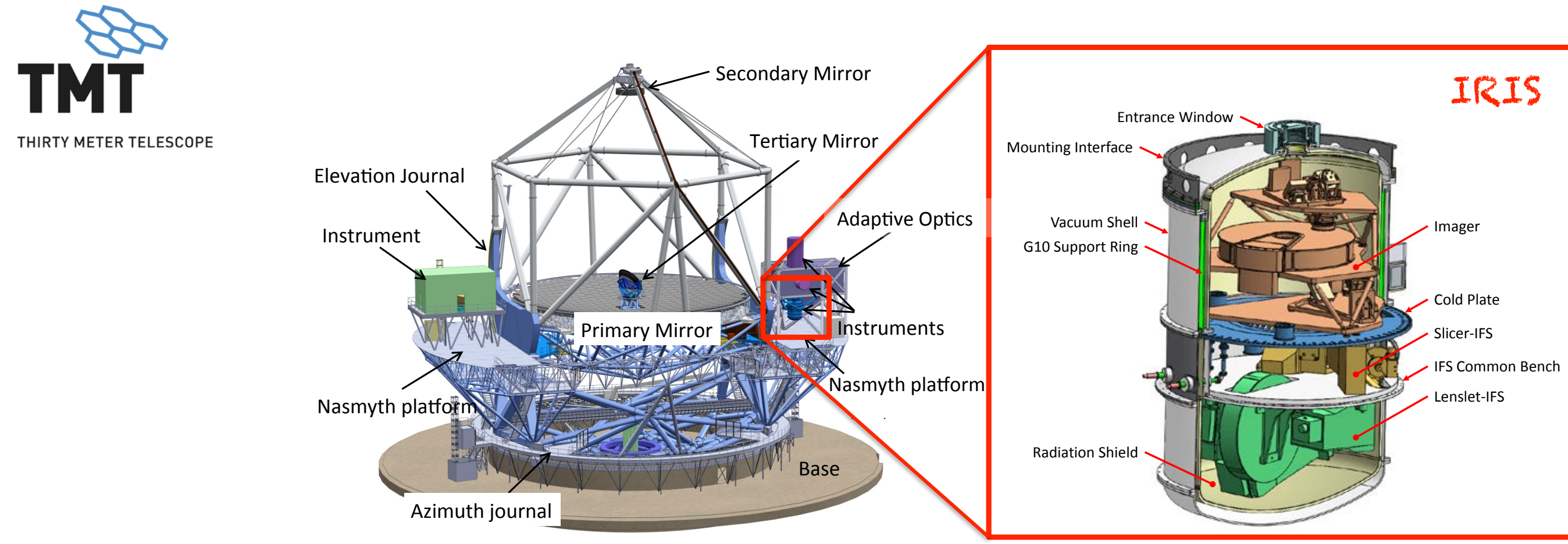


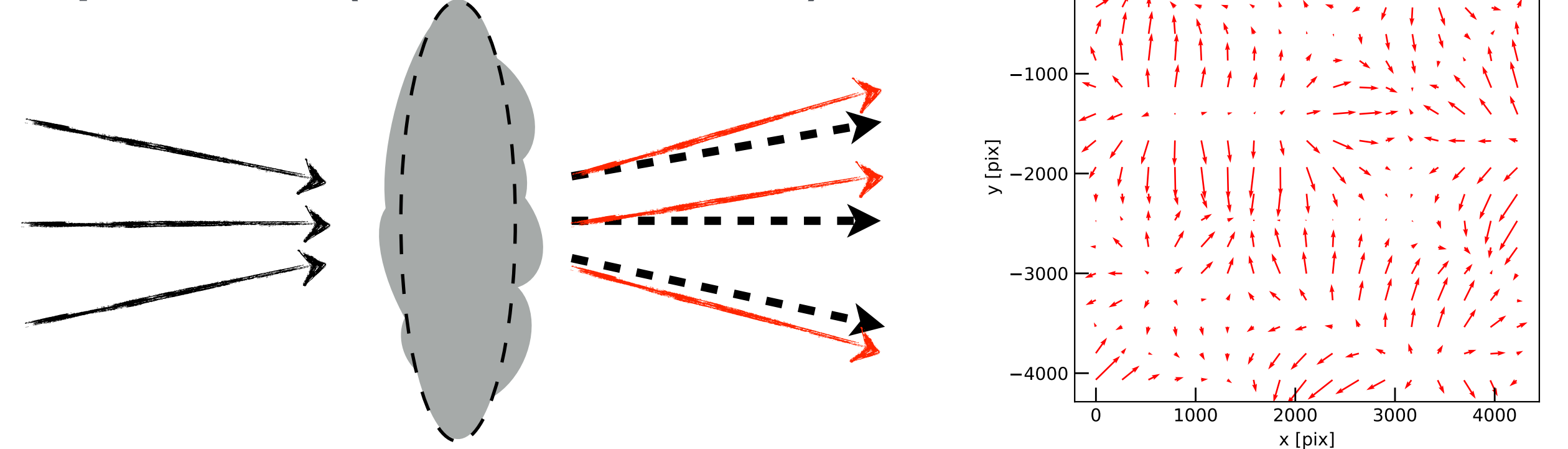
TMT第一期観測装置IRIS



InfraRed Imaging Spectrograph (IRIS) ※早野さんポスター参照
 近赤外領域(0.84-2.4 μm)で高解像度の撮像と面分光観測を行う。
