

京大岡山3.8m望遠鏡の概要と シャックハルトマンカメラの性能評価

京都大学理学研究科修士1回生 伏見直茂

巨大望遠鏡をつくる

- より遠くの天体・より暗い天体を見たい

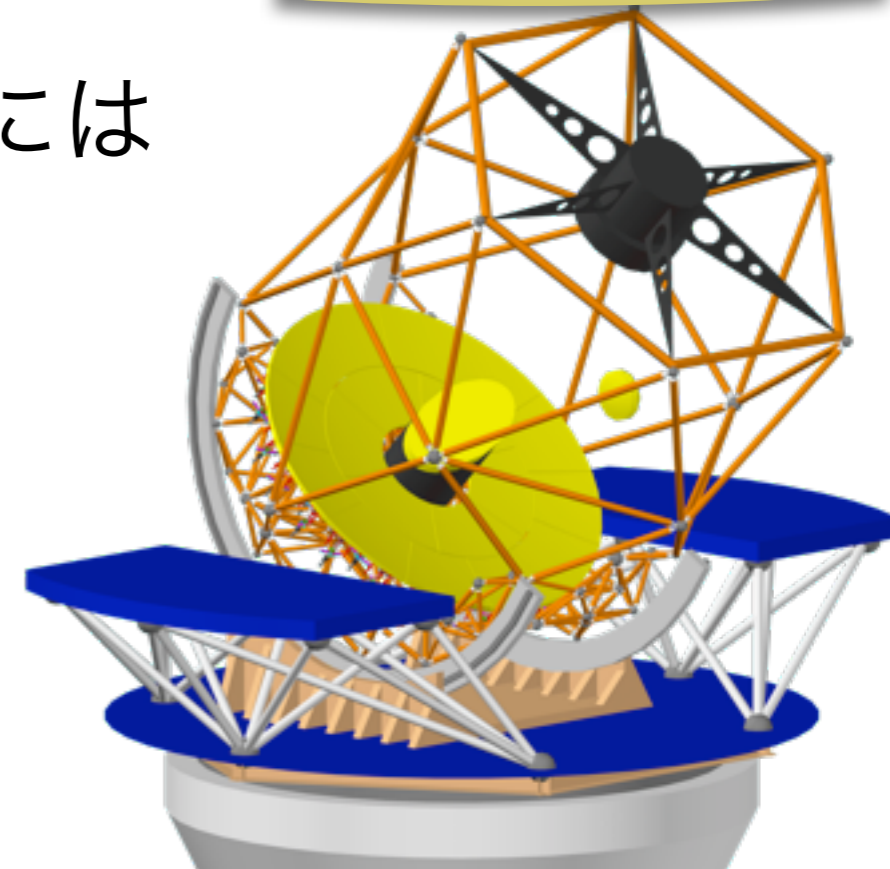
➡より大きな口径の望遠鏡が必要

- 主鏡を大きくしたいが、鏡は作れる大きさに限界がある

- 広い面積の主鏡を高精度で作るには多大な時間を要する
- 自重による変形が大きすぎる

➡主鏡を分割鏡にする

鏡磨くのにすばるで3年、30m鏡なら単純計算で48年かかる
自重の変形抑え→すばるのようなメニスカス鏡だとコストかかる



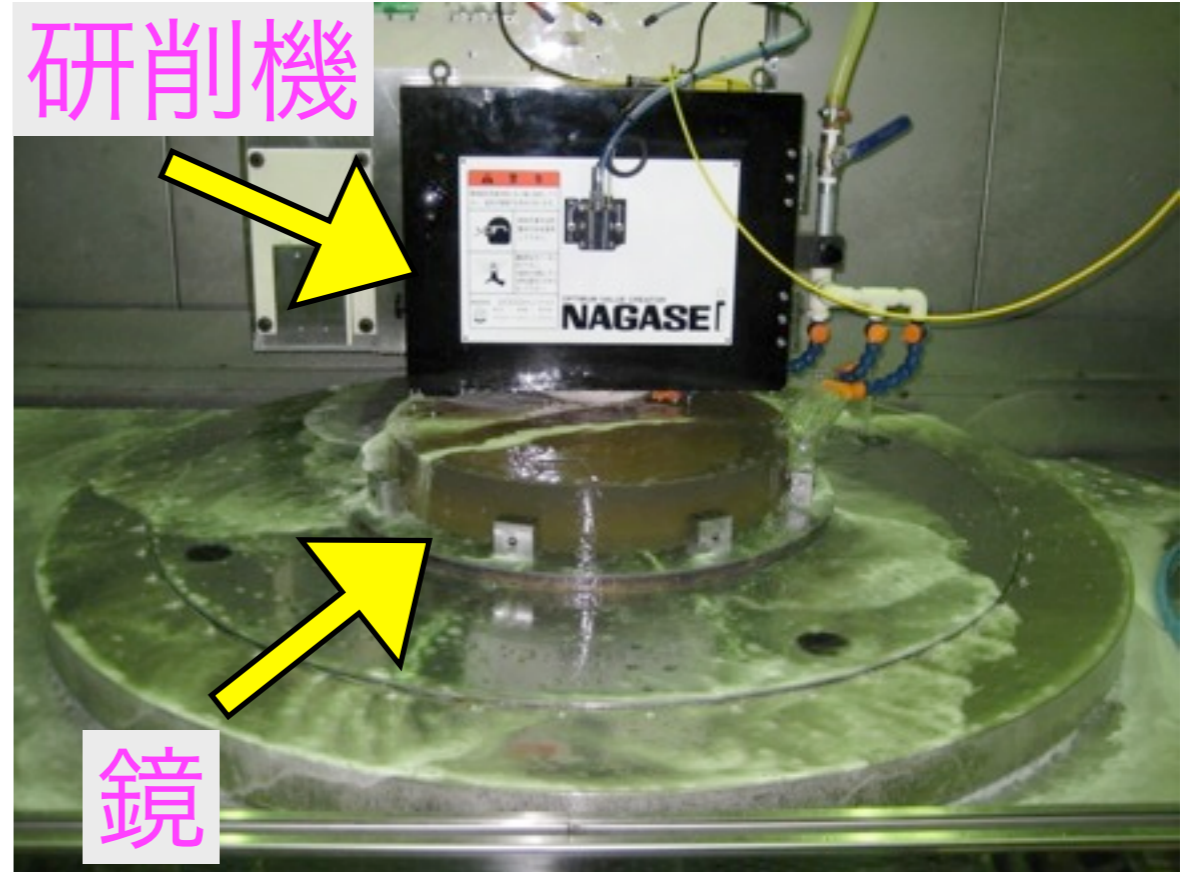
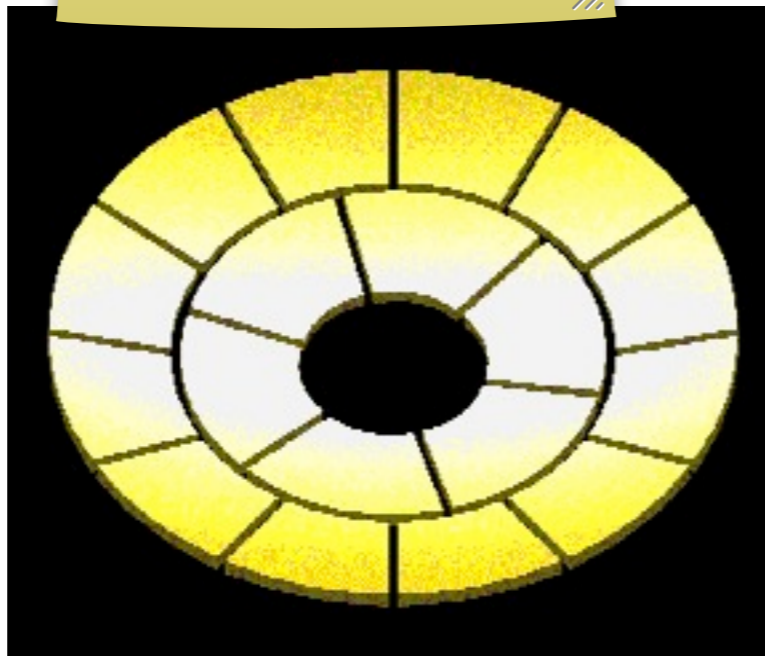
京大岡山3.8m望遠鏡

