

大型宇宙望遠鏡の光学試験のための 新しい波面縫い合わせ法の開発

國生拓摩、金田英宏、山岸光義(名古屋大学)、内藤聖貴、今井正、片山晴善(EORC/JAXA)、中川貴雄(ISAS/JAXA)、尾中敬(東京大学)

Introduction

望遠鏡の光学試験 = オートコリメーション法

望遠鏡と同程度のサイズの平面鏡が必要

しかし、将来の宇宙望遠鏡(口径1~3 m)クラスの平面鏡を製作するのは困難

そこで、

小型平面鏡で一部の領域を測定し、それを開口面全体の測定結果に「縫い合わせる」→ **Stitching法**

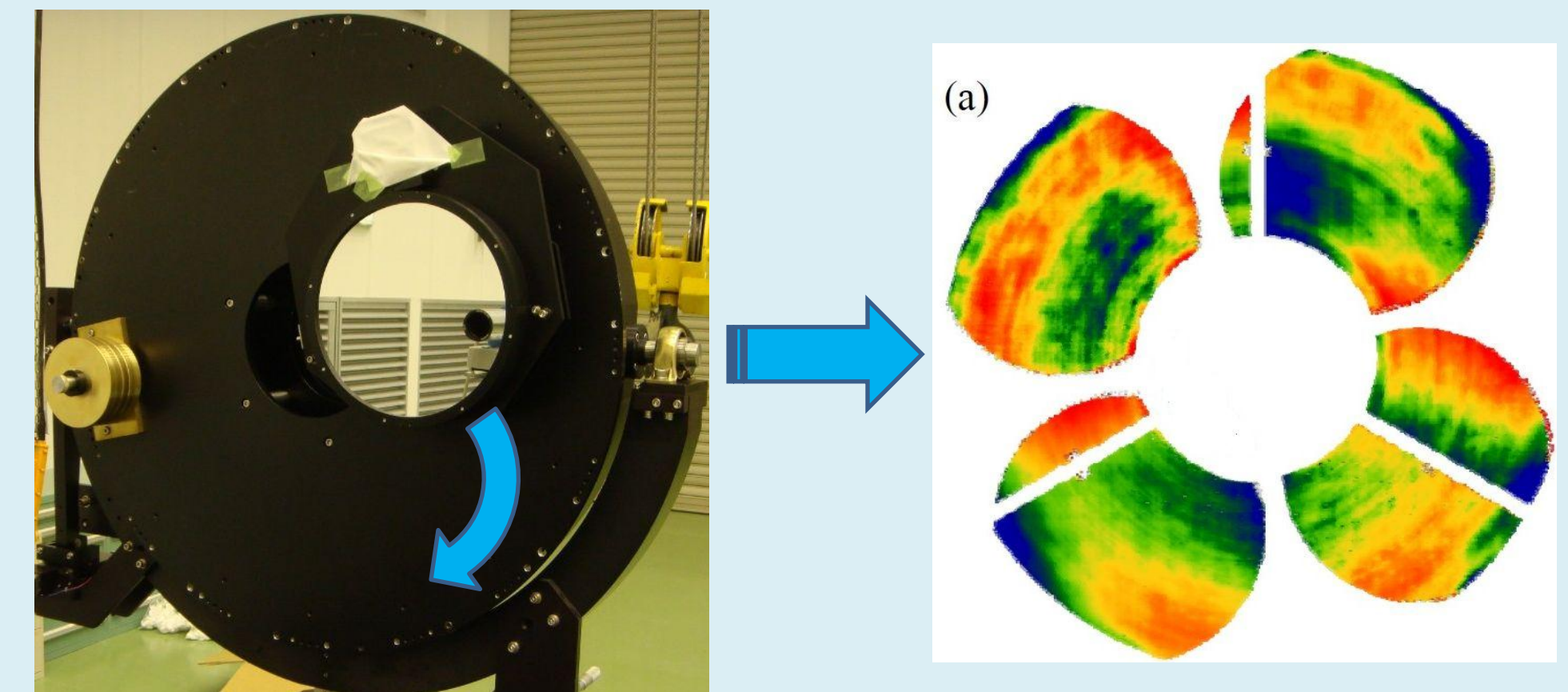
本講演では、この手法についての実験の最新成果と、SPICA望遠鏡などの低温下での光学試験への適用について紹介する

