

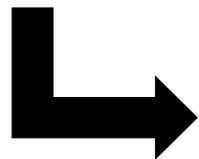
ハイパー望遠鏡 -系外惑星の解像に向けて-

- 1) 2008年度 北海道大学工学部卒業論文
小松 俊一「ハイパー望遠鏡の結像特性に関する研究」
- 2) 2010年度 北海道大学工学院修士論文
小松 俊一「ハイパー望遠鏡で観測される系外惑星の像復元」
- 3) 2015年春季天文年会
中井 悠人、他「ハイパー望遠鏡における撮像画像処理の計算機シミュレーション」

北海道大学/室蘭工業大学
馬場 直志

研究背景

- ・現在まで数多くの系外惑星の存在が確認されている
- ・これらの系外惑星をより詳しく調査するためには
表面構造の撮像が重要



高い分解能が必要！

分解能： λ/D

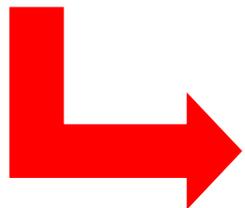
(λ : 波長 D: 望遠鏡の口径)



望遠鏡の巨大化

現在: すばる望遠鏡[8.2m] → 将来: TMT(thirty meter telescope)[30m]

しかし、単一の望遠鏡の巨大化には限界がある

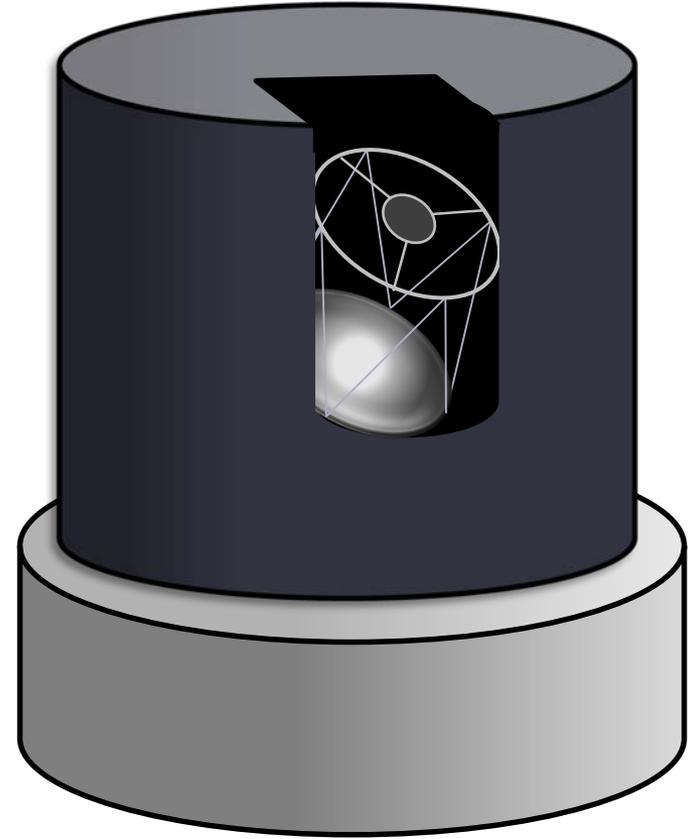
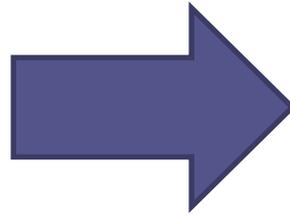