- 次世代の巨大分割鏡望遠鏡のプロトタイプ
 - ▶ 主鏡が18枚の分割鏡に
 - ▶ 鏡は研磨ではなく研削で作る（速くて安い）

研磨：力と時間をかけて磨くことで形を制御
研削：削って形を作る。**SSD**と呼ばれる小さな傷が残るので最後は研磨で仕上げる

岡山望遠鏡自体がもつ役割：現在日本上空に中口径の望遠鏡が無いのでそれを補完する。

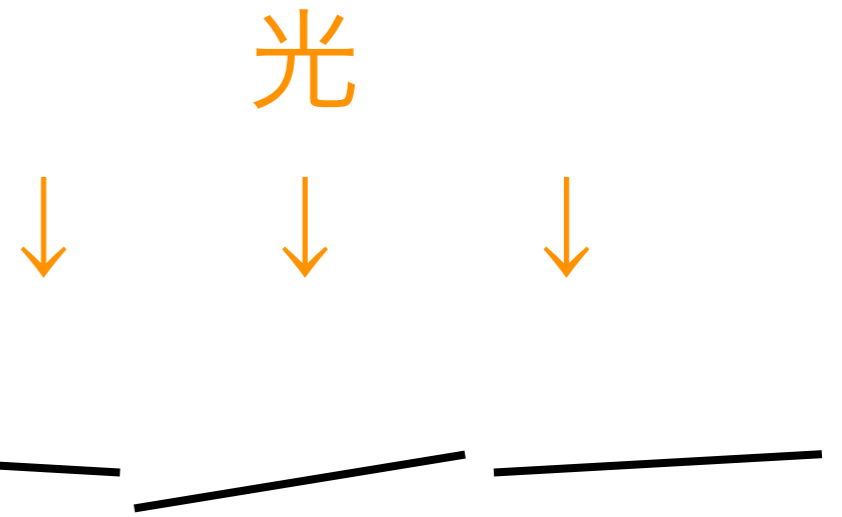
対角線長は内周
1028mm、外周
1051mm
分割鏡使うことで研削も並列作業ができる



主鏡形状のモニタリング

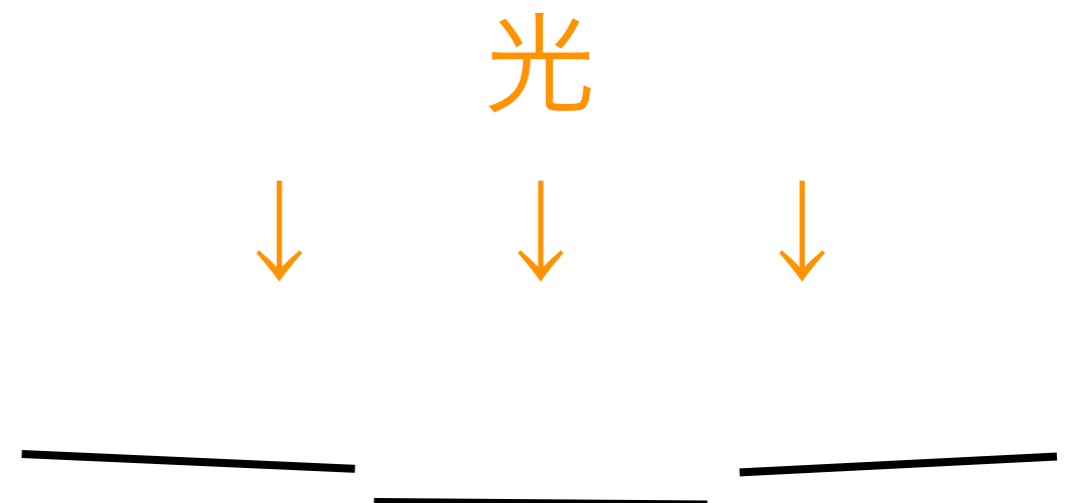
- それぞれの鏡の向きのずれ

→ シャックハルトマンカメラ



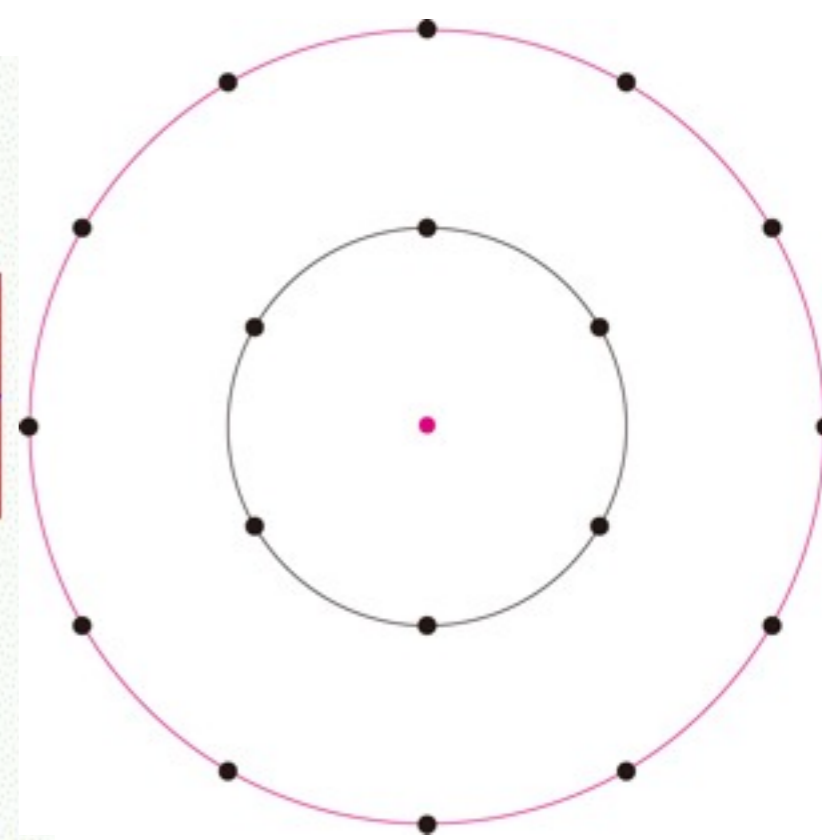
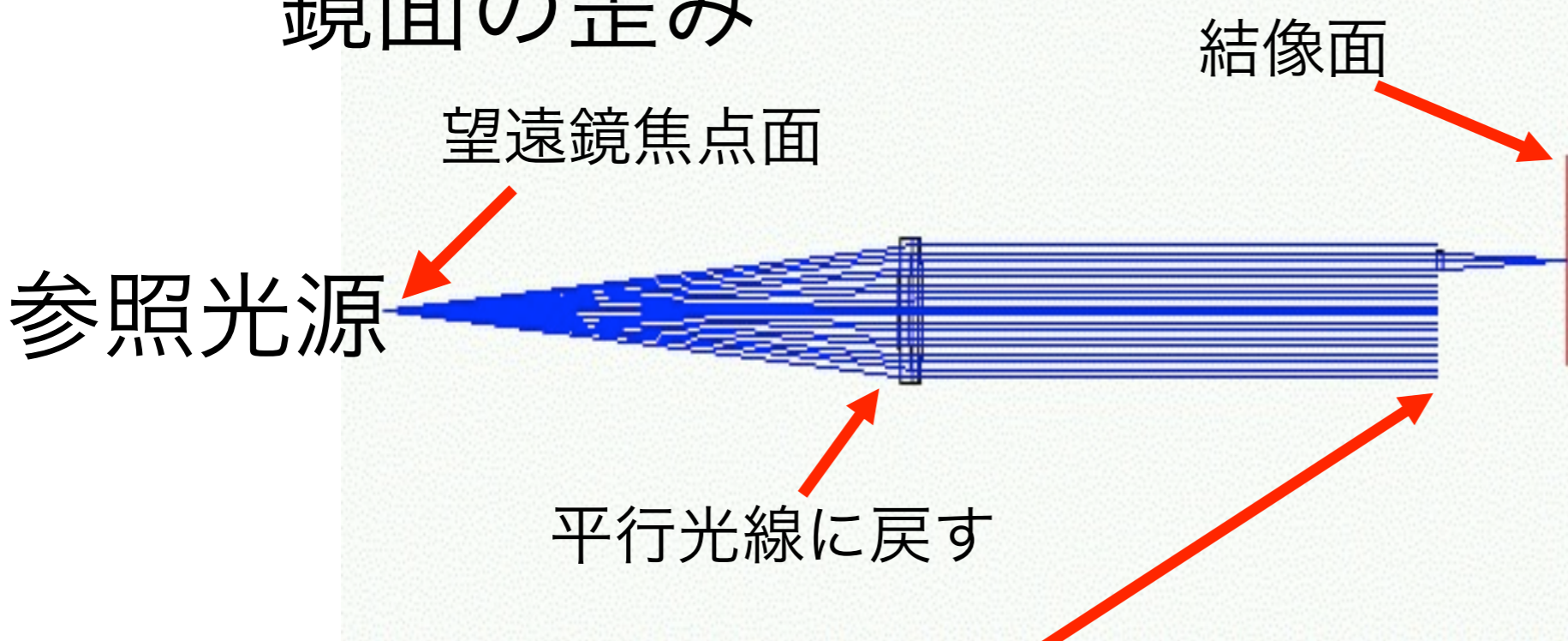
- 鏡の光軸方向の位置のずれによる位相のずれ (波の干渉)