 ナスミス台に設置される補償光学システムNFIRAOSに接続される。
 高精度アストロメトリ観測: 相対アストロメトリ: 50 μs の精度

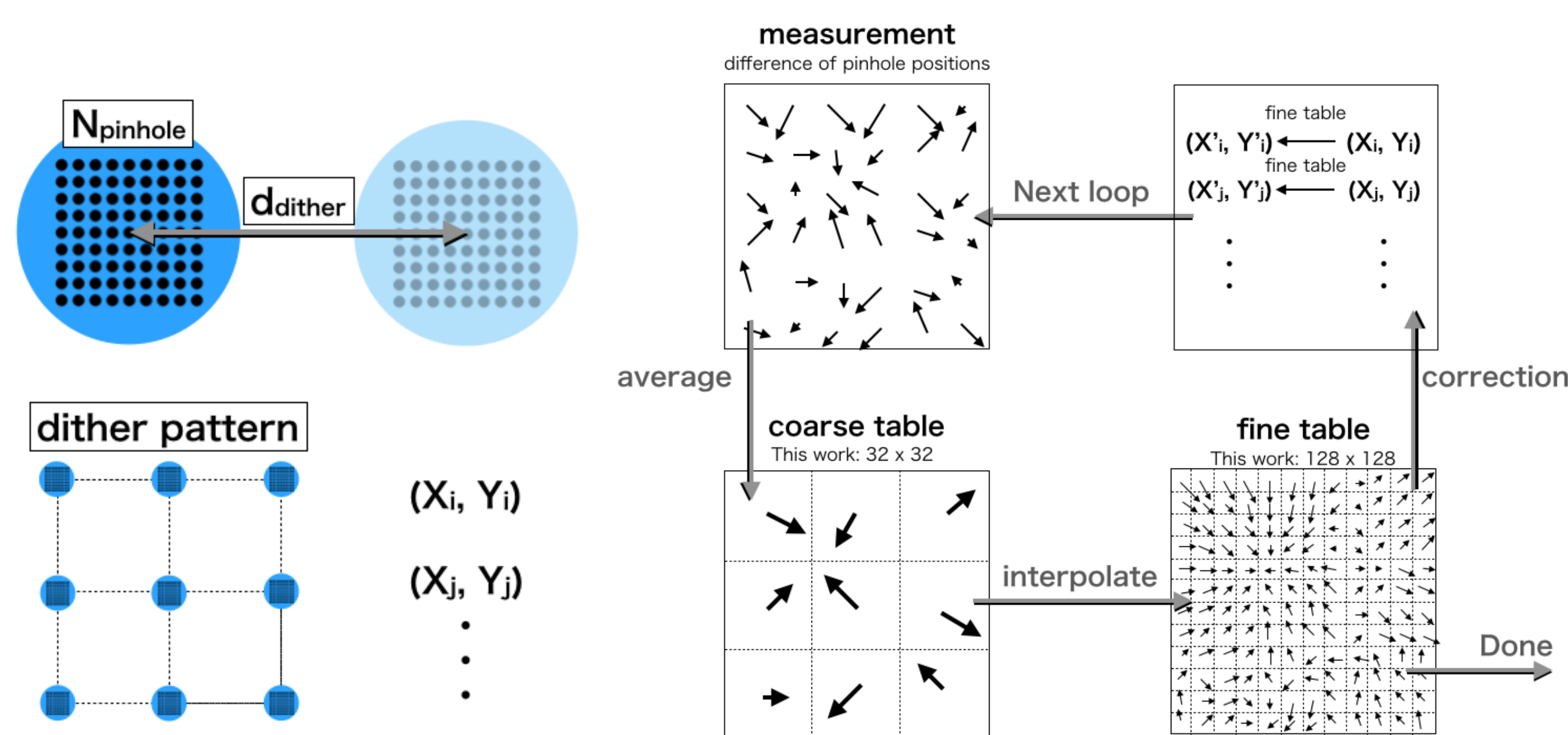
1. 光学歪みとその補正

NFIRAOS + IRIS起因の光学歪みによるアストロメトリへの影響:
 10 μs の精度(~25 nm@検出器上)



