

「天文学における補償光学の原理と応用」

いえ まさのり
家 正則 (国立天文台)

- 1) すばる能動光学望遠鏡とその成果
- 2) ボケを直すレーザーガイド補償光学
- 3) 次世代超大型望遠鏡TMT

「補償光学の原理と応用」、12/11/2、分子イメージングフォーラム、家正則(国立天文台)

1

第一部 すばる能動光学望遠鏡とその成果

遠くを見ることは昔を見ること

「補償光学の原理と応用」、12/11/2、分子イメージングフォーラム、家正則(国立天文台)

2

ドーム:直径40m、高さ42m、回転部2500トン



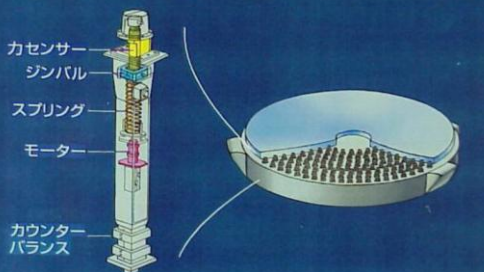
1984年から検討7年、建設9年、400億円で完成1999年

磨くのさらに4年
(削りすぎたら最初からやり直し)



「補償光学の原理と応用」、12/11/2、分子イメージングフォーラム、家正則(国立天文台)

ロボット腕が鏡のゆがみを直す 主鏡の能動支持機構 (アクチュエーター)



「補償光学の原理と応用」、12/11/2、分子イメージングフォーラム、家正則(国立天文台)

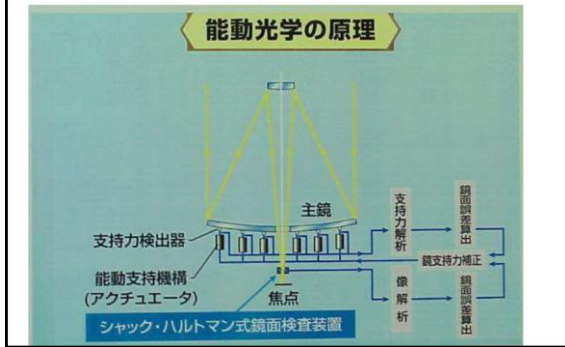
1998年8月:
7年がかりで世界最大
で最高精度の鏡が完成



「補償光学の原理と応用」、12/11/2、分子イメージングフォーラム、家正則(国立天文台)

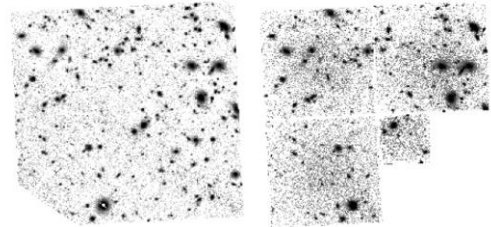
6

薄くて柔な鏡をコンピュータ制御



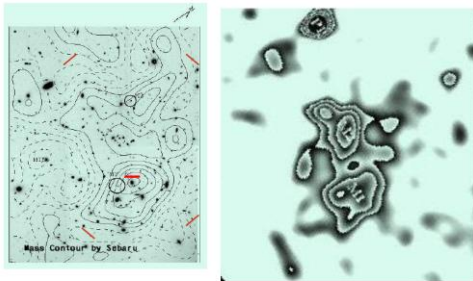
ハッブル宇宙望遠鏡との性能比較

Subaru R 3600 s HST F702W 4200 s



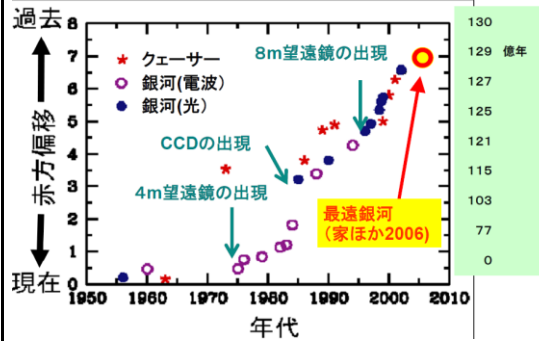
すばる 60分、28等級 勝負は引き分け ハッブル 70分、28等級

銀河団の重力レンズ効果 質量分布がX線分布と一致



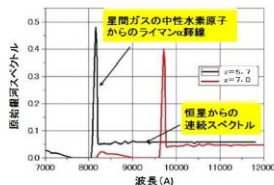
「補償光学の原理と応用」、12/11/2、分子イメージングフォーラム、家正剛(国立天文台)

