

TMT 第2期装置提案

TMT-AGE:

TMT Analyzer for Galaxies in the Early universe

秋山 正幸 (東北大学)

and TMT-AGE team

# はじめに： TMT第1期装置の現状

- 2027年ファーストライト時の装置はNFIRAOS, IRIS, WFOS
  - 多層共役補償光学系 NFIRAOS は最終設計/レビューの段階から製作に移る時期にある。大型ピエゾ可変形鏡やラディアルCCDのプロトタイプなどいくつかの開発要素はあったが目途は立ちつつある段階。
  - 近赤外面分光・撮像装置 IRIS は最終設計に入る時期にある。最終設計のレビューは2020/11に予定されている。NAOJ/ATCでのプロトタイプなども進められている。
  - 可視多天体分光器WFOSは光ファイバーを用いた多天体分光と多スリットによる多天体分光のどちらを取るかの検討が進められている。2018/10に結論が出る予定であり、その後で概念設計/初期設計段階に移る。
  - 可変副鏡/地表層補償光学の早期の導入に向けた検討が行われている。ELT/GMTとの比較で地表層補償光学としてサイトを含めて同等以上の機能を実現する。
  - 近赤外面分光 IRMS は現状ではファーストライト時の装置に入るかどうかは予算や多装置との比較などによる。

# はじめに：TMT第2期装置の議論の現状

- 第2期装置の検討に向け、ファーストライト時に想定されない新機能(とそれによるサイエンス)を提案する白書の募集が行われ、そのレビューがTMT-SACにおいて進められている状況。選ばれた提案についてはTMTプロジェクトから予算をつけて検討を進めてもらうことも考えられている。
- ファーストライト以降に3年に1機能程度のペースで新しい機能を実現することを目指し、TMT運用費の中に第2期装置の建設費用は含まれる。外部予算の獲得も期待される。
- TMT-J では戦略的基礎開発研究経費を通じて基礎開発をサポートしている。天文台の共同開発研究経費も重要な財源となっている。

# 概念設計までのタイムスケールの想定 (Luc Simard 201701 SAC 資料より)

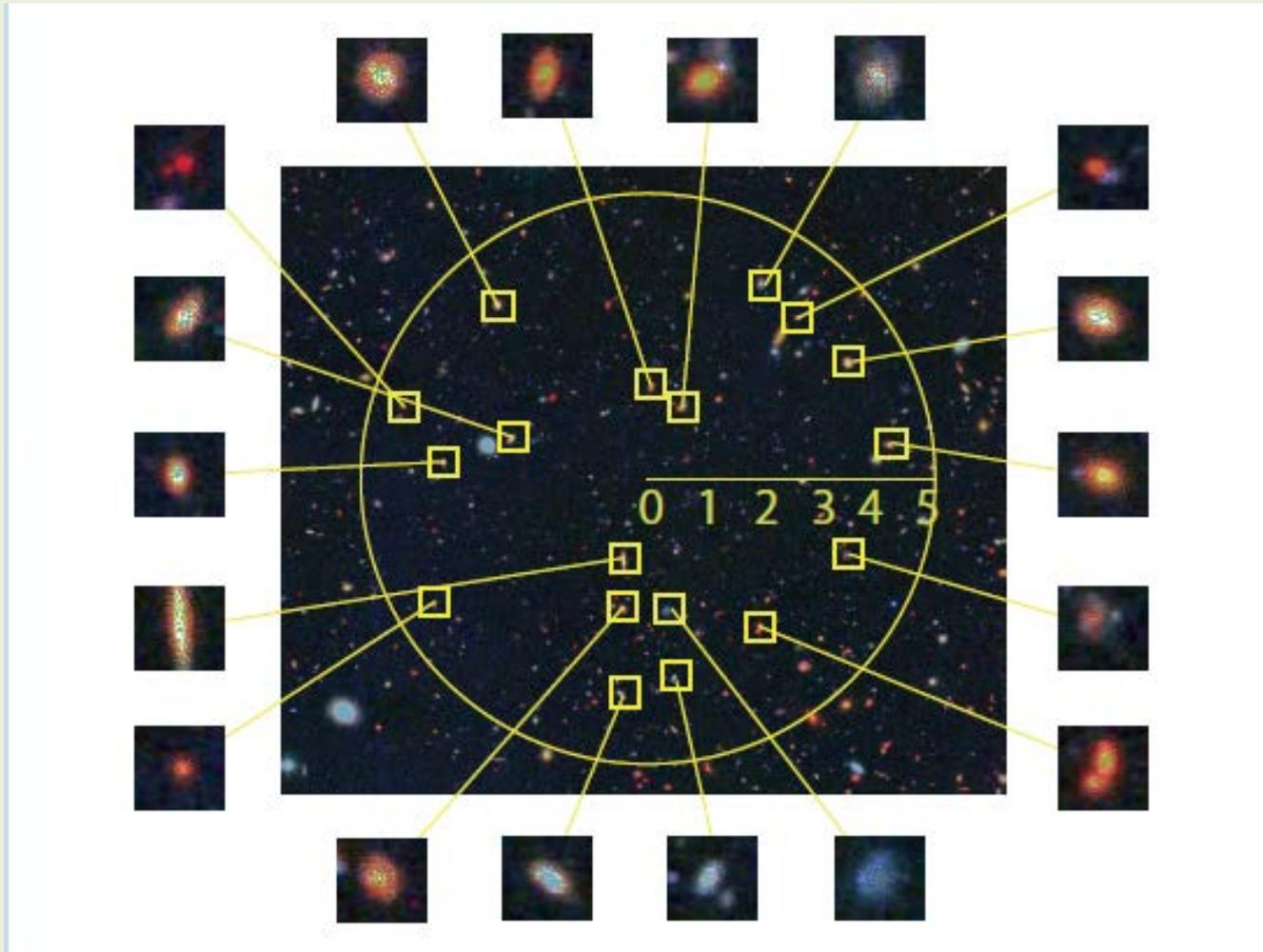
| Step | Description   | Timelines                              |  |  |
|------|---|--|--|--|
|      |   | First-light Instruments                | 2nd Gen Instruments<br>-<br>2027 1st light | 2nd Gen Instruments<br>-<br>2024 1st Light   |
| 1    | <u>Initial</u> science cases and desired <u>capabilities</u>  | <= 2004                                | 2016Q1<br>-<br>2016Q4                      | (Missing steps from this timeline -> Future instruments 1 and 2 selected on the basis of 10-year old scientific and technical information) |
| 2    | Call for <u>Feasibility</u> Studies (~\$150K+~1.5 yr / study)   | 2005Q1<br>(10 studies; 8 capabilities) | 2017Q1<br>(TBD studies; TBD capabilities)  |  |
| 3    | Feasibility Study Phase:<br>° Expanded science cases and operational concepts<br>° <u>Instrument</u> designs and their technical readiness<br>° Schedule and Budget Estimates | 2005Q2<br>-                            | 2017Q3<br>-                                |  |
|      |   | 2006Q1                                 | 2018Q4                                     |  |
| 4    | Feasibility Study Reviews   | 2006Q1                                 | 2019Q1                                     |  |
| 5    | <u>Revised</u> science cases and <u>instrument</u> concept ranking  | 2006Q2<br>-                            | 2019Q2<br>-                                | 2016Q2<br>-  |
|      |   | 2006Q3                                 | 2019Q3                                     | 2016Q3   |
| 6    | Instrument concept selection  | 2006Q4                                 | 2019Q4                                     | 2016Q4   |
| 7    | Call for <u>Conceptual</u> Design Studies (~\$1M+ ~1.5 yrs / study)   | 2007Q3                                 | 2019Q4                                     | 2016Q4   |
| 8    | Team selection and formation  | 2007Q4                                 | 2020Q2                                     | 2017Q2   |
| 9    | Statement of Work and work package development  | 2007Q4                                 | 2020Q3                                     | 2017Q3   |
|      |   |  | 2020Q4                                     | 2017Q4   |
| 10   | <u>Conceptual</u> Design Studies start  | 2008Q1<br>(Two studies: WFOS and IRIS) | 2021Q1<br>(Two studies TBD)                | 2018Q1<br>(Two studies TBD)  |

