

レーザーガイド補償光学系による遠宇宙の近赤外高解像観測

研究代表者 国立天文台 家 正則

May 21, 2002

- 1 . 補償光学(AO)の原理
- 2 . すばる望遠鏡での実績
- 3 . 本研究計画の概要

目的： 遠宇宙の高解像観測

方法： 補償素子数 5 倍化

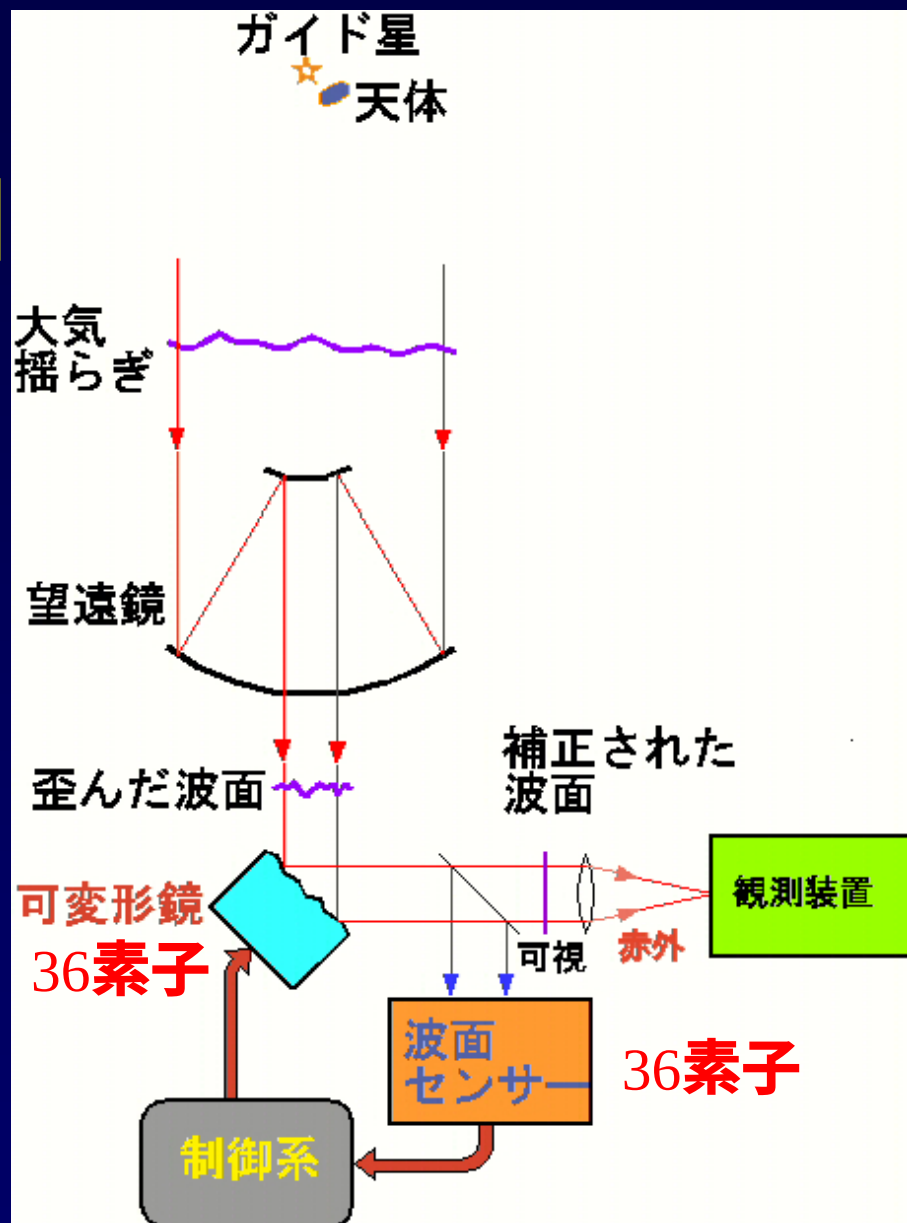
レーザーガイド星システム構築

1. 補償光学(Adaptive Optics)とは

- すばる望遠鏡でも、大気のゆらぎのため、「裸眼」では星像が0.5-0.6秒角 に広がる。
シーイングサイズ
- 回折限界分解能 $1.2 \lambda / D$ 、 $D=8.2\text{m}$
=> 0.03秒角 @ J ($1.25 \mu\text{m}$)
0.06秒角 @ K ($2.2 \mu\text{m}$) を実現

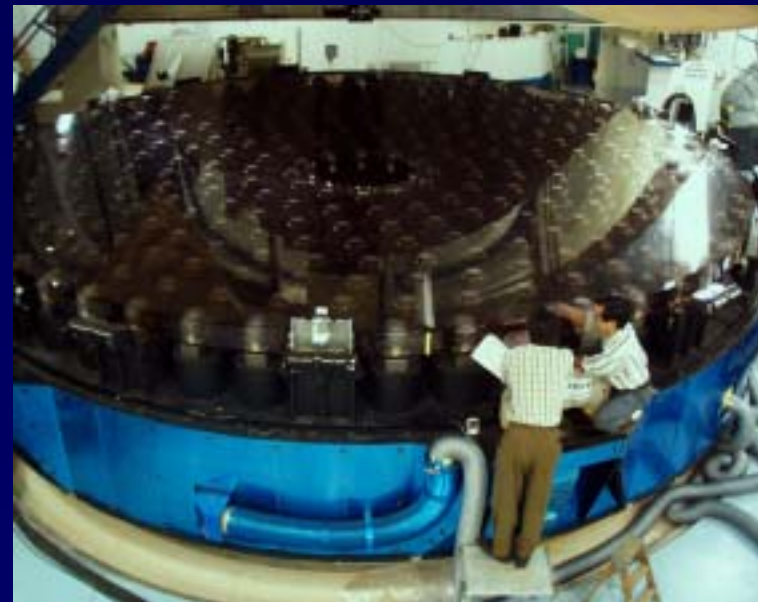
補償光学系の概念図 と構成要素

- 1.波面センサー
- 2.可変形鏡
- 3.制御系

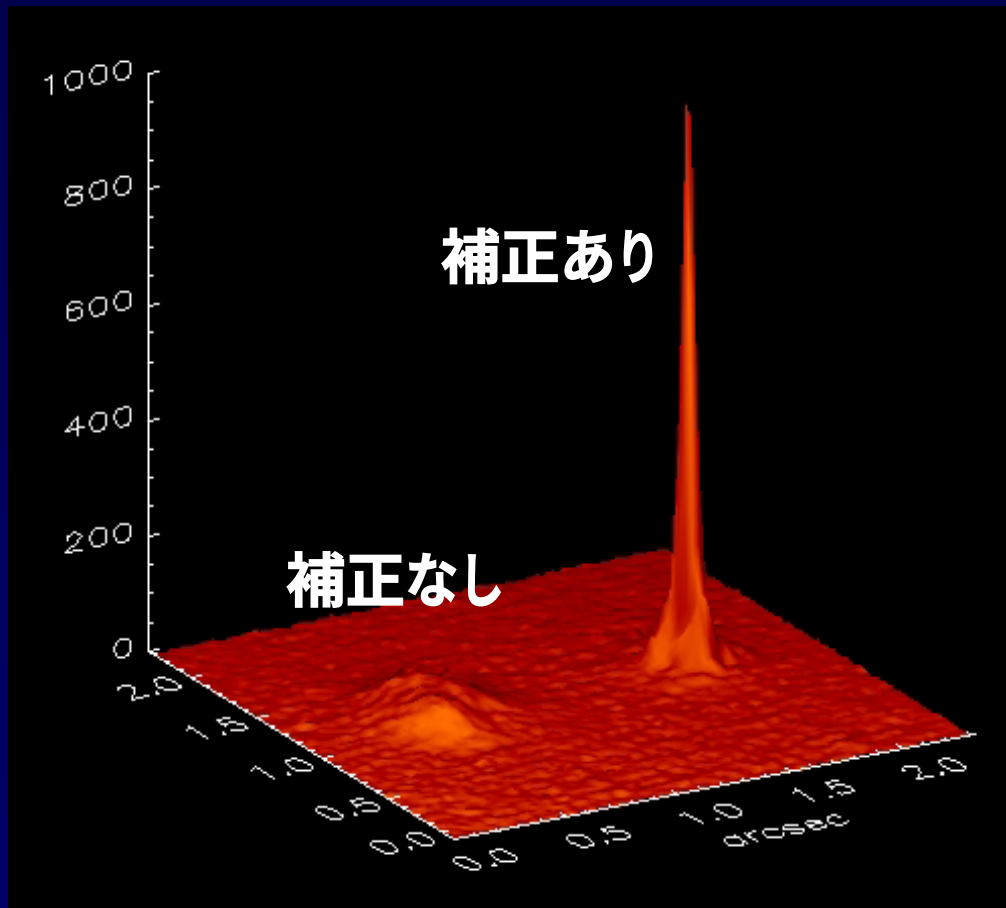


2、すばる望遠鏡 での実績

- ・ 国立天文台ハワイ観測所
- ・ 2000年末から共同利用
- ・ 口径8.2m、最高画質
- ・ 4 焦点, 7 観測装置
- ・ **カセグレン補償光学装置
(36素子、近赤外線用)**
を本研究グループが開発