→ 位相カメラ



シャックハルトマンカメラの原理

鏡面の歪み



18枚のレンズ（レンズアレイ）で
それぞれの分割鏡の光を集光

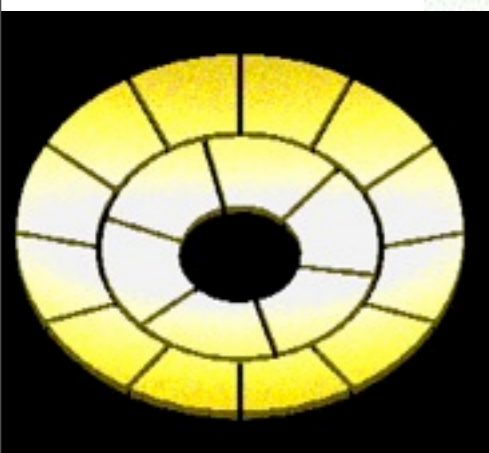


18個の点が
結像する

シャックハルトマンカメラの原理

鏡面の歪みが原因

ずれる

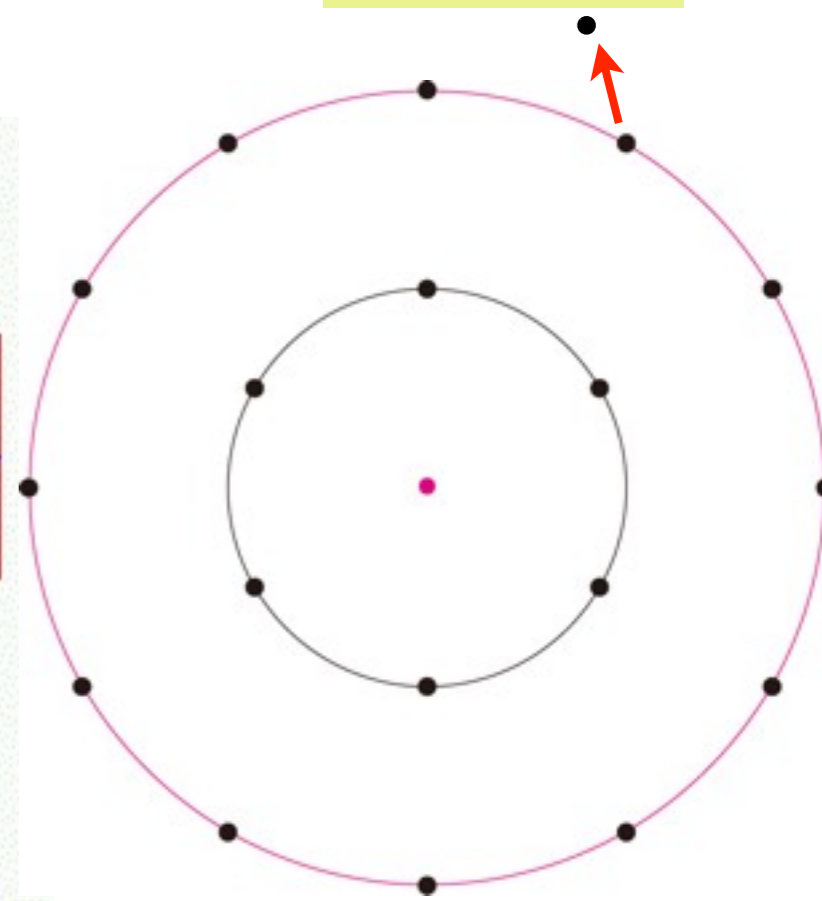