# TMT 第2期装置白書提案の概観

- MICHI (+J)
- Planet System Imager (+J)
- High-dispersion NIR spectrograph (IRD-like) (+J)
- NIR multi-IFU multi-AO spectrograph (+J)
- NIR MOS (IRMS re-design) (+J)
- High-dispersion optical spectrograph (+J)
- High-dispersion optical spectrograph (China only)
- Rapid imager + spectropolarimeter (+J)

# TMT-AGE

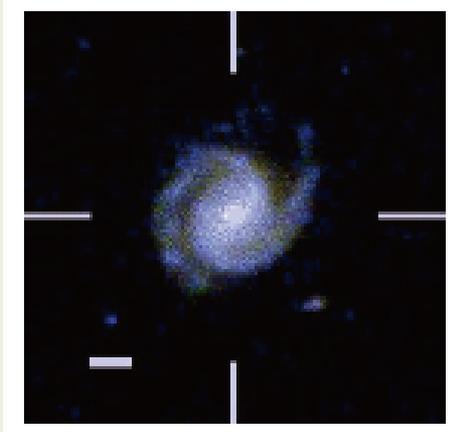
- TMT第2期装置として、多天体補償光学による広視野( $d=10'$ )の多天体( $\sim 20$ )近赤外線面分光装置を提案する。



# 科学目標

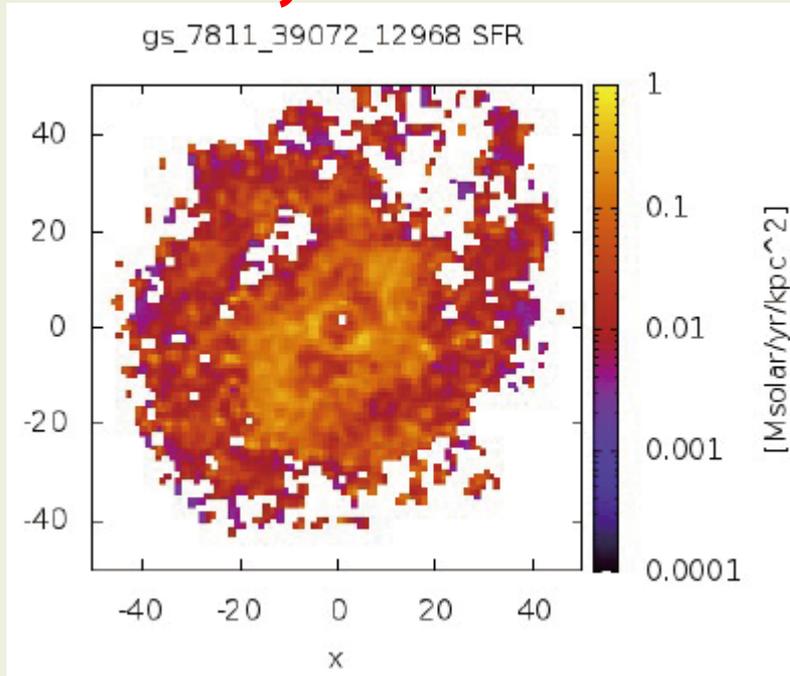
1. 現在の宇宙に見られる銀河の内部構造はどのように確立したのか？
2. 初期の銀河の中でどのような星形成が起こったのか？
3. 宇宙最初期にある銀河や超大質量ブラックホールを探査する。