Configuration



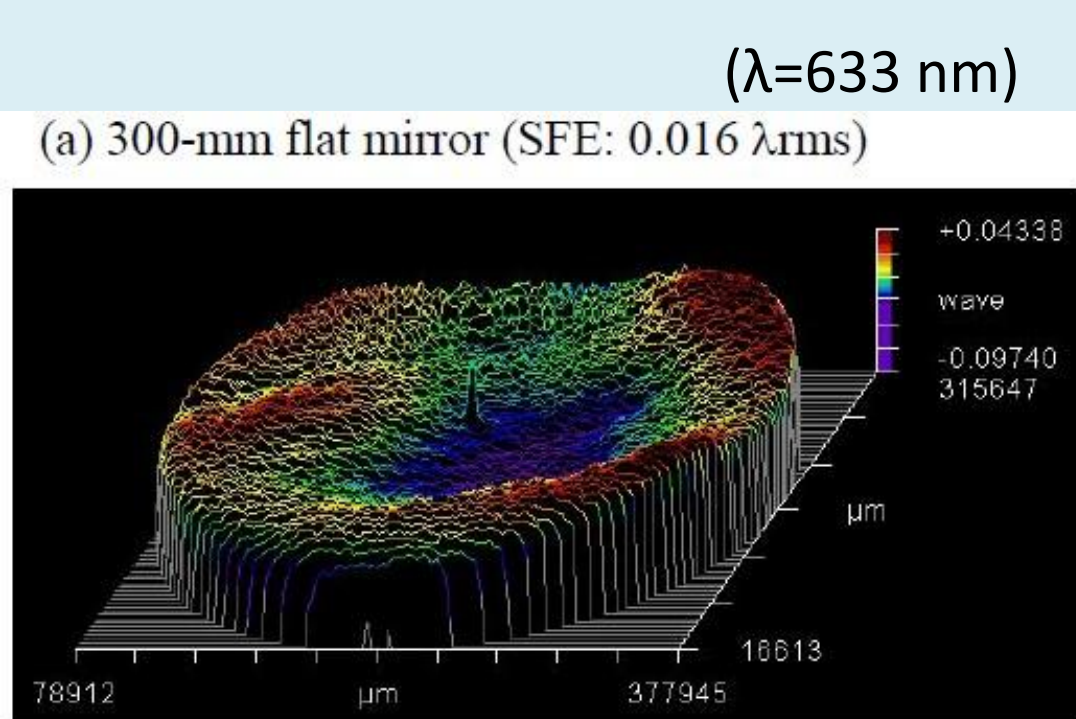
上図: 主鏡と平面鏡の配置
右図: 平面鏡と各位置での測定結果

- $\phi 80$ cm主鏡と $\phi 30$ cm平面鏡を使用
- 主鏡の焦点位置に高速干渉計
- 平面鏡を1ステップ 22.5° で回転 → 計16ステップ

