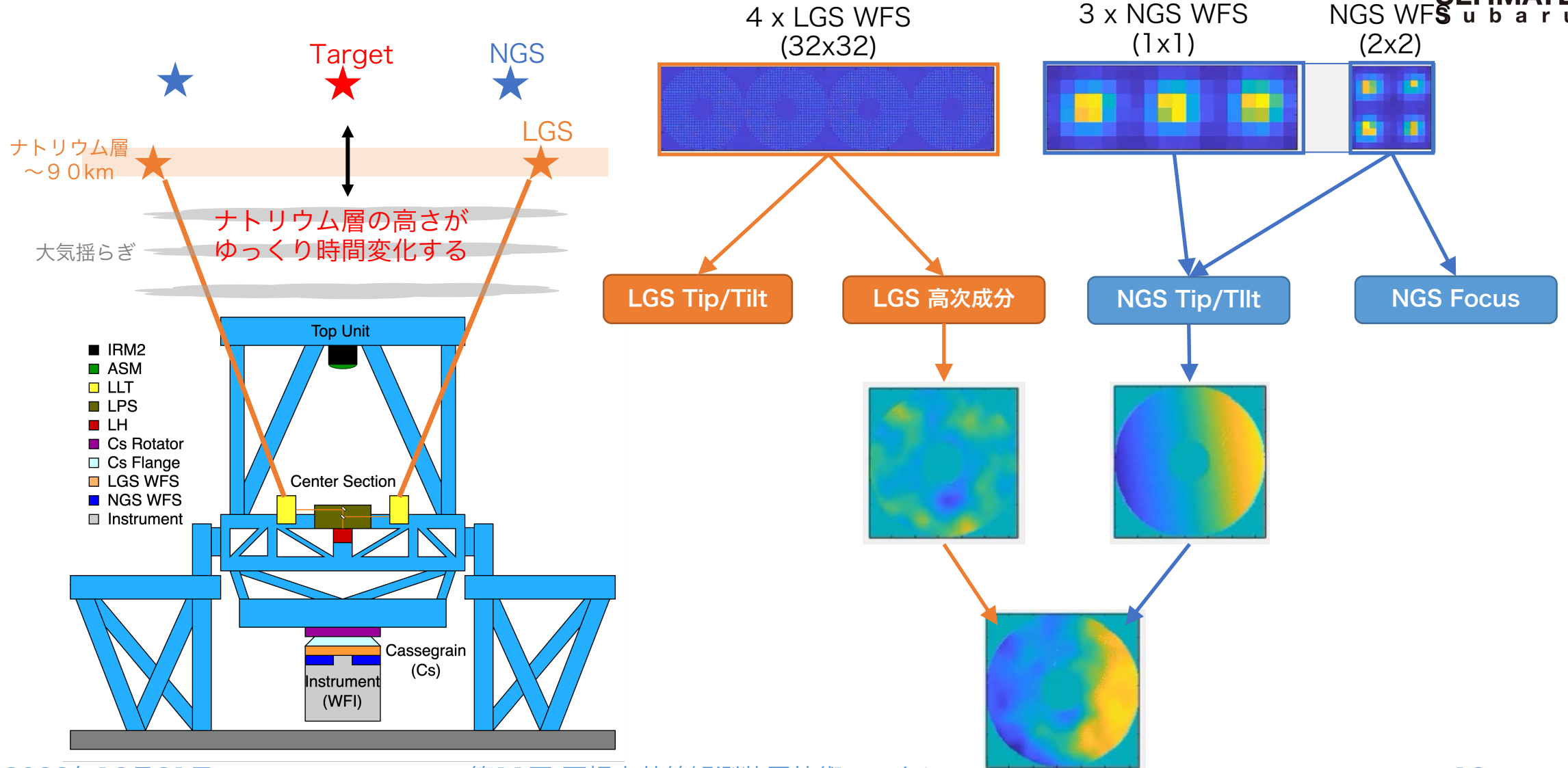