人類が見た最遠銀河の記録更新の歩み



ライマンα銀河を探せ

Partridge・Peebles (1967) の提案 => 失敗の連続

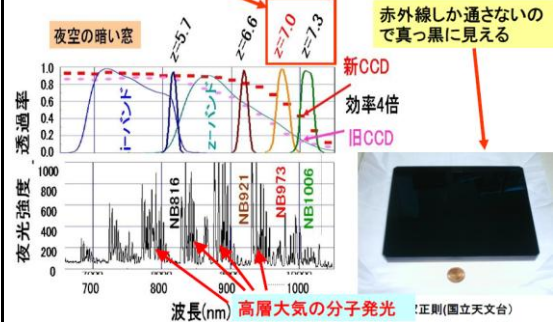


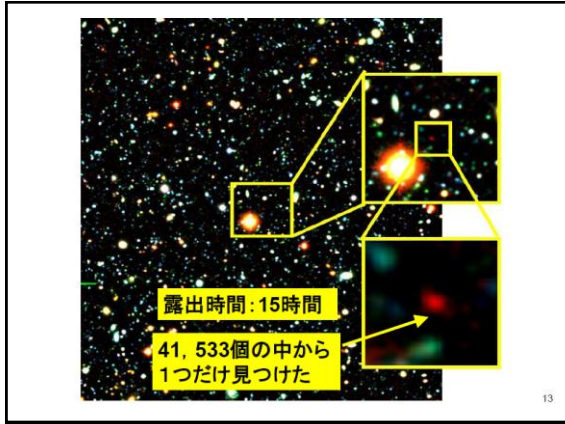
宇宙で一番多い原子は水素原子

水素原子が出す一番強い光はライマンアルファ線という紫外線の光(波長1215Å)

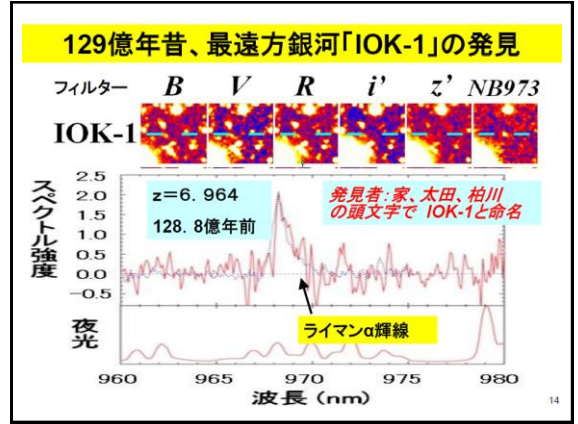
「宇宙で最初の星と銀河」、2012/10/8、一橋講堂、家正剛(国立天文台)

世界で1枚しかない専用フィルター





13



14

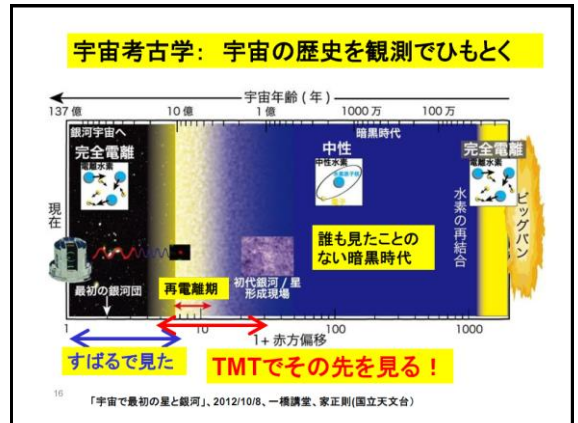
遠方銀河のギネス記録

Table 1: 赤方偏移が確定した最遠銀河ベスト12(2009年10月1日時点).