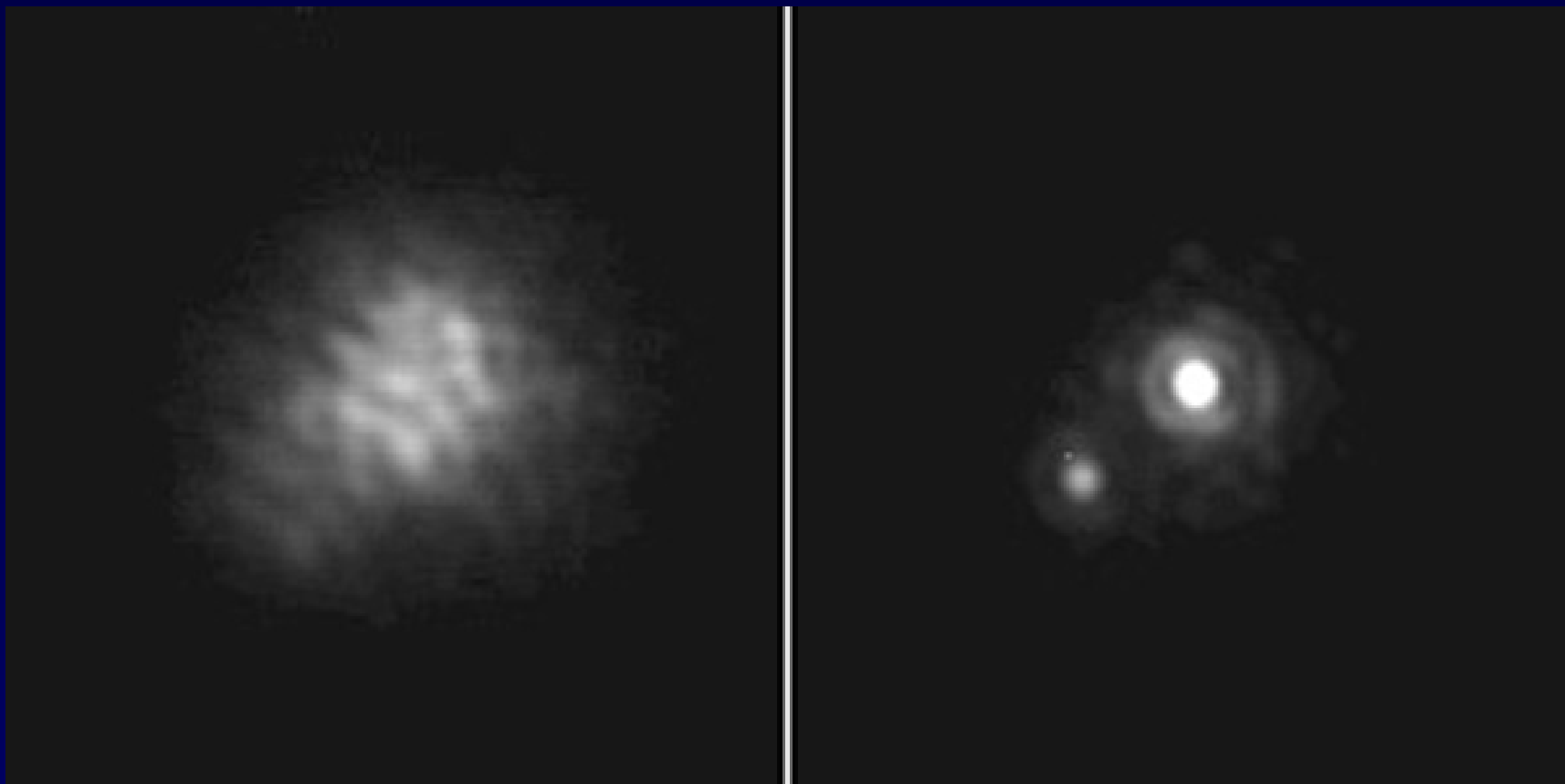


すばる補償光学系による 回折限界像の実現例



K バンド ($2\ \mu\text{m}$)
シーイング 0.4 秒角

補償星像 0.07 秒角

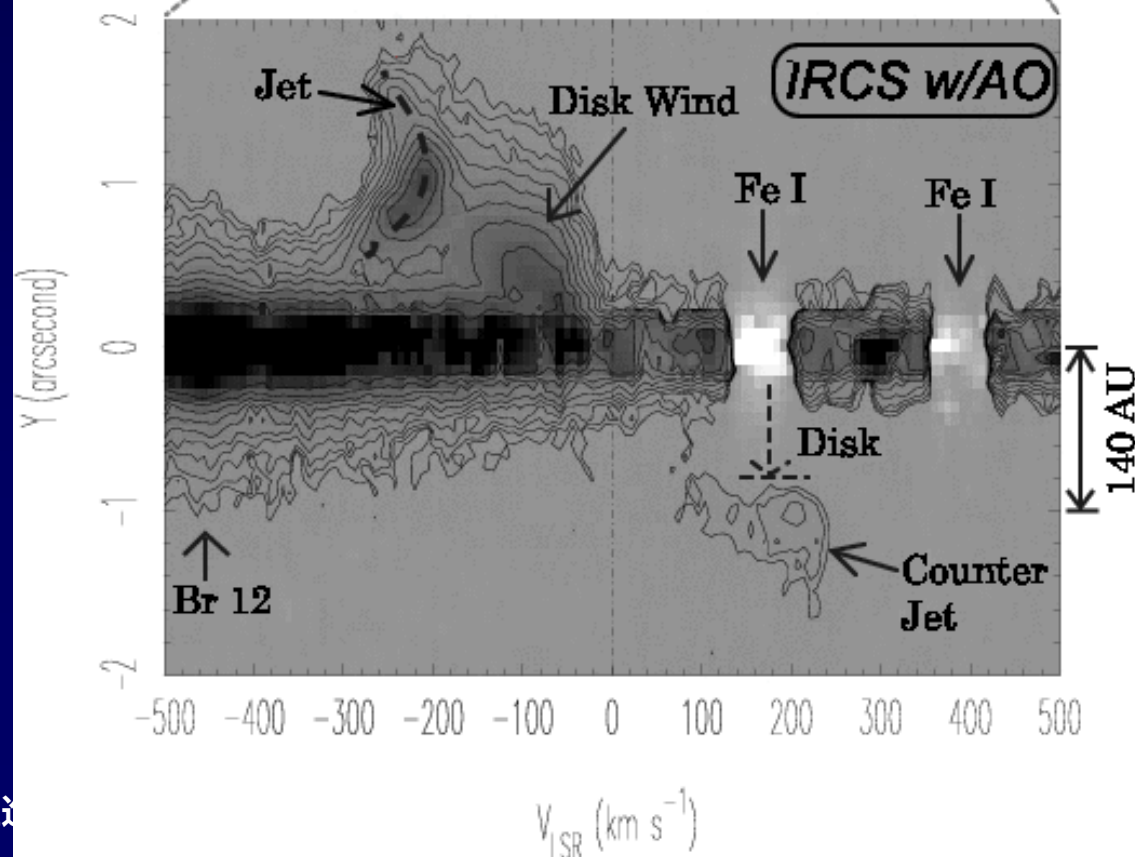
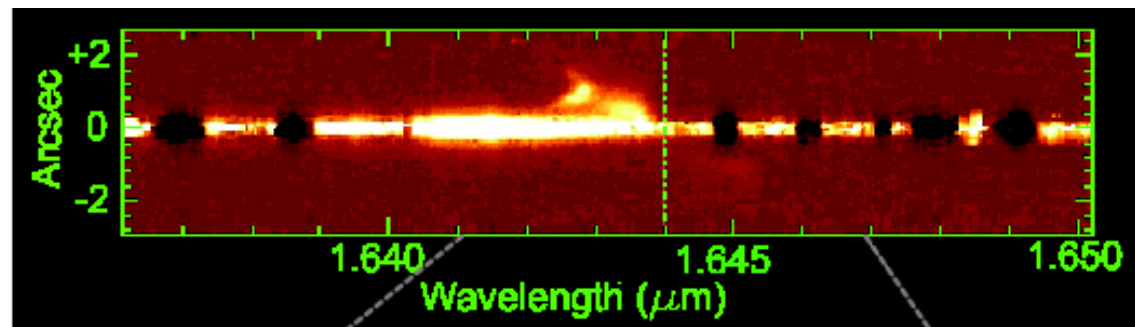