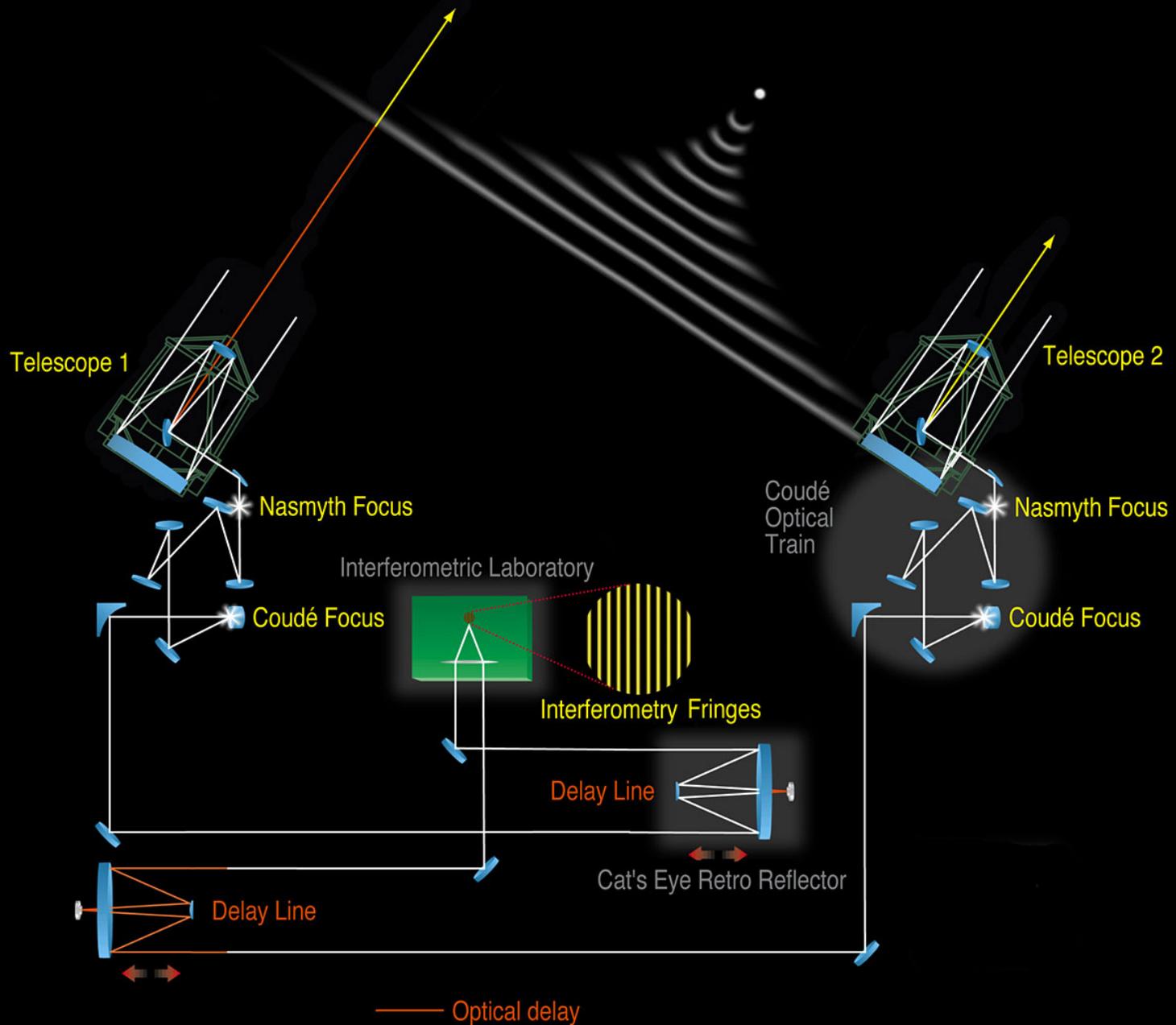
ハイパー望遠鏡

Equivalent huge telescope

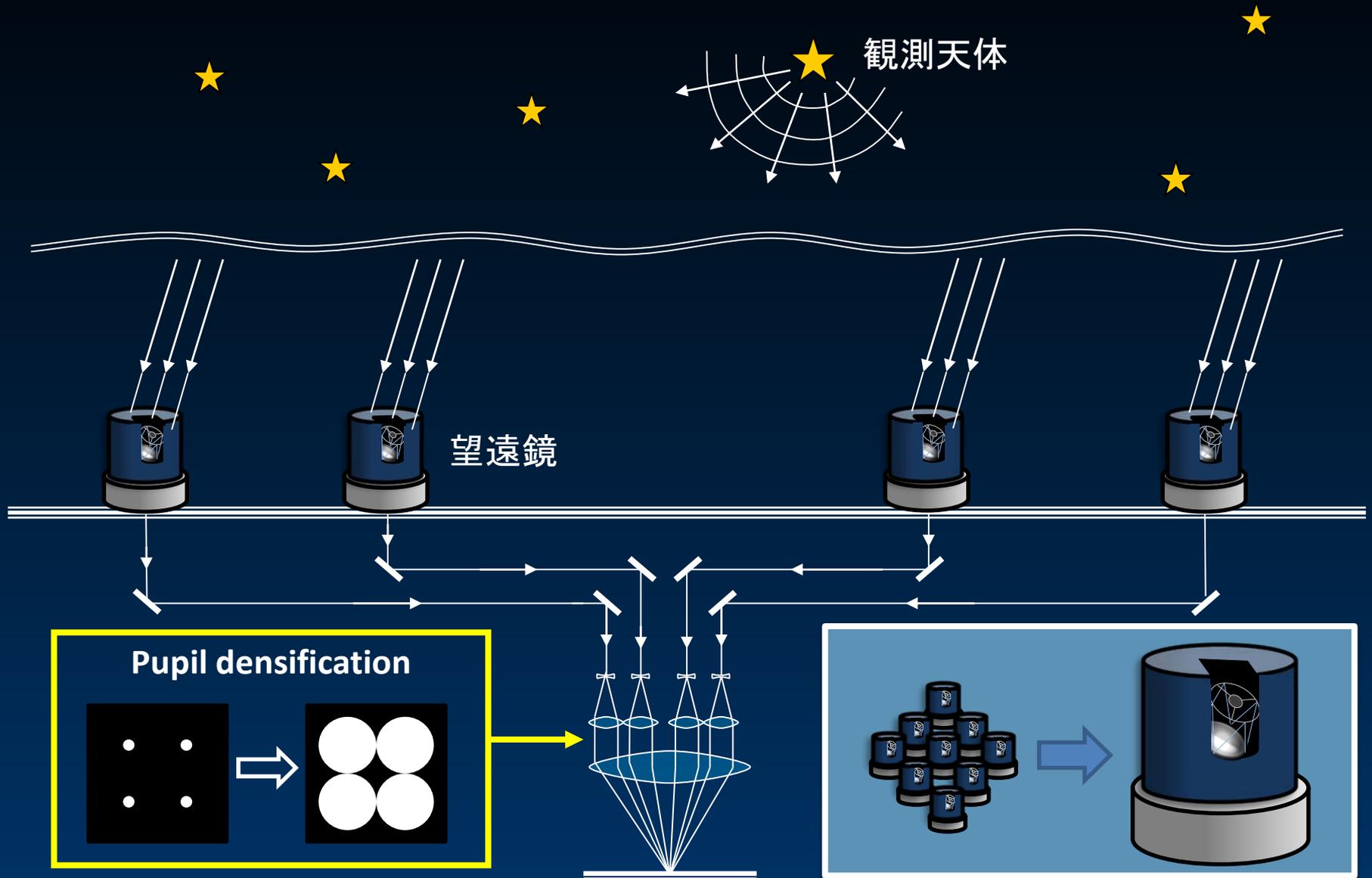


Array of telescopes



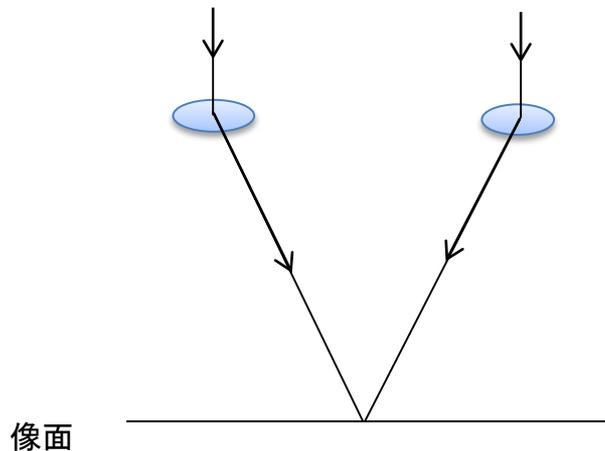


2. ハイパー望遠鏡の原理

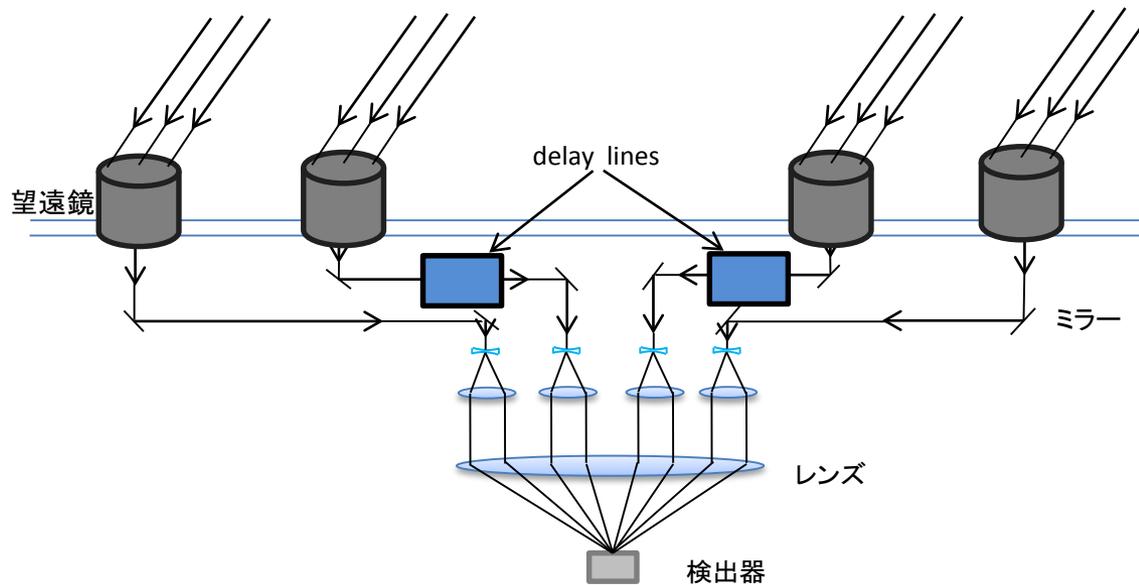


原理

天体干渉計
⇒ フリンジ



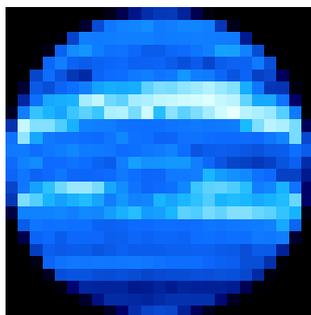
ハイパー望遠鏡
⇒ **スナップショットイメージング**



原理

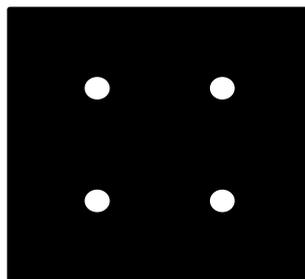
pupil densification

pupil densification とは、瞳間に大きなギャップがある配列に対して個々の口径を大きくすることで瞳間のギャップを埋めるような操作であり、この操作によって強度を中心のピークに集中させることができる。

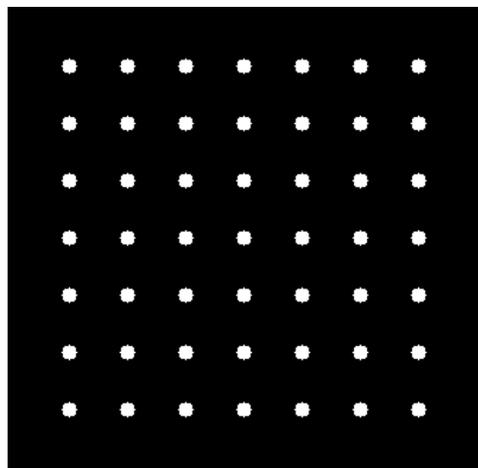
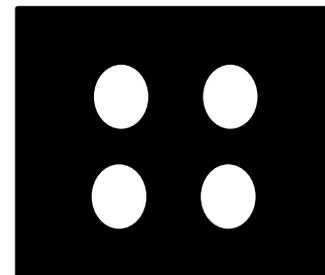


原画像(木星)