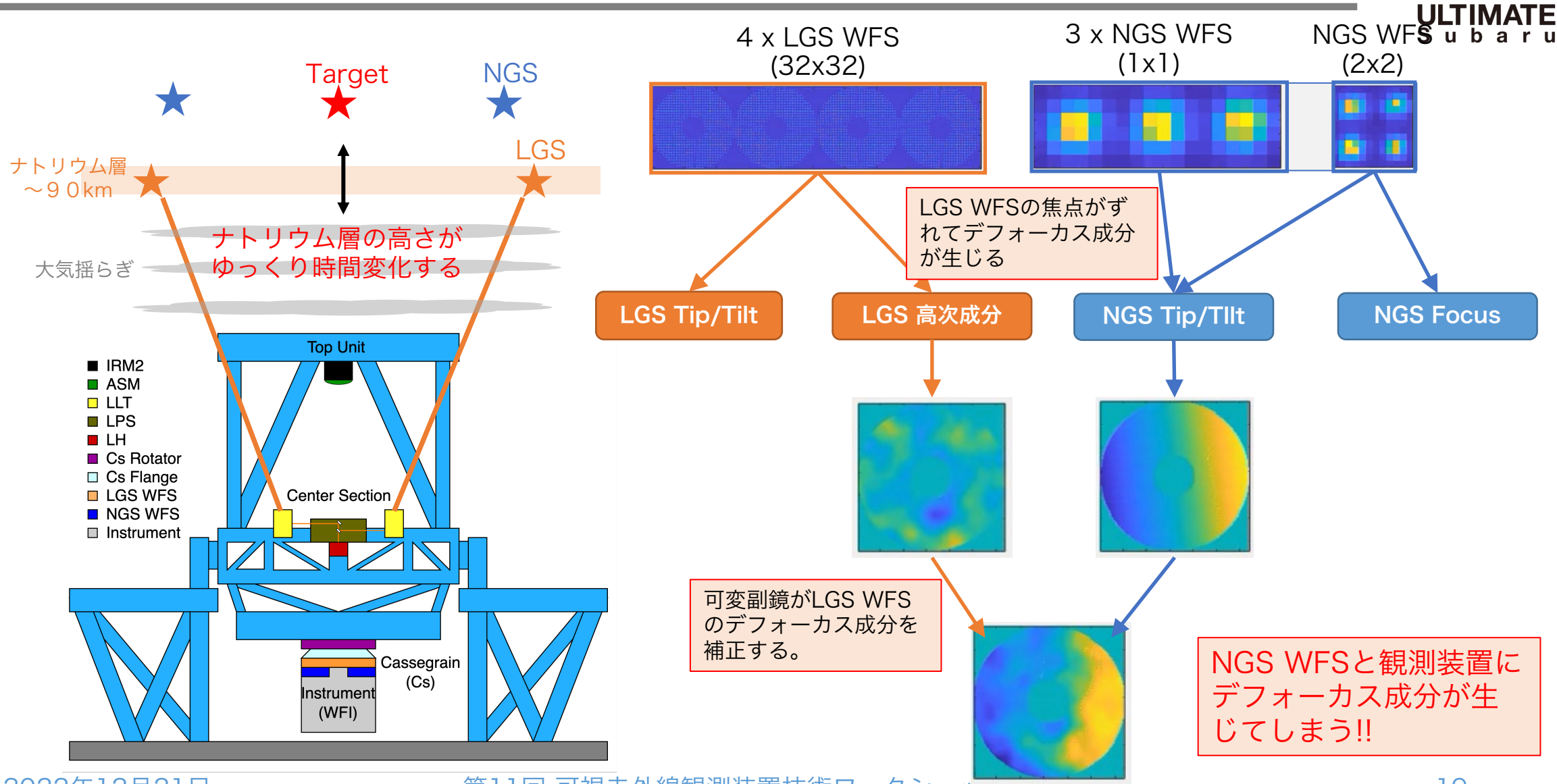
# LGSの制御(Jitter制御)