# 1. 銀河構造の確立史

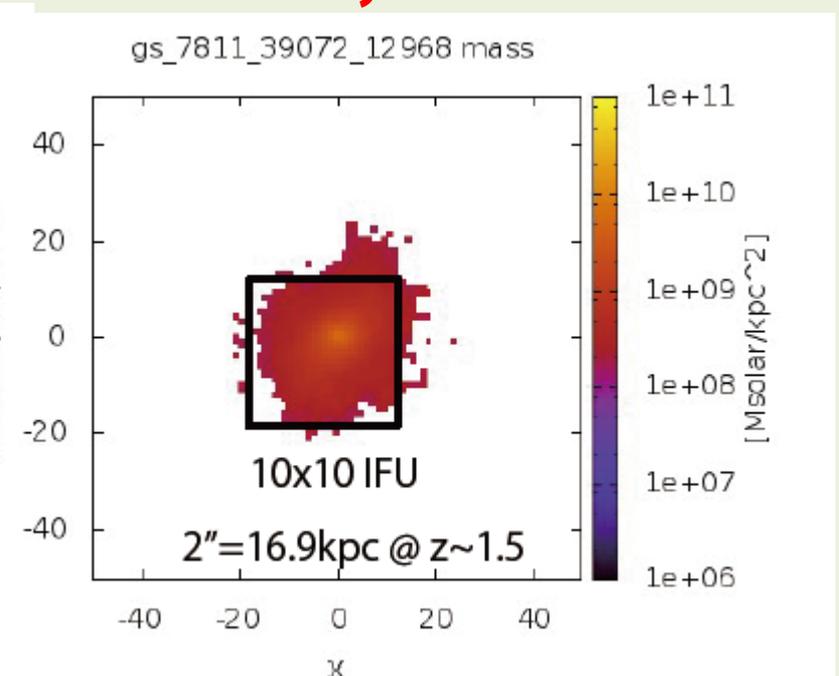


銀河形成のピーク時期にある銀河の内部構造について、現在観測が進む電離ガスの運動ではなく、星系の力学構造を明らかにし、その確立過程を描き出すが出来る。

## Gas dynamics

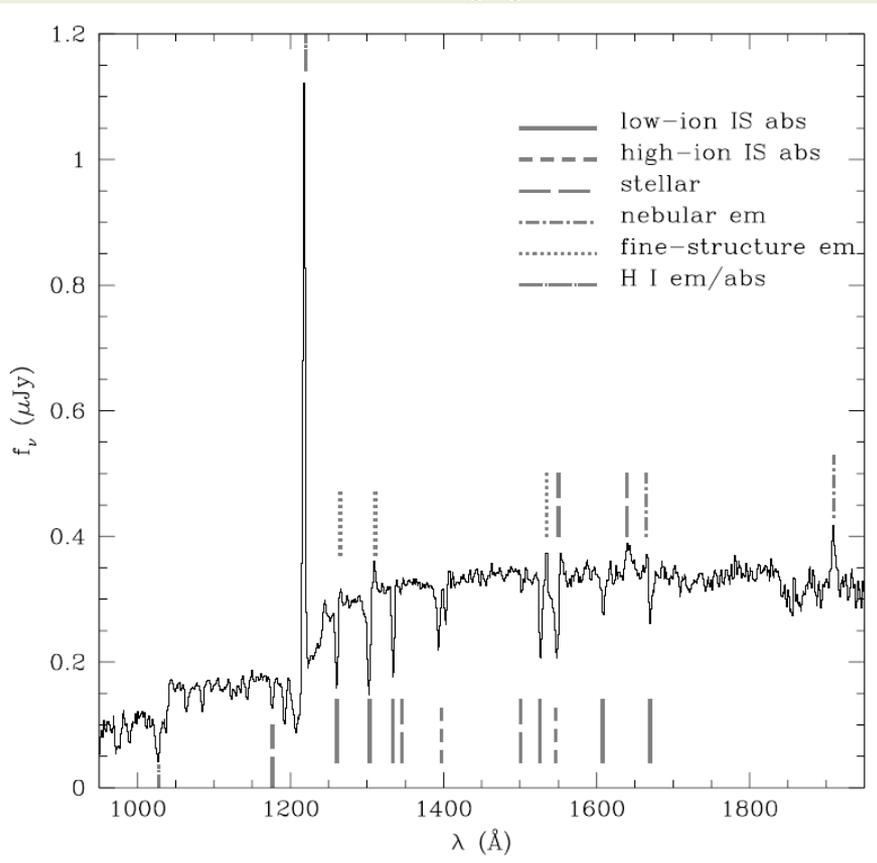


## Stellar dynamics



## 2. 初期の銀河の中の星形成の物理過程

Average of rest-UV spectra of  
 $z \sim 3$  star-forming galaxies



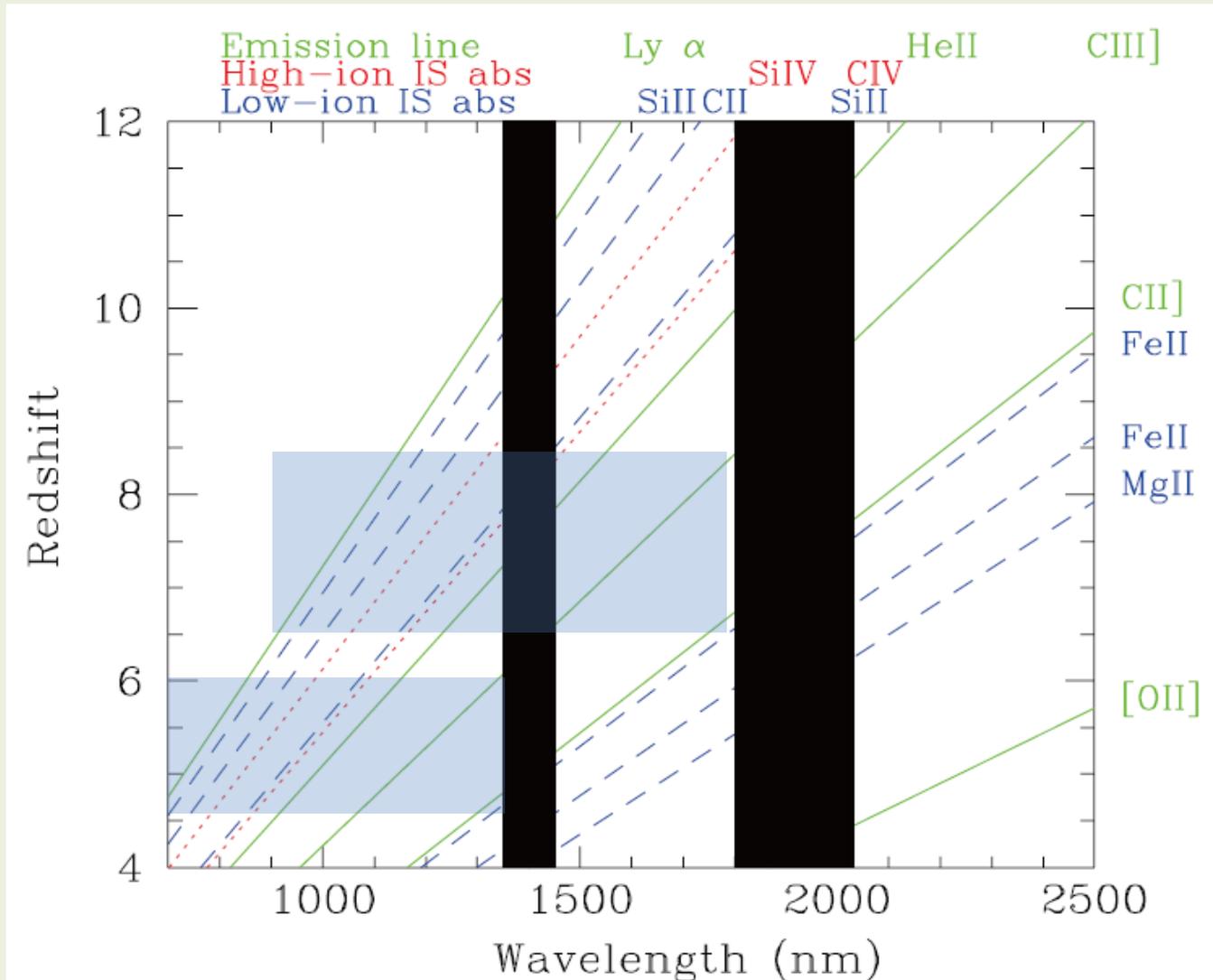
Shapley et al. 2003

- 紫外線の輝線・吸収線から明かす

- 低電離星間吸収線：
  - 中性ガスの分布や力学構造
- 高電離星間吸収線：
  - 電離ガスの分布や力学構造
- 星成分からの輝線：
  - 大質量星の割合
- ガス成分からの輝線：
  - 銀河ガスの静止系

## 2. 初期の銀河の中の星形成の物理過程

- 赤方偏移 5-9 の銀河の紫外線の吸収線・輝線は700-1800nm に観測される。



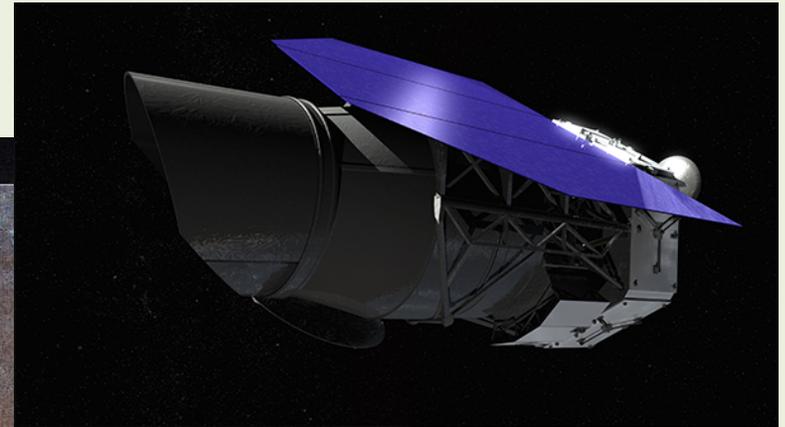
### 3. 宇宙最初期の銀河・AGNの探査

- Euclid/WFIRST/SPICAの可視赤外線、Athena, STARXのX線など次世代の衛星計画の広視野深宇宙探査の分光フォローアップにより宇宙最初期の銀河・AGNの探査を行う。