光学歪み: 形状誤差の空間周波数に対応した不規則な形状をもつ
 → 多項式フィットによる補正ができない
 光学歪みの測定方法: 位置がよく知られている光源を参照する
 → 高い精度で位置が分かっている参照光源は存在しない

2. Self-calibration method

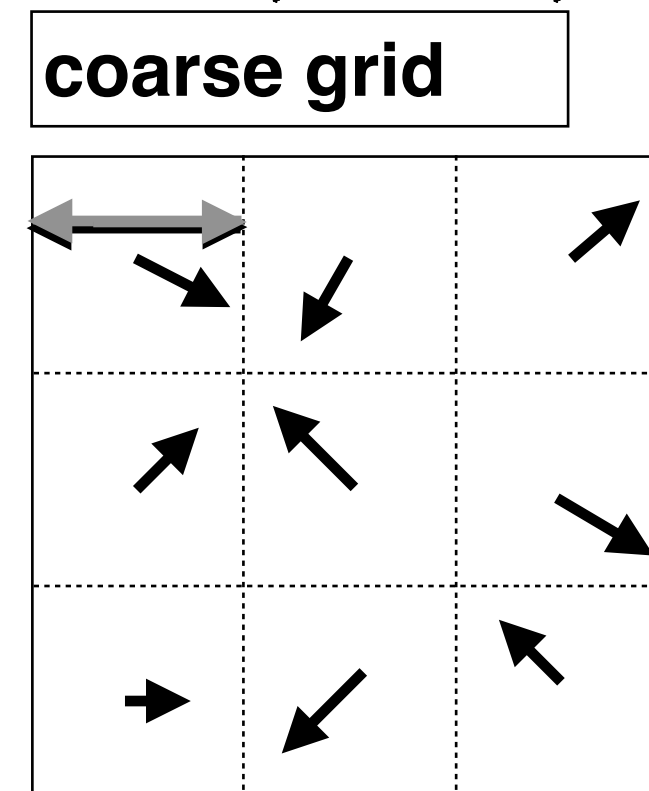


望遠鏡焦点面に搭載したピンホールマスクを
 並行移動させながら撮像し、測定位置の差分から光学歪みを抽出

- ・ 利点1: 補正テーブルにより高次の光学歪みを補正可能(Anderson&King 2004)
- ・ 利点2: 参照光源の精度を必要としない(ただし位置決定性能と安定性が必要)