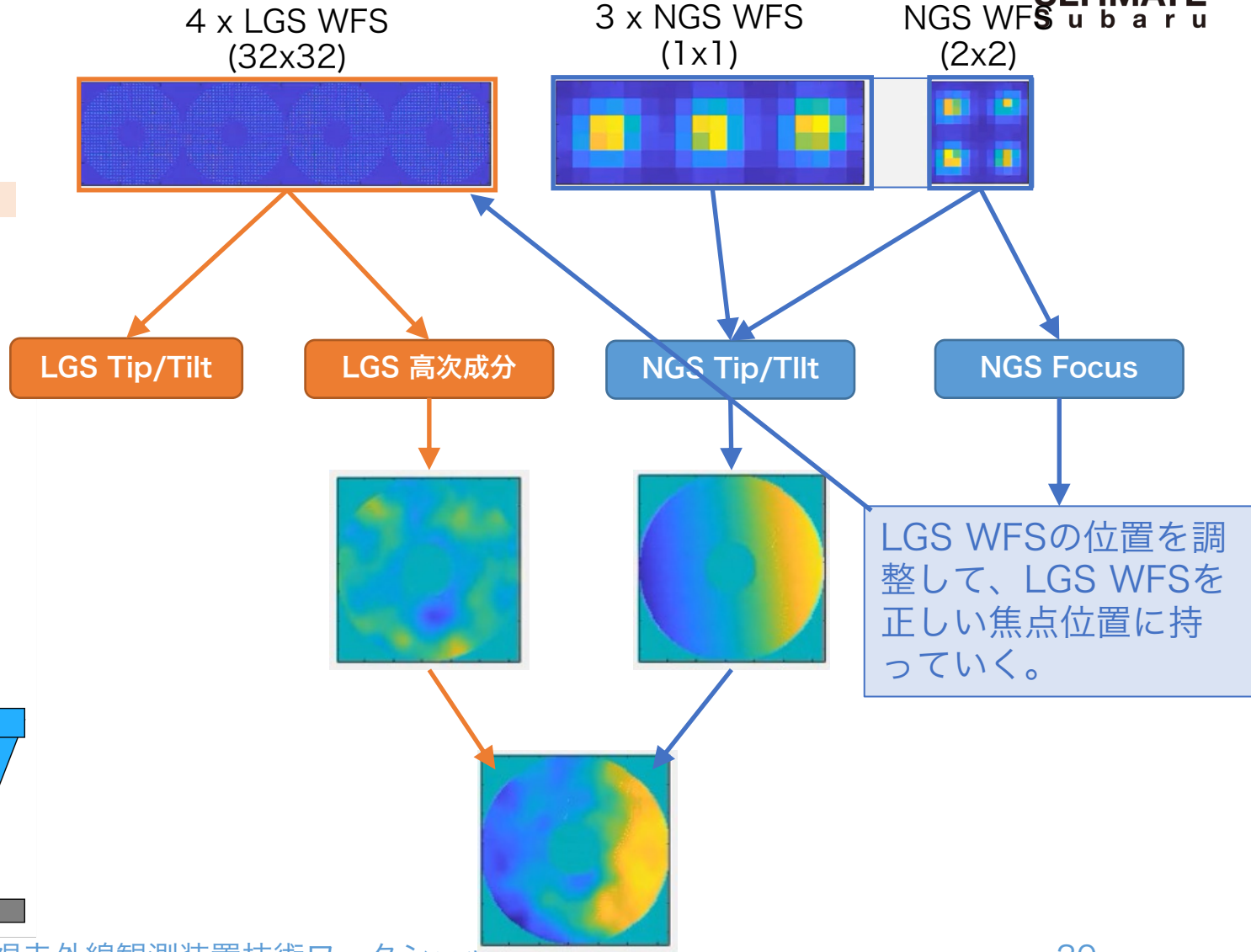