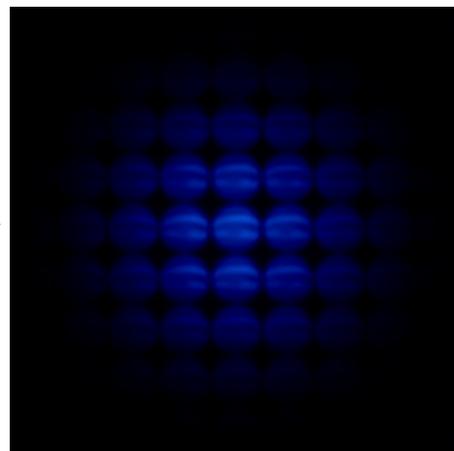
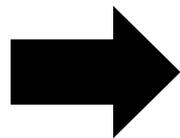
瞳配列



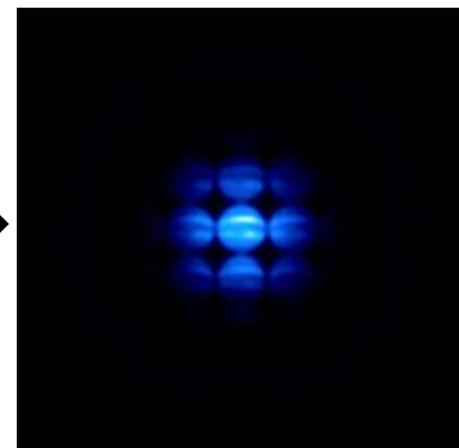
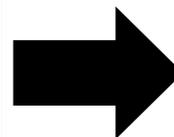
pupil densification
→



7×7の望遠鏡配列



観測像(densification 無)



観測像(densification 有)

2. ハイパー望遠鏡の原理

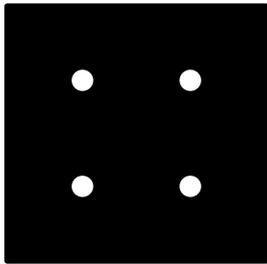
Pupil densification

個々の瞳の間隔が大きいと、2次以降のピーク(サイドローブ)にエネルギーが分散し**全体的に暗い像**となる

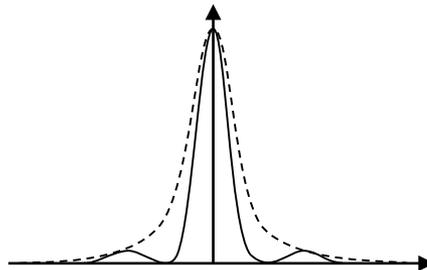
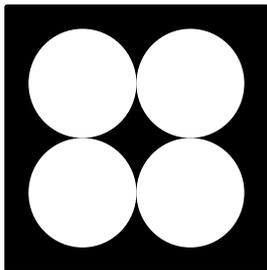
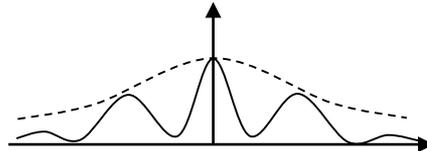
Pupil densification

中心のピークにエネルギーを集中させることができる

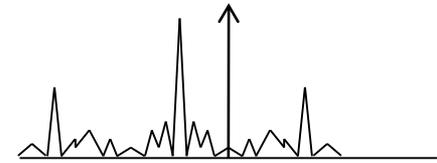
瞳配列



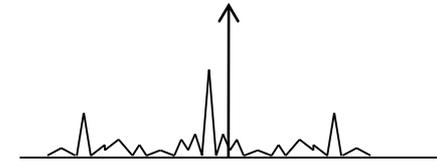
PSF



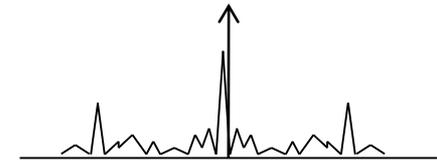
観測像は天体各点から来た光によるPSFの足し合わせ



+

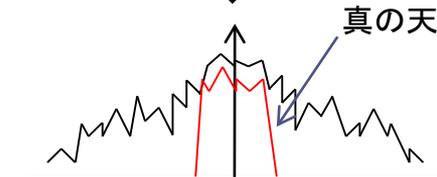


+



+

⋮



観測像

3. 研究の目的

ハイパー望遠鏡で得られる観測像を
計算機シミュレーションによって求める

画像処理アルゴリズム

- 擬似ウィナーフィルター
- クリーンアルゴリズム

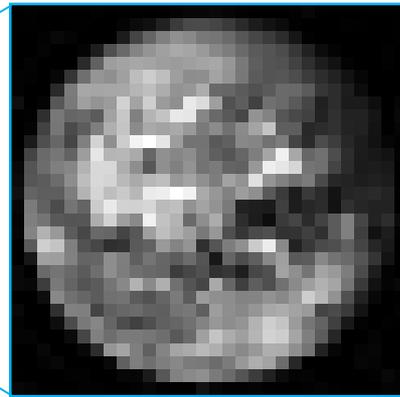
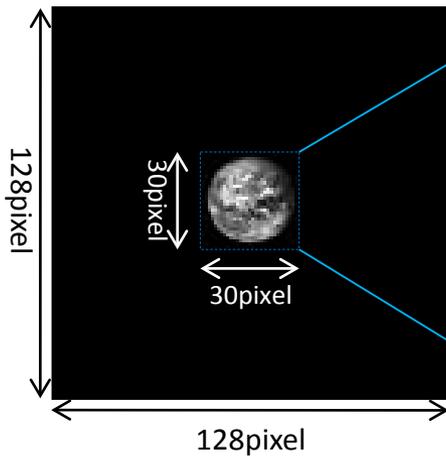
望遠鏡配列の工夫

- 大口径望遠鏡を含む配列

より真の天体に近い画像を得る

4. 計算機シミュレーション

観測天体(原画像)の設定



- 10光年離れた地球を想定
- 地球の直径は 3×10^{-5} 秒角

必要な分解能 ($\lambda = 600\text{nm}$)

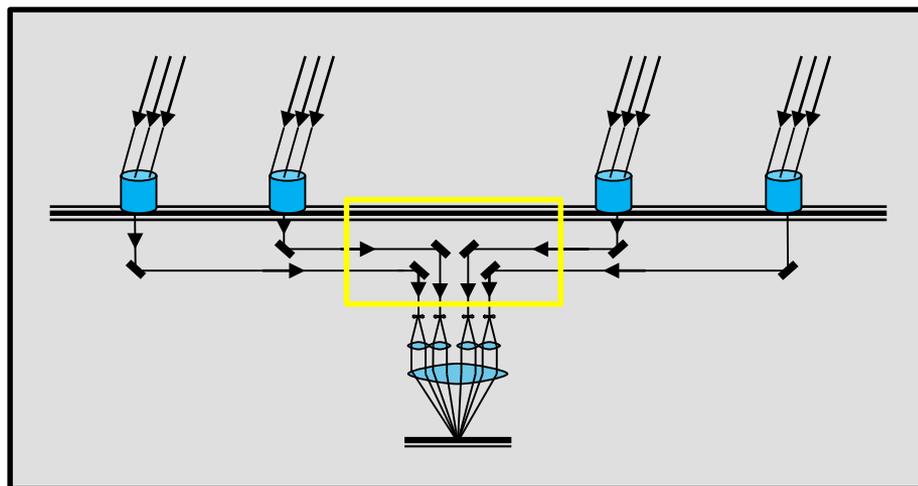
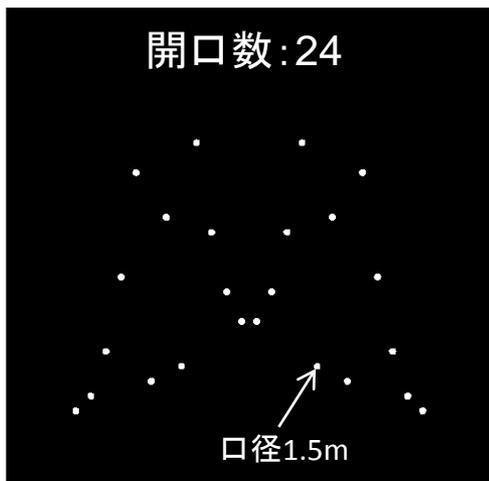
分解能 $> 3 \times 10^{-5}$ 秒角