**連星系BS1852 (角距離0.31'') を分離
左) 補正なし、右) 補正あり、波長2.2 μm**

生まれたての星 からのジェットの 分光観測

from DG Tau

0.1''=15AU

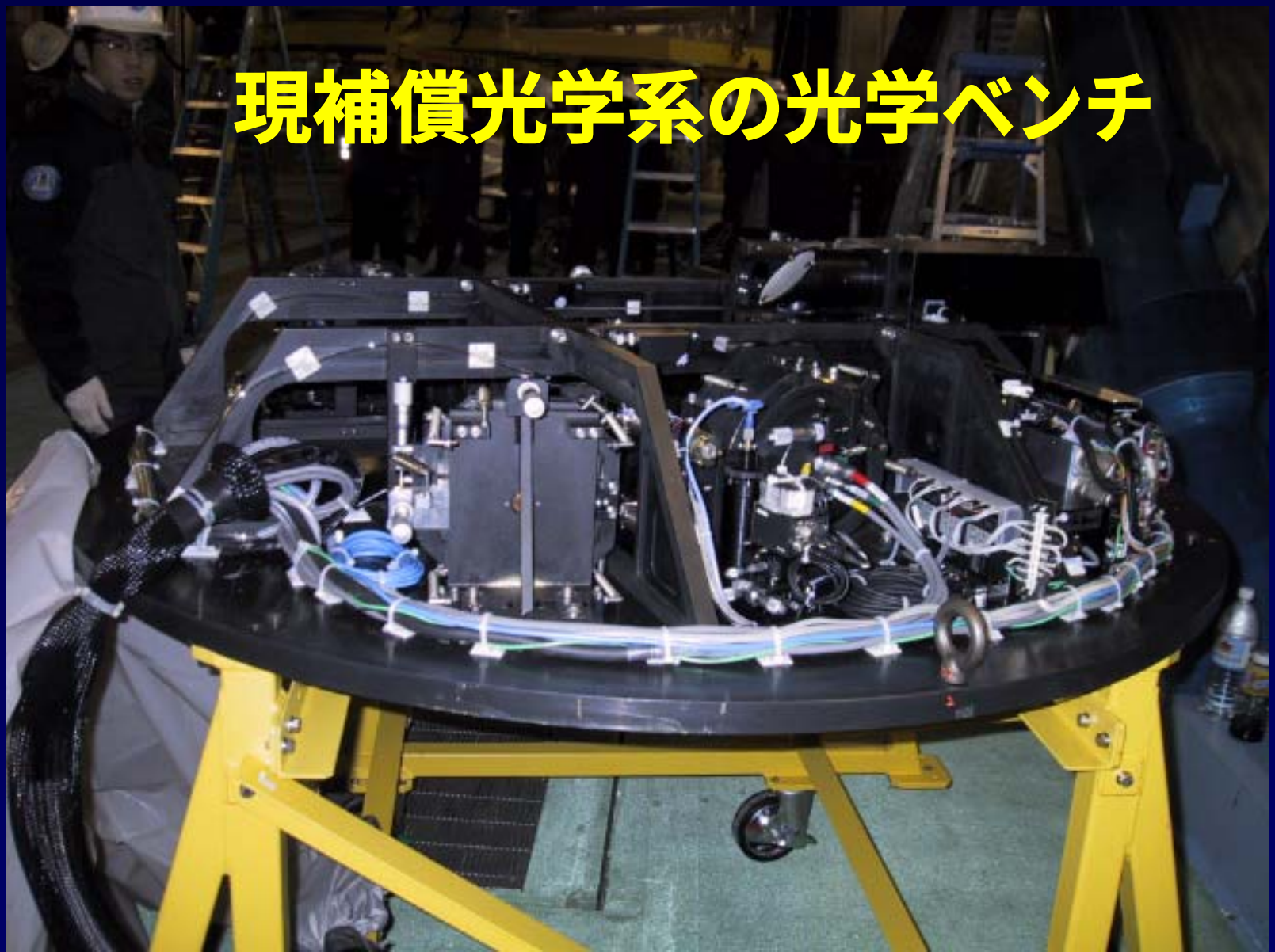


特別推薦

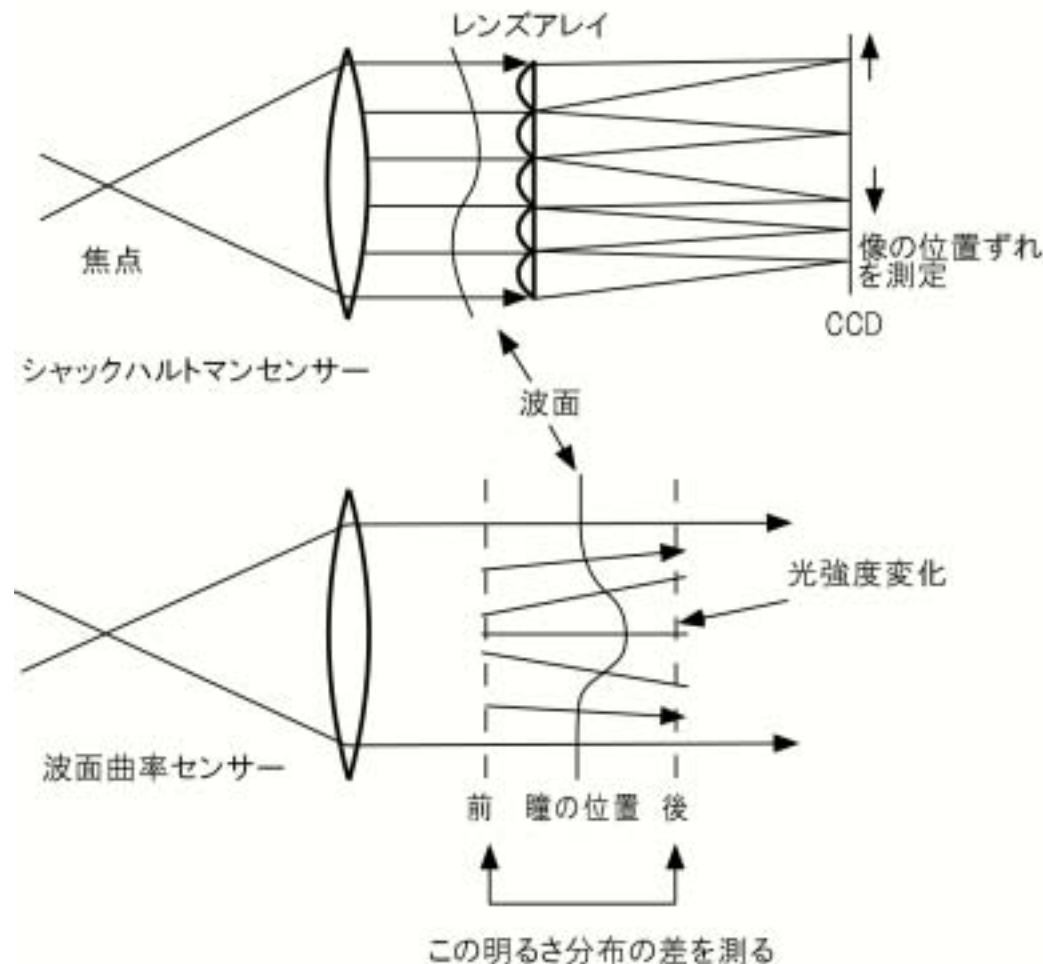
現補償光学システムの概要

特別推進研究申請課題ヒアリング、2002年5月21日

現補償光学系の光学ベンチ



特別推進研究申請課題ヒアリング、2002年5月21日



波面傾斜分布センサー (SH:シヤック・ハルトマン型)

