

# 可視シングルモードファイバー高分散分光器に向けた 高効率ファイバー入射光学系の開発

総研大 M2 多田将太郎

小谷隆行 (ABC/国立天文台)、早野裕、美濃和陽典 (国立天文台)

# 背景

## ◆視線速度法による系外惑星探査では高分散分光器の高い安定性が必要

- 不安定なスペクトル → 偽の視線速度変動
- 太陽型星のハビタブルゾーンにある地球型惑星では、視線速度変動の振幅  $\sim 9$  cm/s
- ✓ シングルモードファイバー高分散分光器では、安定性を下げる原因となるモーダルノイズ（ファイバー出射パターンの変動）がない

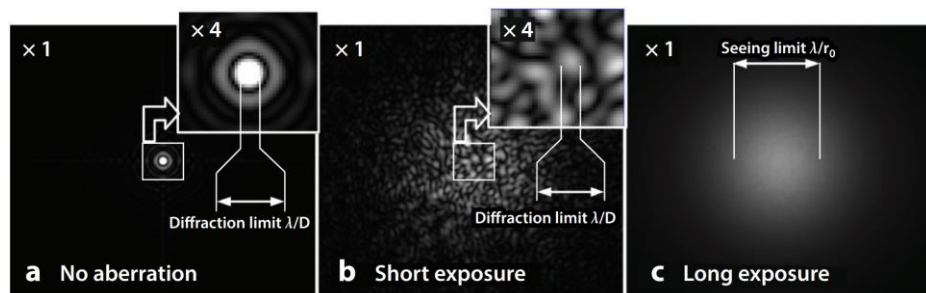
## ◆通常の分光器の大きさは望遠鏡口径に比例して大きくなる

- 地球大気によって入射光の波面が乱れ、星の像がぼやけるため
- ✓ シングルモードファイバー高分散分光器は望遠鏡口径によらずコンパクト



Subaru HDS

from <https://subarutelescope.org/jp/>

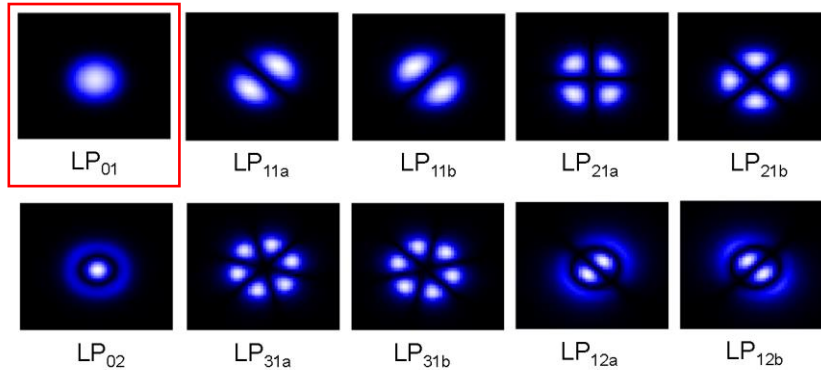


波面誤差と星像 (8 m望遠鏡、近赤外) (Guyon 2020)

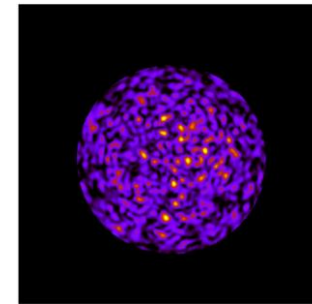
# シングルモードファイバー高分散分光器

## ◆シングルモードファイバー

- コア直径が小さいファイバー
- 特定の形の電場しか伝播しない



Igarashi et al. 2014



マルチモードファイバーの出射パターン  
(Raskin et al. 2020)

- 出射パターンが完全に安定 → スペクトルの安定性が高まる
- 特定の形の電場しか伝播しない → 分光器のサイズが望遠鏡口径によらずコンパクト
- ✓ ファイバーに高効率で光を入射するには波面誤差を小さく抑えなければならない
  - 現在の補償光学による波面の補正は可視光では不十分