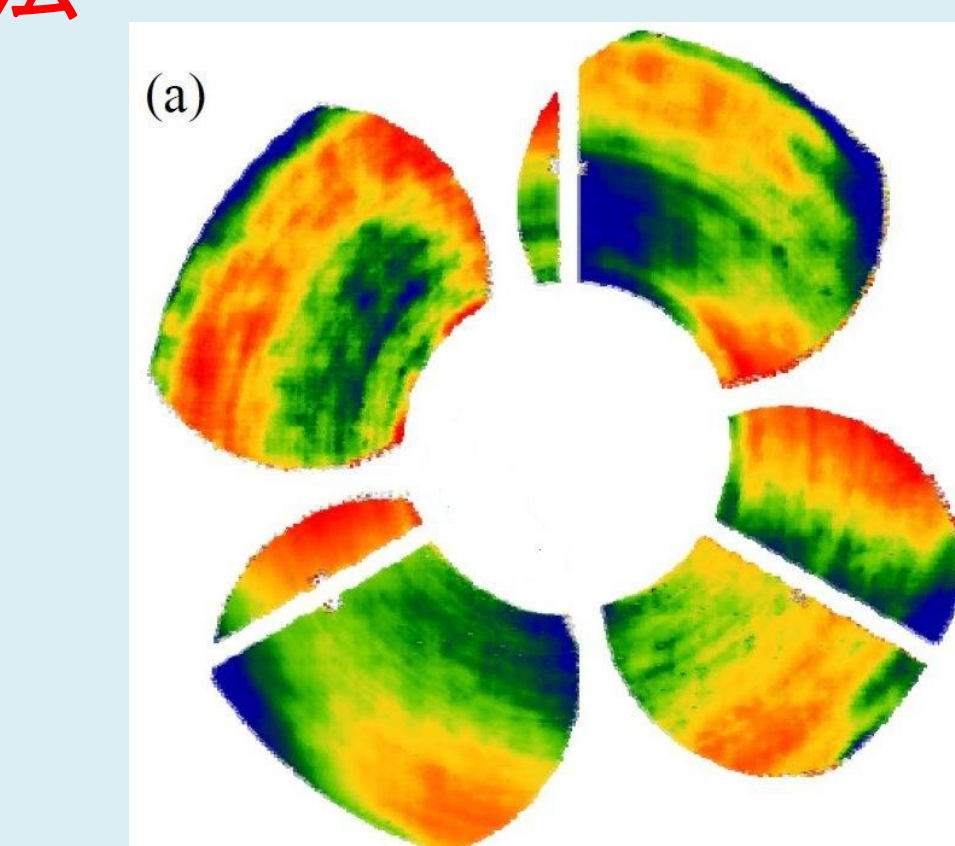


Stitching interferometry

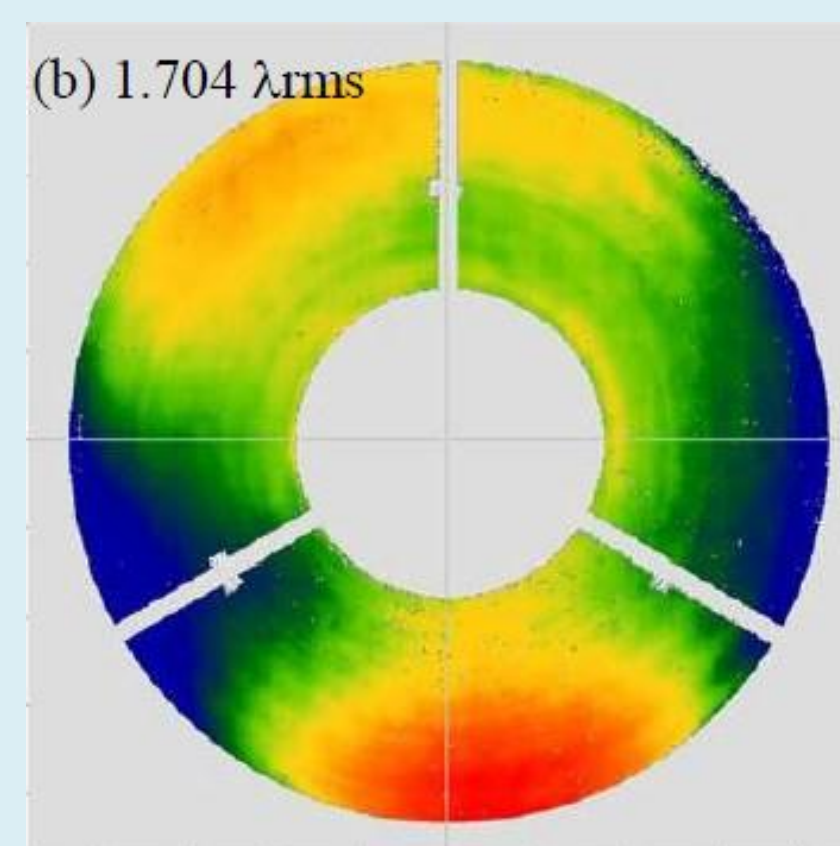
- 各サブアパーチャー位置での測定結果(16セット)を結合する
- アルゴリズムは**最小二乗法**



