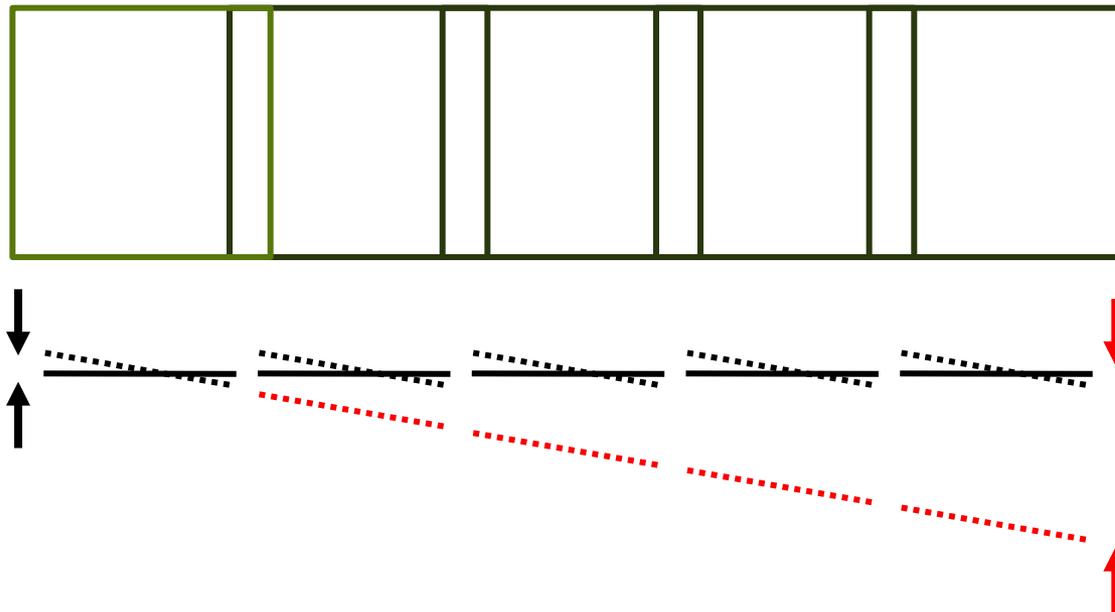


2KCCDカメラにおける 広がった天体のためのフラット フィールド

東京大学 天文学教育研究センター D2
家中信幸

INTRODUCTION

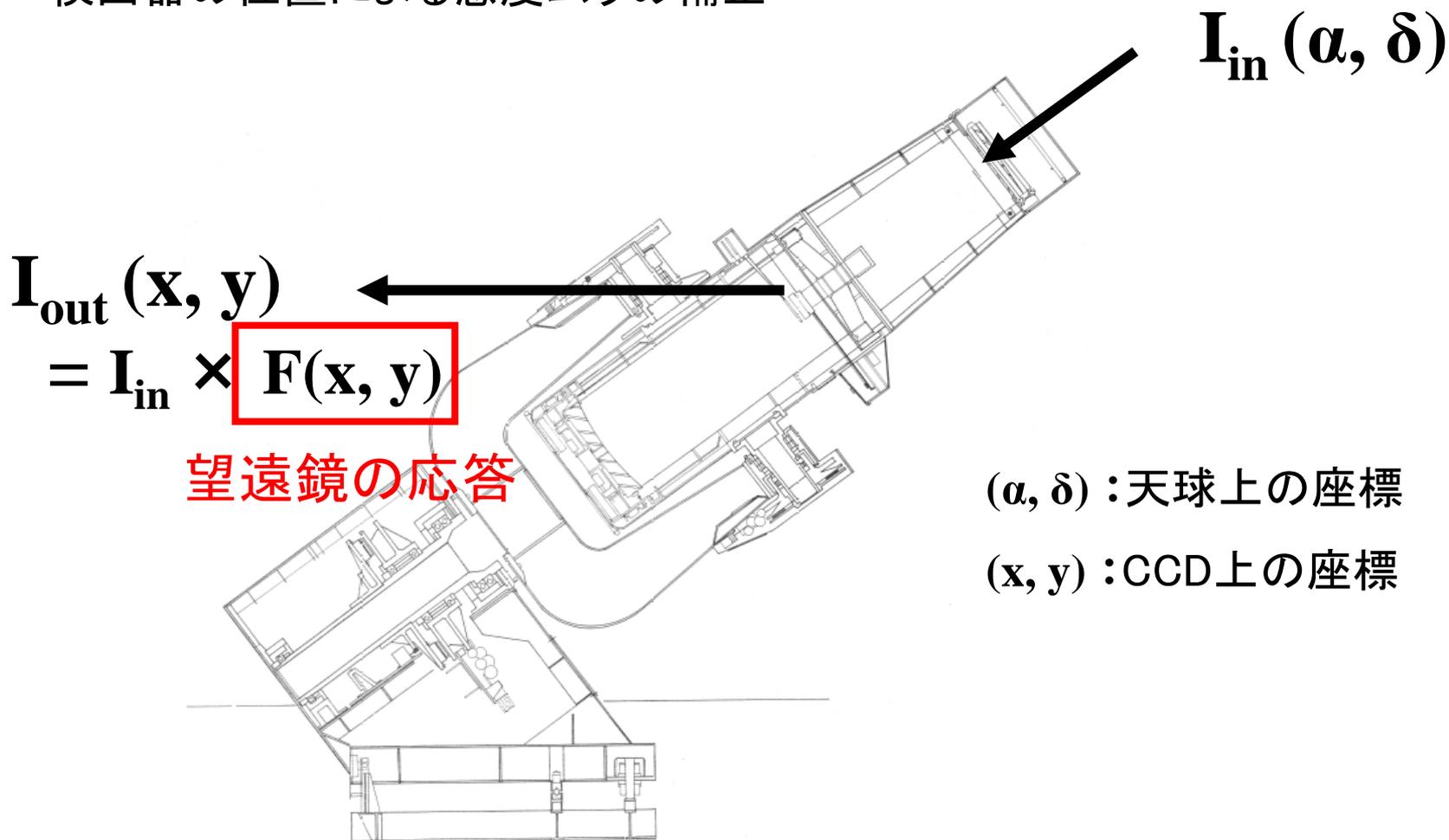
目的は複数の視野にわたる広い領域の拡散光成分のマップを作成するために、精度の高いフラットフィールドを得ることである。この発表では、多数の画像をつなぎ合わせるときに積算してしまうフラットフィールドの誤差をできるだけ小さくするための補正法について紹介する。



FLAT FIELDING

フラットフィールド

検出器の位置による感度ムラの補正



F(X,Y) を求める

$$F(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = I_{\text{out}}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) / I_{\text{in}}(\alpha, \delta)$$

- 強度分布の分かっている入射光があれば $F(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ を求めることができる
- 理想的なのは入射光が視野の全ての場所で一定であるとき、すなわち $I_{\text{in}}(\alpha, \delta) = \text{const.}$ の場合

$$F(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \propto I_{\text{out}}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$$