3. 本研究

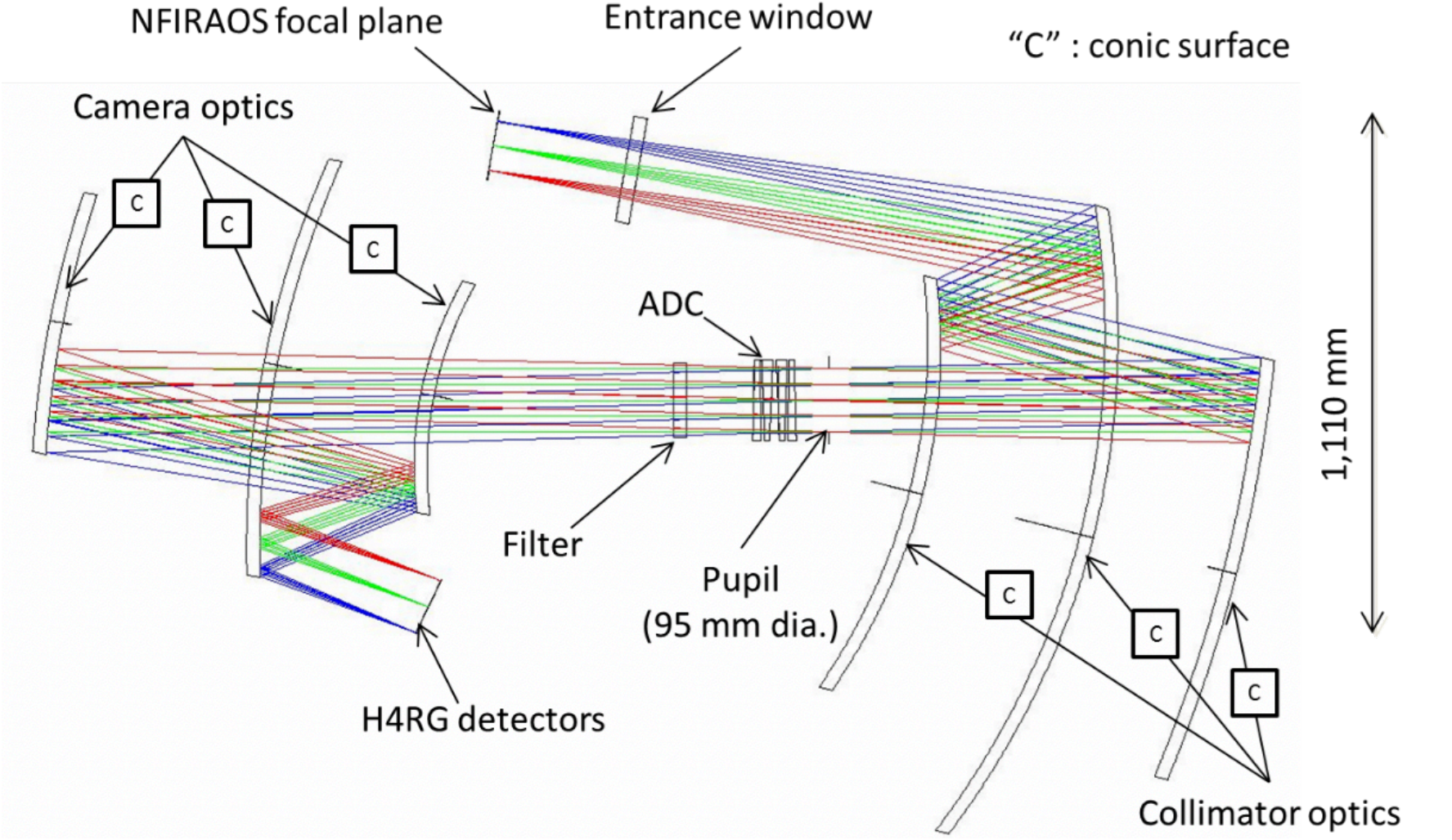
Lookup table parameters



Pinhole mask parameters

Mask Parameters	Model Parameters
Number of pinholes	9x9, 17x17, 33x33 and 65x65 ^a
Dither Length	0.4, 0.8, and 1.6 arcsec
Dither Pattern	3x3 and 5x5 ^b positions

IRIS撮像系の光学系 (Tsuizuki et al. 2016)



^a for intrinsic optical distortion analysis
^b for dither length analysis: 0.18-1.06 as
^c for sampling density analysis