$\phi 30$ cm平面鏡の形状誤差: 0.016λ RMS

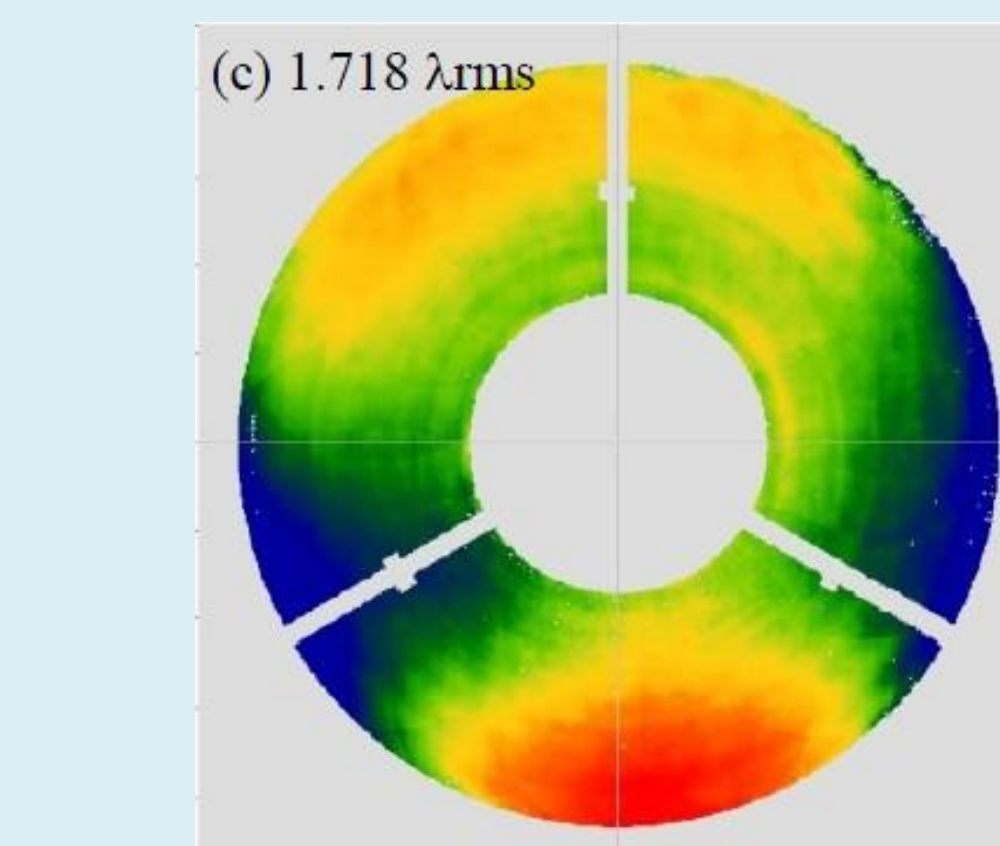


各サブアパーチャー位置での結果



Stitching結果

(Kaneda et al. 2012)



$\phi 90$ cm平面鏡による全面測定



$\phi 90$ cm平面鏡による全面測定

フルアパーチャー測定と同様の結果

→ **Stitching法の有効性を確認**

New method: Shearing + Stitching

- SPICA望遠鏡などの赤外望遠鏡の試験は、低温下(~ 6 K)で行う → **熱収縮、重力の影響で平面鏡が歪み、測定に影響を及ぼす**
- 平面鏡を微小移動させることにより、**望遠鏡とは独立に**、平面鏡の形状を抽出する(**shearing法**) → 測定結果に反映させる