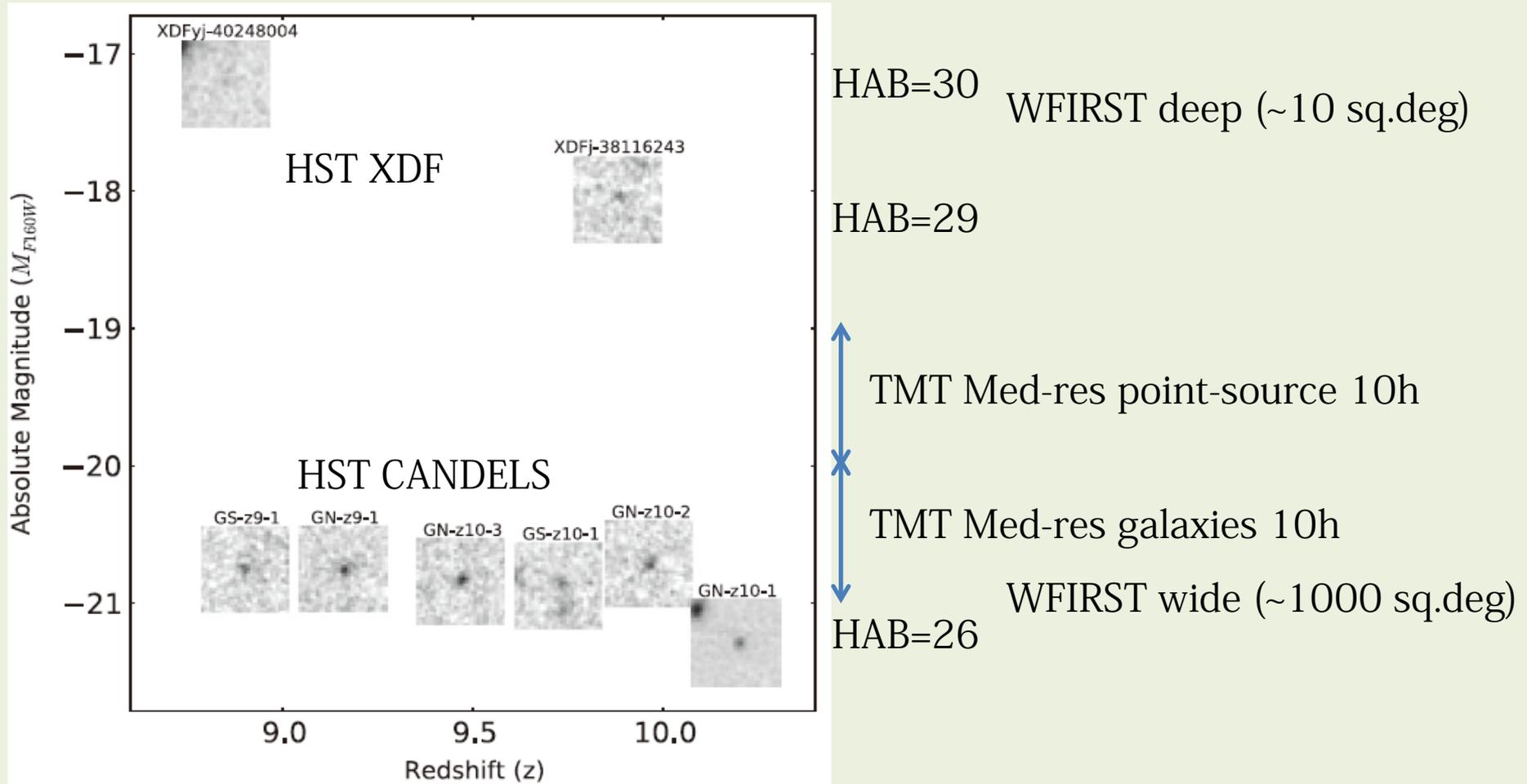
d~10'  
~DEIMOS

Hubble

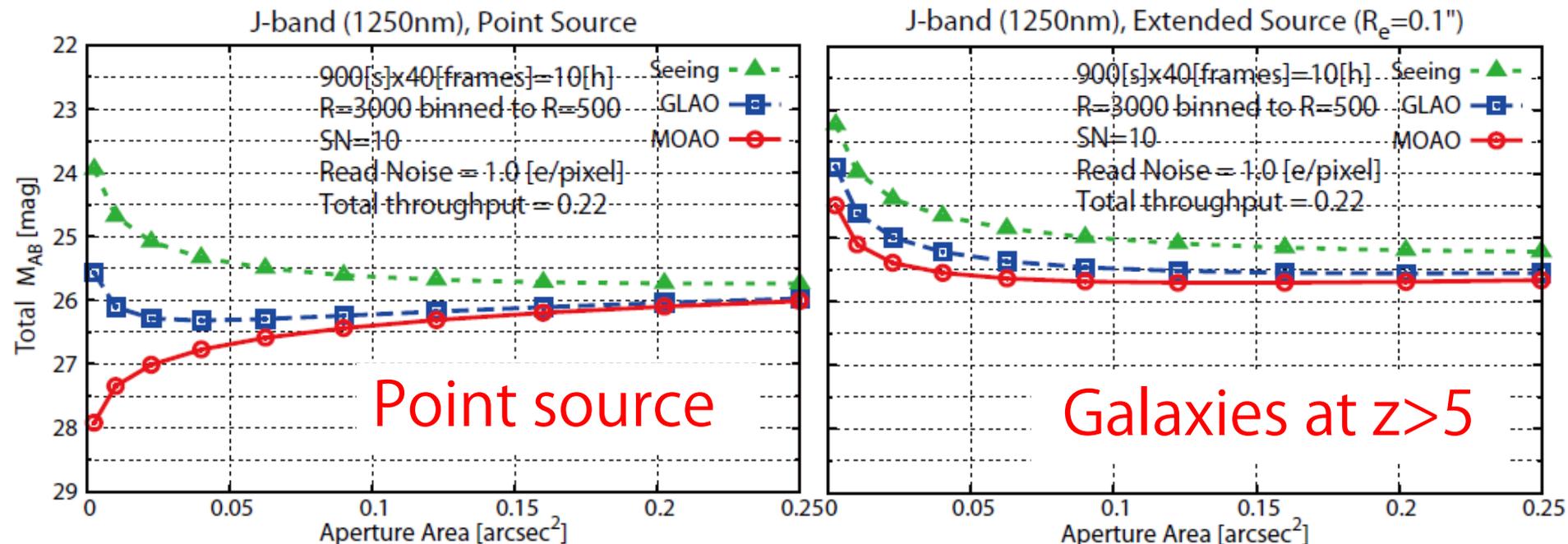
WFIRST 0.28 sq.deg  
~Suprime-Cam



# WFIRST 探査で見つかる大量の高赤方偏移銀河



# 補償光学による検出限界の向上



- Red (MOAO), blue (GLAO), green (seeing-limit) lines show the detection limits for each system with different aperture size.
- SN=10 for continuum with 10h integration
- R=3,000 spectroscopy binned to R=500
- Typical size of  $z > 5$  galaxies: effective radius of  $0.1''$

# 装置仕様

## 1. 赤方偏移1-5 の銀河の内部構造

- 高い空間分解能と高い波長分解能による多天体面分光観測 (視野への要求は限定的)
- 0.05x0.05" sampling IFUs with 2" FoV
- R=10,000 spectroscopy for  $v \sim 30$  km/s