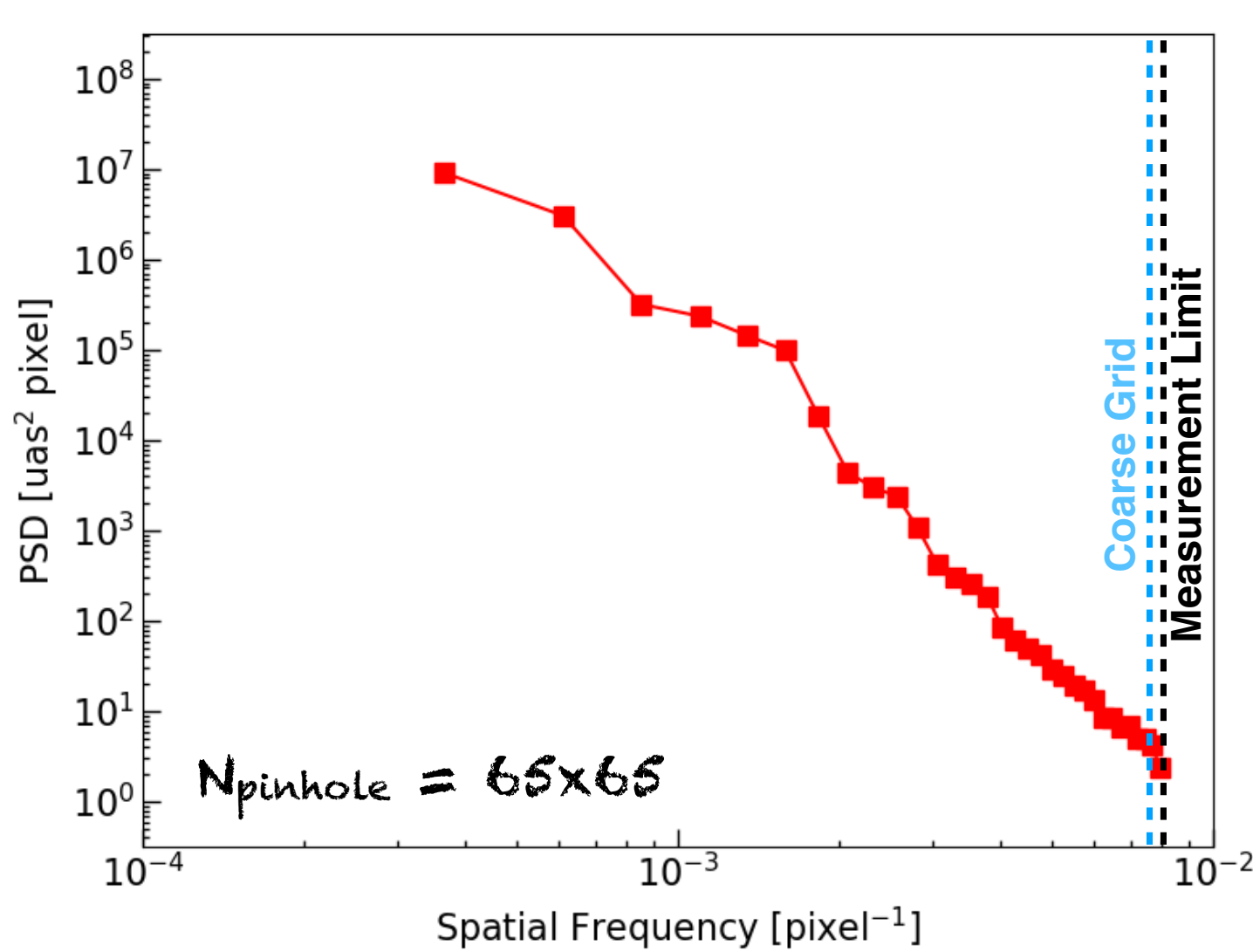
self-calibration methodの実装シミュレーション

→ NFIRAOS + IRIS光学系における補正精度を評価

- ・ ピンホールマスクのパラメータを変えたときの補正性能の特徴付け
- ・ 光学歪み補正精度が10 μs 以内となるベストパラメータの検討

4. 補正性能の特徴付け

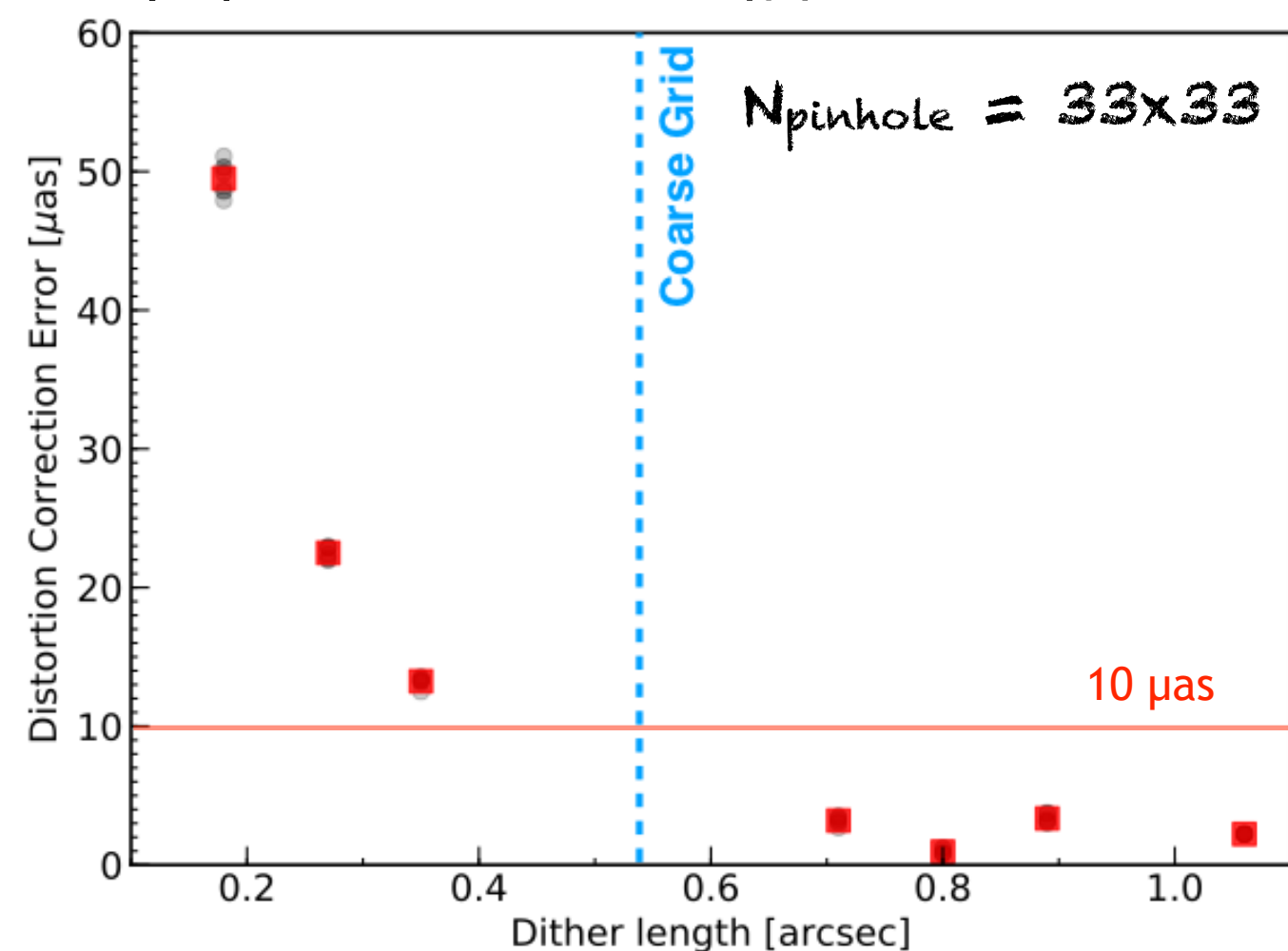