順位	銀河名	座標	赤方偏移	億年 #	論文	出版日
1	IOK-1	J132359.8+272456	6.964	128.8	家ほか	2006年9月14日
2	SDF ID1004	J132522.3+273520	6.597	128.2	谷口ほか	2005年2月25日
3	SDF ID1018	J132520.4+273459	6.596	128.2	柏川ほか	2006年4月25日
4	SXDF Himiko		6.595	128.2	大内ほか	2008年7月25日
5	SDF ID1030	J132357.1+272448	6.589	128.2	柏川ほか	2006年4月25日
6	SDF ID91163	J132343.4+272954.5	6.587	128.2	柏川ほか	2009年2月
6	SDF ID		赤方偏移 6.6		ではたくさん見つけたが、	
6	SDF ID		赤方偏移 7.0		では一つだけ	
9	SDF ID					年2月
10	SDF ID1008	J132518.8+273043	6.578	128.2	谷口ほか	2005年2月25日
11	SDF ID1001	J132418.3+271455	6.578	128.2	小平ほか	2003年4月25日
12	SDF ID157057	J132419.3+274124.8	6.568	128.2	柏川ほか	2009年2月
13	HCM-6A	J023954.7-013332	6.560	128.2	Hu ほか	2002年4月1日

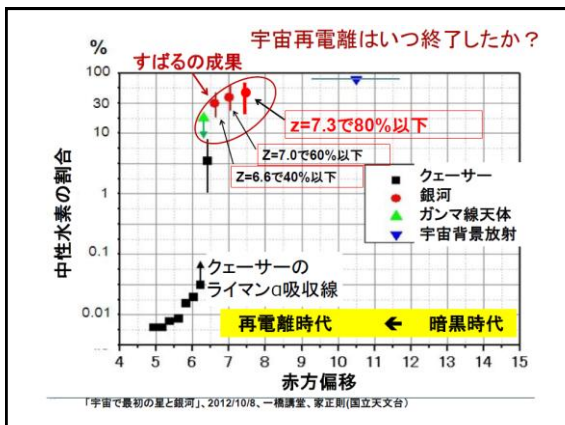
年齢は宇宙年齢が 136.6 億年となるモデルに基づいて算出.

15



16

「宇宙で最初の星と銀河」、2012/10/8、一橋講堂、家正則(国立天文台)



「宇宙で最初の星と銀河」、2012/10/8、一橋講堂、家正則(国立天文台)

17

第2部

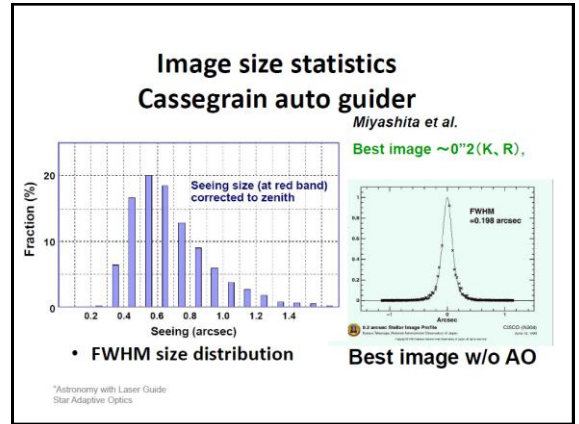
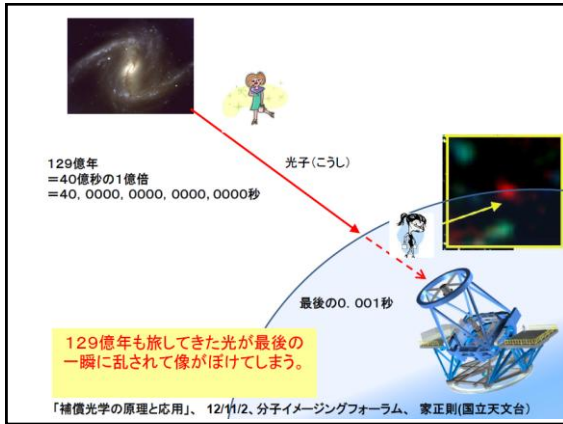
次世代の観測を担う超ハイテク技術

「ボケ」を直してしまおう

レーザーガイド補償光学

「補償光学の原理と応用」、12/11/2、分子イメージングフォーラム、家正則(国立天文台)