最大基線長 $> 8.430\text{km}$

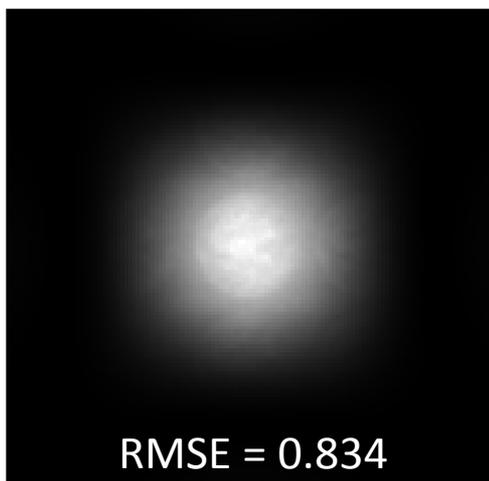
(基線長: 望遠鏡間の距離)

4. 計算機シミュレーション

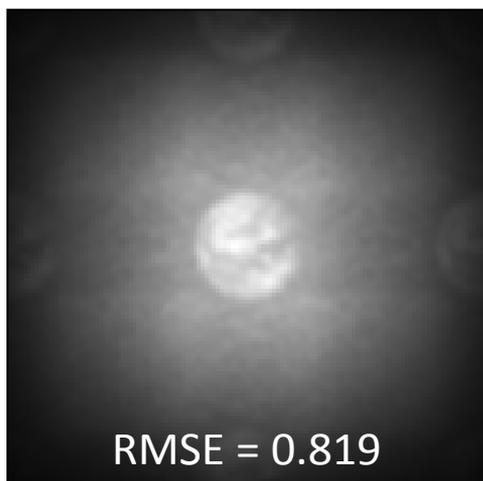
非冗長配列によるシミュレーション



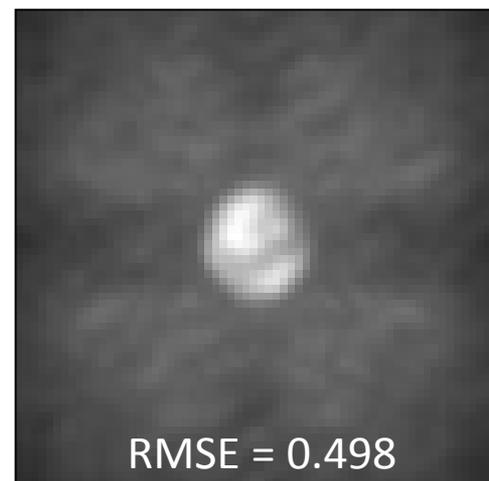
し重複しない
望遠鏡で高い
配列



最小基線長 = 4km
最大基線長 = 92km



最小基線長 = 2km
最大基線長 = 46km



最小基線長 = 1km
最大基線長 = 23km

4. 計算機シミュレーション

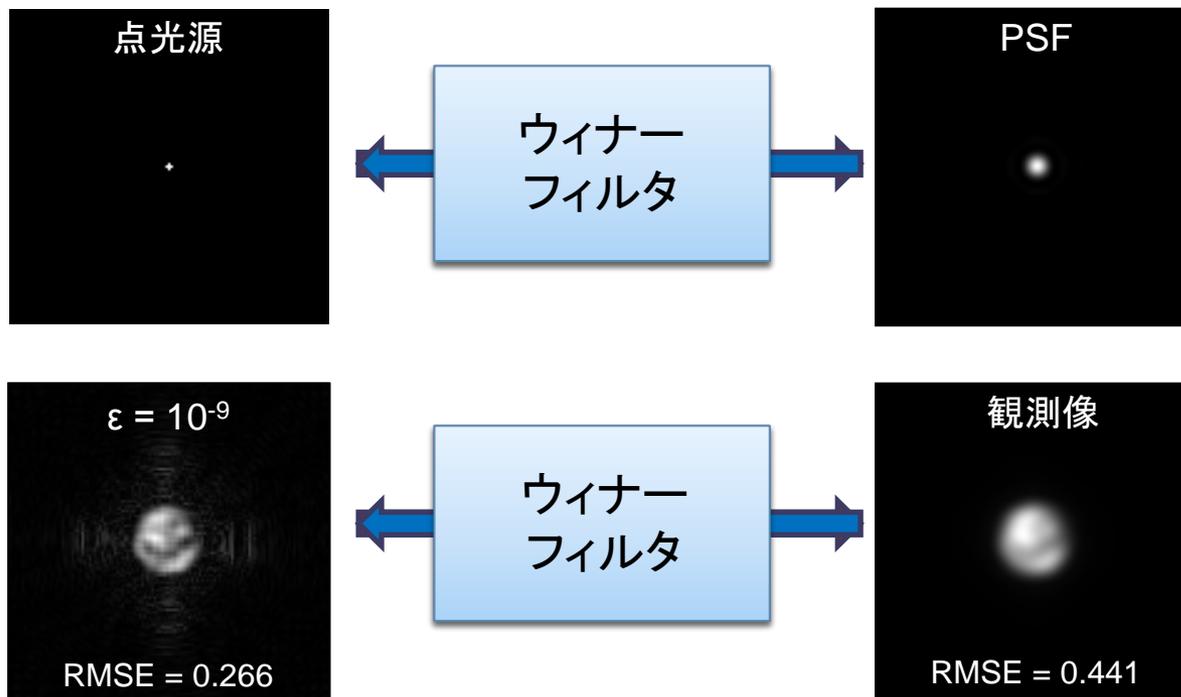
擬似ウィナーフィルタによる画像処理

$$F(u, v) = W(u, v)I(u, v)$$

$$W(u, v) = \frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + \varepsilon}$$