主鏡を通す

望遠鏡焦点面

結像面

平行光線に戻す



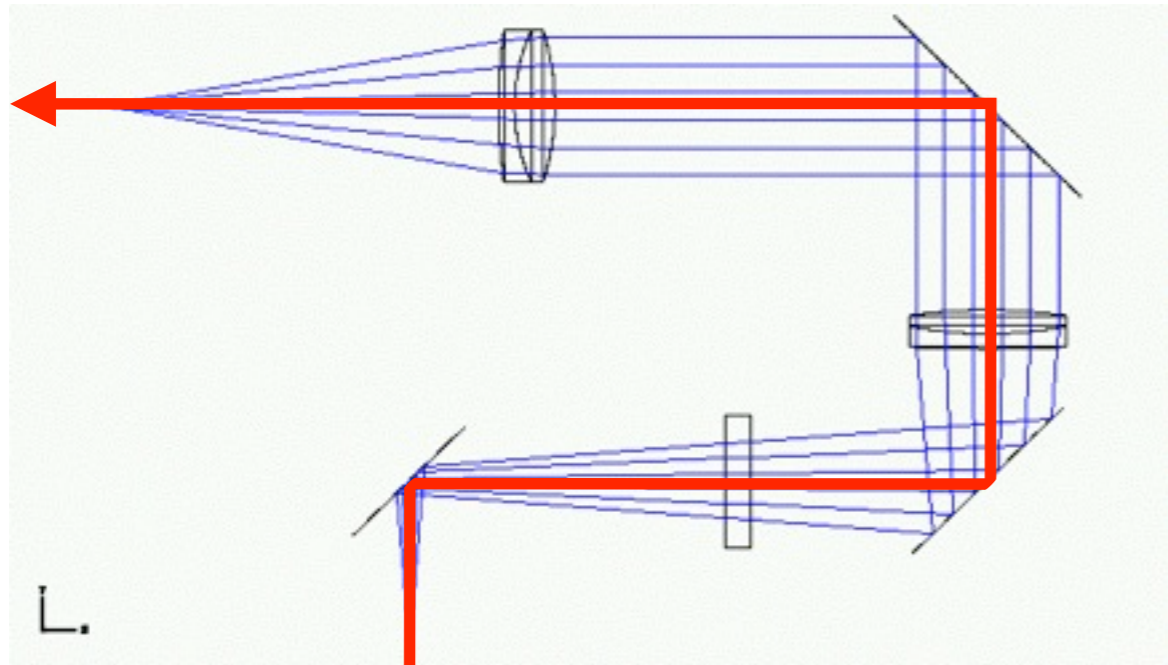
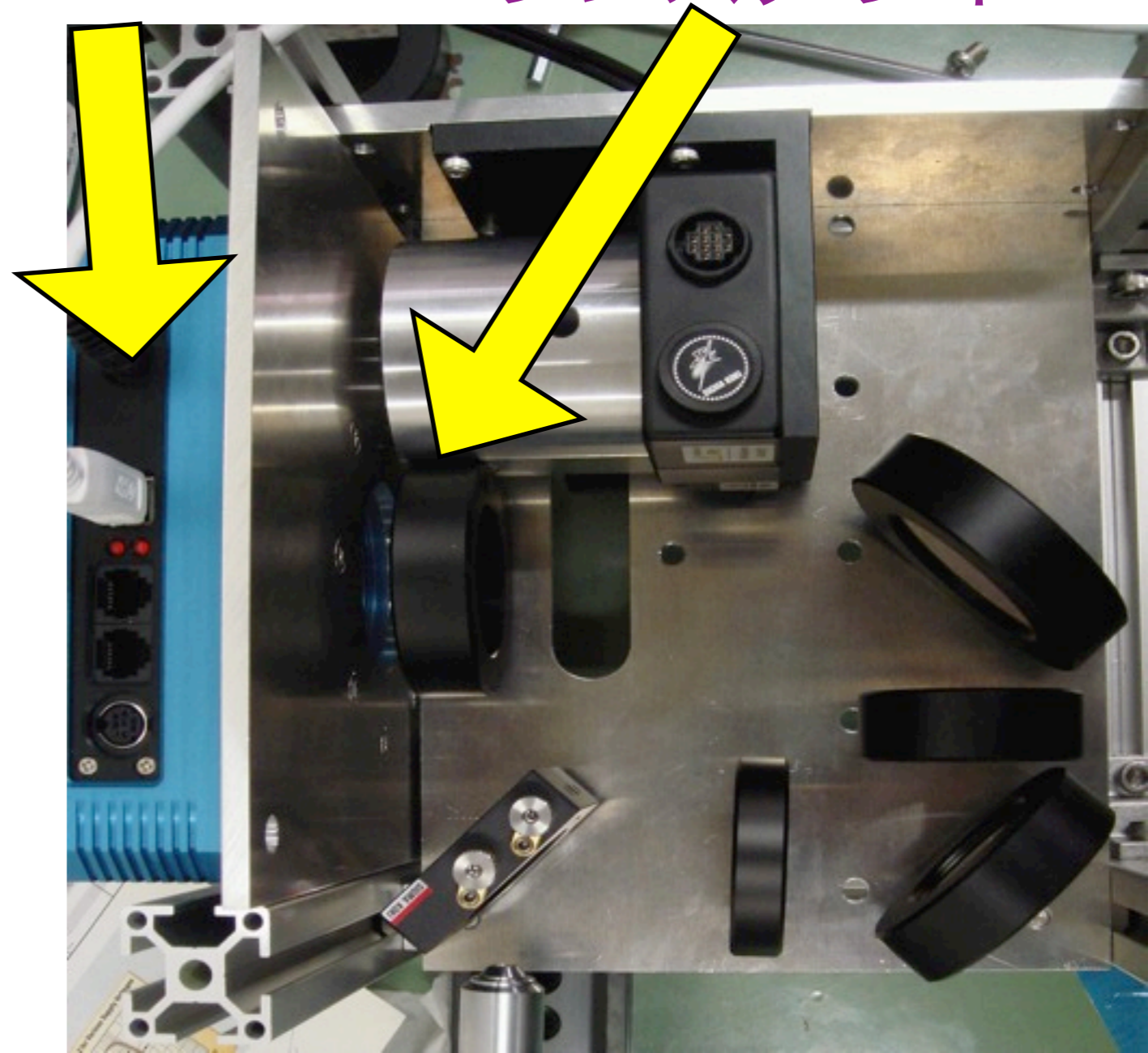
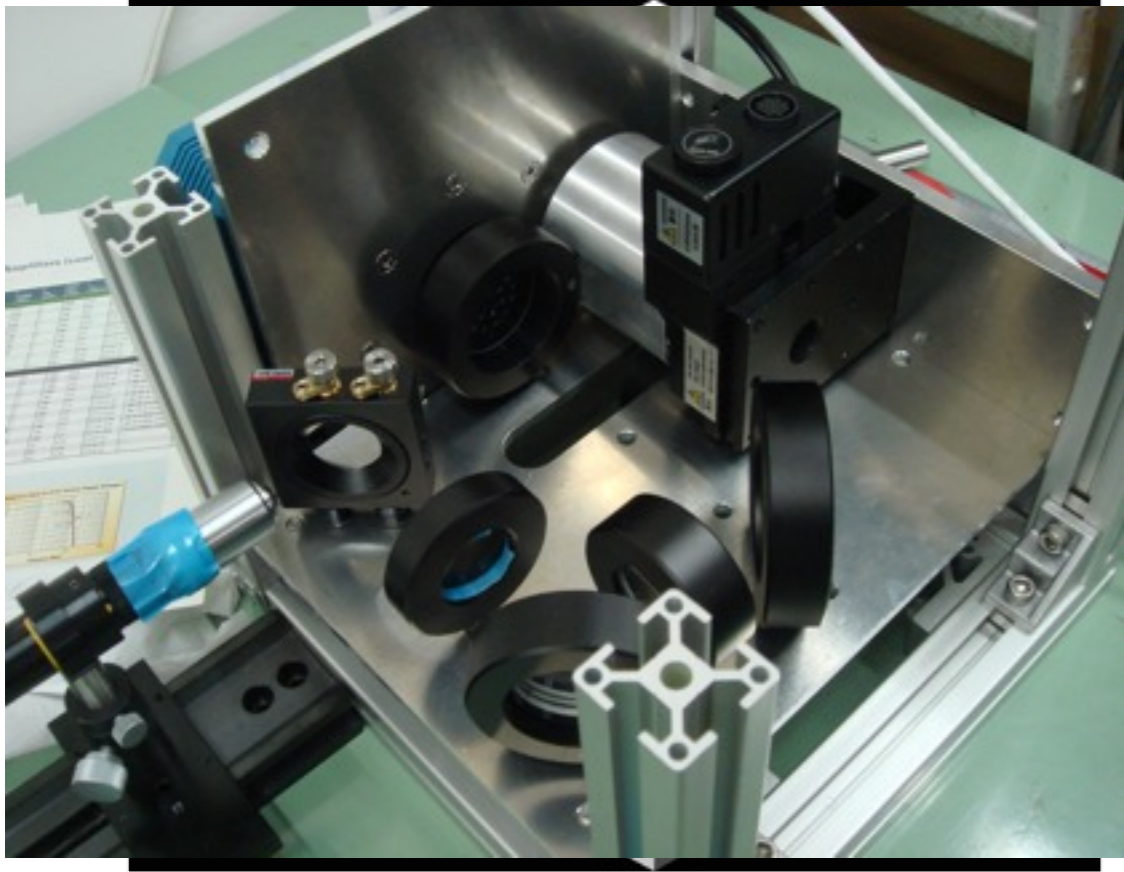
18枚のレンズ（レンズアレイ）で
それぞれの分割鏡の光を集光