18

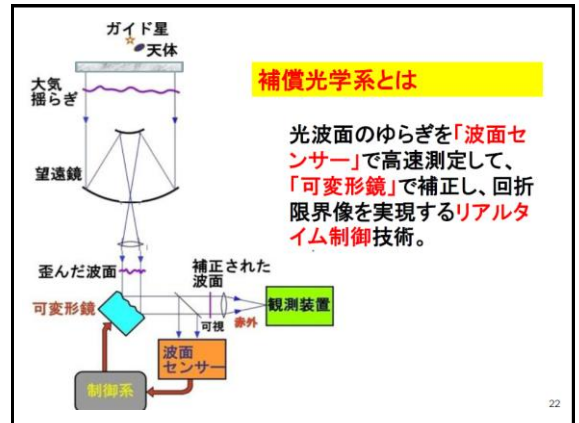


レーザーガイド補償光学系による遠宇宙の近赤外高解像観測

(国立天文台) 家正剛(代表)、高見英樹、早野裕
科学研究費特別推進研究(H14-18年度)

- より高度な新AOシステム開発
駆動素子数 36 => 188
- レーザーガイド星生成系
利用範囲の拡大1%=> 80%
- 遠宇宙の高解像観測
- 系外惑星系、太陽系天体観測

ハッブル望遠鏡より解像力3.4倍、集光力13倍
ELT プロジェクト 家 070201@光赤外天文連絡会WS



補償光学次世代望遠鏡のメリット

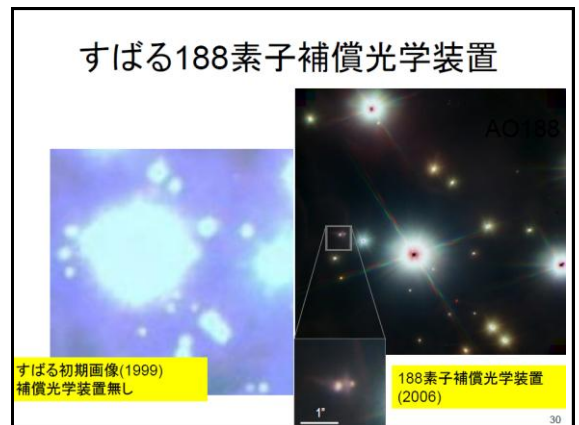
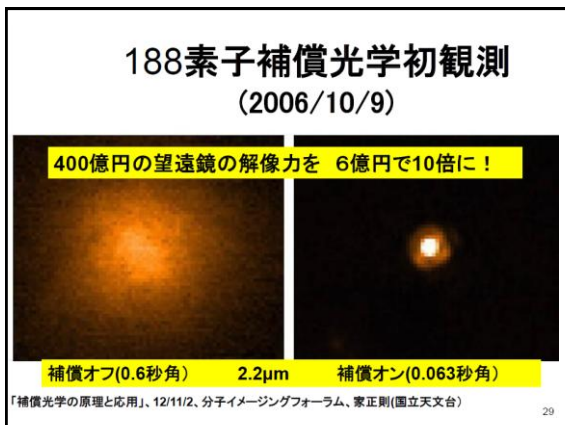
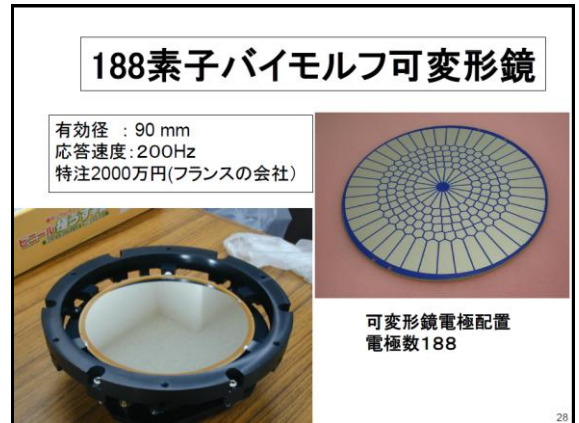
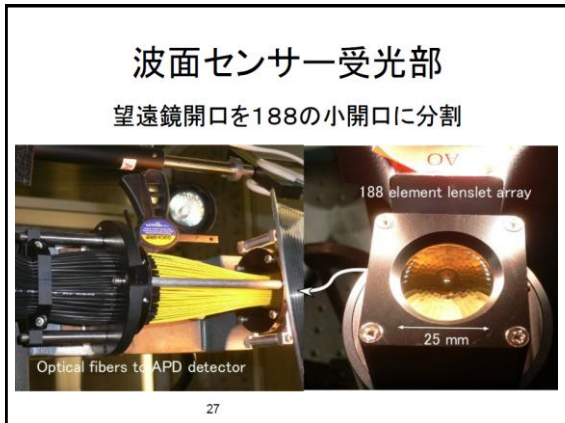
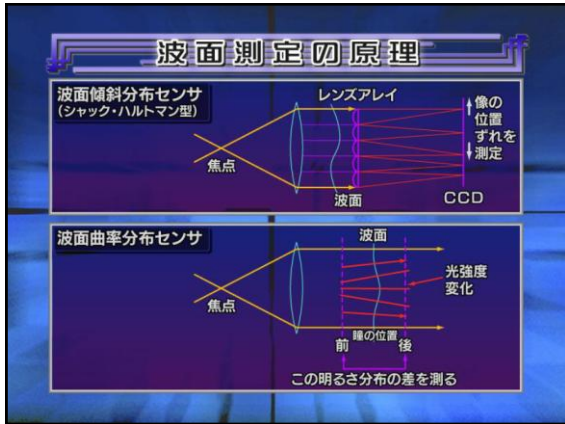
集光力	$A = D^2$
像サイズ	$s = D^{-2}$ (回折限界: $\theta = \lambda / D$)
中心強度	$A/s \propto D^4$
背景光強度	D^0
S / N	D^2