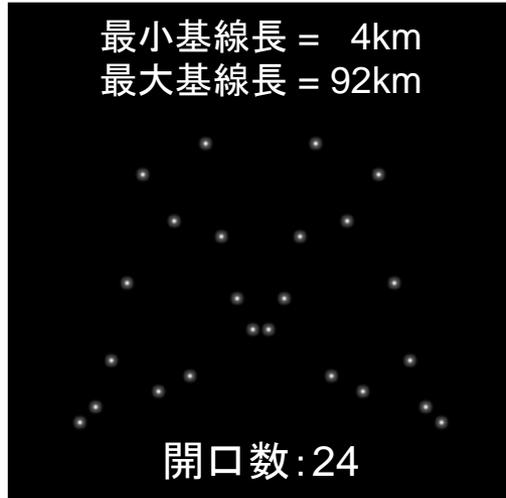
F :回復像 W :フィルタ

I :観測像 H :PSF

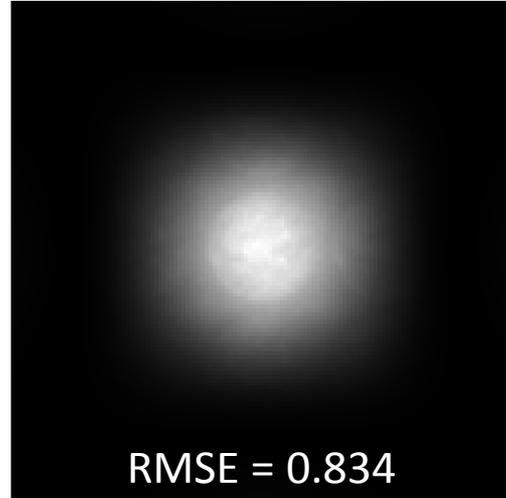


4. 計算機シミュレーション

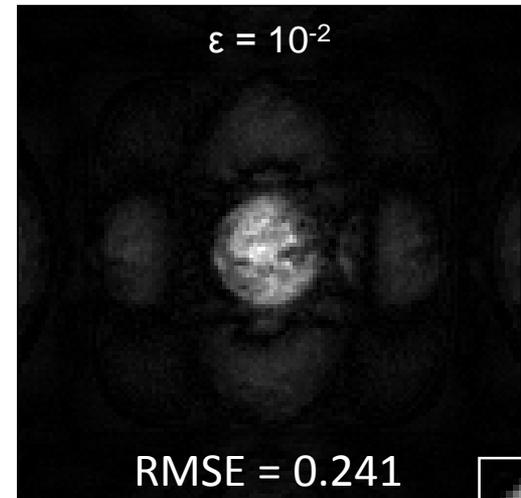
擬似ウィナーフィルタによる画像処理



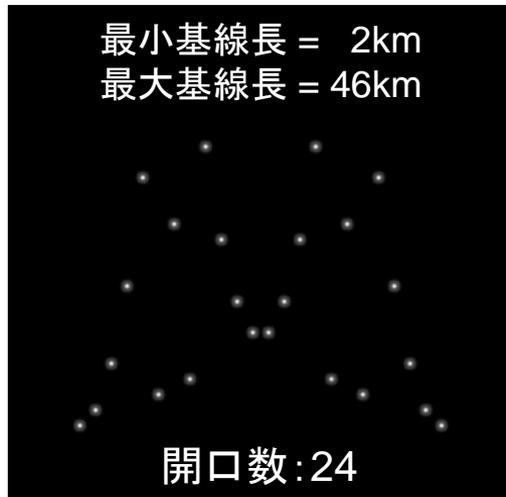
開口



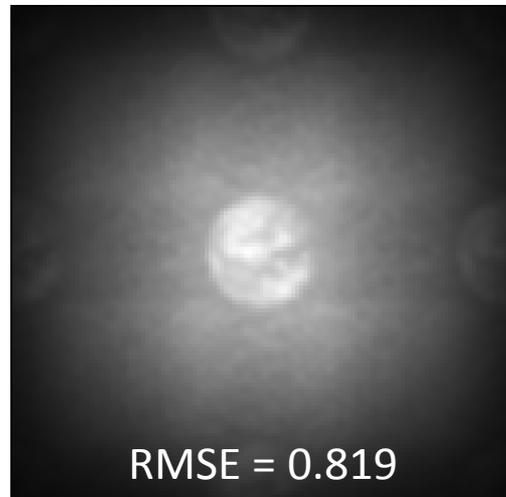
観測像



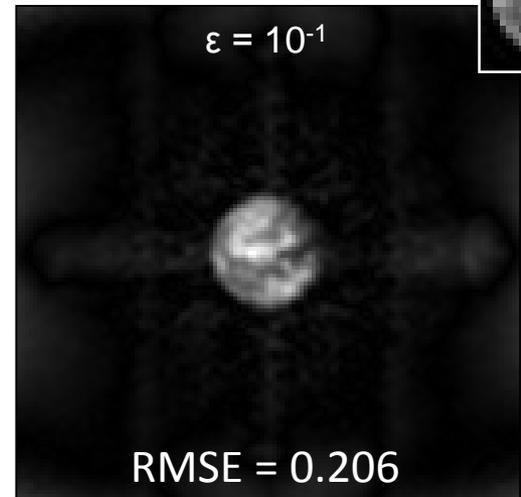
回復像



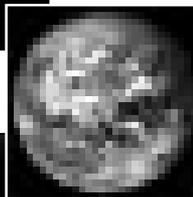
開口



観測像



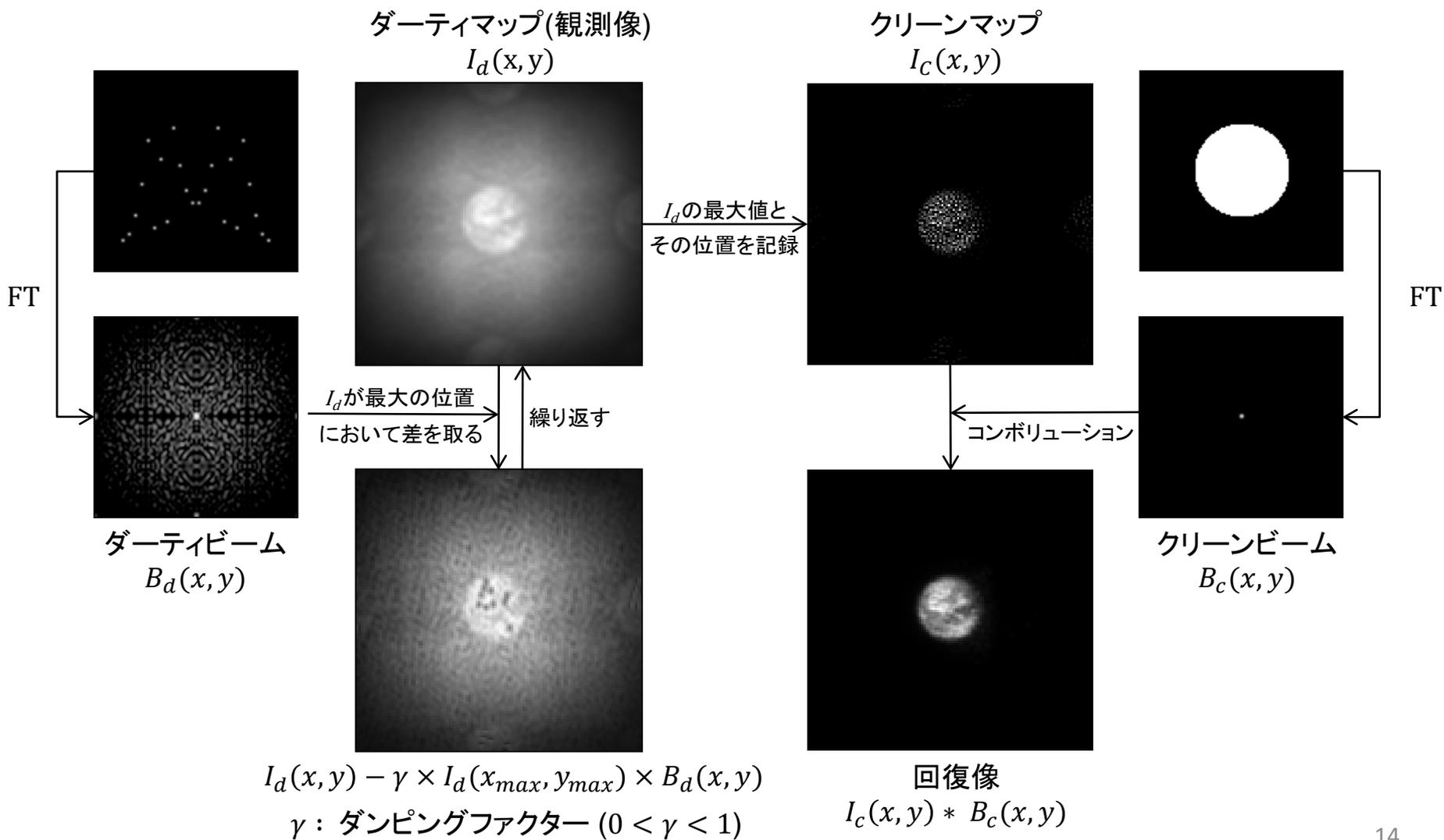
回復像



原画像

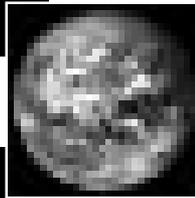
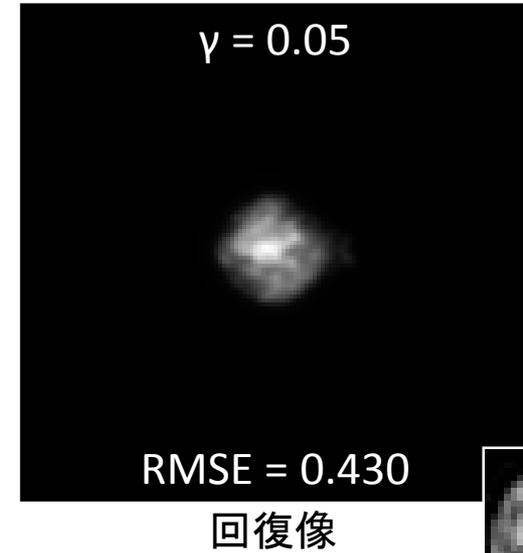
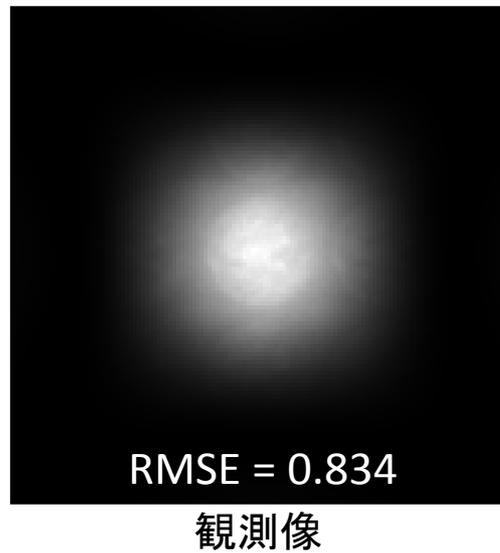
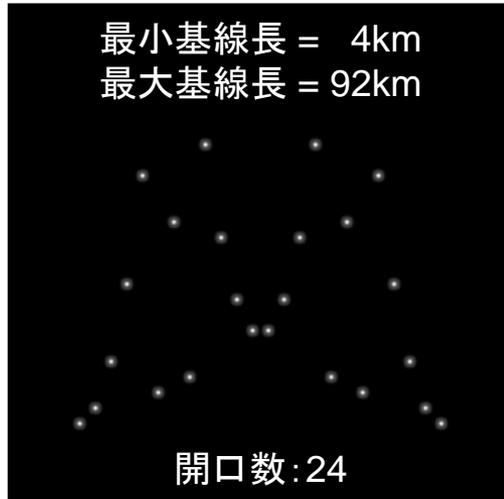
4. 計算機シミュレーション