## 2. 赤方偏移 5 を超える銀河の高SNのスペクトル

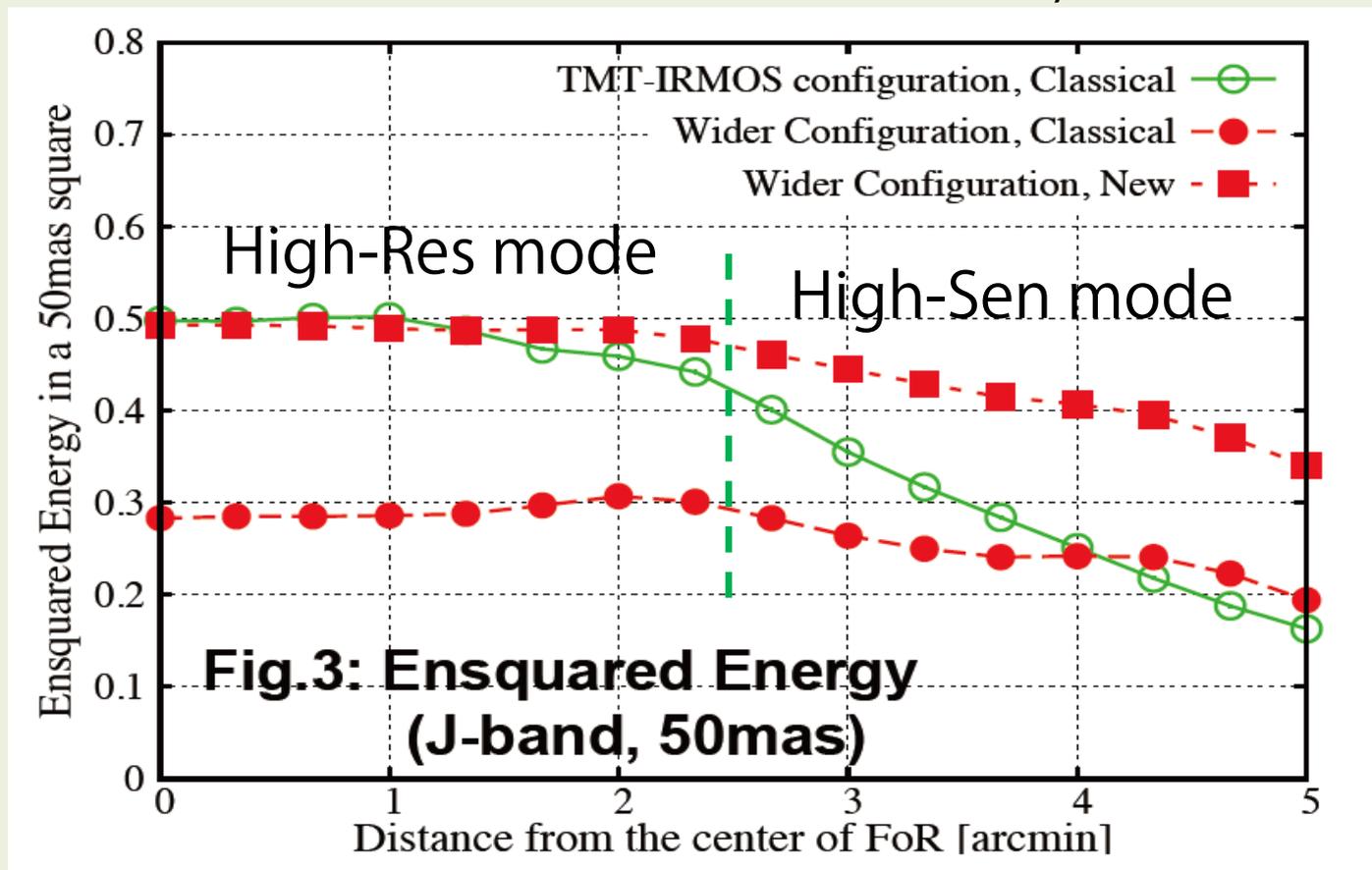
## 3. 赤方偏移 8 を超える銀河の同定分光

- 広い視野の高い感度の多天体分光観測、比較的短い波長の近赤外線に重点がある。
- 0.3x0.3" – 0.5"x0.5" aperture integrated spectroscopy
- R=3,000 (5Å resolution, 2Å/pix) for absorption/emission lines with rest-frame EW of 1Å.

# 補償光学の性能限界

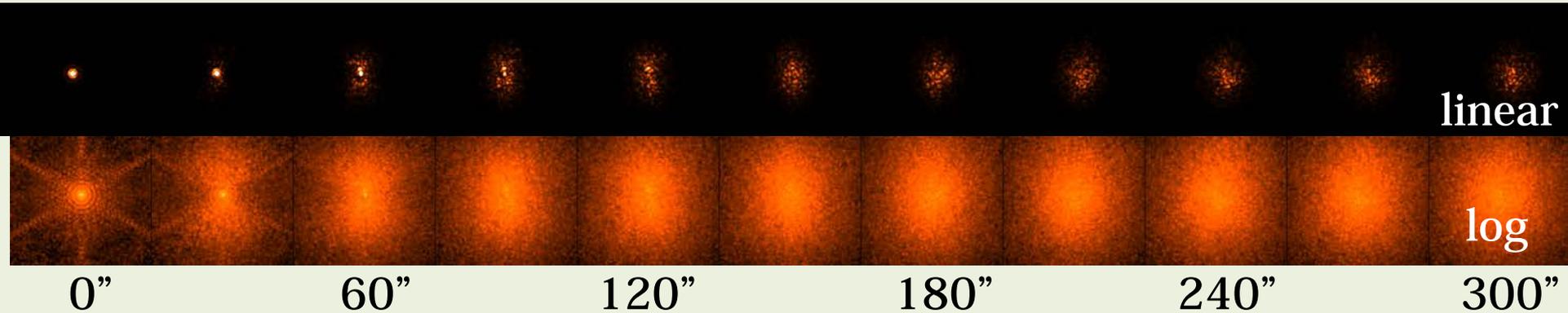
- レーザーガイド星の配置間隔や波面推定のアルゴリズムによって、狭視野の良い補償モードと広視野の補償モードを切り替えることが可能。

Y.Ono et al. 2014 SPIE, Y.Ono et al. 2016



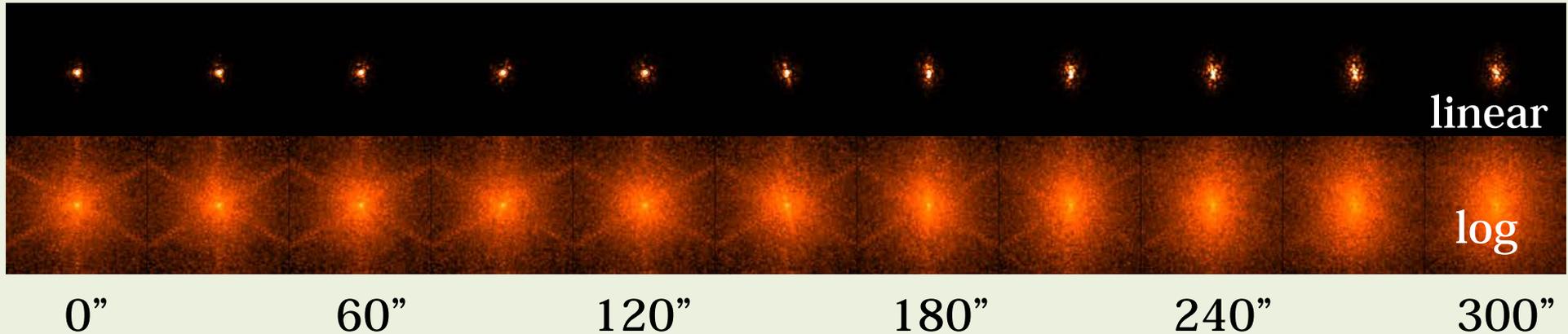
# 広視野多天体補償光学でのPSF

視野中心領域で最適化 (TMT初期補償光学：多層共役補償光学)



- Ensquared Energy within  $0.05''$  ~50% up to  $30''$

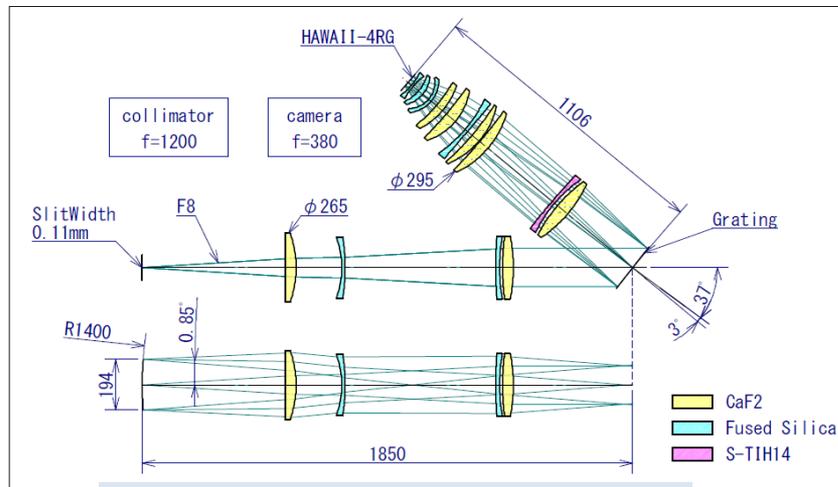
広視野で各天体に最適化 (トモグラフィーによる多天体補償光学)