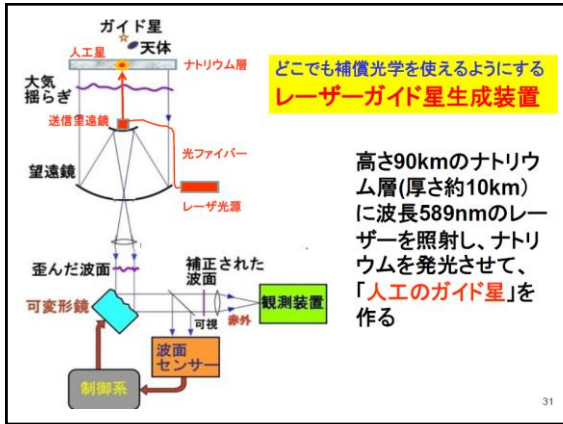
原理と用語

回折限界: λ/D (波長 λ , 口径 D)
 フリード長: $r_0 \propto \lambda^{6/5}$
 等波面離角: $\theta \propto r_0 / H$ (有効高 H)
 制御素子数: $N \propto (D/r_0)^2 \propto D^2 \lambda^{-2.4}$
 制御演算数: $N/\Delta t \propto D^3 \lambda^{-2.4}$

8m級、近赤外($\lambda > 1\mu\text{m}$)で実用化
 大口径ほど、短波長ほど計測と制御は急激に難しくなる。

24





和周波ナトリウムレーザー

概念図

Nd:YAGレーザー 1064 nm

Nd:YAGレーザー 1319 nm

非線形光学結晶

589 nm

ナトリウムD₂線共振波長

1064 nm + 1319 nm = 589 nm

出典:国立天文台・理化学研究所

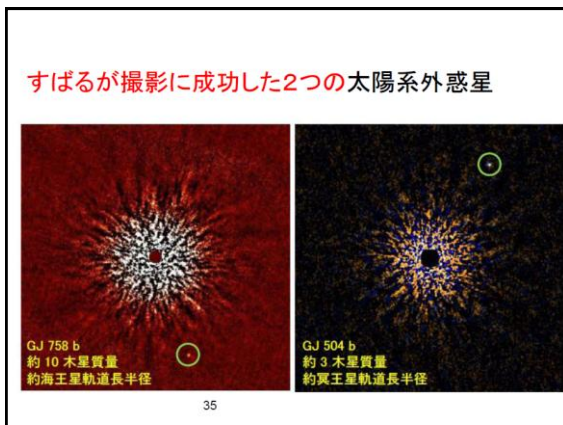
レーザーガイド補償光学用レーザー照射実験@理化学研究所

牽牛と織女を示す1億円のレーザーポインター

朝日新聞2005年7月7日

「補償光学の原理と応用」、12/11/2、分子イメージングフォーラム、家正則(国立天文台)

33



補償光学応用分野例 役に立つ天文技術

- リモートセンシング
- 網膜診断
- レーザー手術
- 光通信
- レーザー加工
- レーザー核融合
- 誘導避雷
- ウラン濃縮

視細胞を診断

Center for Vision Science

補償光学有り 補償光学無し

「補償光学の原理と応用」、12/11/2、分子イメージングフォーラム、家正則(国立天文台)