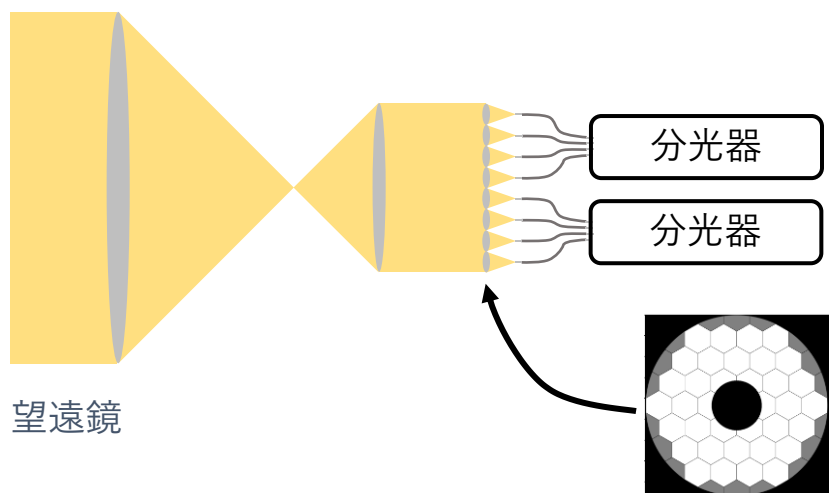
# 研究の概要

## ◆目的

- ・ 高効率の可視シングルモードファイバー高分散分光器の開発

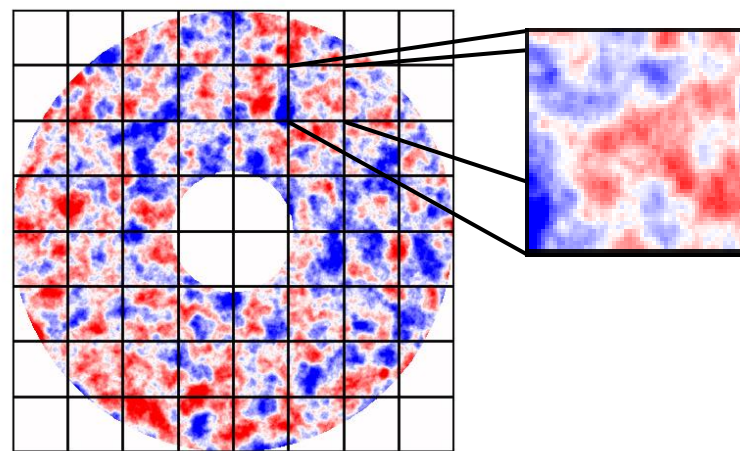
## ◆コンセプト

- ・ マイクロレンズアレイで望遠鏡瞳を分割し、それぞれのマイクロレンズの焦点にシングルモードファイバーを配置する  
→ 分割された小さい領域では波面誤差が小さくなり、ファイバー入射効率が高まる
- ・ 1つの分光器に対して複数のファイバーを使用し、複数のコンパクトな分光器によって全体をカバー