特徴1: 補正テーブルのグリッド幅を小さく設定→ 高次の歪みを抽出



calibrationする前のピンホール座標と
 simulationでの真のピンホール座標を
 比較 → 残差のpower spectrum

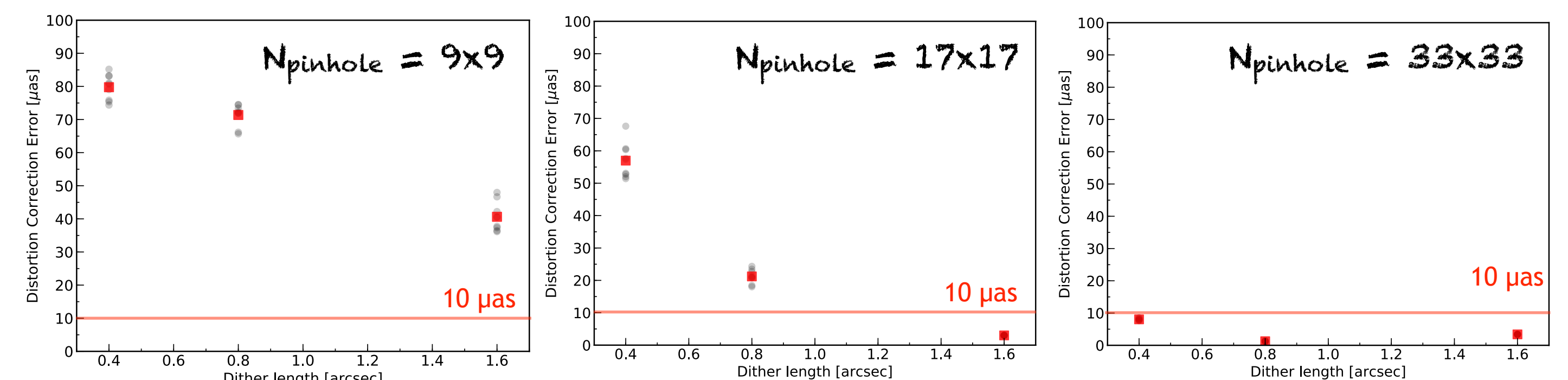
Lookup tableが補正可能な歪み= coarse gridと同程度の周波数をもつ歪み
 → 補正不可能な小さな歪みの寄与が
 目的の補正精度以内に十分収まるよう
 coarse gridを小さくするのが望ましい