設計・完成

カメラ

レンズアレイ

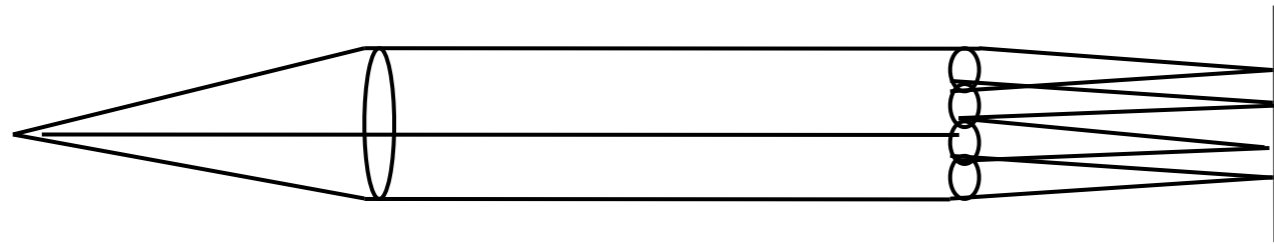


光学系

完成したカメラ

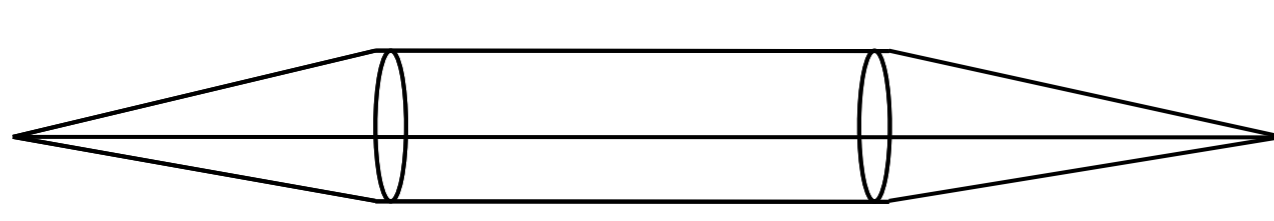
光学系には3つのモードを用意

マイクロレンズモード



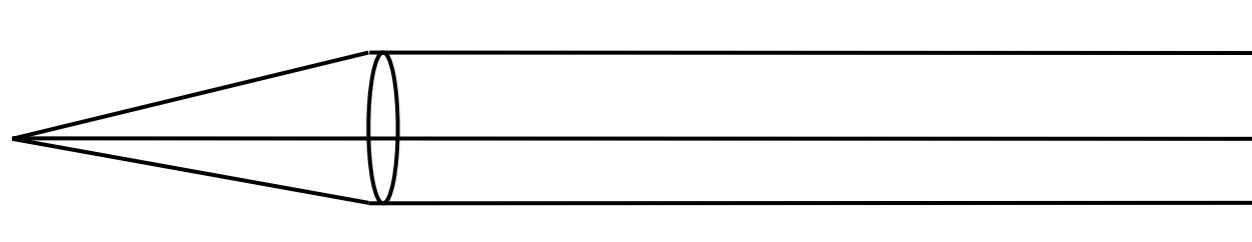
- 分割鏡ごとに結像
- 鏡面の向きを調べる

単レンズモード



- 一点で結像
- 調整後の確認として用いる

レンズ無しモード



- 望遠鏡の瞳像の確認

性能のテスト

鏡の歪みに相当する光路変化を検知できるか調べる

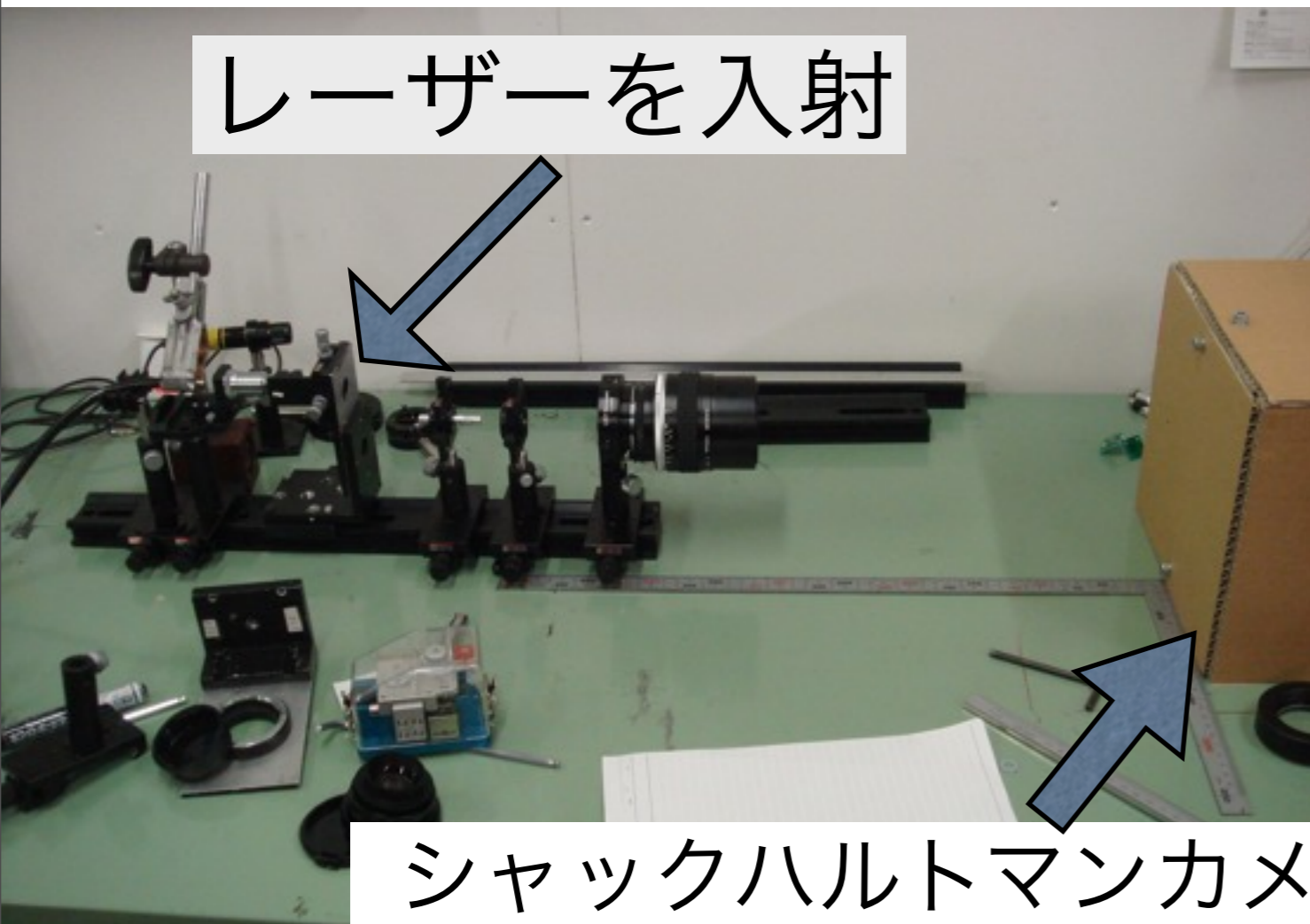
1. はんだごてを使って空気揺らぎをつくって観測する
2. レンズを通したときの像をとることでレンズの収差を検出する