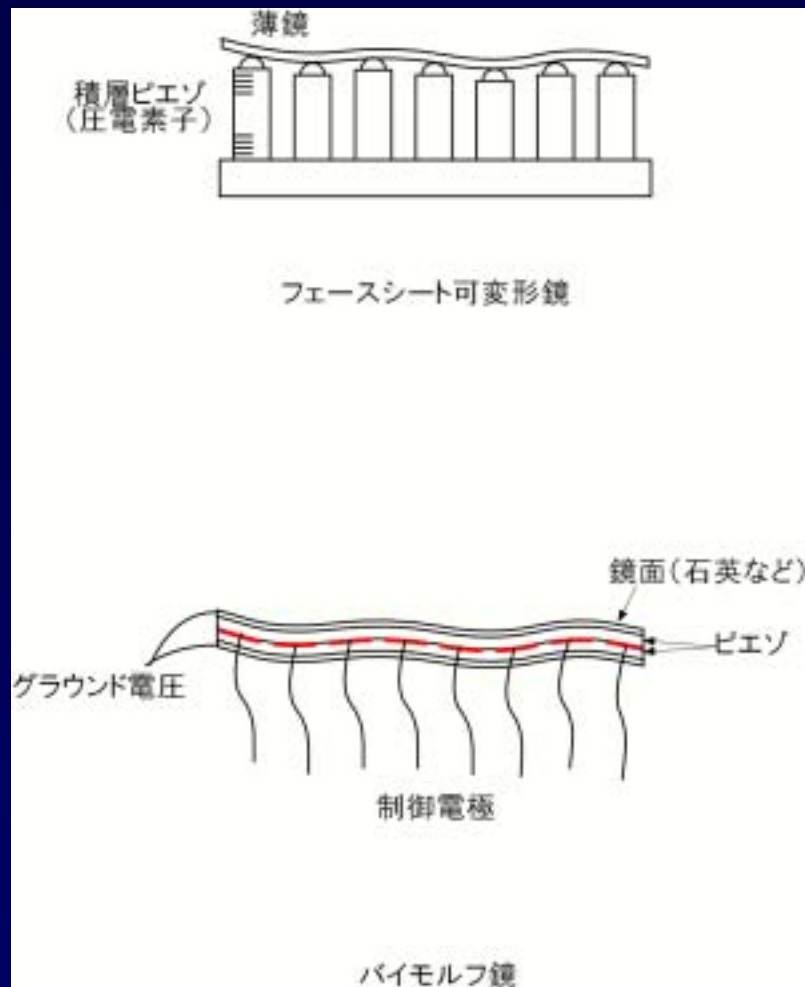
- ・すばる主鏡測定用
- ・高次収差測定用、低感度

波面曲率センサー (CS:Curvature Sensor)

- ・すばる補償光学用
- ・高速高感度

波面センサーの二方式

特別推進研究申請課題ヒアリング、2002年5月21日



上) 積層ピエゾ型
・SHセンサーと併用
・高次収差補正用

下) バイモルフピエゾ型
・曲率センサと併用
・低次収差補正用

ストローク: $>10\ \mu\text{m}$
応答速度: 1msec
口径: 50-200mm
使用波長: UV-IR

可変形状鏡の二方式

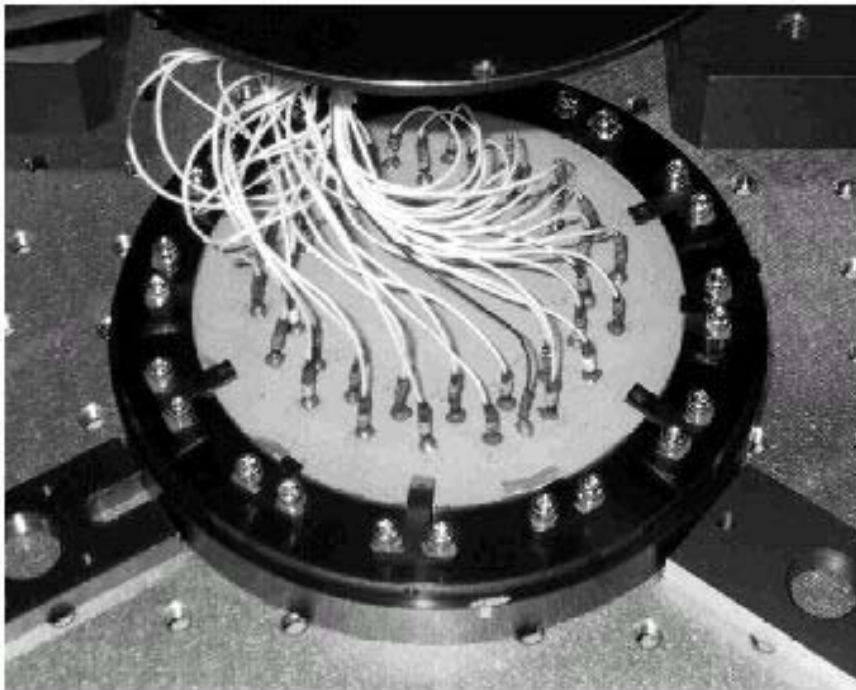
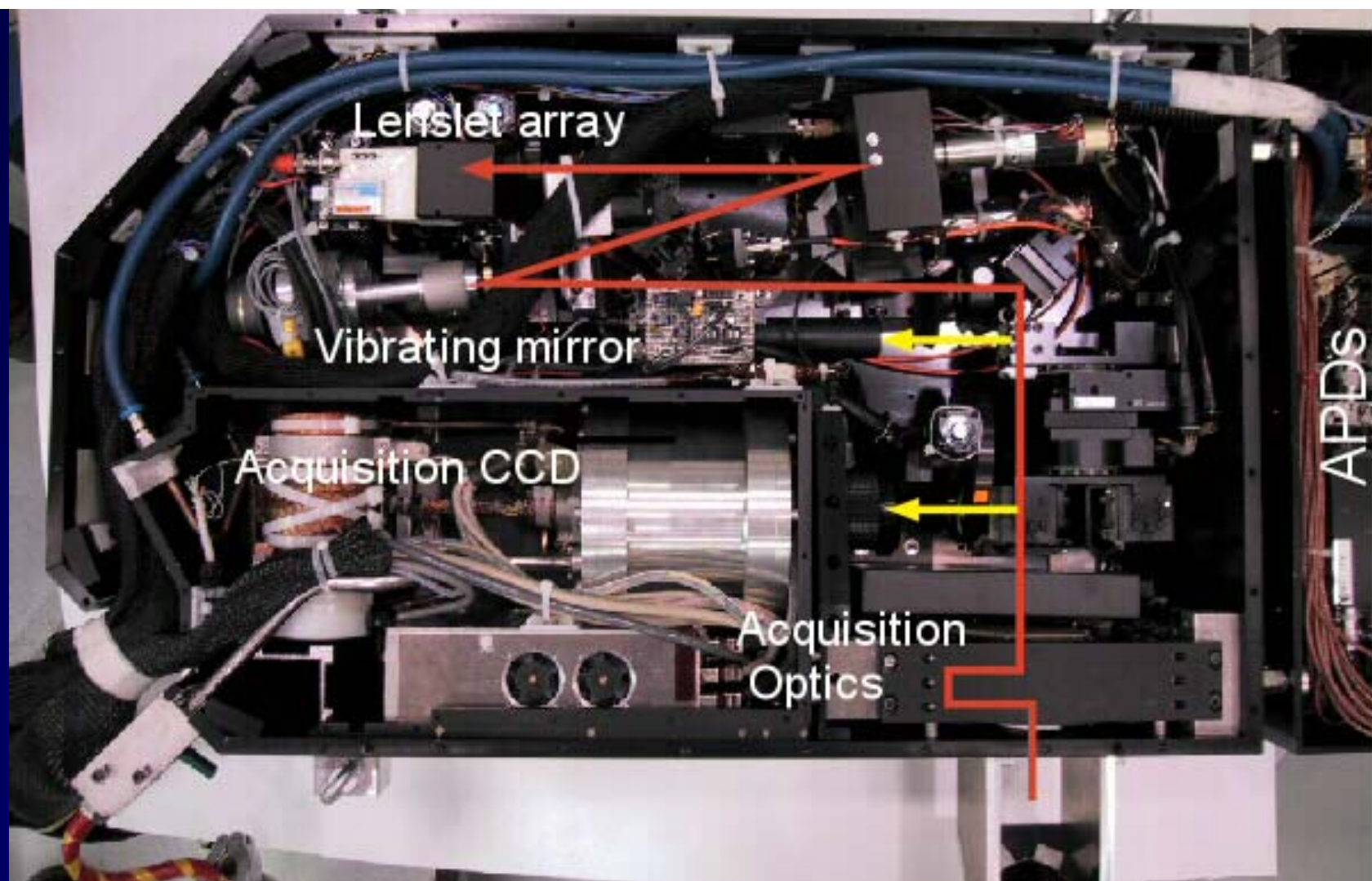


Figure 2. Back view of bimorph deformable mirror.