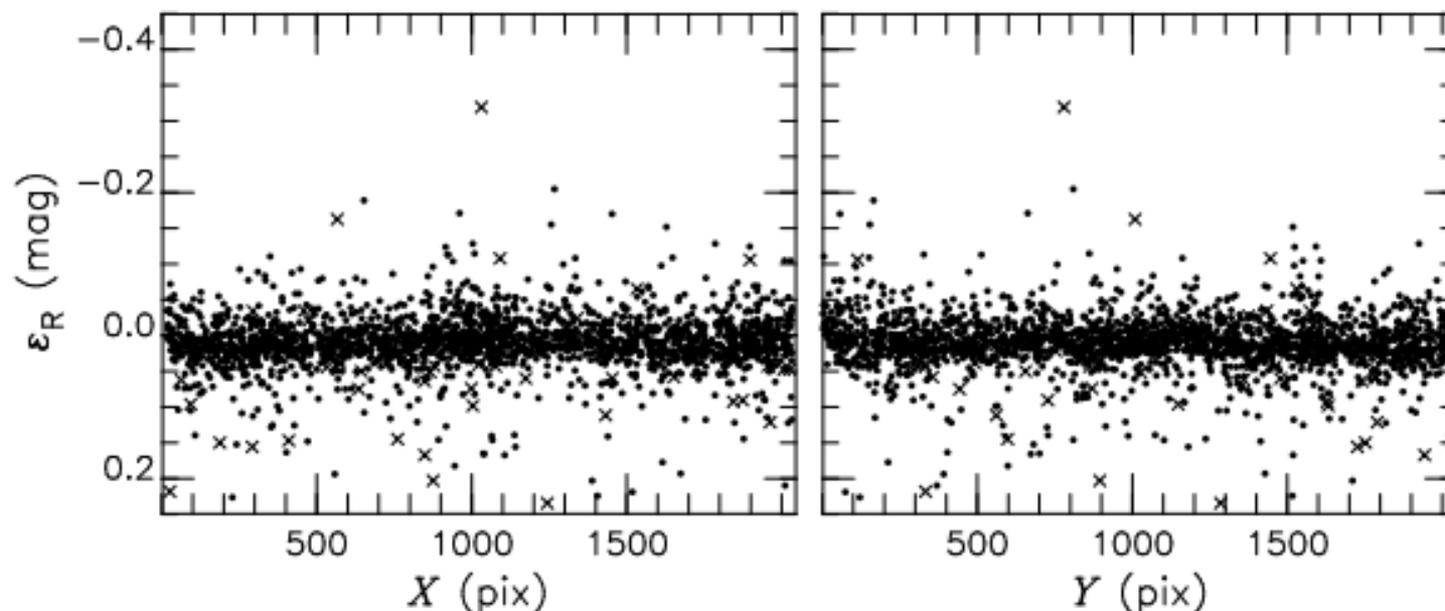
- どれだけ一様な光を入射させることができるかによって $F(\mathbf{x}, \mathbf{y})$ の精度は決まる
- 一様な光源
 - ドームスクリーン
 - ダークスカイ(セルフスカイ)
 - トワイライトスカイ