実験の方法

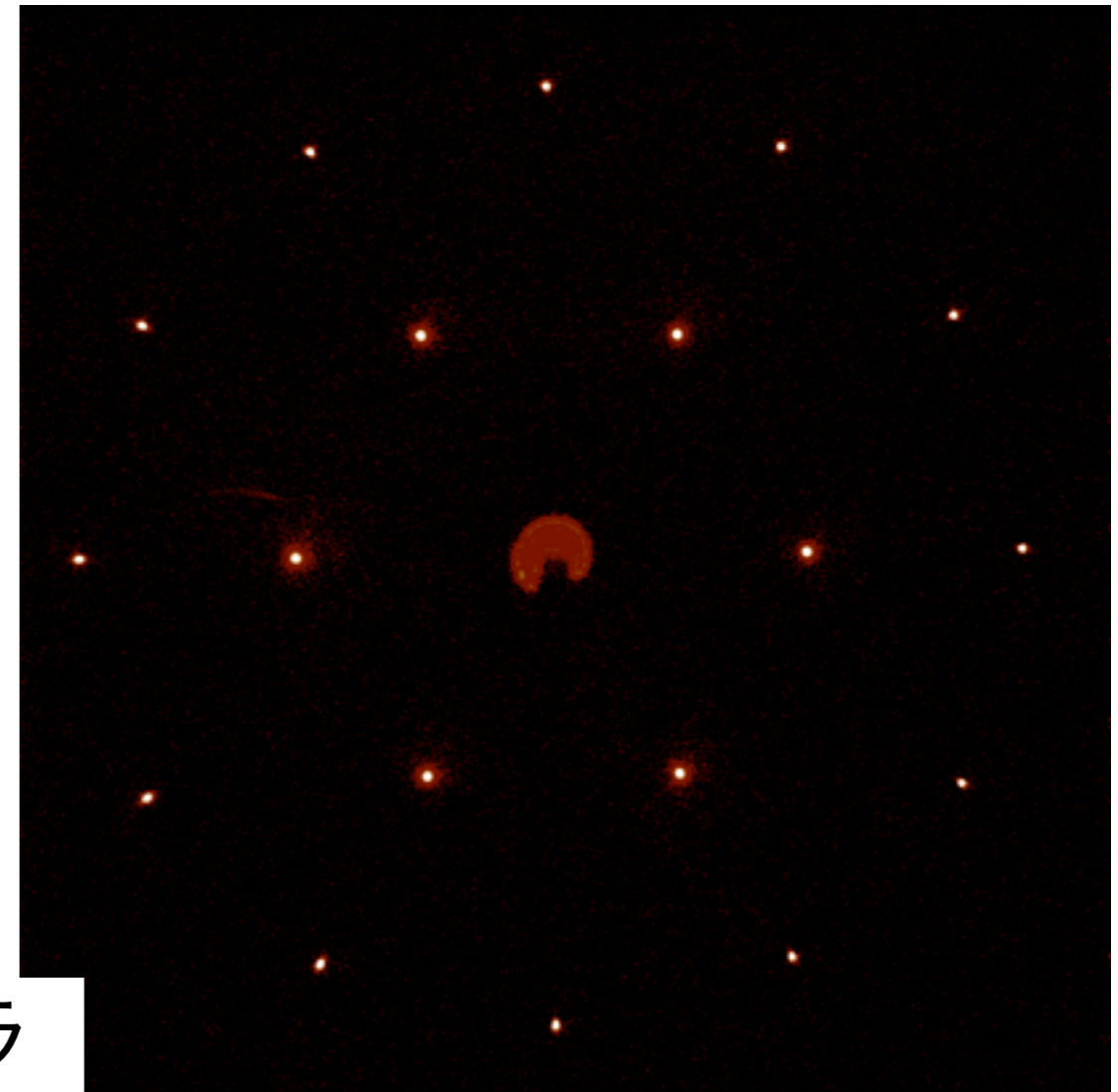
- 光源を直接入射させた場合の18点の画像をとり（右下図）、各点の重心位置を測定
- はんだごてやレンズを通して同様に測定

壁面に段ボールを使用したのは、遮光性が良くかつ軽いから。
余計な光が入らないように部屋は暗くした

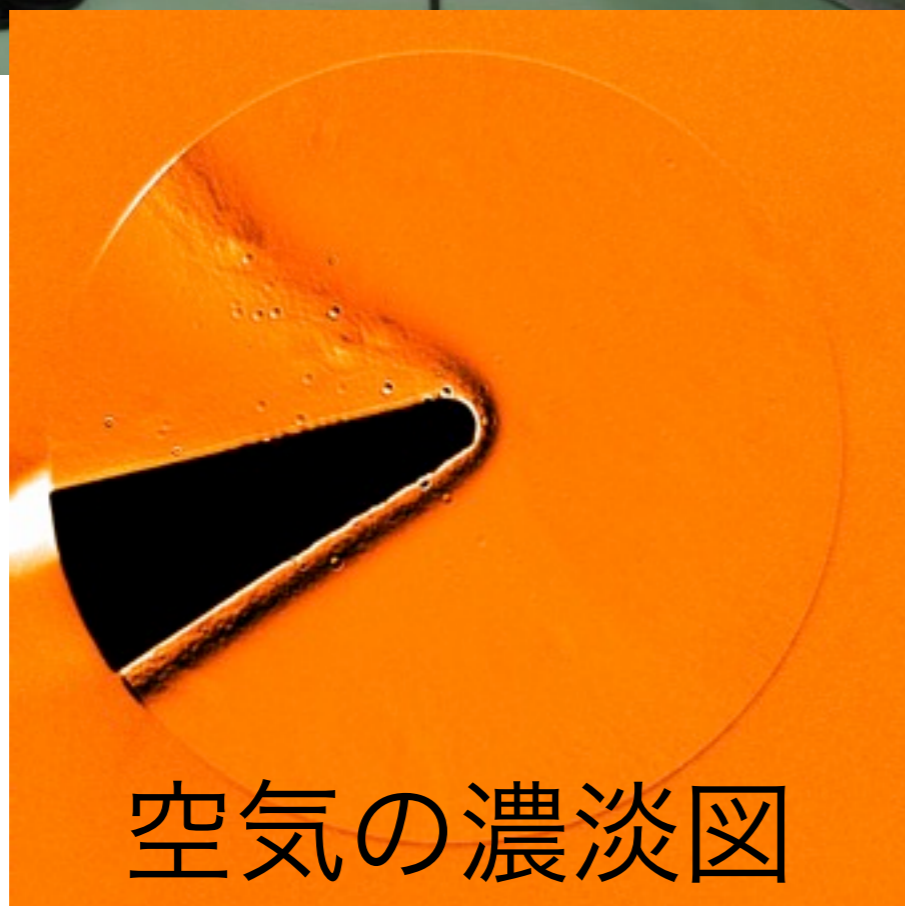
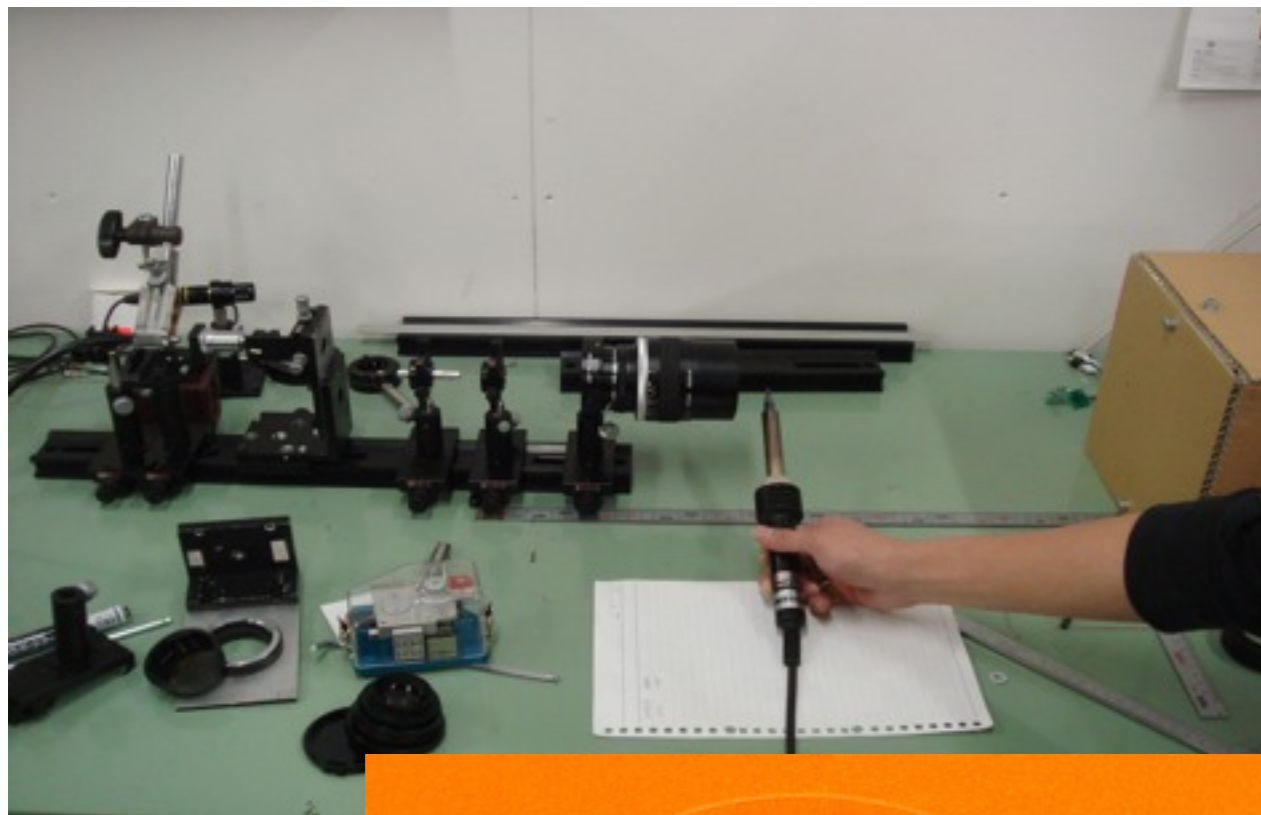
レーザーを入射