左) バイモルフ型可変形状鏡の裏面の電極配置
右) 最適配置のマイクロレンズアレー



波面曲率センサー

特別推進研究申請課題ヒアリング、2002年5月21日

3. 本研究計画の概要

目的:

- ・撮像: 宇宙の果てまでの銀河計数
- ・分光: 揺籃期銀河の重元素量測定

方法: 現有の補償光学システムをベースとして

1) 素子数を36 => 188素子に (2004年初)

— 検出限界が1等向上、可視光でも回折限界

— 完成時世界一の性能

2) レーザーガイド星システム (2005年初)

— ほぼ任意の天体がAOで観測可能となる。

すばる超深探査領域



Subaru Deep Field

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

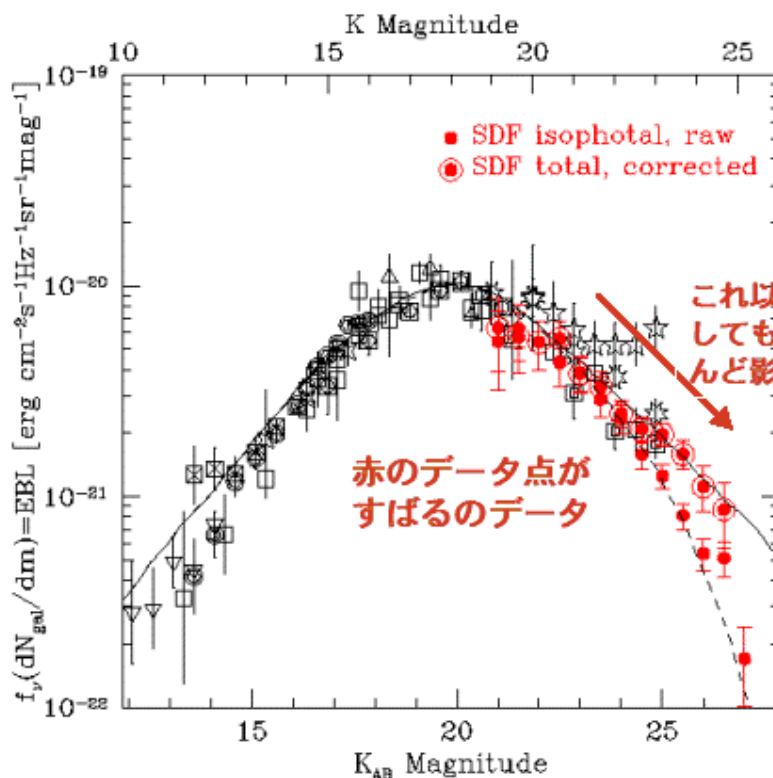
Copyright © 1998 National Astronomical Observatory of Japan. All rights reserved.

CISCO (J, K')

September 16, 1998

すばるの見た銀河の光の強度

背景放射の強度（銀河の数×明るさ）



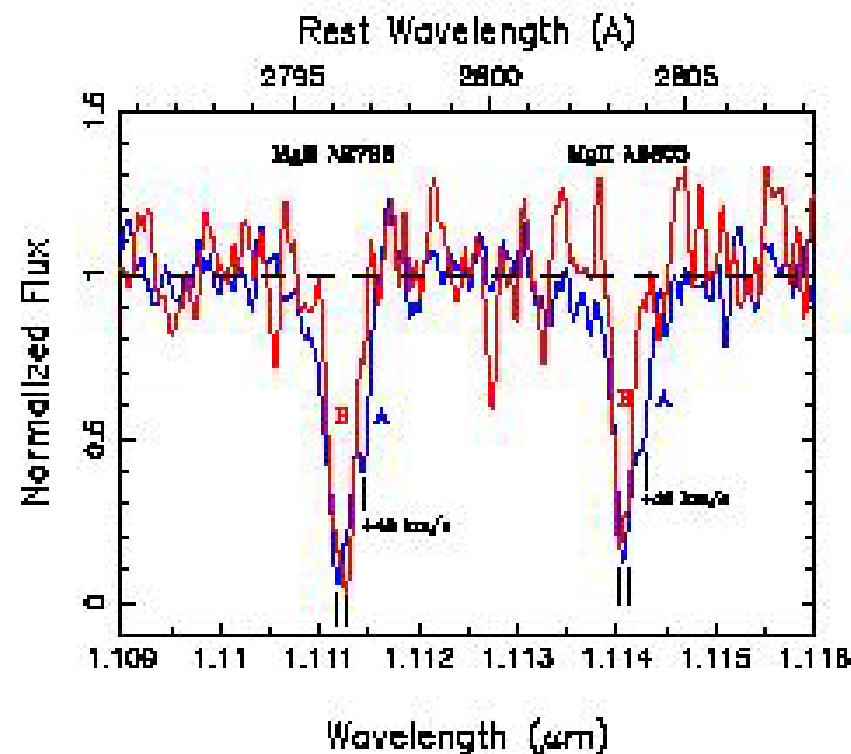
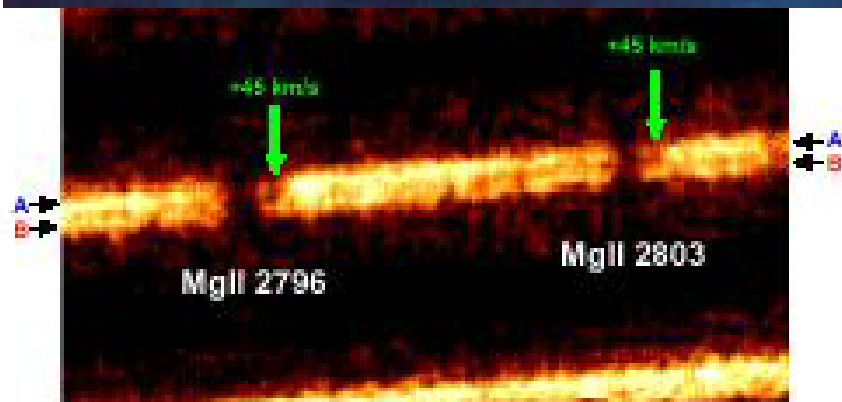
赤のデータ点が
すばるのデータ

これ以上暗い銀河を観測
しても、背景放射へはほと
んど影響しない！

銀河の光の
約90%を銀河
に「分解」

明るい ← 銀河のみかけの明るさ → 暗い

- 高赤方偏移天体の重元素量の分光観測
- 光路AとBで異なる吸収雲を通る
=> 銀河形成時の物質分布の画期的新情報



装置アップグレード計画

1、多素子化 (解像度、感度向上)

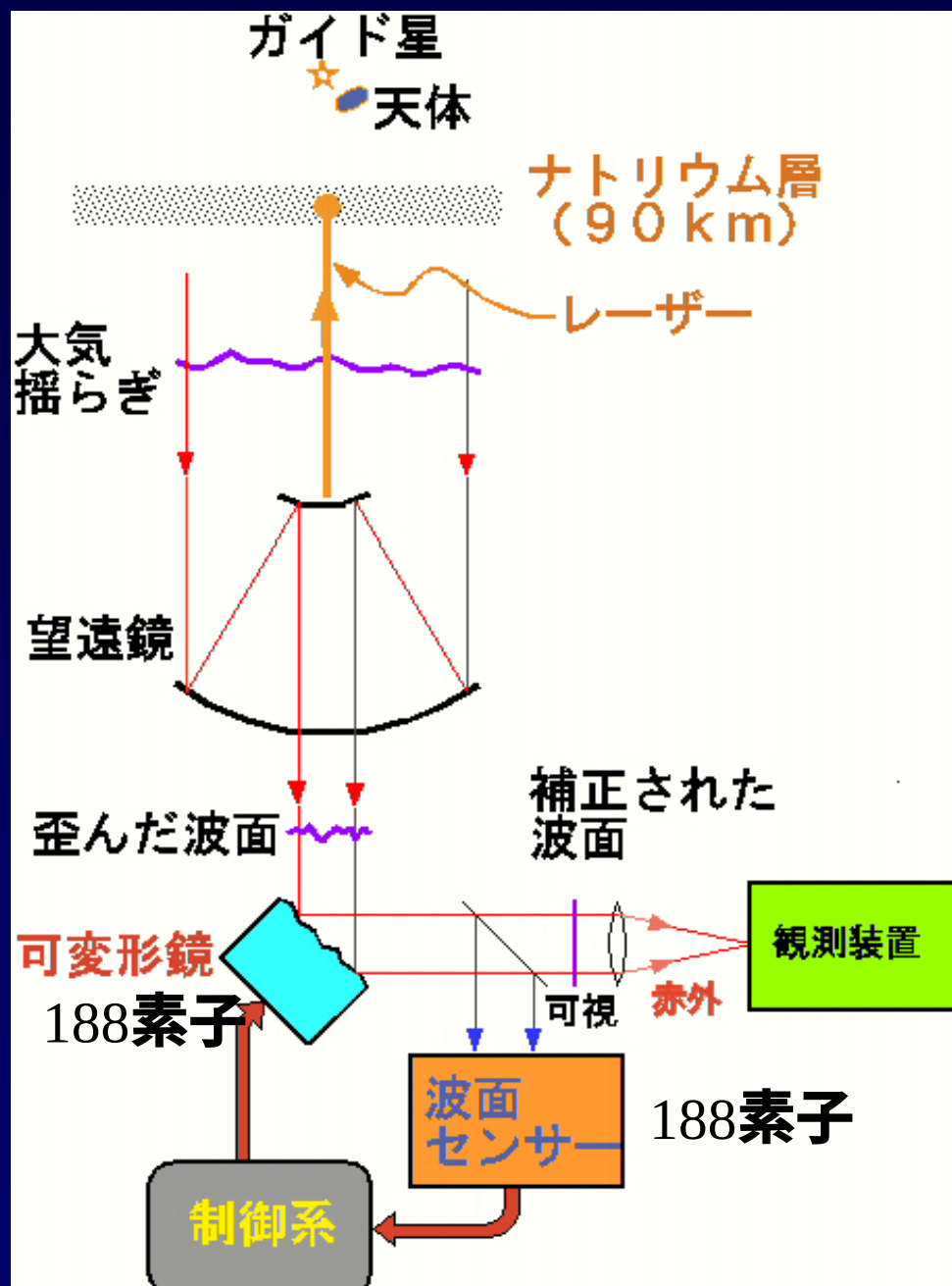
波面センサー素子数と可変形鏡素子数を
 $36 \Rightarrow 188$