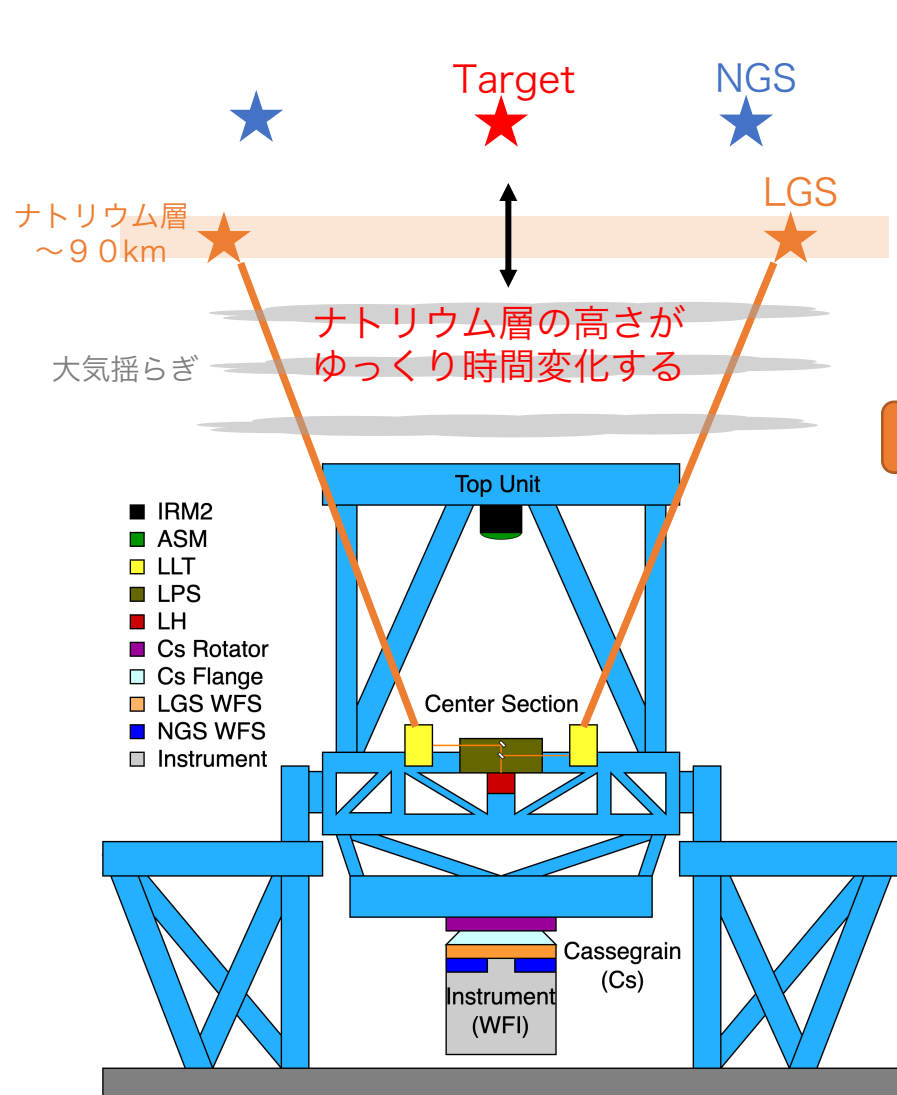
# LGSの制御(Focus制御)