精度の評価

同じ明るさのもの、あるいは(相対的な)明るさが分かっているものをCCD上の異なる位置で観測することでフラットフィールドの精度は評価できる

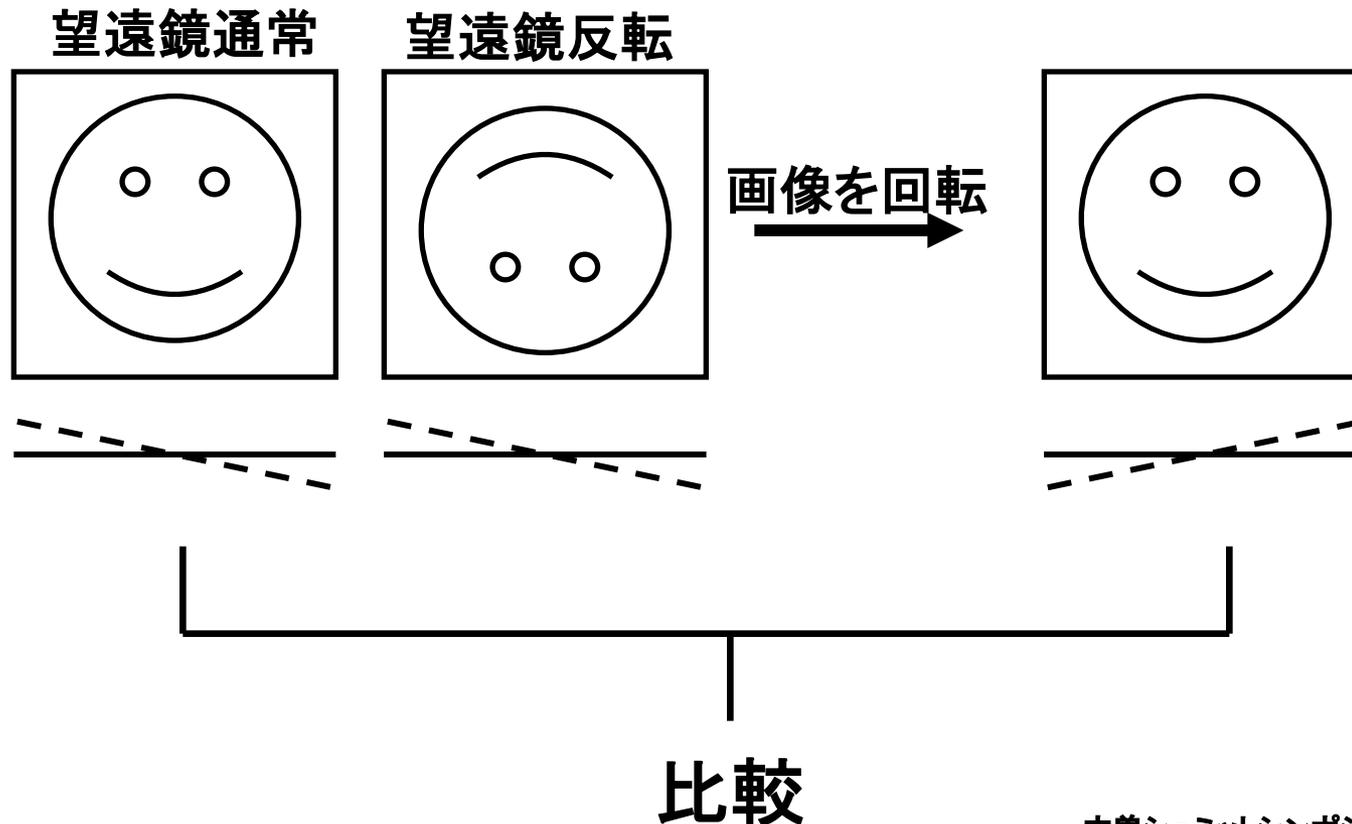
松永さんによる2KCCDドームフラットの評価
(SDSSカタログの等級との比較)

分散 $\sim 0.03\text{mag}$



我々の評価法

画像をつなぎ合わせることで増大する誤差は、フラットフィールド画像に artificial な傾斜が含まれている場合の誤差である。この傾斜を効率的に評価するために我々は以下のように望遠鏡を 180° 回転させて空の同じ領域を撮像する観測を行った。



定式化

通常のNorth upの画像を $N(\text{ra}, \text{dec})$ とおけば

$$N(\mathbf{r}, \mathbf{d}) = \text{Sky}(\mathbf{r}, \mathbf{d}) F(\mathbf{x}, \mathbf{y}) / F'(\mathbf{x}, \mathbf{y})$$

ただし、 F' はフラット画像(理想的なフラット画像であれば $F/F'=1$ となる)

反転させたSouth upの画像を

$$S(\mathbf{r}, \mathbf{d}) = \text{Sky}(\mathbf{r}, \mathbf{d}) F(-\mathbf{x}, -\mathbf{y}) / F'(-\mathbf{x}, -\mathbf{y})$$

とする。フラット画像の誤差を考慮すれば

$$F(\mathbf{x}, \mathbf{y}) / F'(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = 1 + \delta(\mathbf{x}, \mathbf{y})$$