2、レーザーガイド星生成装置 (新規)

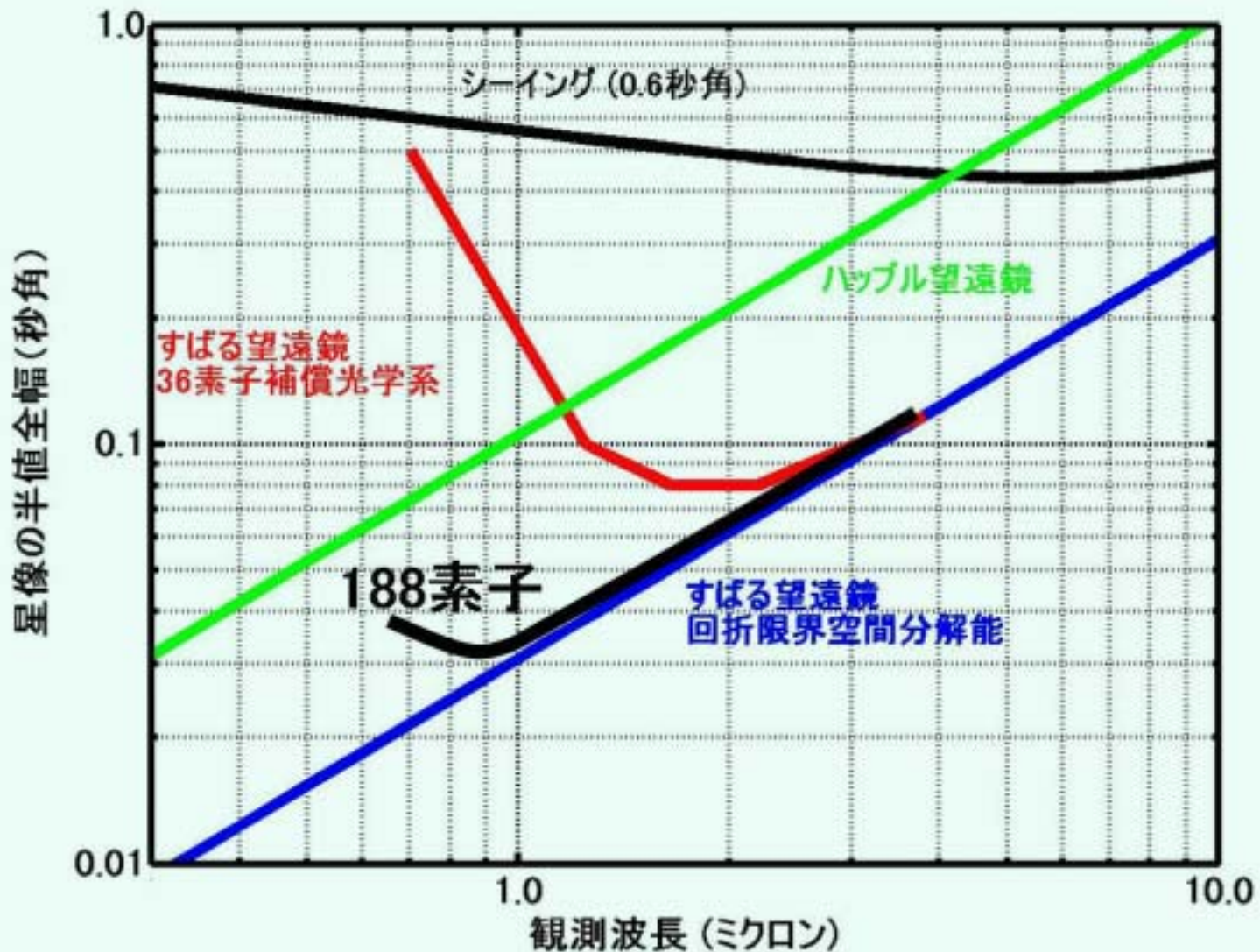
高度90kmのナトリウム層にレーザーを
照射し、人工の星を作る

(観測可能領域 $1\% \Rightarrow 80\%$)