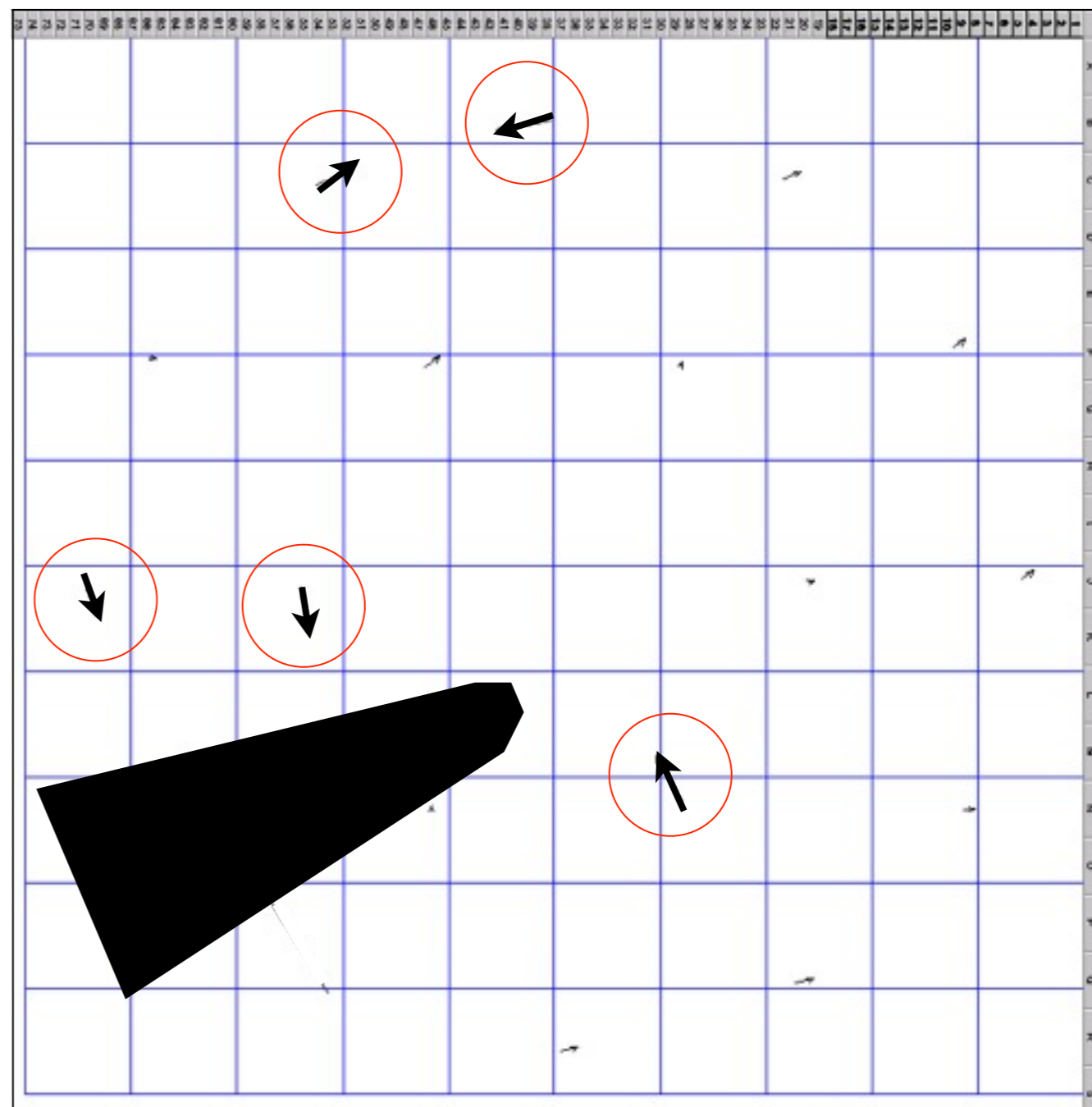
シャックハルトマンカメラ



1. 空気ゆらぎを検出する



空気の濃淡図

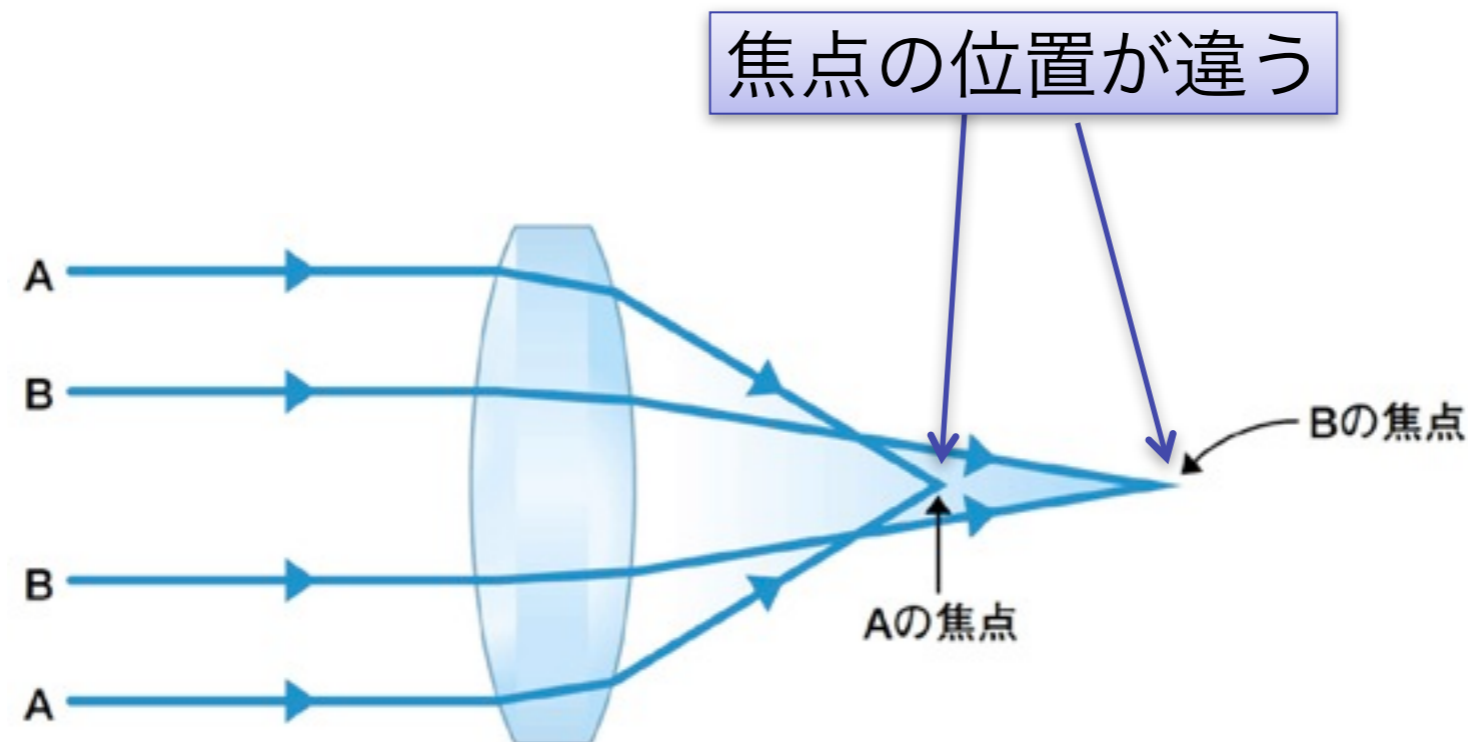


18点の差分ベクトル

2. レンズの球面収差を検出

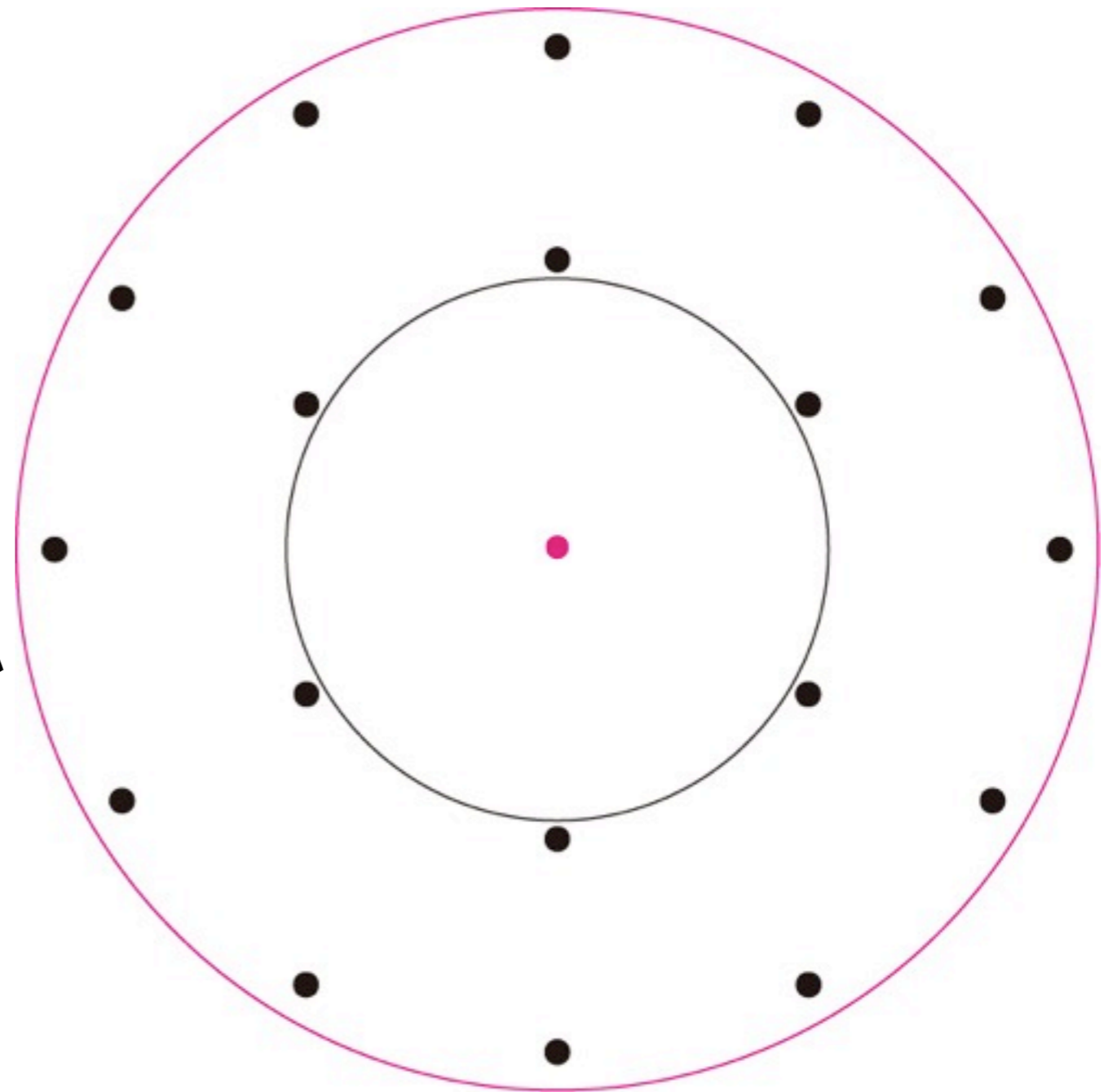
球面収差とは：光軸から離れた場所ほど光線の屈折量が過大になることによりおこる収差

球面のレンズであれば必ず起こる



球面収差

- 内側の円に対して外側の円の半径が小さくなる
(レンズを入れる前と後での相対的な比であることに注意)
- 外側の光がより早く中心に集まろうとしていることによる
- 実際の測定でもこのようになった



まとめ

- はんだごての空気揺らぎを観測することに成功
- レンズを通して収差検出テストを行い、レンズの球面収差を検出（今回の単レンズでは外円が内円に対して0.5%程度の縮み）

➡ discussion

- 実際に40cm望遠鏡にこのシャックハルトマンカメラを取り付けて光を入れて調べる
- 今回は定性的な評価のみだったが、実験結果がどのくらい妥当なのか定量的な評価も行う必要あり

計算結果の一例

#Center x y (all points) ← レンズ無しの場合の内円と外円の計算結果

523.897053 496.863191

#Inside : center x y ave.radius 1-B/A theta 内円 : 中心座標、(平均)半径、扁平率、PA

524.222987 496.697979 236.985389 0.003929 65.887281

#Outside : center x y ave.radius 1-B/A theta 外円 : 同上

523.734085 496.945797 436.504929 0.005138 -78.085892

#Center x y (all points) ← レンズありの場合の内円と外円の計算結果

