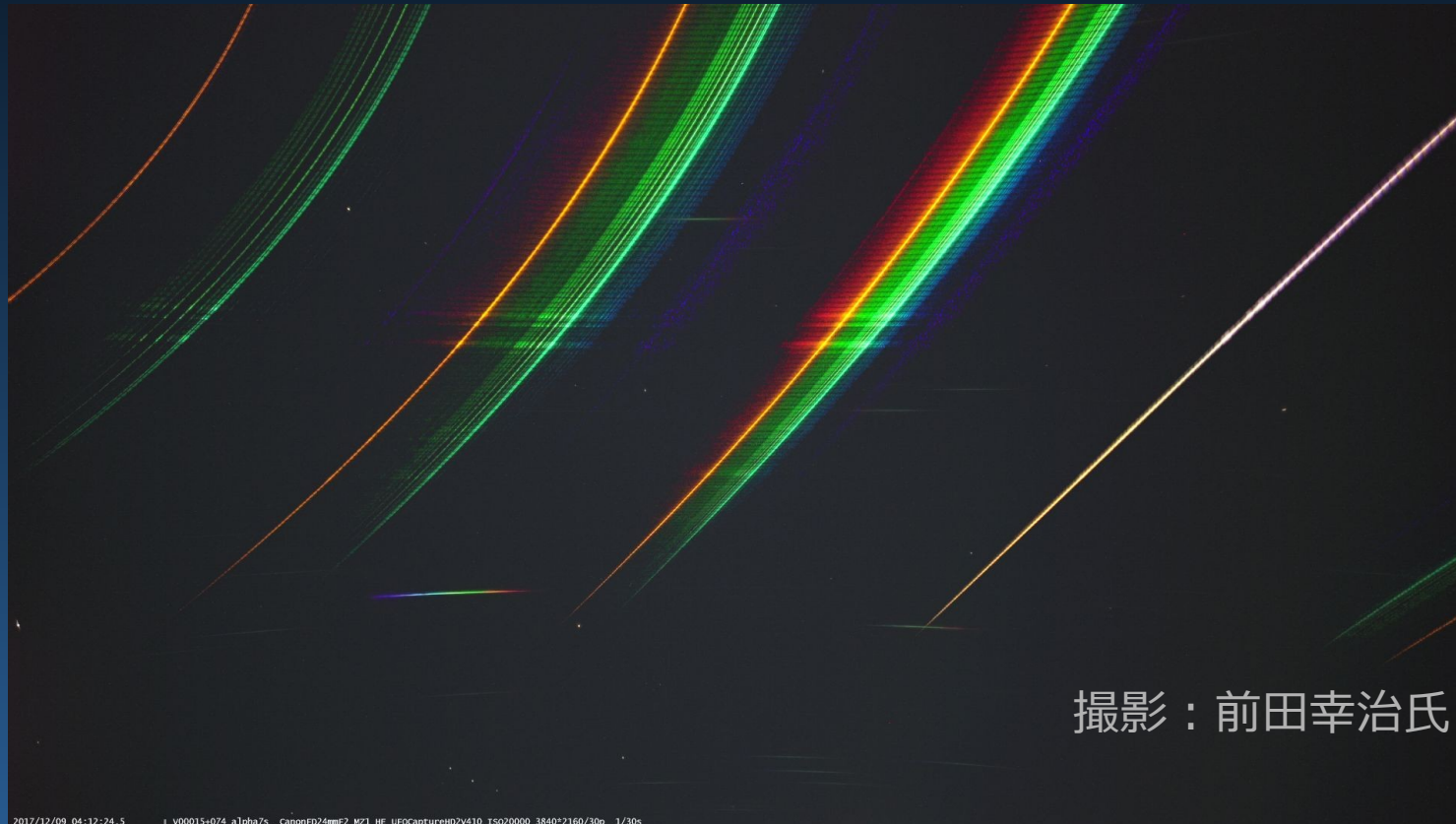


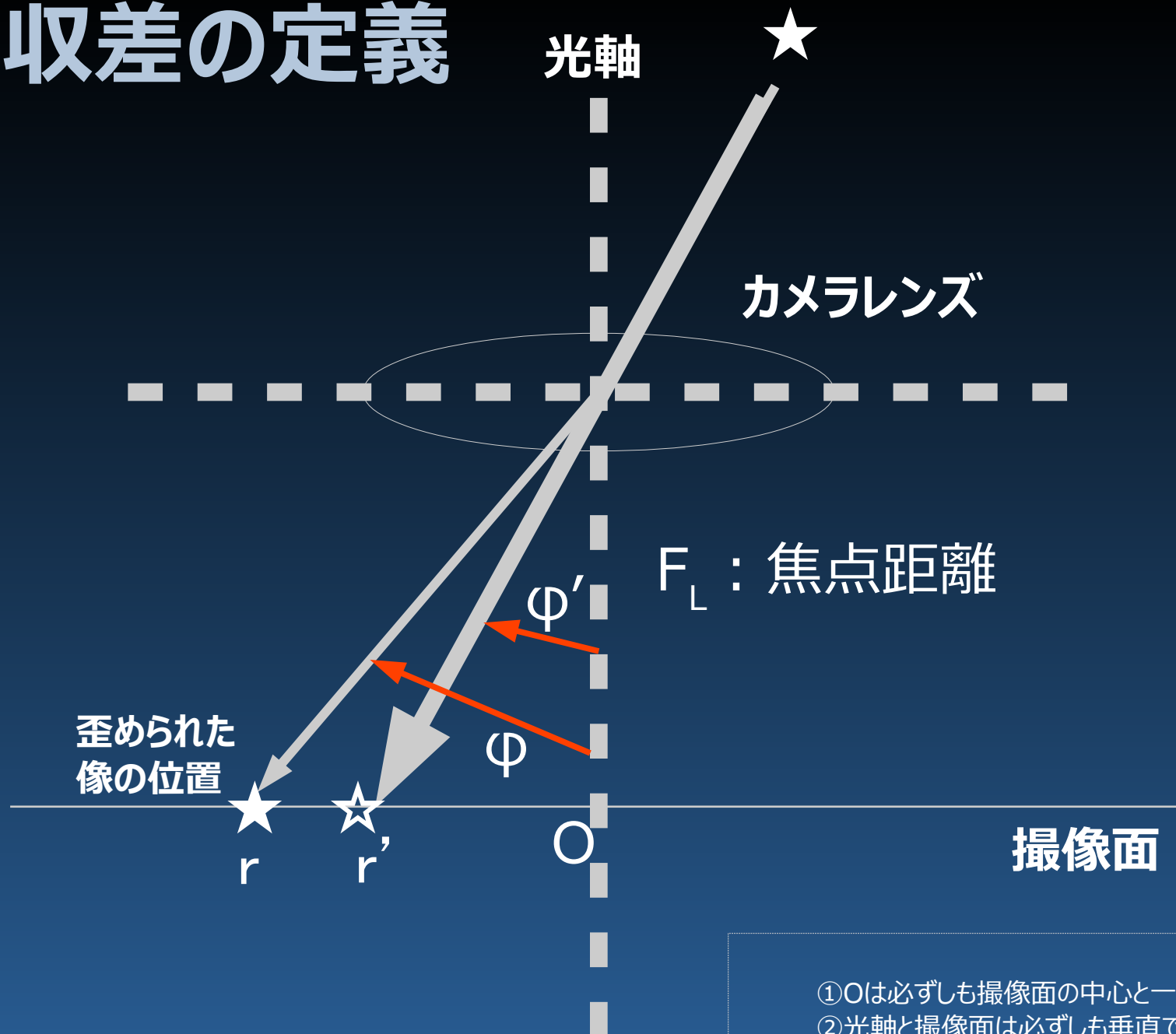
流星スペクトル画像の歪曲収差補正

菅原 賢



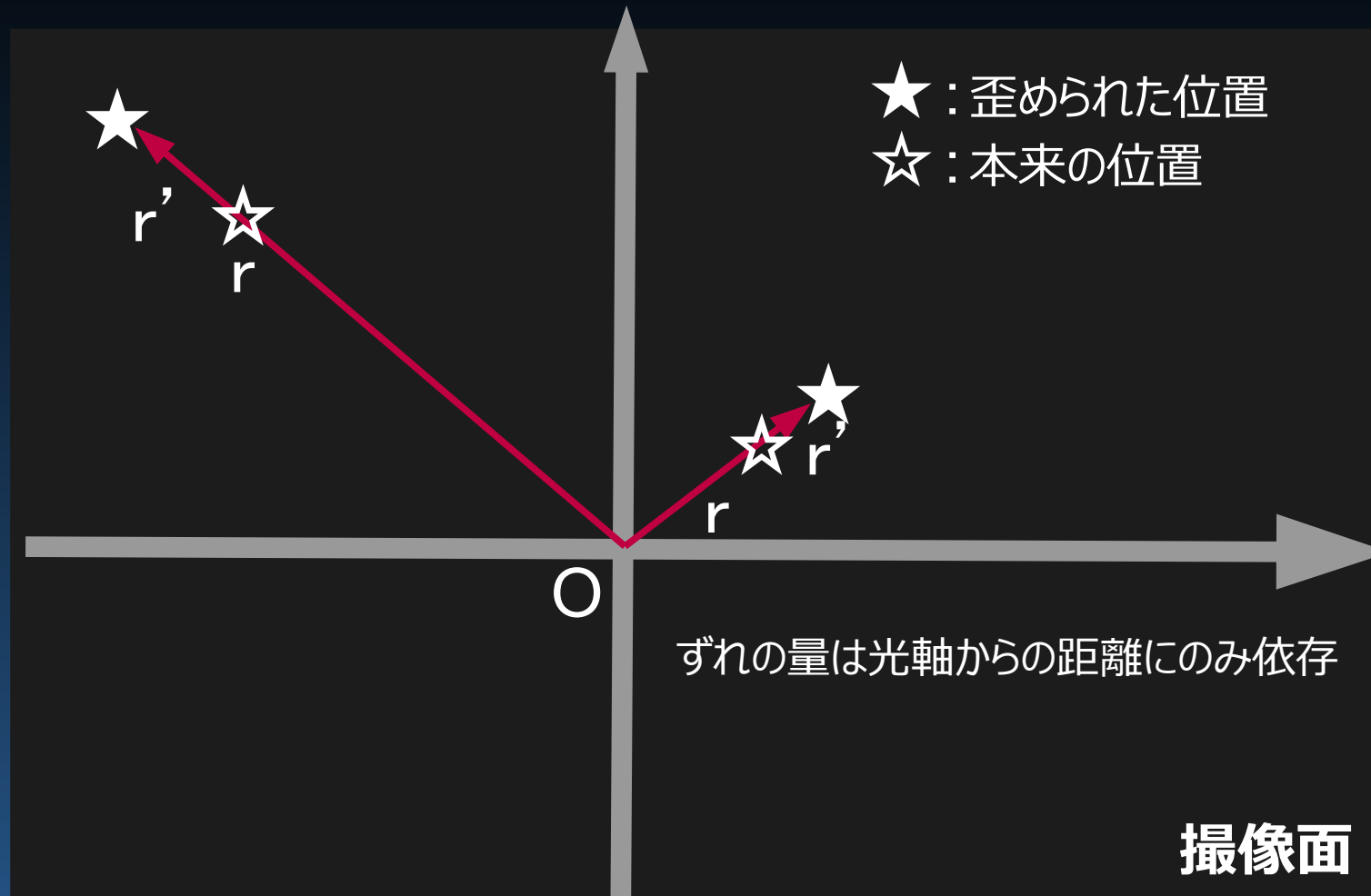
弧を描く輝線の曲率を同じに・平行にする補正方法

歪曲収差の定義