# LGSの制御 (Focus制御)



# LGSの制御 (Focus制御)



# 可変副鏡のオフロード制御

- 大気揺らぎ以外に生じる収差成分
  - 望遠鏡のトラッキング誤差
  - 温度変化や重力によって望遠鏡構造の変形することで生じる収差
- GLAOで十分補正が可能だが、可変副鏡のアクチュエータのストロークを損する。可変形鏡の形状をモニターしつつ、**これらの収差を他に逃す（オフロード）必要がある。**

- Tip/Tilt成分 → 望遠鏡のPointing
- デフォーカス・コマ → 可変副鏡のマウントのヘキサポッド

# GLAO制御まとめ

---

揺らぎ・収差モードや変化の速度に分けて、さまざまな制御ループが同時並行で回っている

## 1. GLAO補正制御

- LGS WFSと可変副鏡の高次成分の補正
- NGS WFSと可変副鏡のTip/Tilt補正

## 2. LGSに関する制御

- LGSのJitter補正
- LGSの高さ変化によるDefocus補正

## 3. 可変副鏡のオフロード制御

- Tip/Tilt成分の望遠鏡Pointingへのオフロード
- フォーカス・コマ成分のヘキサポッドへのオフロード

# 目次

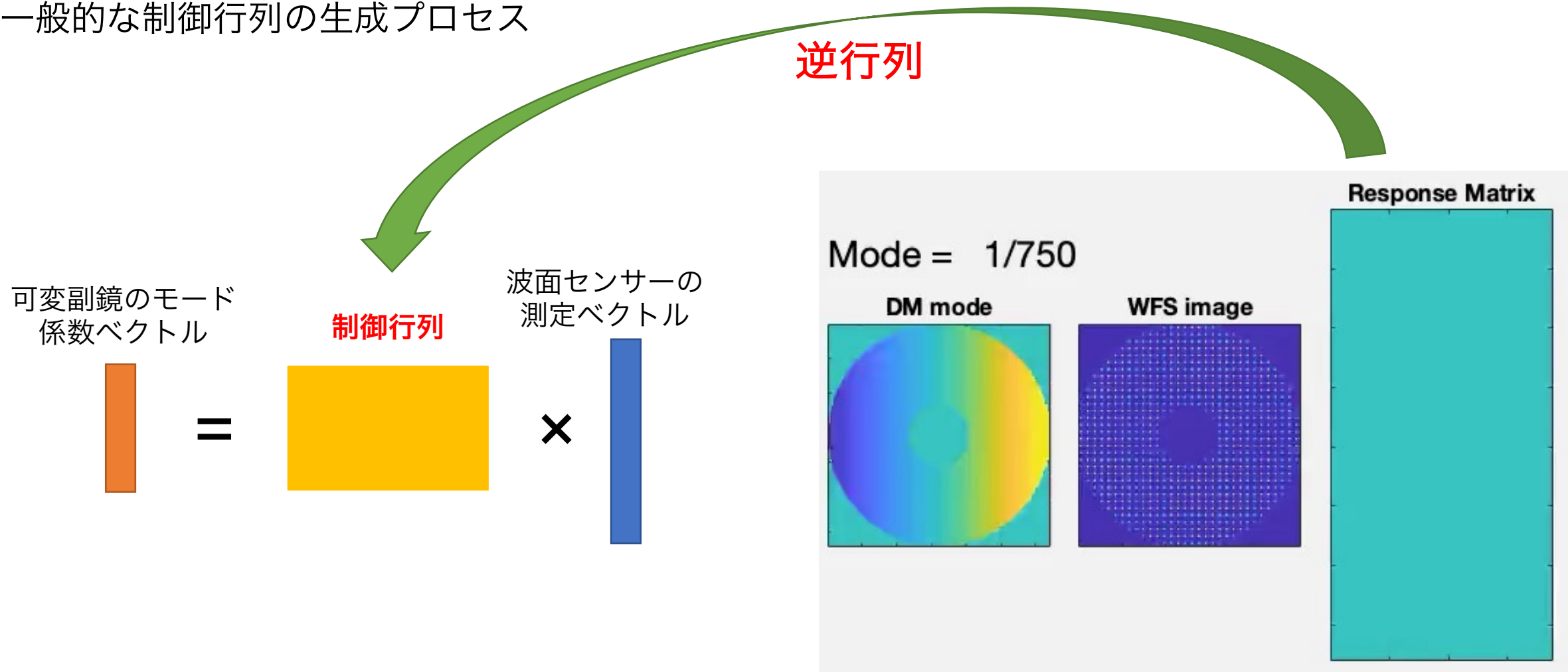
---



- 地表層補償光学(GLAO)とは？
- GLAO制御の概要
- 制御に関する課題
- まとめと今後

# GLAO制御行列に関する課題

一般的な制御行列の生成プロセス

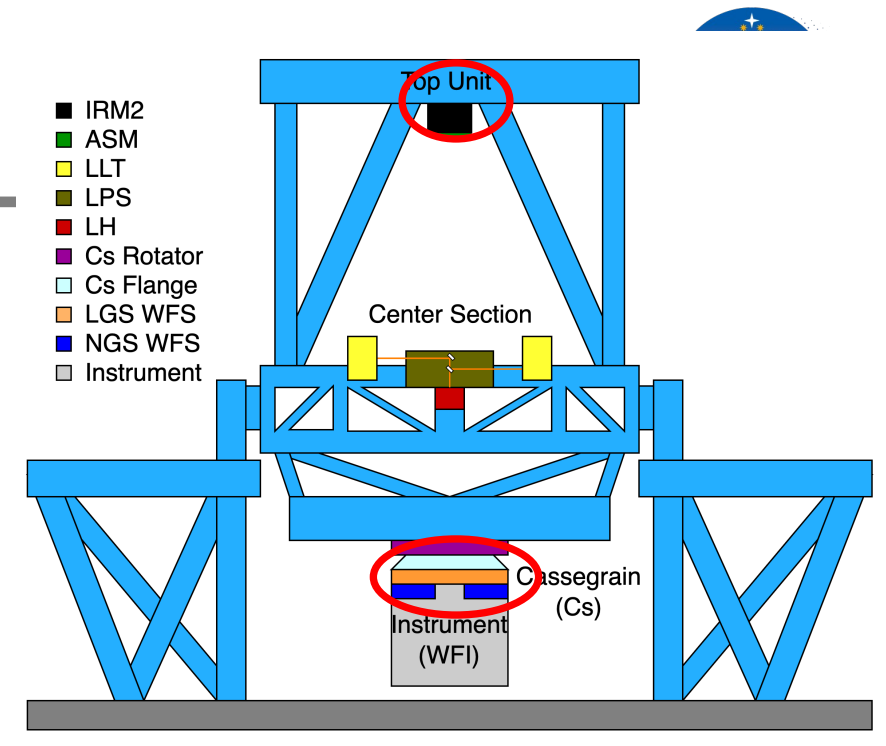




# GLAO制御行列に関する課題

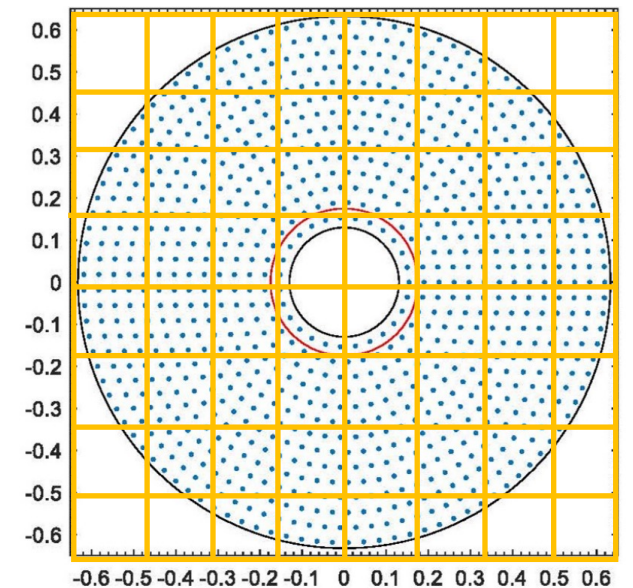
## 課題

- 一度望遠鏡に取り付けるとキャリブレーション光源を置くことは困難。
- 可変副鏡、波面センサー系は装置交換のため取り外し・取り付けを繰り返す。再現性は？
- 望遠鏡の姿勢が変わることで、可変形鏡と波面センサーの相対的な位置関係が変わる可能性がある。波面センサー上の瞳ずれがサブ開口の20%以上だとGLAOの補償に影響が出る。



## 解決策

- 望遠鏡取り付け後・GLAOの補正中でも制御行列をアップデートできるようにする。
  - オンサイトでレスポンス行列を取得する。大気揺らぎの影響を消すために工夫が必要（高速化・平均化）
  - GLAO補正中に波面センサーや可変副鏡から得られるデータを用いて制御行列を再構成できるようにする