特別推進研究申請課題ヒアリング、2002年5月21日

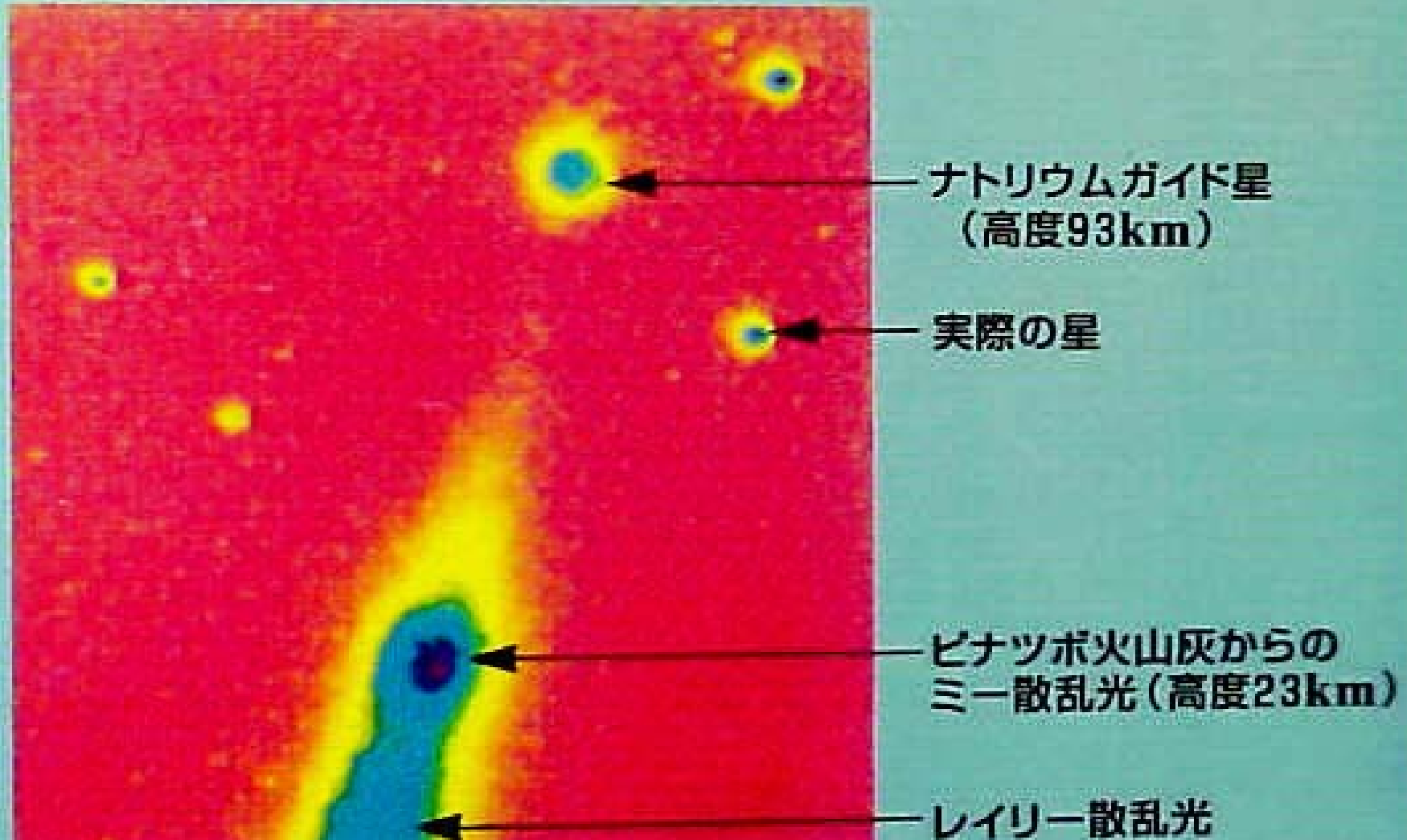


多素子化による解像度向上

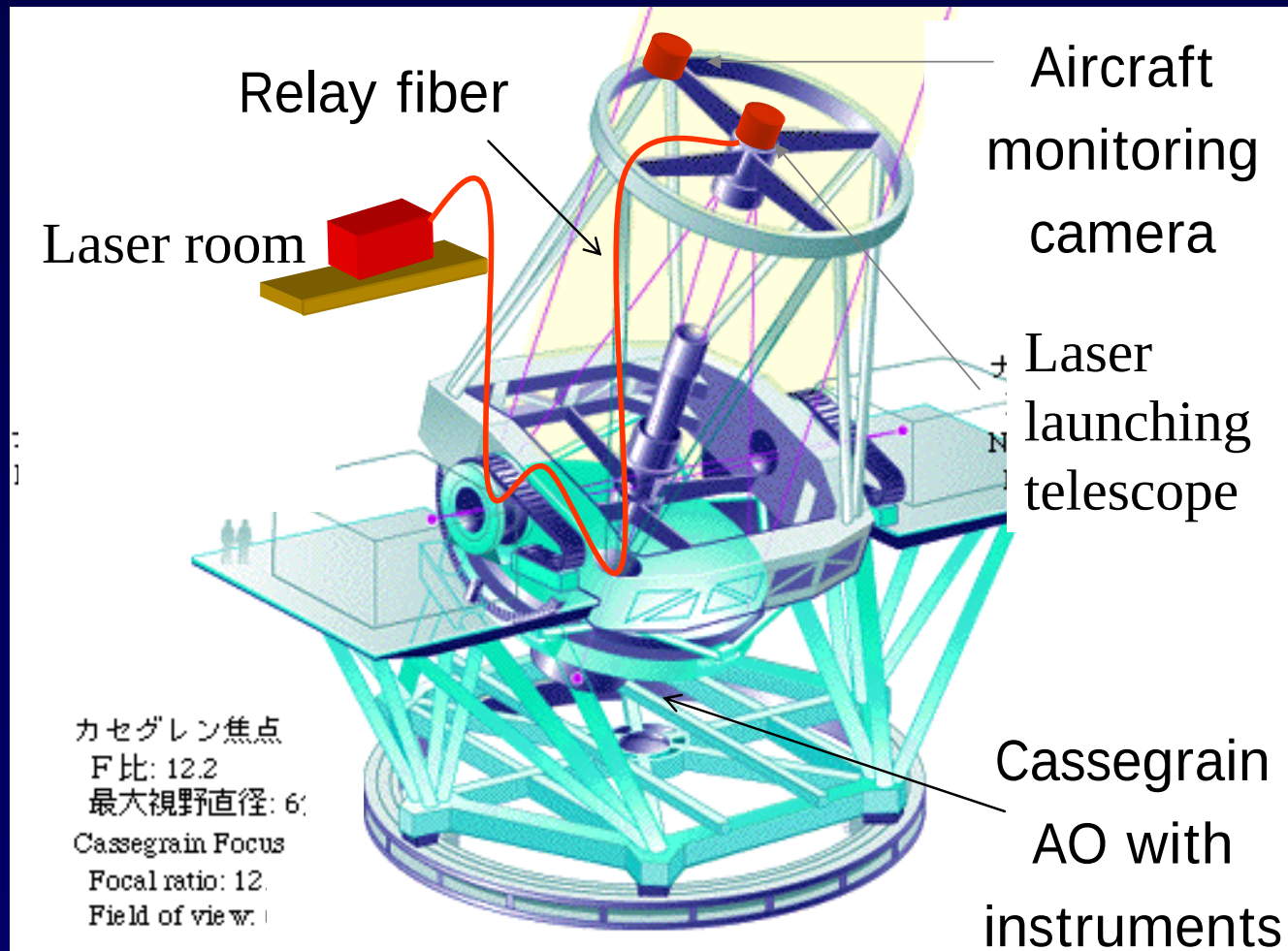


レーザーガイド星

任意の天域で補償光学を適用できるようにする



レーザガイド補償光学系の配置図



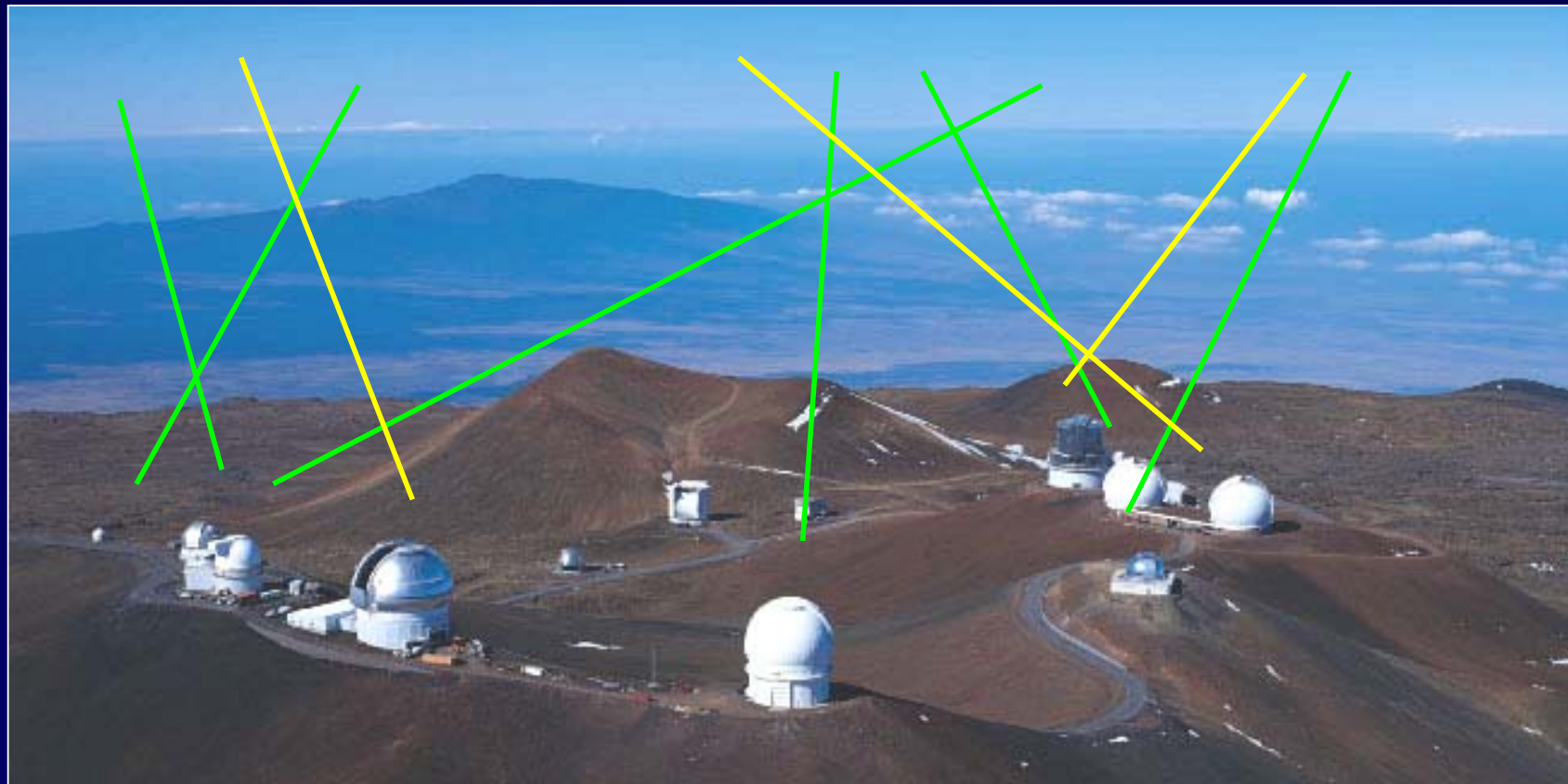
基礎開発中のレーザーシステム

色素レーザー 波長589nm



マウナケア山頂 レーザービーム管制システム

(他の天文台の観測を妨げないようにする)



特別推進研究申請課題ヒアリング、2002年5月21日

研究年次計画比較

02

03

04

05

06

- **すばる** (日本、ハワイ)

NGS36 =====

NGS188 =====>

LGS188 (CS) =====>

- **ケック** (カリフォルニア大、ハワイ)

LGS =====>

- **ジェミニ** (米英加ほか、チリとハワイ)

Altair(NGS) =====

Altair(LGS) =====>

- **VLT** (欧州、チリ)

NAOS(NGS) =====

NAOS(LGS) =====>

アップグレード計画まとめ

1. 現有の補償光学システムをベースとして素子数を36 から188素子に増大。
 - 2004年にファーストライト。
 - 検出限界が1等向上、可視光でも良条件下で回折限界
 - 完成時世界一の性能 (現状のVLT-AOの性能を上回る
こと)
2. レーザーガイド星システム追加。
 - 2005年にファーストライト。
 - ほぼ任意の天体がAOで観測可能となる。

AOの将来 (1)

アップグレードの後のすばるAO

- 1) MCAO 補正視野の拡大 30秒 -> 2分
視野内での均一な性能
- 2) それに見合った観測装置 分光+イメージング
4Kx4K?
- 3) 高出力固体レーザー開発 理研との共同開発
(理研のメリットは?)