Step 1: 平面鏡を微小移動させ、移動前後の差分をとる

$$[S(x', y) + W(x, y)] - [S(x, y) + W(x, y)] = S(x', y) - S(x, y)$$

微小移動後の平面鏡の形状誤差

微小移動前の平面鏡の形状誤差

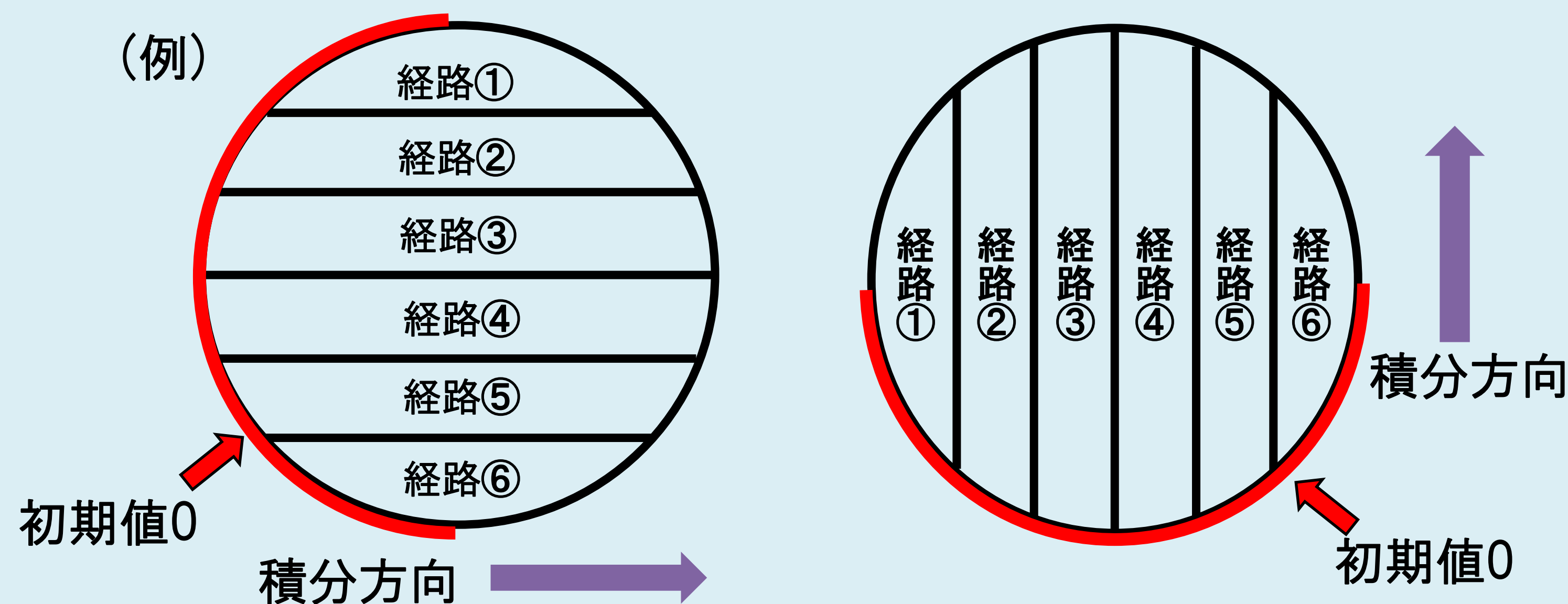
望遠鏡の透過波面誤差

Step 2: 差分を移動距離(Δx)で割る

$$[S(x', y) - S(x, y)] / \Delta x \approx \partial S(x, y) / \partial x$$

Step 3: 初期値を0として、Step2の結果を移動経路ごとに積分する

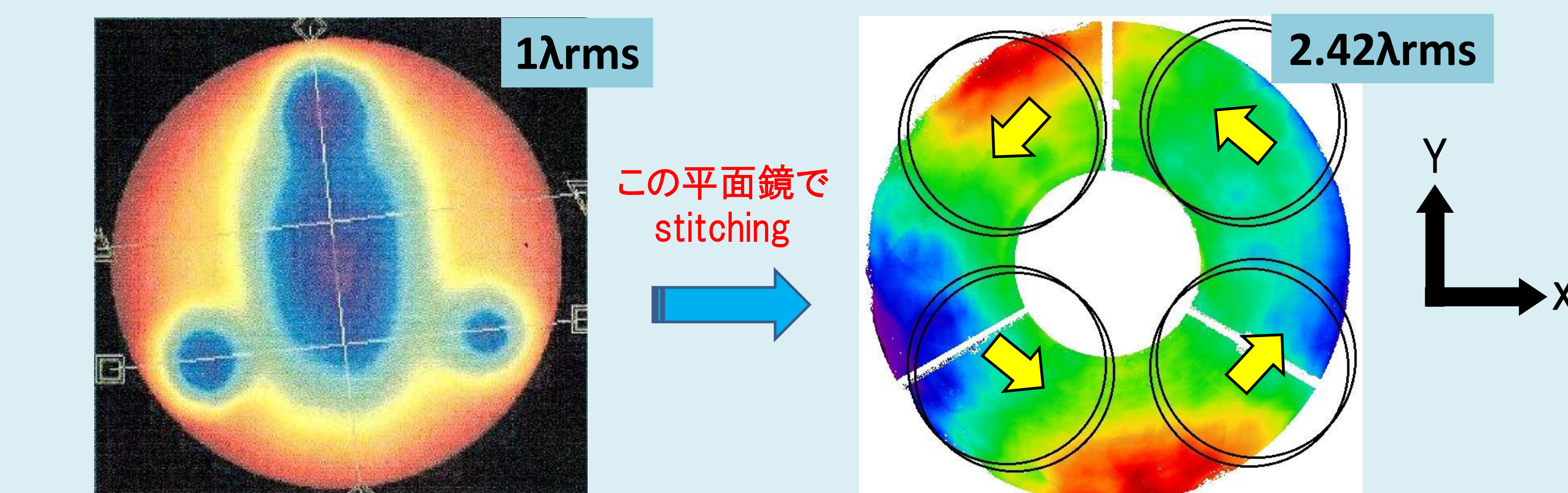
$$\int \partial S(x, y) / \partial x dx = S(x, y) ; S(x_{\min}, y) = 0$$