36

第3部

10年後の天文学を担う 次世代超大型望遠鏡TMT

「補償光学の原理と応用」、12/11/2、分子イメージングフォーラム、家正則(国立天文台)

37

次世代30m超大型望遠鏡TMT

1.5m六角鏡492枚。

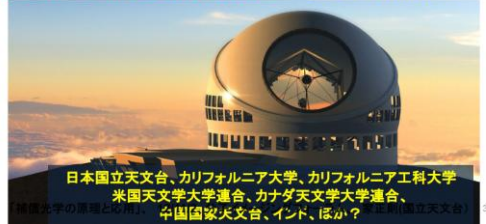
銀河の誕生と宇宙の夜明け

太陽系外の第二の地球、生命の兆候

暗黒エネルギー、物理定数、宇宙定数

建設費約1500億円
(日本の分担1/4)

2021年末完成(?)



日本国立天文台、カリフォルニア大学、カリフォルニア工科大学
米国家天文学会、カナダ天文学会、
中国天文学会、インド、ほか?

38

望遠鏡の進化

家正則(国立天文台)

岡山188cm

8mすばる望遠鏡

30m望遠鏡TMT



No. 777

限界24等(1987)

<赤方偏移2

限界28等(2000)

<赤方偏移7

集光力 13倍

解像力 3.6

倍効率感度 180倍

限界33等(2020?)

<赤方偏移17?

Subaru S-Cam 60min, R-28, 0"-5

39

33等星~月面の蛍(数10mW相当)が
補償光学観測の1時間露出で見える!



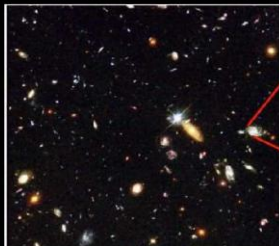
色々な光のスペクトル図



40

TMTの威力:
大集光力と高解像度

ハッブル望遠鏡の分解能



TMT30mAO付き



TMTの解像度=すばるの4倍
TMTの感度=すばるの14倍~200倍
回折限界での効率 ~口径⁴

The same with a 30 meter telescope & Adaptive Optics

TMTが切り拓く銀河形成

宇宙の晴上がり
ビッグバン後40万年
(米国WMAP)

最遠方の銀河
ビッグバン後9億年
(すばる)

ビッグバン

宇宙の暗黒時代

ビッグバン後

300万年

宇宙の進化
(銀河、星、惑星、生命)

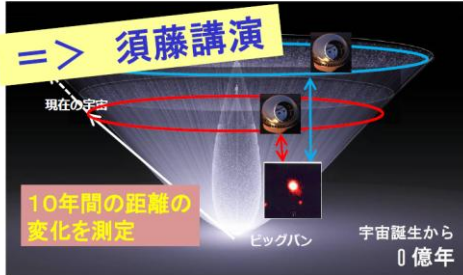
すばるが切り拓いた宇宙

暗黒エネルギーによる宇宙膨張の加速

137億年

NASA/WMAPチームによる

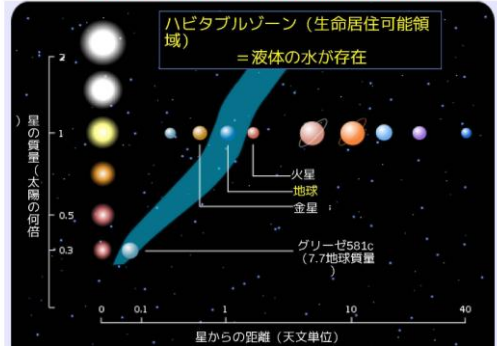
TMTの科学目標
②ダークエネルギーの性質の解明



「宇宙で最初の星と銀河」、2012/10/8、一橋講堂、家正剛(国立天文台)

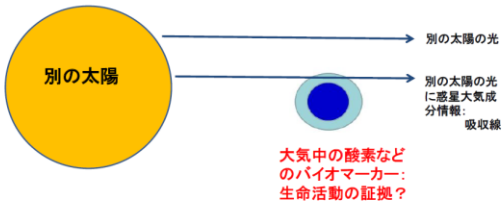
43

生命居住可能領域にある太陽系外惑星探査
大気分析で生命の兆候(酸素など)を探す



44

太陽系外惑星の大気分析



「補償光学の原理と応用」、12/11/2、分子イメージングフォーラム、家正剛(国立天文台)

45