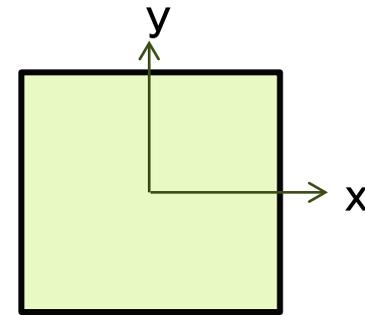
と書ける。さらに δ を

$$\delta = \delta_E + \delta_O \quad (\text{ただし、} \delta_E(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \delta_E(-\mathbf{x}, -\mathbf{y}), \delta_O(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = -\delta_O(-\mathbf{x}, -\mathbf{y}))$$

と分割する。



画像をつなぎ合わせることで積算される誤差は δ_O 表される。



定式化

North-upとSouth-upの画像の平均をとると、

$$\begin{aligned}M(\mathbf{r}, \mathbf{d}) &= \text{Sky}(\mathbf{r}, \mathbf{d}) [2 + \delta(\mathbf{x}, \mathbf{y}) + \delta(-\mathbf{x}, -\mathbf{y})]/2 \\ &= \text{Sky}(\mathbf{r}, \mathbf{d}) [1 + \delta_{\mathbf{E}}(\mathbf{x}, \mathbf{y})]\end{aligned}$$

さらに平均した画像で、North-upの画像を割る

$$\begin{aligned}D_{\mathbf{O}}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) &= N(\mathbf{r}, \mathbf{d}) / M(\mathbf{r}, \mathbf{d}) \\ &= (1 + \delta_{\mathbf{E}}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) + \delta_{\mathbf{O}}(\mathbf{x}, \mathbf{y})) / (1 + \delta_{\mathbf{E}}(\mathbf{x}, \mathbf{y})) \\ &\sim 1 + \delta_{\mathbf{O}}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \quad (1 \gg \delta_{\mathbf{E}}, 1 \gg \delta_{\mathbf{O}} \text{を仮定})\end{aligned}$$

観測の概要

観測日: 2010/11/3-4 (月の出ていない、測光夜)

観測領域: Dec > 70° の6つの領域

North-up(R) → South-up(R) → South-up(B)

→ North-up(B) → North-up(R) というサイクルで撮像

解析

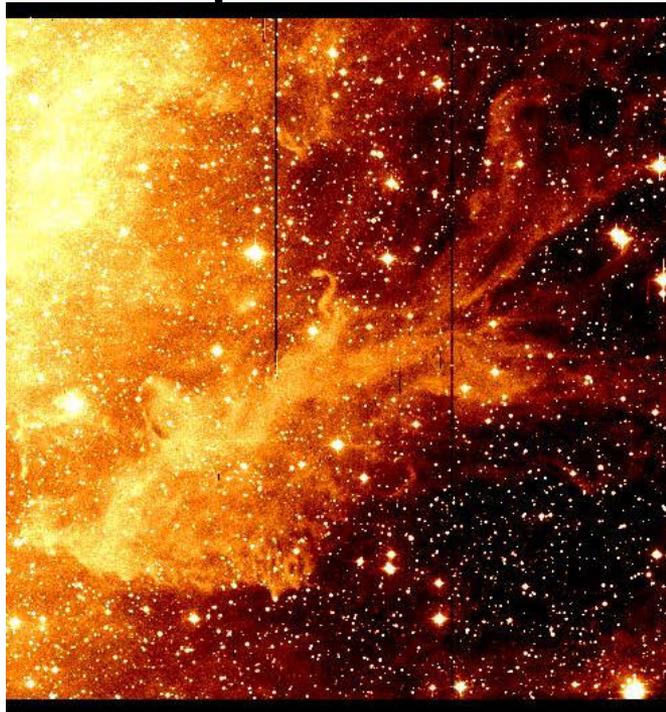
- North-upで撮られたドームフラットで全ての画像を一次処理
- North-upとSouth-upの画像の平均画像を作成
- North-up(South-up)画像を平均画像で割って差を見る