Step 4: Step3までの計算を1つのサブアパーチャーで x, y 方向について行い、各点での2方向の結果の差が最小になるように、経路ごとのオフセットを最小二乗法により求める

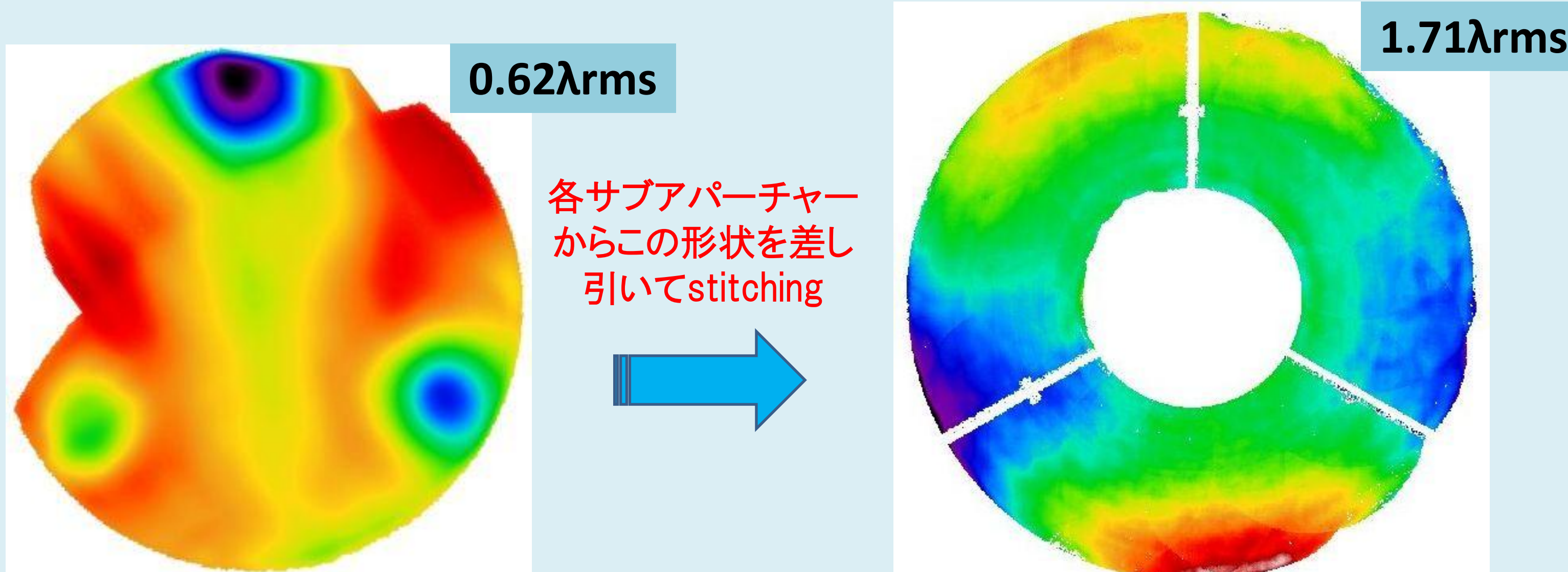
Step 5: 2方向の結果を平均する

※実際の測定では、サブアパーチャーが望遠鏡のトラスに大きく被らない位置で微小移動を行う。
→ 微小移動の方向を x, y 方向にするため、各測定結果を時計周りに 45° 回転してから解析



Shearing法の結果を検証するため、精度の悪い平面鏡を使用

解析に用いたサブアパーチャーの位置と、微小移動の方向



Shearing結果

Shearing結果をstitchingに反映

- Shearing法の結果を開口面全体の測定結果に反映させた所、 **2.42λ rms → 1.71λ rmsに改善**
- 平面鏡の全面を再現できていない → アルゴリズムの検討が必要

Summary

- Stitching法が、大型望遠鏡の光学試験で有効であることを確認
- 重力や低温下での熱収縮による平面鏡の形状の歪みが、望遠鏡の測定結果に影響を及ぼす
→ 平面鏡の歪みを測定結果から取り除く手法について研究を進めている

Reference: Kaneda, H., Naitho, M., Imai, T., et al. 2012, Proc. SPIE 8442, id. 84423T-84423T-6