特徴2: グリッド幅より長い dither距離→ 差分情報を相殺させない



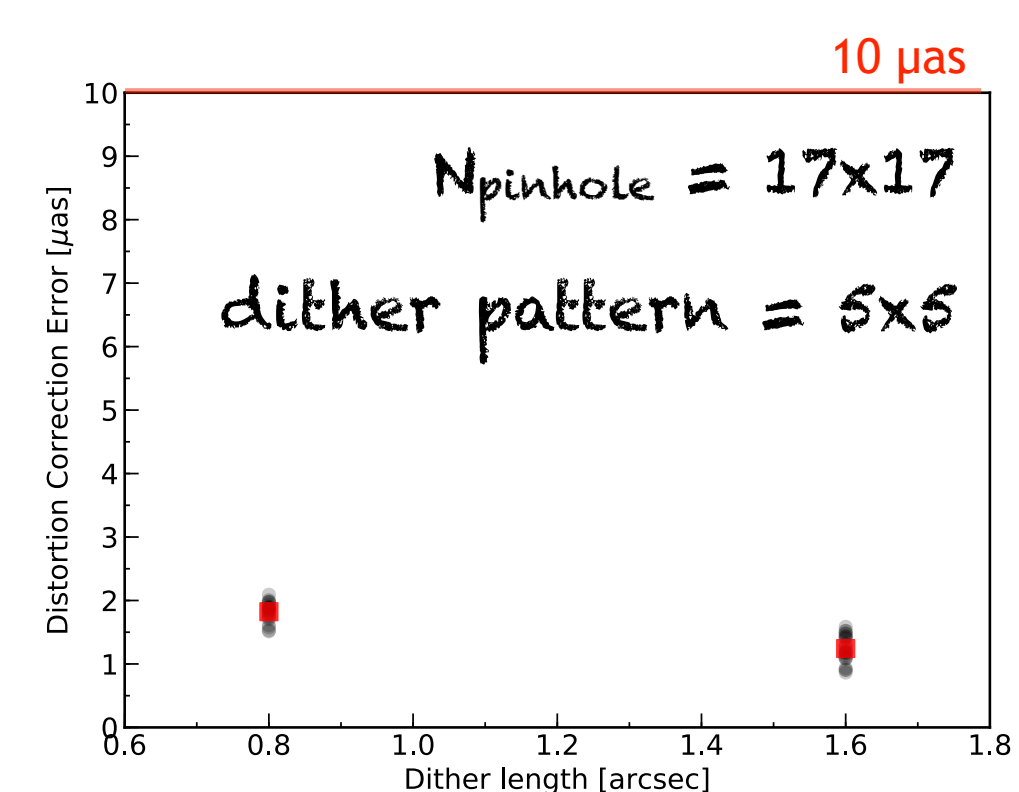
d_{dither} だけを変えた時の補正精度評価
 coarse grid以内のditherをした画像間の
 測定位置の差分はほとんど相殺される
 → $d_{\text{dither}} > \text{coarse grid}$ が望ましい

特徴3: 視野内一様なピンホール像の測定→ 補正テーブルの精度向上



(上図) d_{dither} 加えて N_{pinhole} を変えた時の補正精度評価
 (右図) $N_{\text{pinhole}}=17 \times 17$ でdither pattern=5x5にした結果

視野内一様なピンホール像の測定により補正精度向上
 → 補正テーブルの精度向上には N_{pinhole} を増やす、
 もしくはdither patternを増やすのが望ましい



特徴付けにおけるベストパラメータ

特徴1 → coarse grid = 128 pix in 4096 pix detector (32x32 coarse table)

特徴2 → $d_{\text{dither}} = 0.8, 1.6$ as ($>$ coarse grid = 0.531 as for 34 as detector)

特徴3 → $N_{\text{pinhole}}=33 \times 33$ かつdither pattern=3x3,

$N_{\text{pinhole}}=17 \times 17$ かつdither pattern=5x5 ($d_{\text{dither}} = 1.6$ asのときdither pattern=3x3でも可)