クリーンアルゴリズムによる画像処理

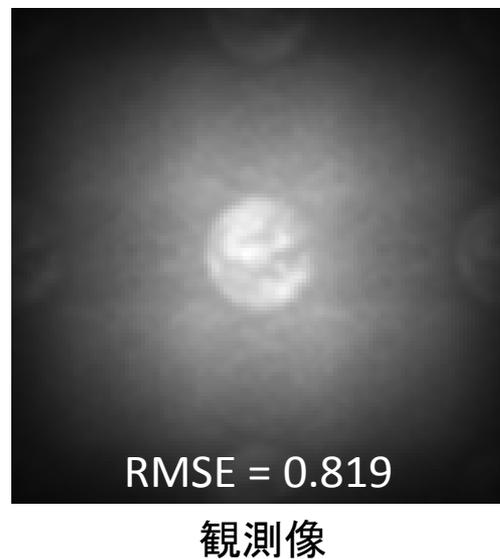
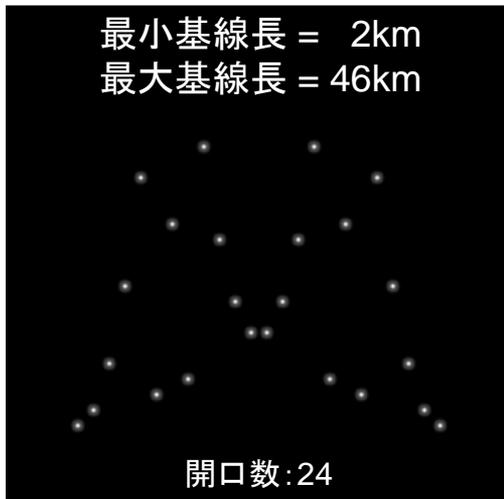


4. 計算機シミュレーション

クリーンアルゴリズムによる画像処理

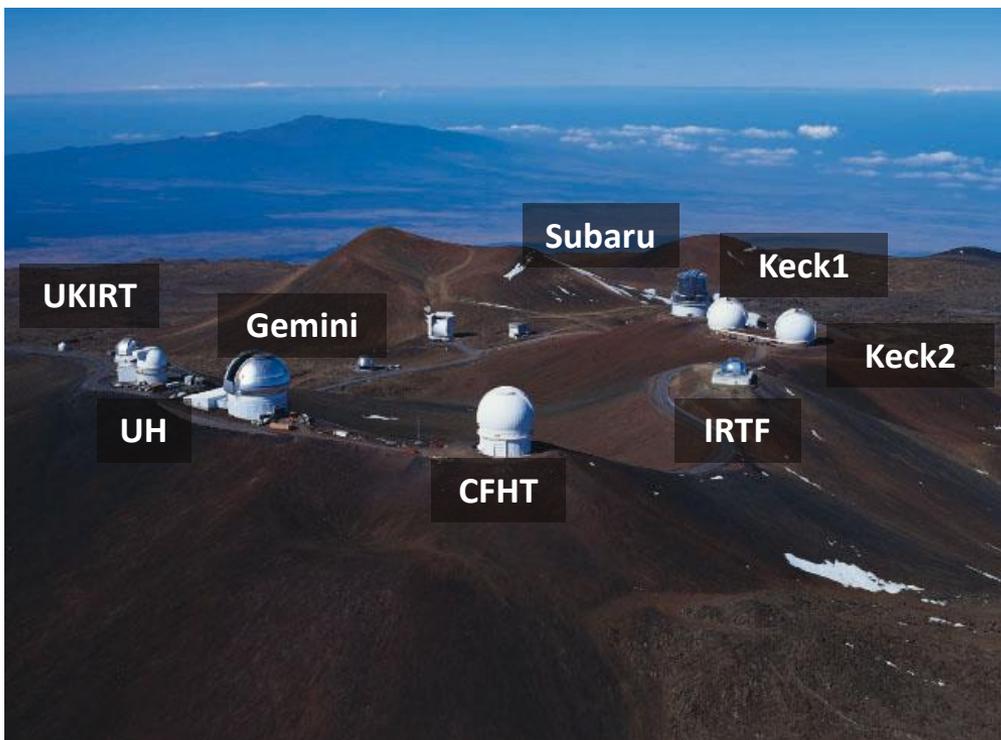


原画像



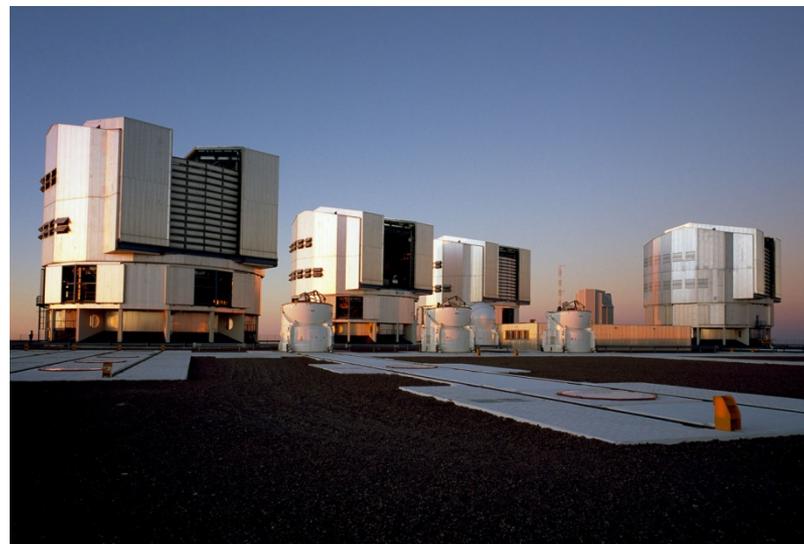
4. 計算機シミュレーション

大口径望遠鏡を含むハイパー望遠鏡



望遠鏡	Subaru	CFHT	Gemini	Keck1,2	IRTF	UKIRT	UH
直径(m)	8.2	3.6	8.1	10.0	3.0	3.0	2.2

ハワイ、マウナケア山頂の望遠鏡群



口径8.2mのVLT(Very Large Telescope)