望遠鏡

マイクロレンズアレイ



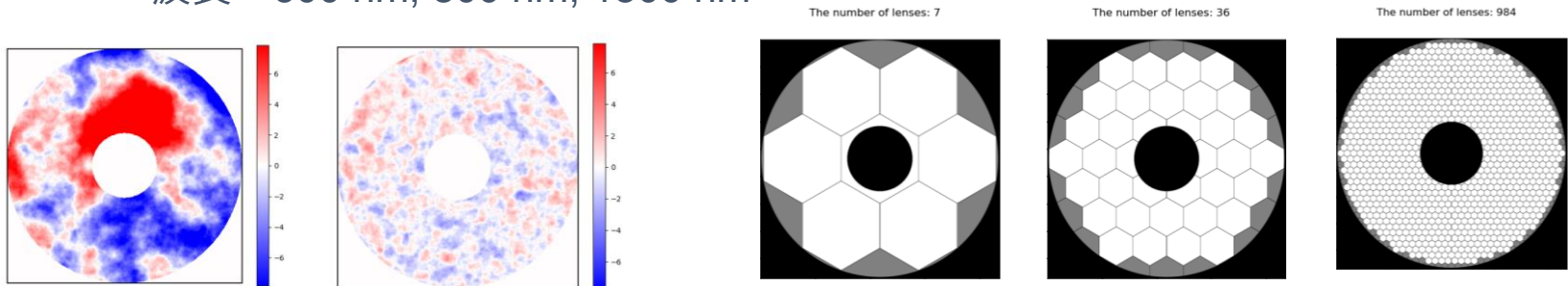
分割されたそれぞれの領域では波面誤差が小さい 3/8

# ファイバー入射効率のシミュレーション

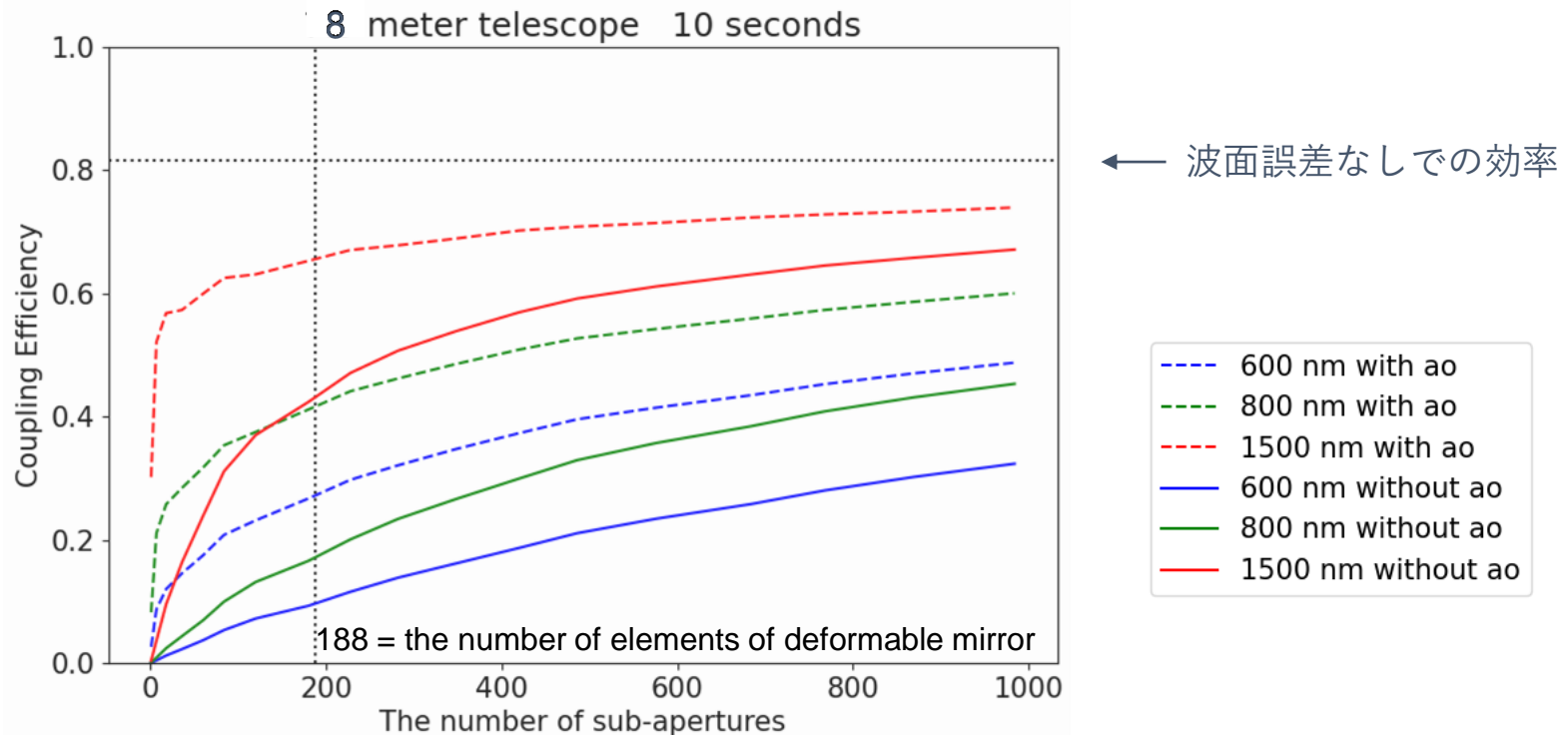
- ✓ どれくらいの分割数が必要？（分割数が多すぎると分光器が複雑になる）
- ✓ 補償光学（AO）と併用すると効率はどうなる？