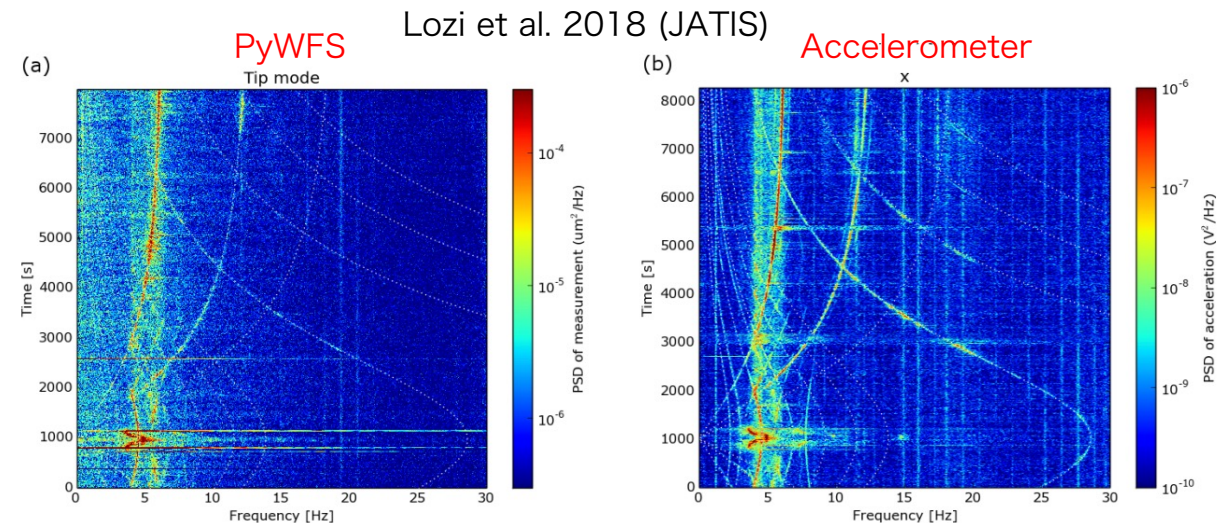
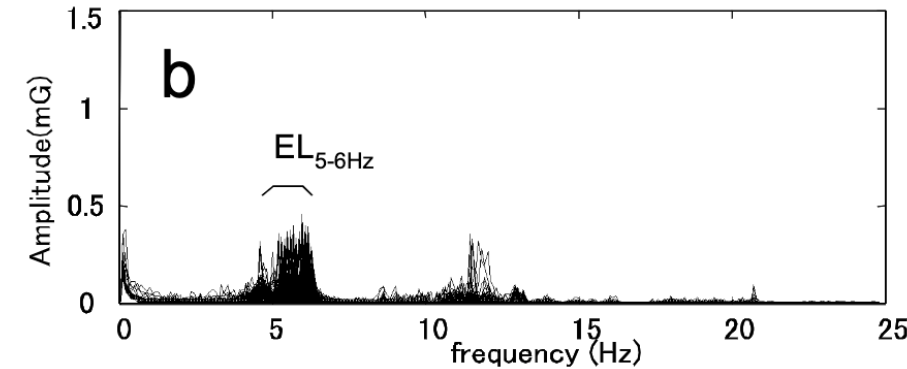
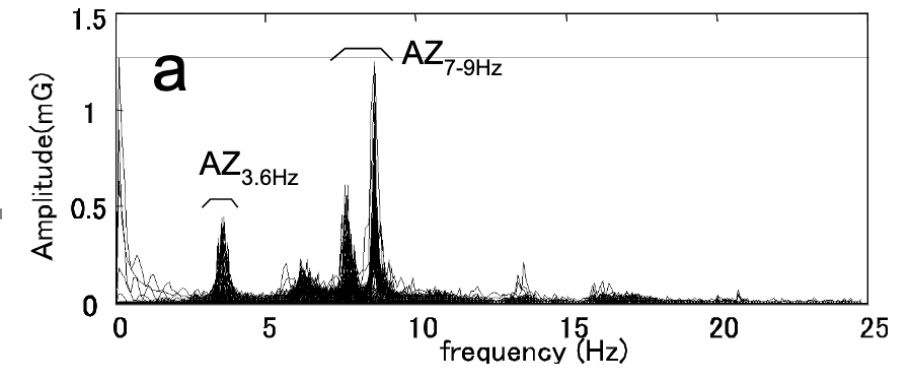
# 望遠鏡の振動の影響

## 課題

- 望遠鏡のAz、ELによって5-10Hzの振動が生じることがわかっている。(Kanzawa et al 2006 SPIE)
- GLAOでは観測領域を広げるために暗いNGSを使う必要がある場合もある。波面センサーに入る光量を増やすために波面センサーの積分時間を長くしたい ⇔ 制御スピードが落ちて振動の影響が大きくなる

## 解決策

- 振動成分に最適な制御を行う。
  - 予測制御
  - 別で望遠鏡の振動成分をリアルタイムで測定してTip/Tiltの制御にフィードバックをかける。(SCExAOで同様の実験が既に行われている)



# 今後の課題

---



1. キャリブレーションの手法と精度の検証
2. 望遠鏡振動に対する最適な制御方法の検討
3. GLAO・科学性能に対する影響の評価
4. GLAO制御の手順の確立と最適化  
(ガイド星のAcquisitionから補正開始まで5分以内、Dithering)