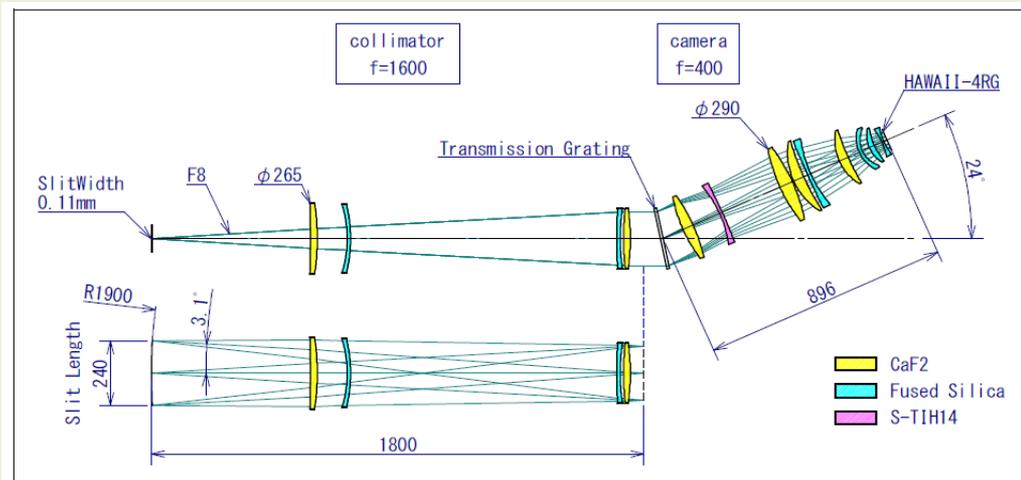
- Ensquared Energy within  $0.05''$  ~50% up to  $150''$  (25 time larger area)

# 分光器の概念検討 (F2.5 / F8)

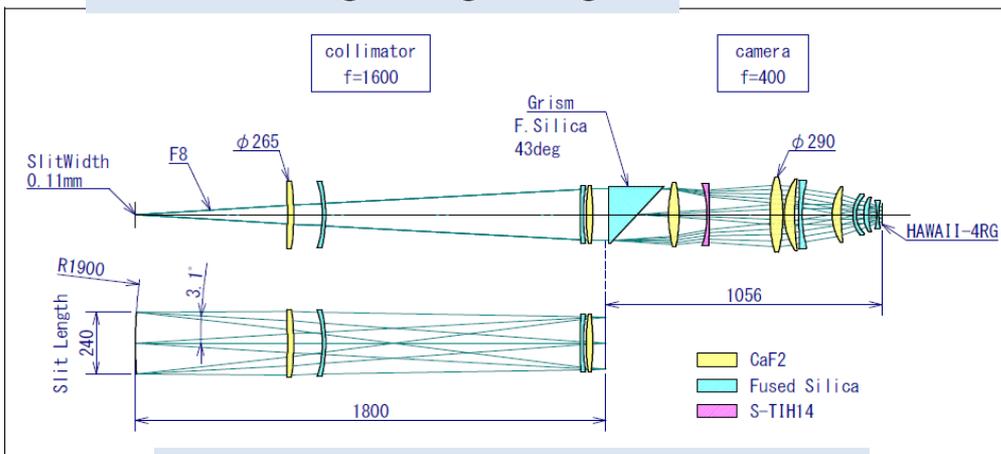
- 高感度を実現するためには早いF比で長いスリット長の分光器を実現することが鍵となる。