大口径望遠鏡を含む配列で期待されるメリット

- 瞳間のギャップを埋めることによるサイドローブの抑制
- 集光力の向上

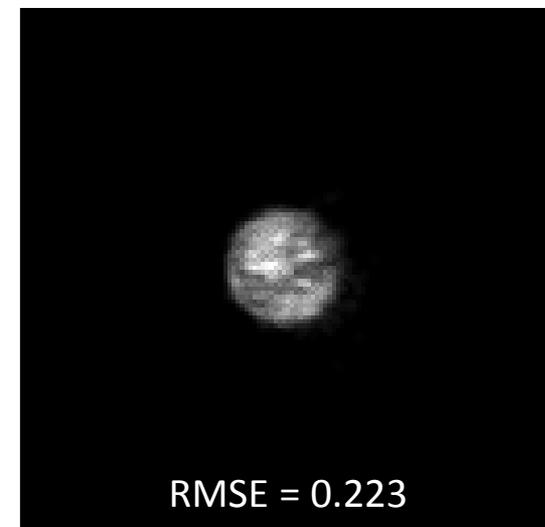
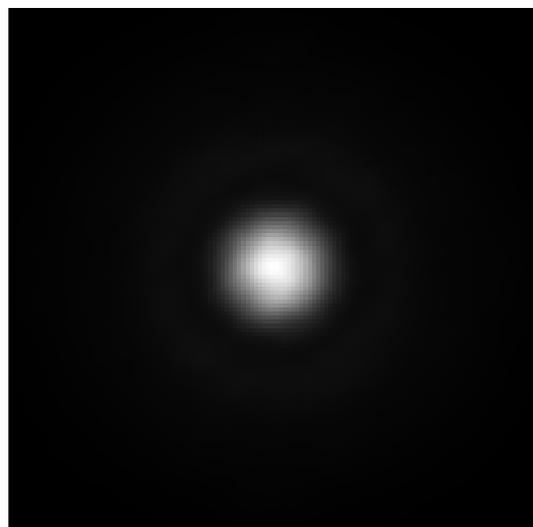
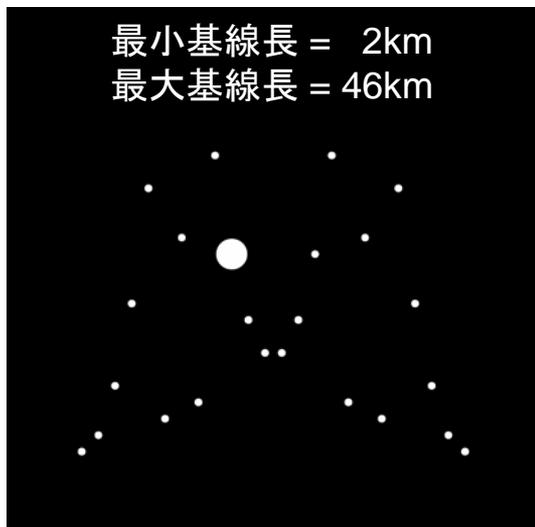
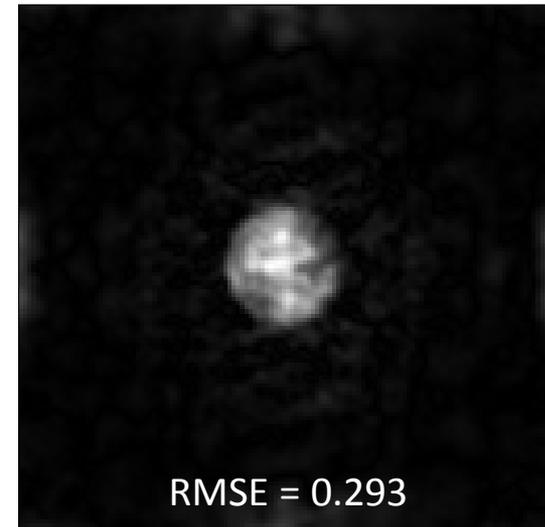
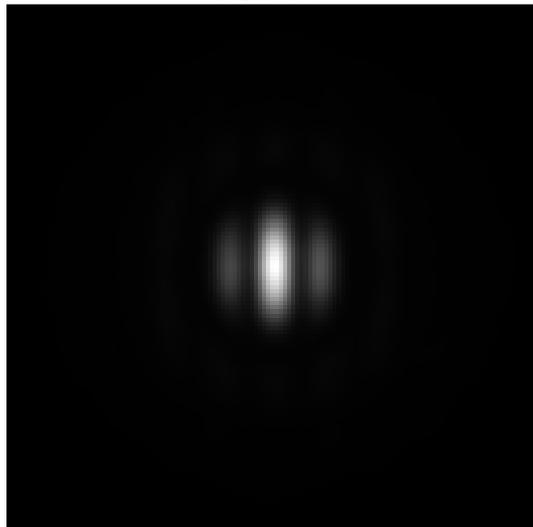
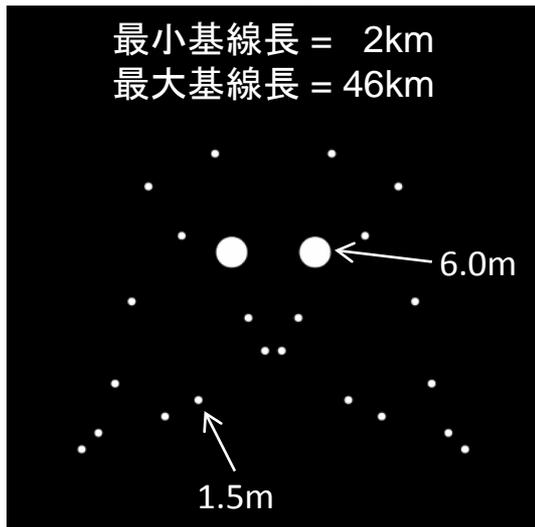
4. 計算機シミュレーション

大口径望遠鏡を含むハイパー望遠鏡

配列

観測像

大口径望遠鏡の振幅を
1/16にした時の観測像



Strategies for the deconvolution of hypertelescope images

C. Aime¹, H. Lanteri¹, M. Diet¹, and A. Carlotti^{1,2}

¹ Université de Nice Sophia-Antipolis, Centre National de la Recherche Scientifique, Observatoire de la Côte d'Azur, UMR 7293 Lagrange, Parc Valrose, 06108 Nice, France

e-mail: claude.aime@unice.fr

² Princeton University, Mechanical & Aerospace Engineering, Olden street, Princeton, 08544 NJ, USA

e-mail: henri.lanteri@unice.fr megan_83@hotmail.fr acarlott@princeton.edu

A&A 543, A42 (2012)

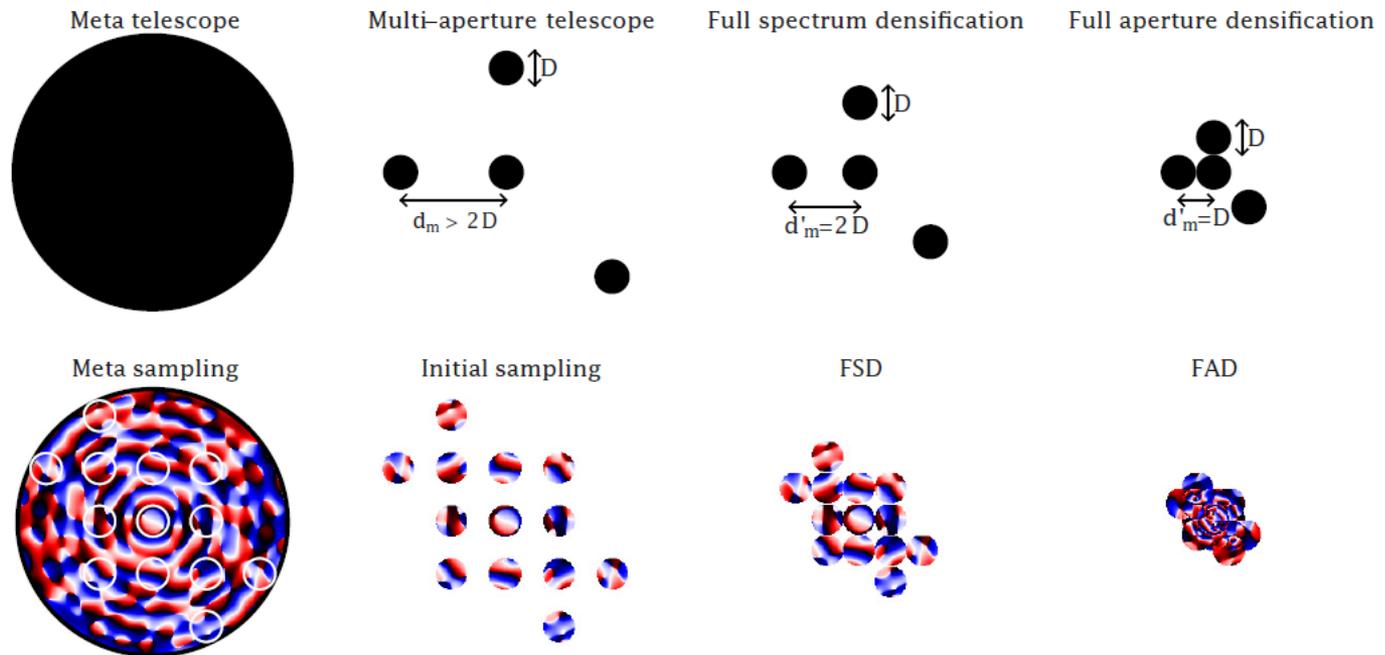


Fig. 1. *Top: from left to right: a monolithic giant aperture (the so-called meta-telescope), a diluted array of four telescopes in Fizeau mode and in the two hypertelescope modes FSD and FAD. Bottom: phase of the image transform for the test object, which clearly illustrates the visible aliasing effect in the FAD mode. This aliasing makes it impossible to recover the Fizeau spectrum in the FAD mode, while the inverse operation remains possible in the FSD mode.*