## ◆シミュレーションの設定

- AOシミュレーションツールyaoで波面をシミュレーションし、その波面でのファイバー入射効率を分割数を1から984まで変化させて計算
- すばる望遠鏡（8 m）と補償光学装置AO188を想定
  - ティップティルト鏡 + 188素子バイモルフ型可変形鏡
  - 188素子曲率波面センサー（波面測定波長: 650 nm, ガイド星の等級: 5）
  - フリードパラメーターは波長500 nm で 0.15 m（シーイング ~ 0.7 秒角に相当）
- 露光時間10秒 (0.001秒 × 10000フレーム)
- 波長：600 nm, 800 nm, 1500 nm



# ファイバー入射効率のシミュレーション



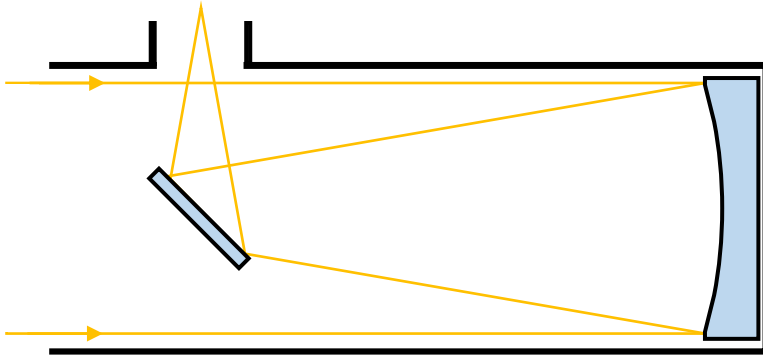
- 瞳の分割数が増えると入射効率が高くなる
- 補償光学と組み合わせることで、さらに効率が高くなる

cf. シーイング ~ 0.7秒角での HDS (すばる望遠鏡) の可視光でのスリット効率~ 40% (0.3秒角スリット) (Tajitsu 2020)

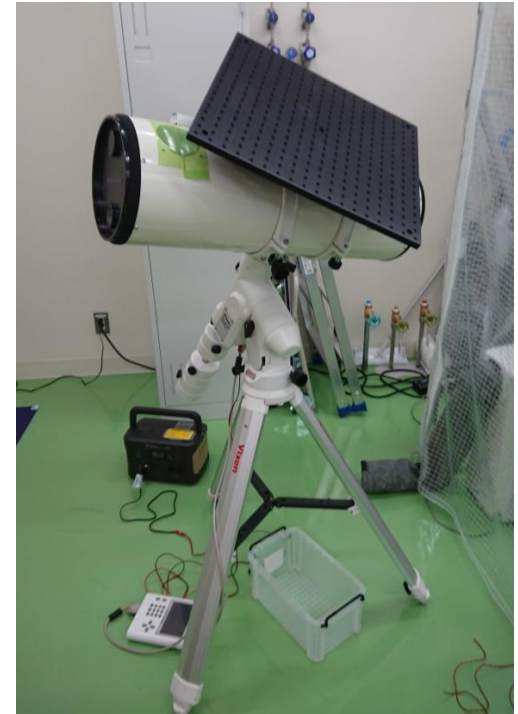
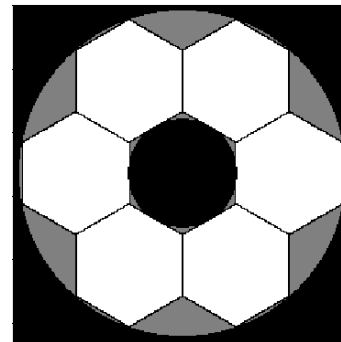
# 20 cm望遠鏡でのオンスカイ実証実験