Field name	Field center (J2000)		Date (JST)	Observation time (JST)	Exposure (sec)	# of exposures*	
	RA	Dec				B-band	R-band
Field 1	17 ^h 01 ^m	+80°00'	2010-11-03	18:03 - 18:51	120	2N, 2S	2N, 2S
Field 2	01 ^h 36 ^m	+87°39'	2010-11-03	18:54 - 20:07	120	3N, 3S	3N, 3S
Field 3	06 ^h 01 ^m	+73°00'	2010-11-03	21:48 - 23:12	120	4N, 4S	3N, 3S
Field 4 [†]	02 ^h 19 ^m	+87°18'	2010-11-04	18:30 - 19:47	300	2N, 2S	2N, 2S
Field 5 [†]	02 ^h 49 ^m	+86°49'	2010-11-04	19:51 - 21:09	300	2N, 2S	2N, 2S
Field 6 [†]	03 ^h 14 ^m	+86°19'	2010-11-04	21:13 - 23:34	300	2N, 2S	2N, 2S
Dome-Flat			2010-11-05	05:58 - 06:47	90	5N, 0S	5N, 0S

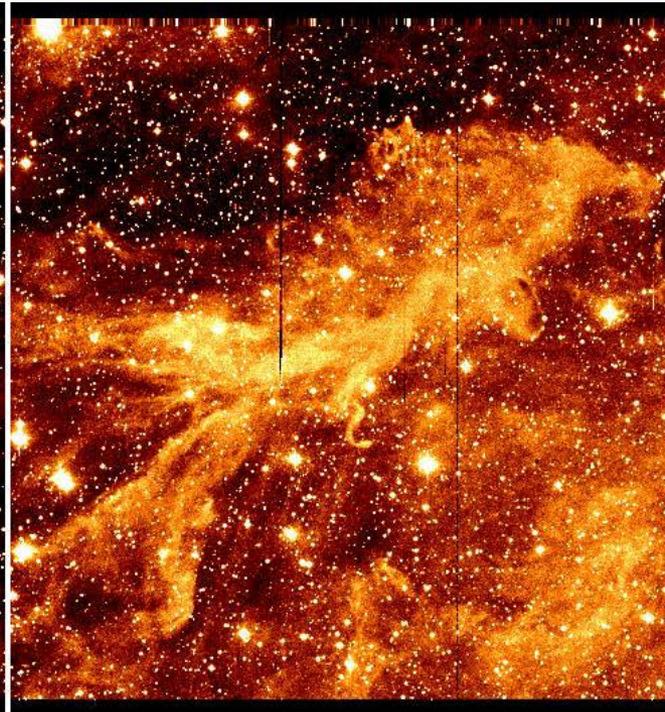
観測された画像の例

ドームフラットで補正した後の画像

North-up

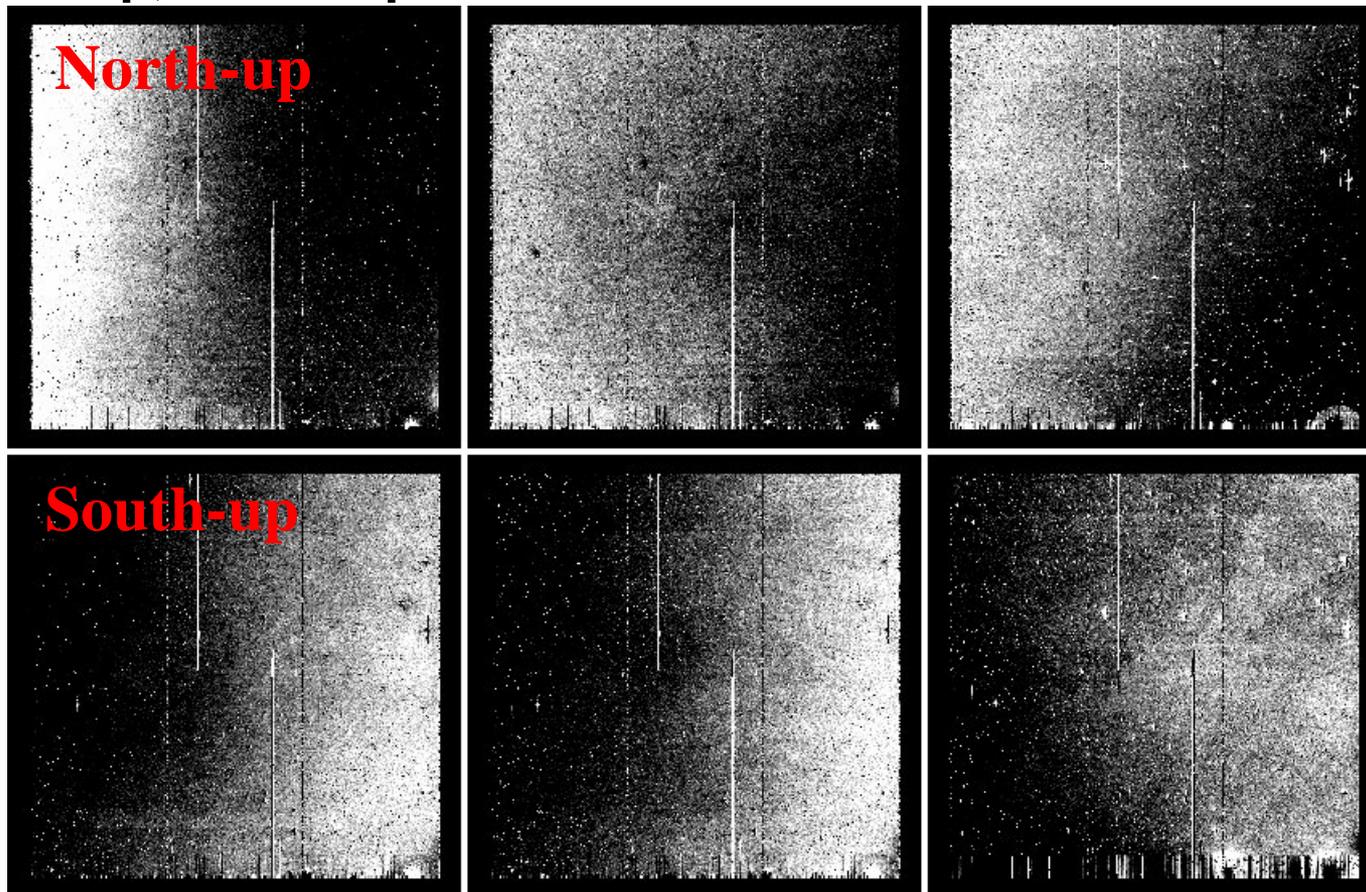


South-up

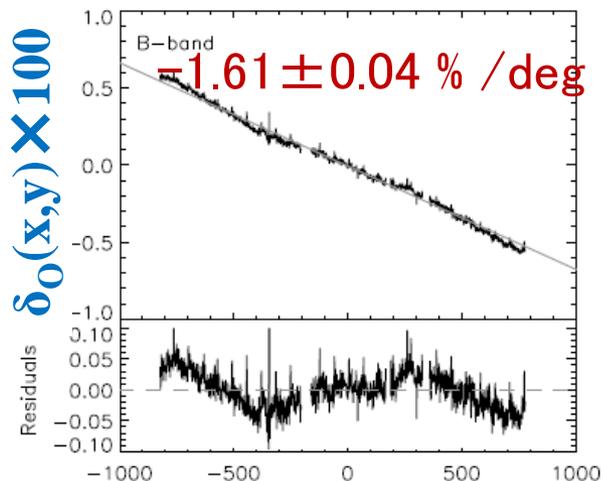
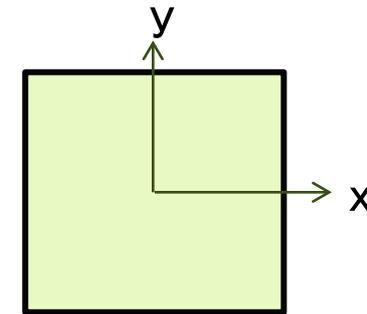