reflective grating design



transmission grating design

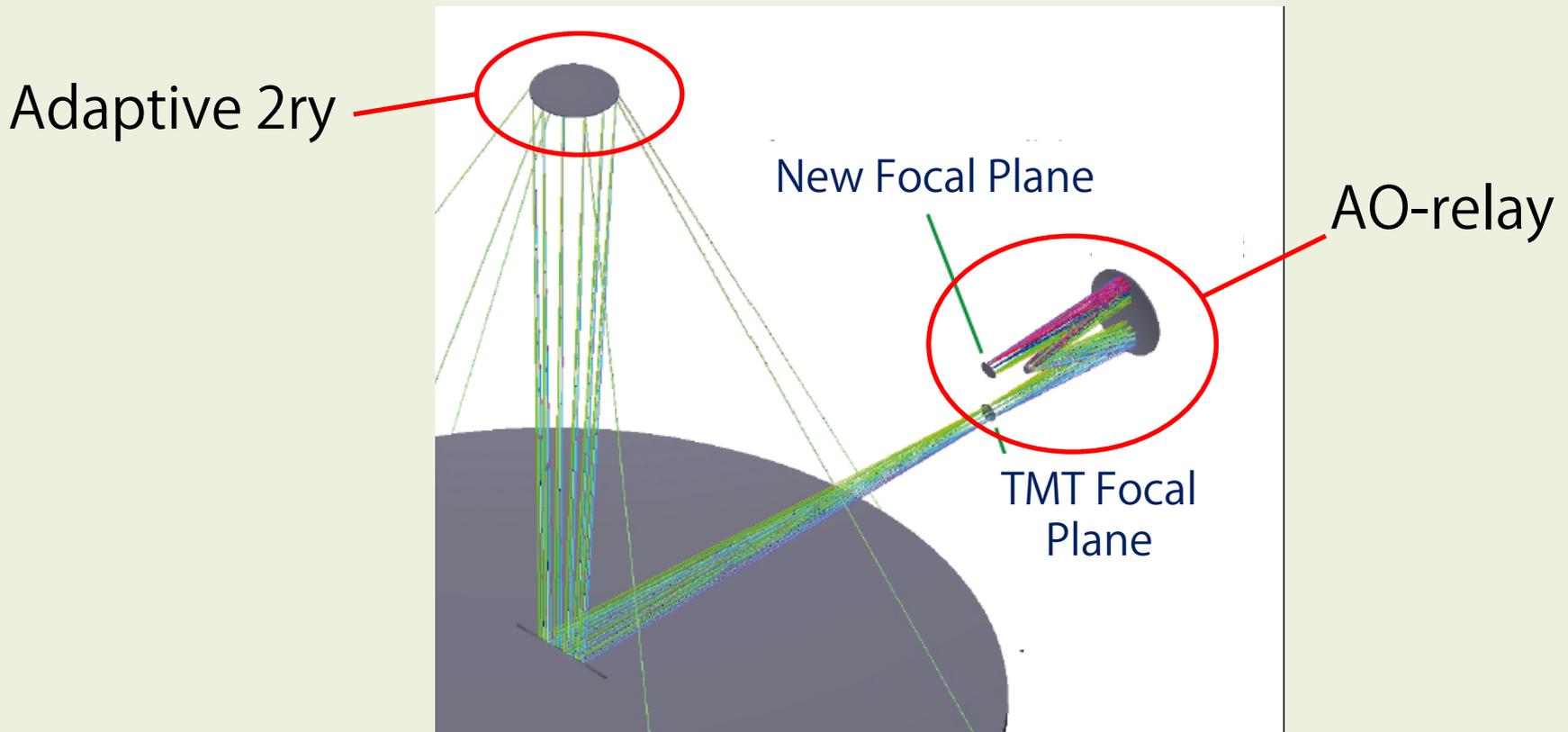


grism design

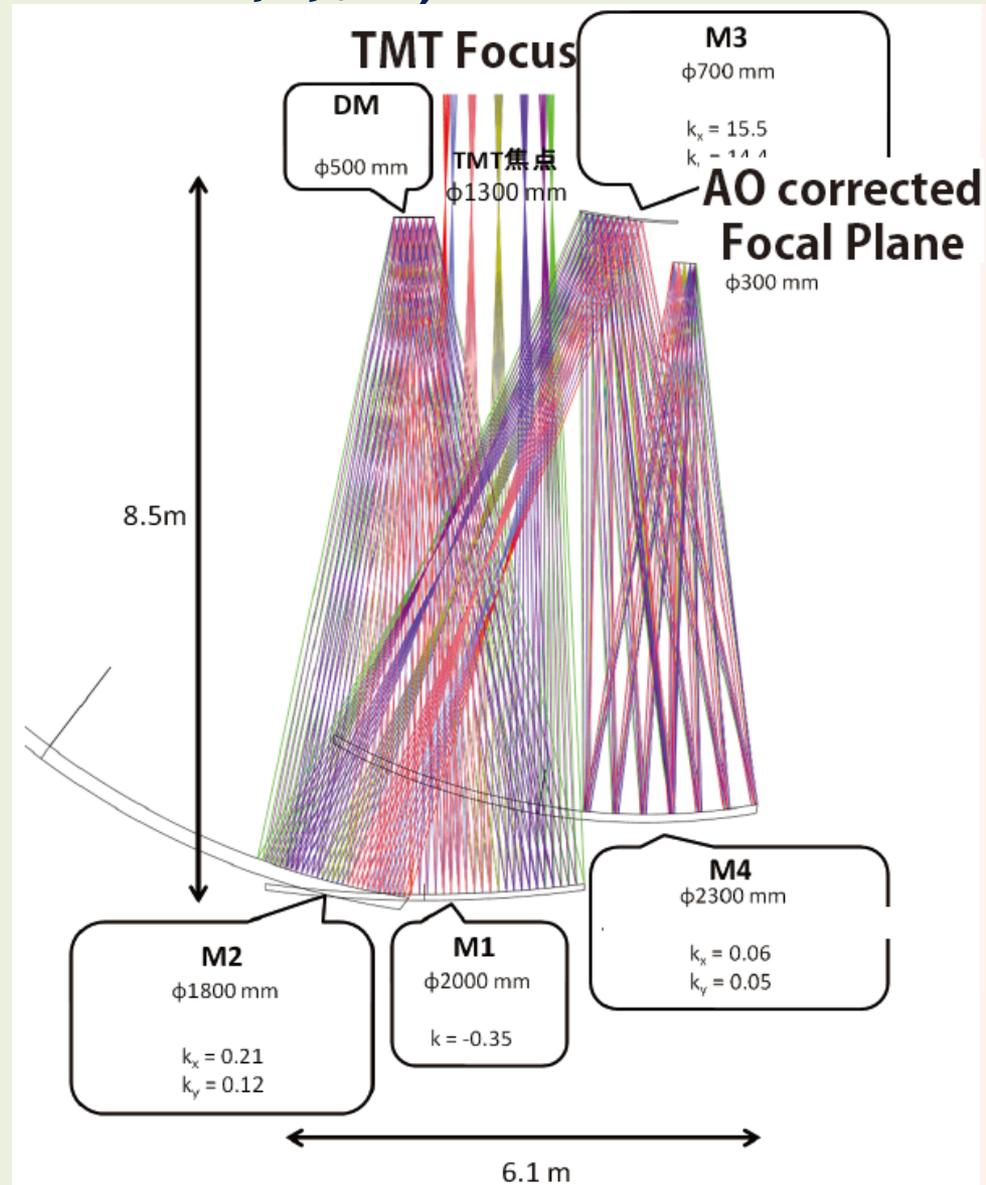
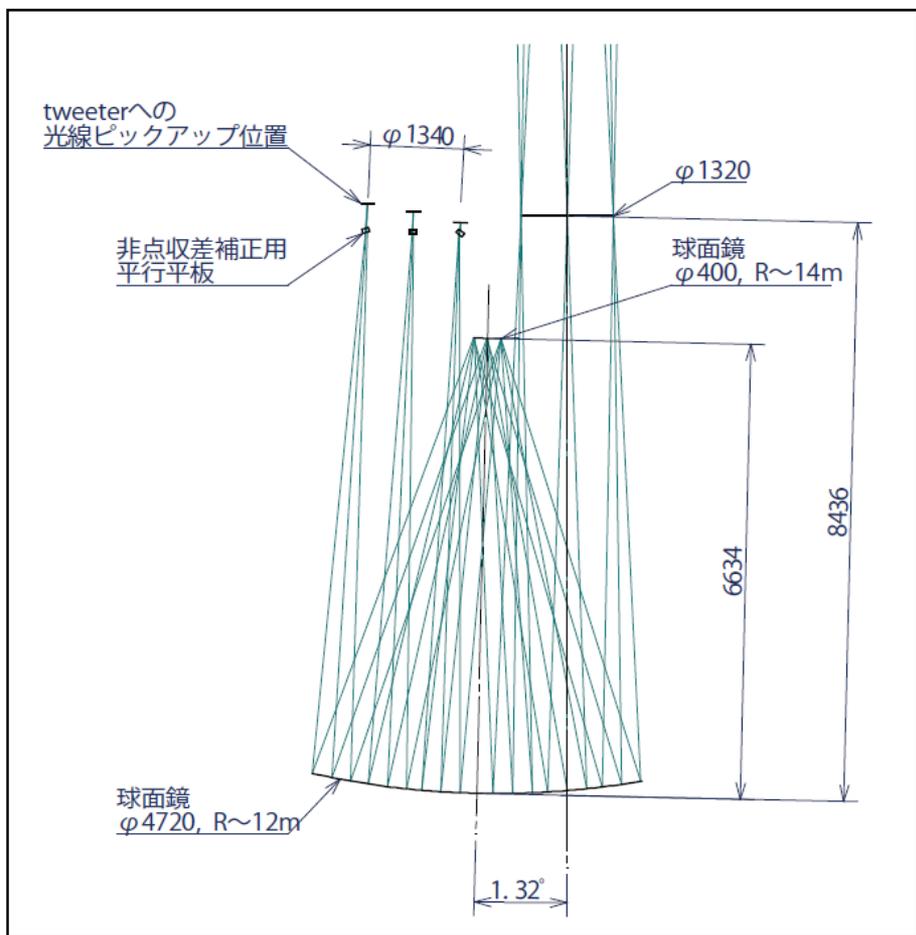
オプトクラフトでの光学設計検討の結果。これらのカメラ設計では  $d=300\text{mm}$  程度のCaF<sub>2</sub>レンズを含む9-10枚のレンズが必要となっている。

# 広視野での補償光学

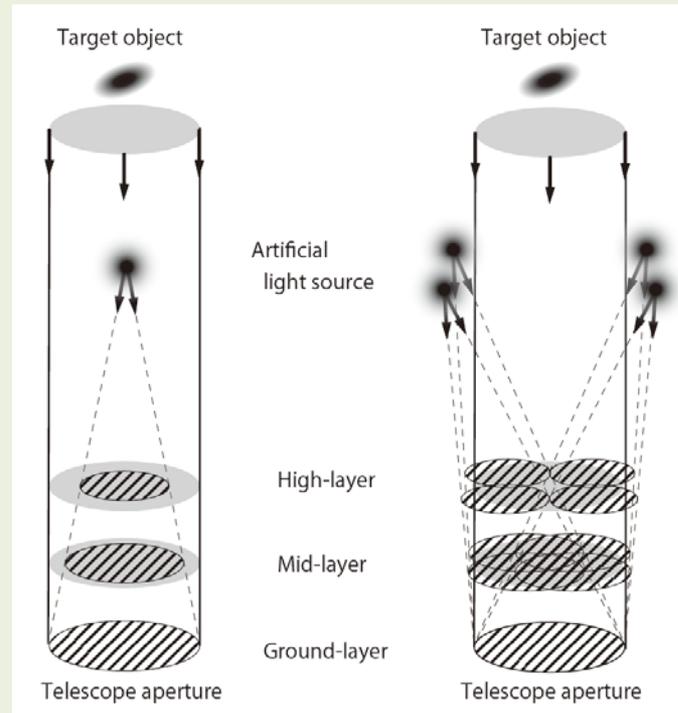
- 広視野での補償においてには可変副鏡を用いる方法と専用のリレー光学系を用いる方法がありうる。