## ◆ 目的

- 装置の製作が可能か確認する
- 実際の星の観測でファイバー入射効率を測る



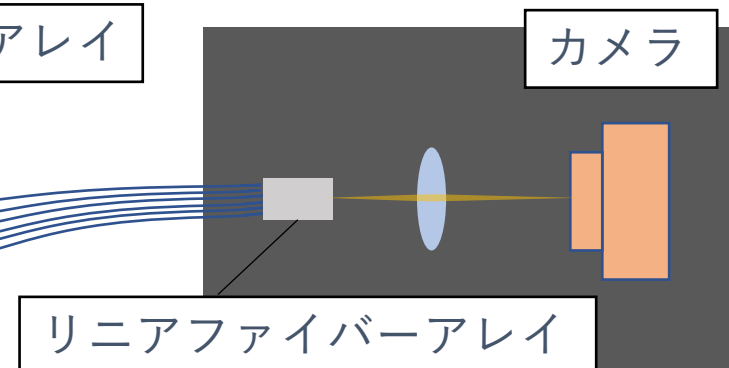
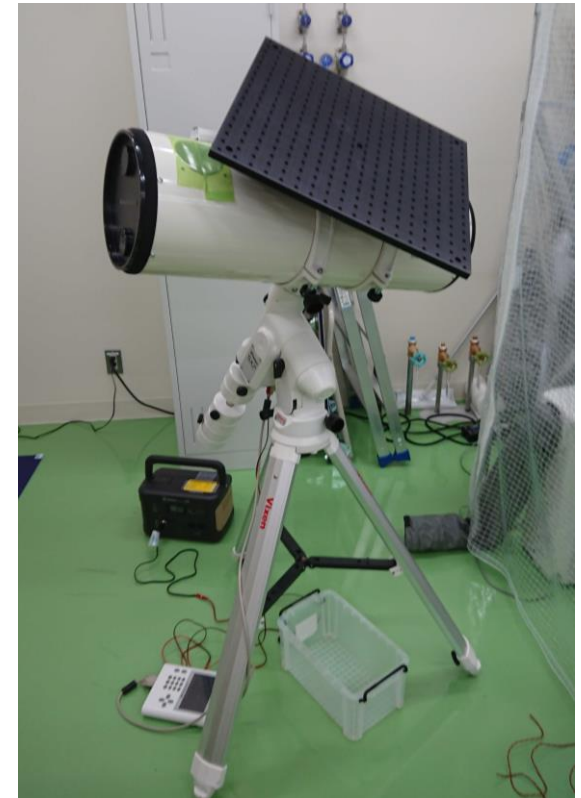
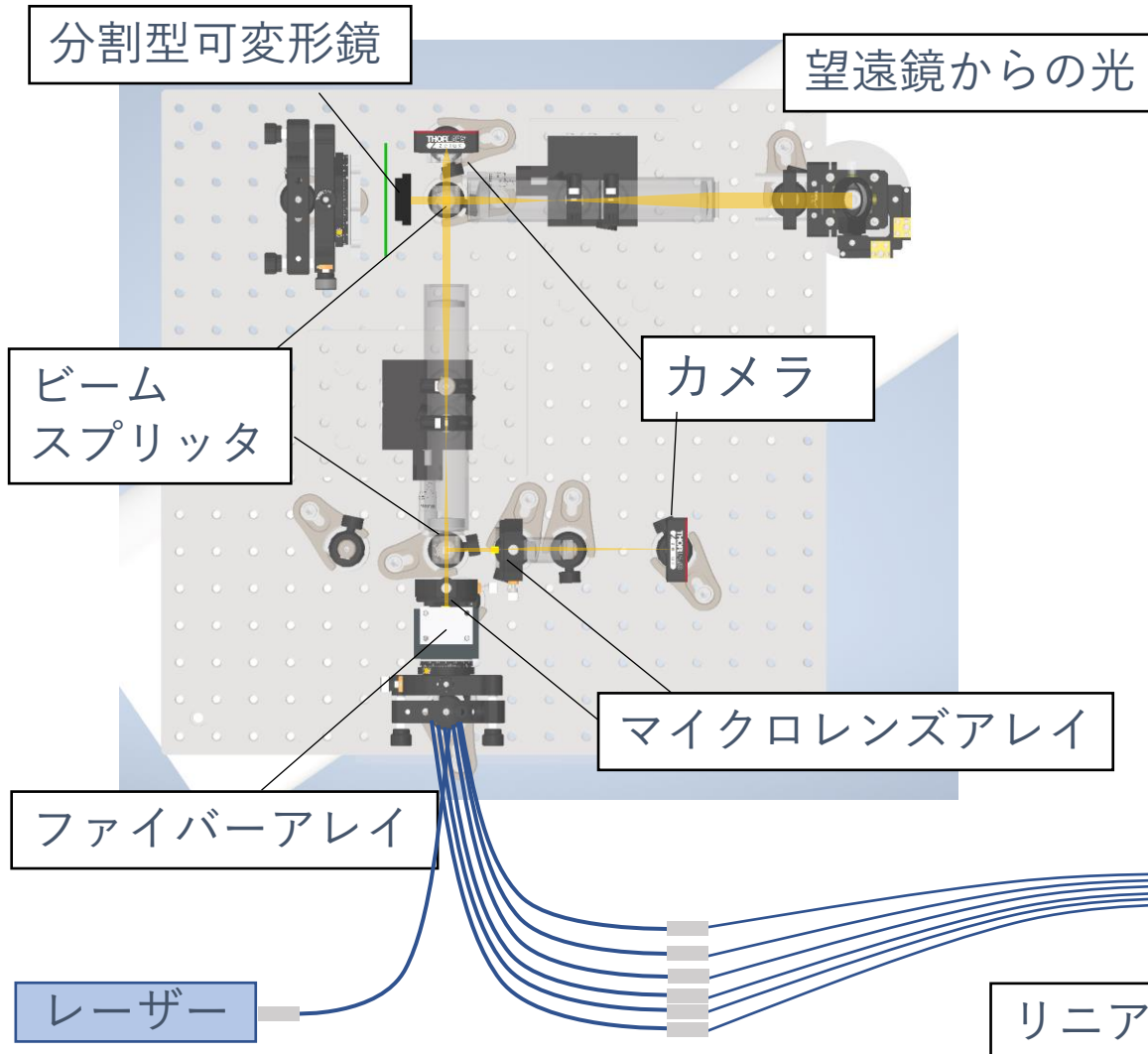
The number of lenses: 6



## ◆ 装置の構成

- 20 cm ニュートン式望遠鏡
  - 7分割（中心のファイバーはアライメントに使用する）
  - 分光器（波長 600 – 800 nm, 波長分解能 ~ 50000）の製作も検討中
- ✓ 現在装置を組み立て中
- ✓ 明るい星でファイバー入射効率を測定する予定

# ファイバー入射光学系の設計





# まとめ

- シングルモードファイバー高分散分光器はコンパクトで高い安定性を持つがファイバー入射効率を高めるために波面誤差を小さくする必要がある
- 望遠鏡瞳をマイクロレンズアレイで分割し、複数のシングルモードファイバーを使うことで、ファイバー入射効率を上げることができる
- 補償光学と併用することでさらにファイバー入射効率が高くなる
- まもなく20 cm望遠鏡でのオンスカイ実証実験を行う予定
- 明るい星でファイバー入射効率を測定する