結果(Rバンド)

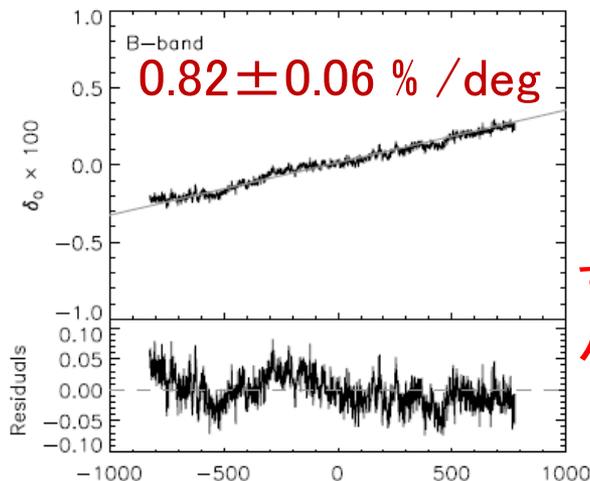
North-up, South-up画像を平均画像で割ったもの(一つの領域の例)



結果(上Bバンド、下Rバンド)



X方向



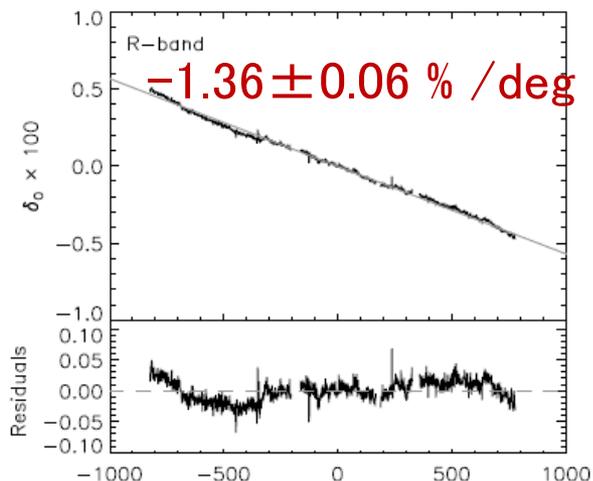
Y方向

すべてのフィールドR,B
バンドとも

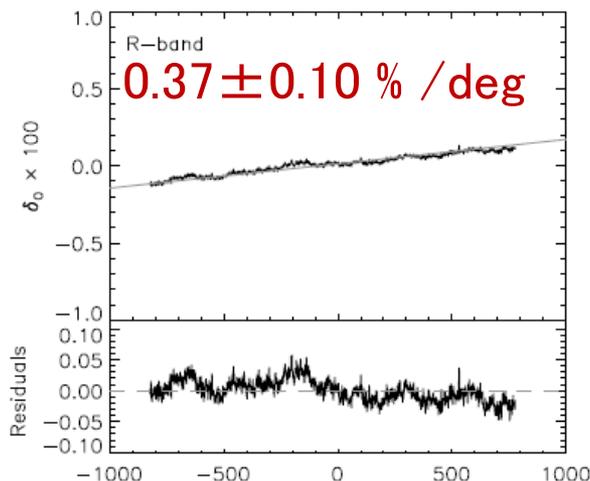
~1% per degree
の傾斜(誤差)



North-up画像を $1+\delta_0$ で
割ることによって補正



X方向



Y方向

まとめ

- 望遠鏡を 180° 回転させた観測によってフラットフィールドにおける傾斜の評価を行った。
- 明らかになった傾斜の大きさは **~ 1% per degree**
- 複数の視野にまたがる拡散光マップを作成する際にはこの誤差が大きく影響する。
- 1次の補正を行うことによって傾斜は **0.1% per degree** 程度まで抑えられる