2015年春季天文年会

中井 悠人、馬場 直志、村上 尚史

「ハイパー望遠鏡における撮像画像処理の計算機シミュレーション」

計算機シミュレーション

今回設定した惑星モデル

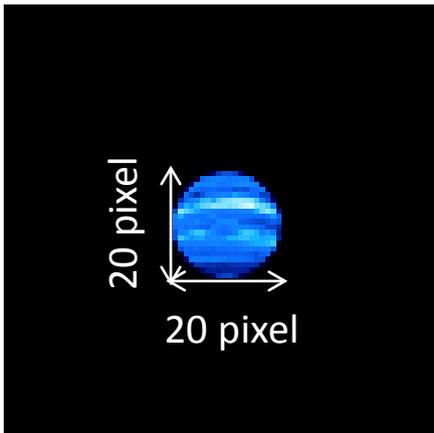


HD189733b

- ・半径: 木星の約1.1倍
- ・距離: 19.3 pc



19.3 pc 離れたところに木星を仮定



原画像

- ・視直径: 4.8×10^{-5} 秒角
- ・画像サイズ: 20×20 pixel
1pixelあたり $\Rightarrow 1.6 \times 10^{-6}$ 秒角

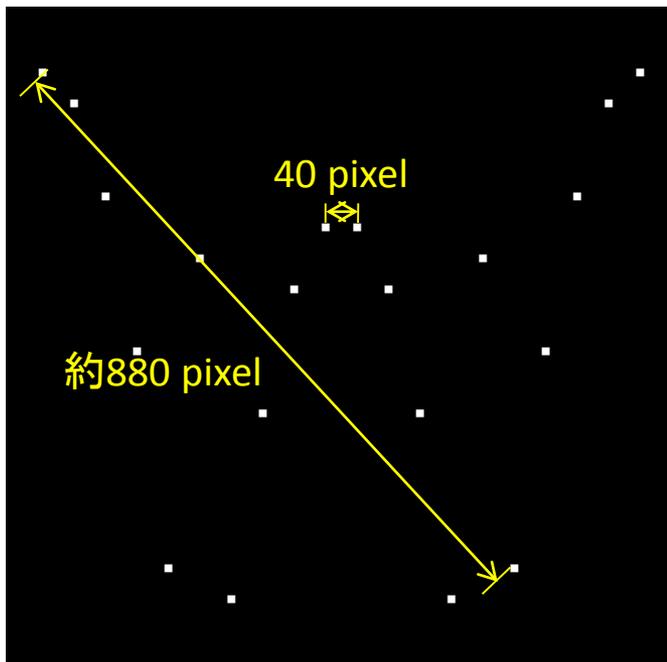
計算機シミュレーション

アレイの設定

非冗長配列

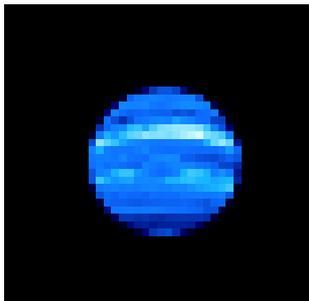


少ない数の望遠鏡で、広範囲に展開

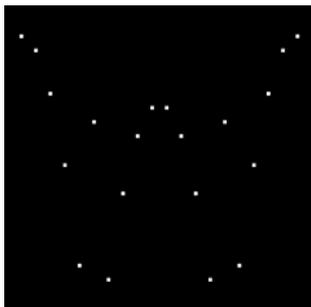


- ・最小基線長: 40 pixel $\Rightarrow 2.0 \times 10^3$ m
- ・最大基線長: 約880 pixel $\Rightarrow 5.3 \times 10^4$ m

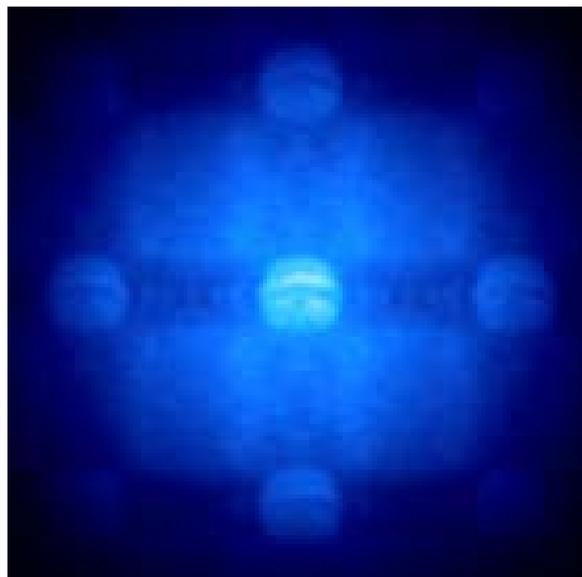
シミュレーション結果



原画像

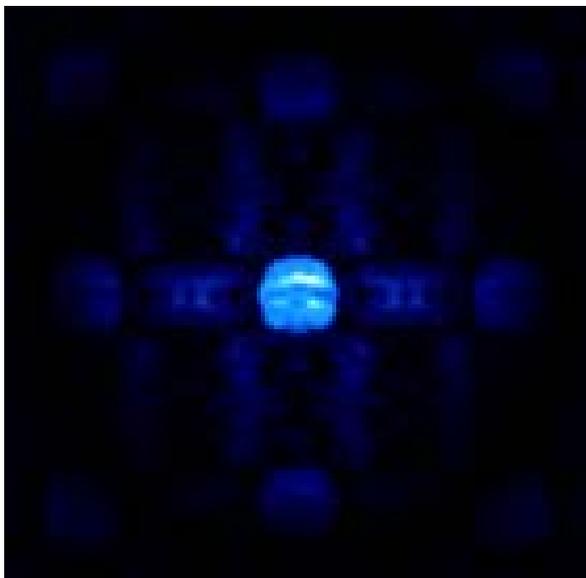


望遠鏡配列



観測像

RMSE : 0.422



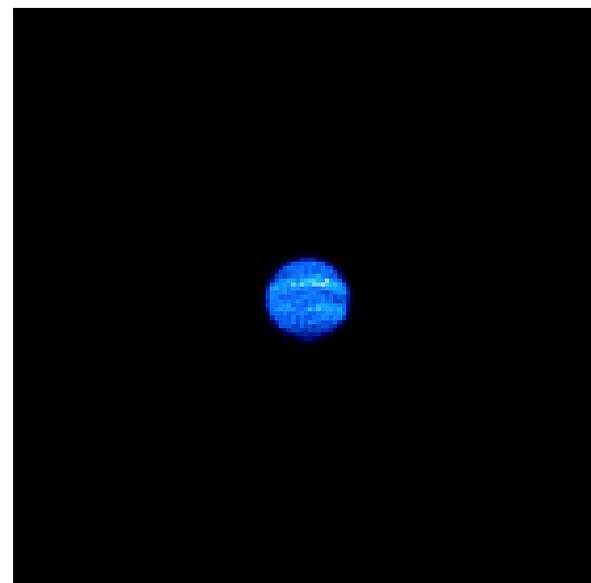
回復像(ウィナー) $\varepsilon = 10^{-7}$

RMSE : 0.193



回復像(リチャードソン・ルーシー)

$k = 1000$ RMSE : 0.164



回復像(クリーン) $\gamma = 0.05$

RMSE : 0.138

結論

計算機シミュレーションによってハイパー望遠鏡の観測像を得て、得られた像に対して3種類の画像処理を行った



結果を RMSE で評価



クリーンアルゴリズムが最もハイパー望遠鏡における画像処理に適していることがわかった



ハイパー望遠鏡による観測像の PSFが shift variant ため

Spaceborne hypertelescope

O. Lardiere, A. Labeyrie, S. Gillet, and P. Riaud,

“Spaceborne hypertelescope: A spacecraft formation flying controlled by solar sails”