2005年 開発開始
2010年 完成

＊競争は激しい。検討、開発、評価のための十分なマンパワーを投入しないと、少しずつ遅れていく
(SPIEで5日間のセッションがあるくらい)

AOの将来 (2)

光赤外大型将来計画関連

1) 地上超大型望遠鏡

- ー30mモザイク鏡

- ーHDRTへの参加 (6.5m x 6)

2) スペース

- ーSPICA, 可視・近赤外衛星、TPFなど

自前の計画、コラボレーションどちらにしても軽量化鏡とAO
がかぎとなる技術

今後のAO技術

1) 地上超大型望遠鏡用AO

- 1000-10000素子 可変形鏡
- 波面センサー(新方式?)
- 超高速制御系
- レーザー

2) スペース用AO

- 大型、軽量、高精度鏡のためには必須
- 主鏡を制御するか? リスクが大きい
- 副鏡を制御
- 焦点部に付けるか (短波長のみ、リスク小)
- 低温度、高信頼性
- 地上用とはまったく別のアプローチも可能

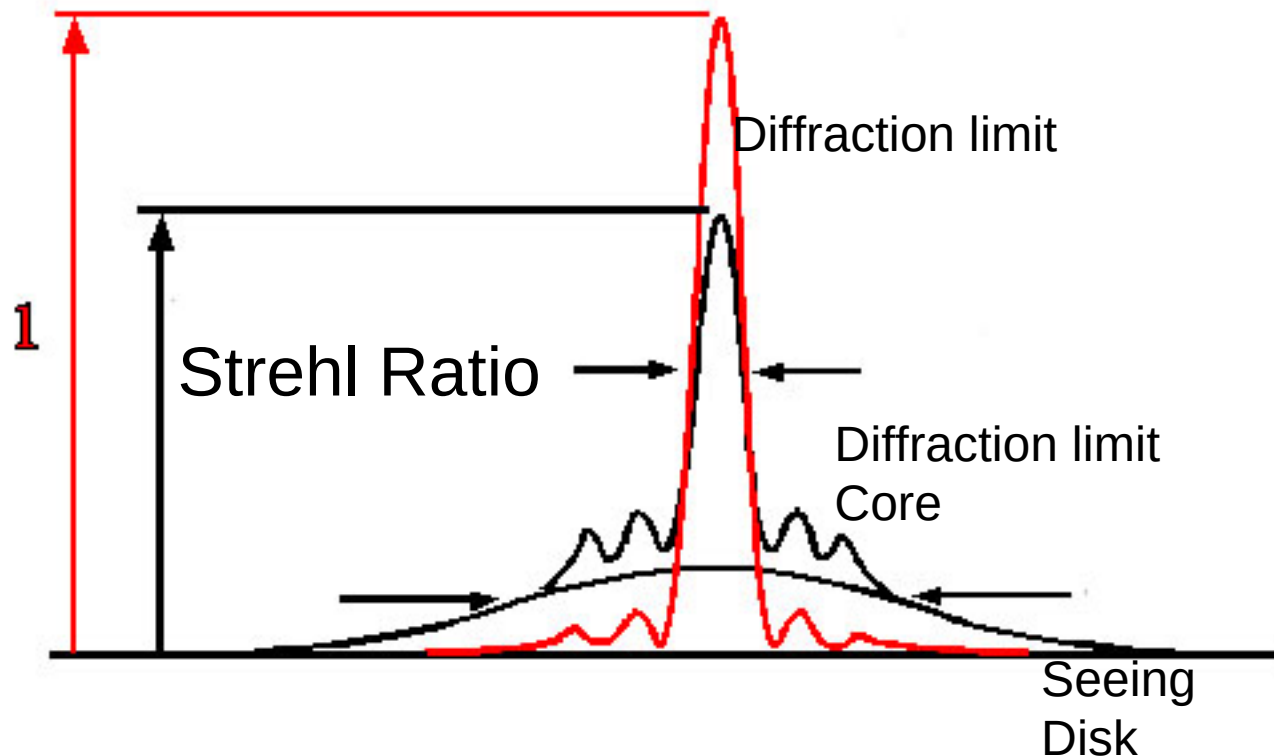
補償光学技術の産業界へのインパクト

- ・ 超微細加工技術
- ・ 医学 網膜視細胞の研究
- ・ マイクロ波送電、電波天文学
- ・ 高出力レーザービーム：
 - ・ レーザー核融合
 - ・ レーザー加工、レーザー誘雷
 - ・ レーザー手術, 究極の眼鏡
- ・ => 研究開発面での産業界の関心

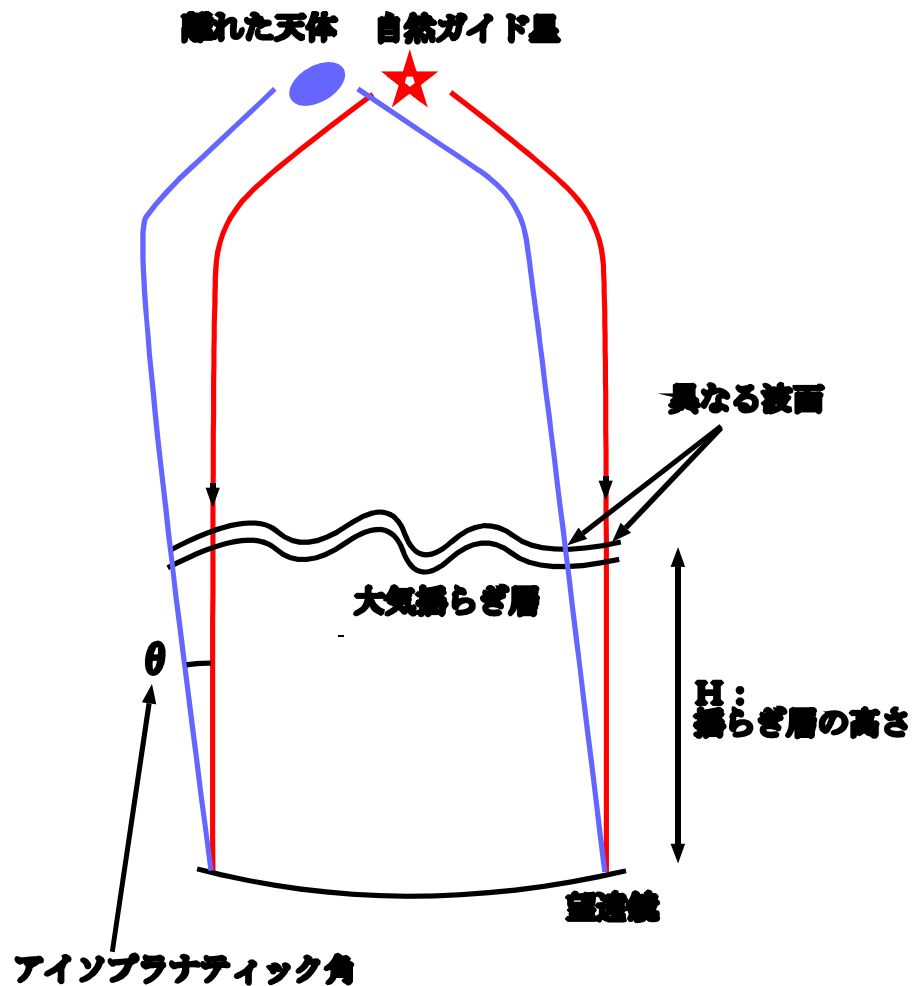
参考資料

AOの性能を表す用語

- 1) r_0 フリード長: その中で、大気揺らぎが波長に比べて小さいとみなせる開口サイズ $\sim \lambda^{1.2}$
- 2) シーイング : $\sim \lambda / r_0$
- 3) ストレール比: 回折限界の場合の中心強度で規格化した中心強度 $\sim \exp(-\sigma^2)$ σ : 波面誤差 (rms)
- 4) アイソプラナティック角: 波面が一定と考えてよい視野
波長 λ , シーイング, 乱れ層の高さに反比例。
Kバンドでは典型的には数10秒角 $\theta \sim 0.31 * H / r_0$
- 5) スカイカバレッジ 任意の天体がAOを使って観測できる天域の割合



ストレール比 (補償光学による改善効果の評価目安)



$$\theta \sim 0.314 r_0 / H$$

→ 波長 $2.2 \mu\text{m}$ では 1.7 秒角 (半幅)

アイソプラナティック角
波面補正ができる視野の大きさ

現システムアイソプラナティック角 測定結果