517.824474 500.472795

#Inside : center x y ave.radius 1-B/A theta

517.802442 500.516634 239.133922 0.003602 -43.717066

#Outside : center x y ave.radius 1-B/A theta

517.835490 500.450875 441.150258 0.001631 -49.177298

#Inside : center x y ave.radius 1-B/A theta ← レンズありの場合 - レンズ無しの場合 ただし半径は割り算

-6.582566 3.808976 1.009066 0.001936 -46.845399

#Outside : center x y ave.radius 1-B/A theta

-6.069204 3.469950 1.010642 -0.001351 20.920327

#Outside : center x y ave.radius 1-B/A theta ← 内円の情報 - 外円の情報 (平均半径は割り算)

0.513361 -0.339025 1.001563 -0.003287 67.765727

補足

- たいていの場合、まず色収差が問題になるが今回は色収差を修正するレンズを使用している
- 軸上色収差
全体的に色がにじんで見える
- 倍率色収差
軸の真ん中ははっきり見えるがまわりがにじむ
- 像面湾曲
像が立体的に球面状になる現象。人間の眼球はこの仕組みでより広い視野をとらえることができるようになっている。
- 歪曲
隅のほうがぼやける現象。今はデジタル処理で補正可能。

補足

- 次数の低い順に球面収差→コマ収差→非点収差・像面湾曲→歪曲
- 単レンズ（球面レンズ）では必ず球面収差が発生。補正しようとするすると複数のレンズが必要
- 球面収差を補正→コマ収差が出る→コマ収差補正→非点収差が出る→・・・
- 今の光学設計は全て、収差をすべて歪曲に押し付けている。