# 10' 視野のリレー光学系の検討 (オプトクラフト/高田)



# 複数レーザーガイド星による トモグラフィーによる補償光学技術が鍵

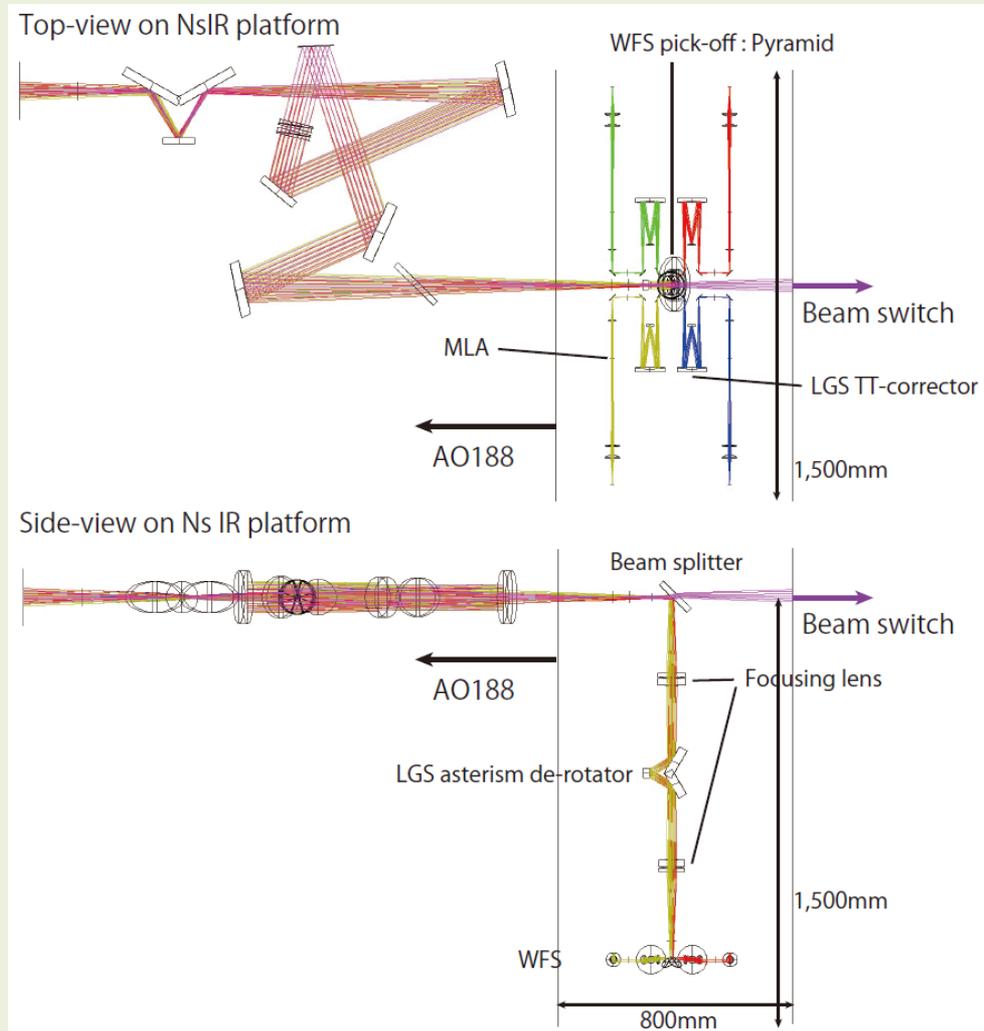


- TMTは開口面が大きく、その補償光学においては複数レーザーガイド星、トモグラフィーアルゴリズム、高次波面補償は必須の基盤技術となる。
- ULTIMATE/ULTIMATE-START として、すばる望遠鏡において行っている次世代補償光学の開発はこれらの基盤技術を確立することを通して、TMTの広視野多天体補償光学装置の開発に直接繋がる。

# ULTIMATE-START : すばる望遠鏡での レーザートモグラフィ補償光学の実証実験



高輝度レーザーの導入



波面センサー系の光学系：渡邊

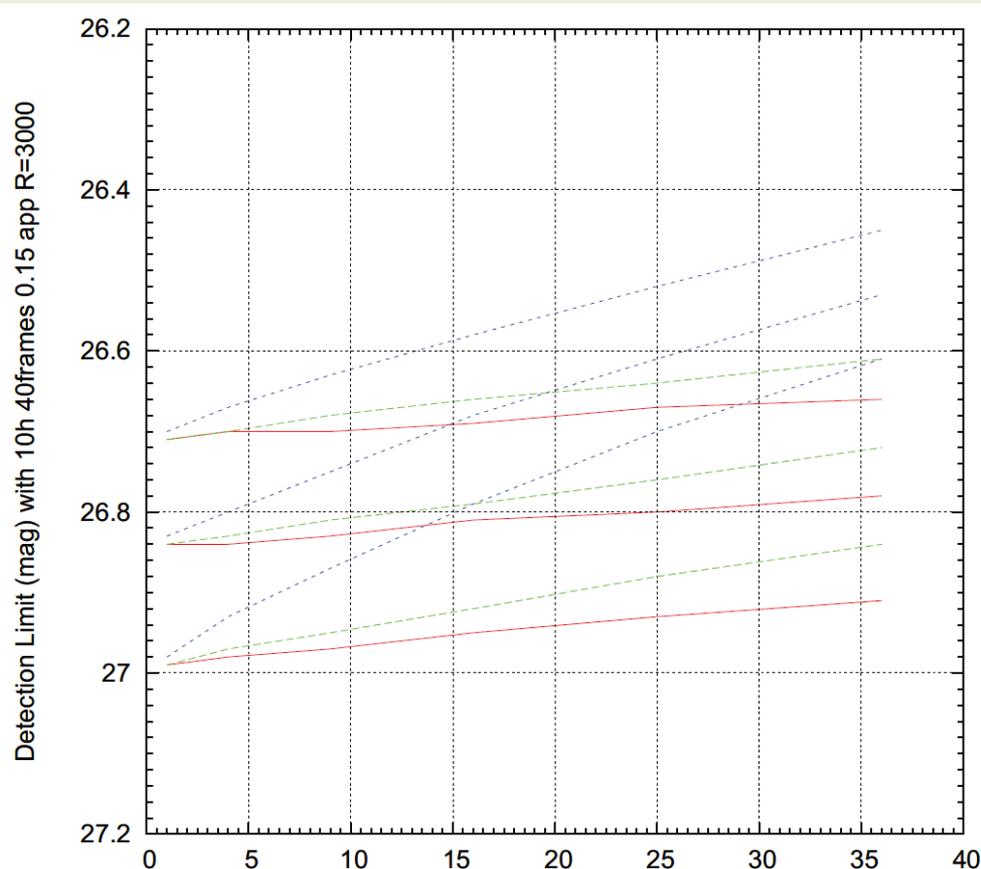
# すばる望遠鏡の複数レーザーガイド星/トモグラフィィー/高次補償による次世代補償光学から TMT第2期装置開発へのパス

- ✓ 1. RAVEN: 3自然ガイド星によるトモグラフィィー補償光学実験
  - ← 4レーザーガイド星と波面センサーユニットの導入
- 2. ULTIMATE-START: 4レーザーガイド星によるトモグラフィィー補償光学実験
  - ← 高次可変形鏡
- 3. レーザートモグラフィィー補償光学
  - ← 可変副鏡
- 4. ULTIMATE : 地表層補償光学 (小山講演)
- 5. TMT-AGE : 多天体補償光学装置提案



# Fast spectrograph is a key for “High-Sensitivity” mode

- F-ratio determines the sampling at the detector plane.
- The sampling affects the sensitivity, if RON-limited.



Wavelength :

Top = K-band

Middle = H-band

Bottom = J-band

RON difference :

Red: 1e-

Green 2e-

Blue 3e-

Number of pixels for one spectral ( $R \sim 3,000$ ) and spatial ( $0.15'' \times 0.15''$ ) element