5. ベストパラメーター検討

望遠鏡焦点面へのマスク実装にかかる条件

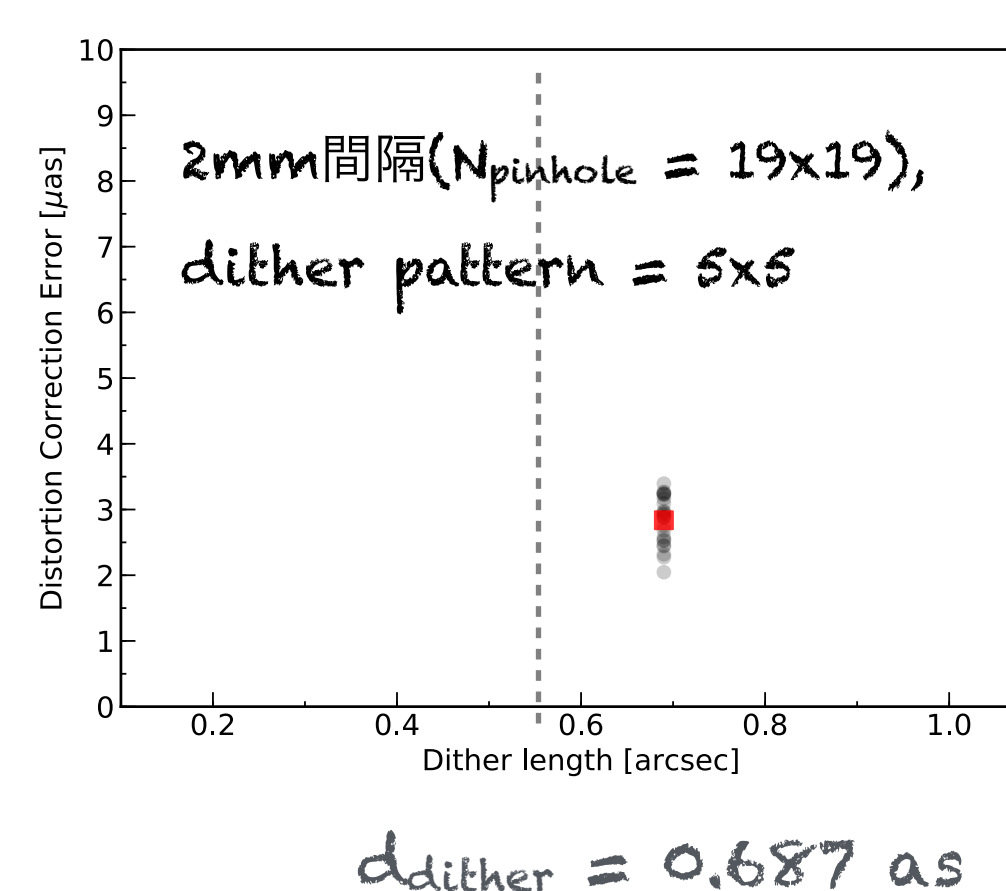
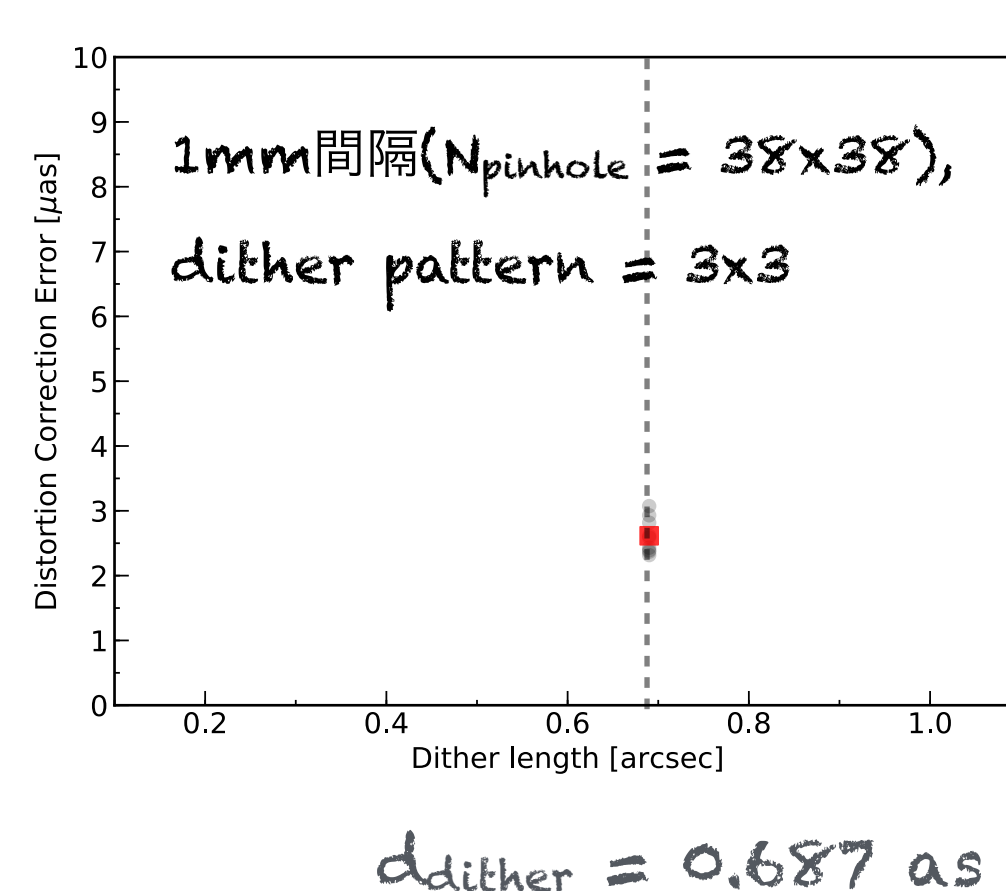
- ・ ditherの稼動域は +/- 1.5 mm (= 0.687 as)
- ・ マスクのピンホールは1mmまたは2mm間隔

条件下におけるベストパラメーター

特徴1 → coarse grid = 0.531 as

特徴2 → $d_{\text{dither}} = 0.687$ as ($>$ coarse grid)

特徴3 → $N_{\text{pinhole}}=38 \times 38$ (1mm間隔)かつdither pattern=3x3
 $N_{\text{pinhole}}=19 \times 19$ (2mm間隔)かつdither pattern=5x5



Self-calibration methodにより
 補正精度10 μs を達成可能性

※今後の課題: 測定誤差・測定の安定性の考慮
 とプロトタイピングによる実証