- ① O は必ずしも撮像面の中心と一致しない。
- ② 光軸と撮像面は必ずしも垂直ではない。

歪曲収差による像のゆがみ



歪曲収差を表す関数

$$r = f(r')$$

r : 任意の点の光軸からの距離 (歪曲収差補正前)

r' : 任意の点の光軸からの距離 (歪曲収差補正後)

求め方の一例

n次多項式で近似する

$$r = 1 + a_1 \cdot r' + a_2 \cdot r'^2 + a_3 \cdot r'^3 + \dots + a_n \cdot r'^n$$

r' 既知の点の画像上の多数の点の r を用い、最小二乗法で $a_1 \sim a_n$ の値を求める。

補正係数の決定：Martinによる方法

94

WGN, THE JOURNAL OF THE IMO 43:4 (2015)

Meteor Science

A practical method for the analysis of meteor spectra

Martin Dubs¹ and Peter Schlatter² <https://arxiv.org/abs/1509.07531>

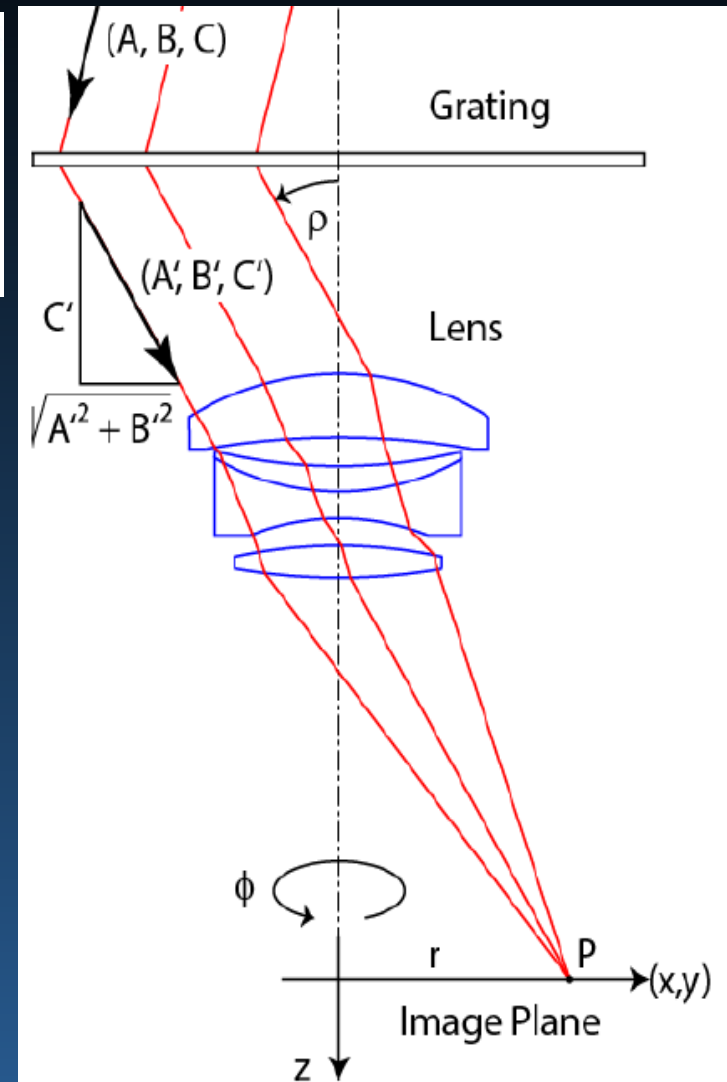
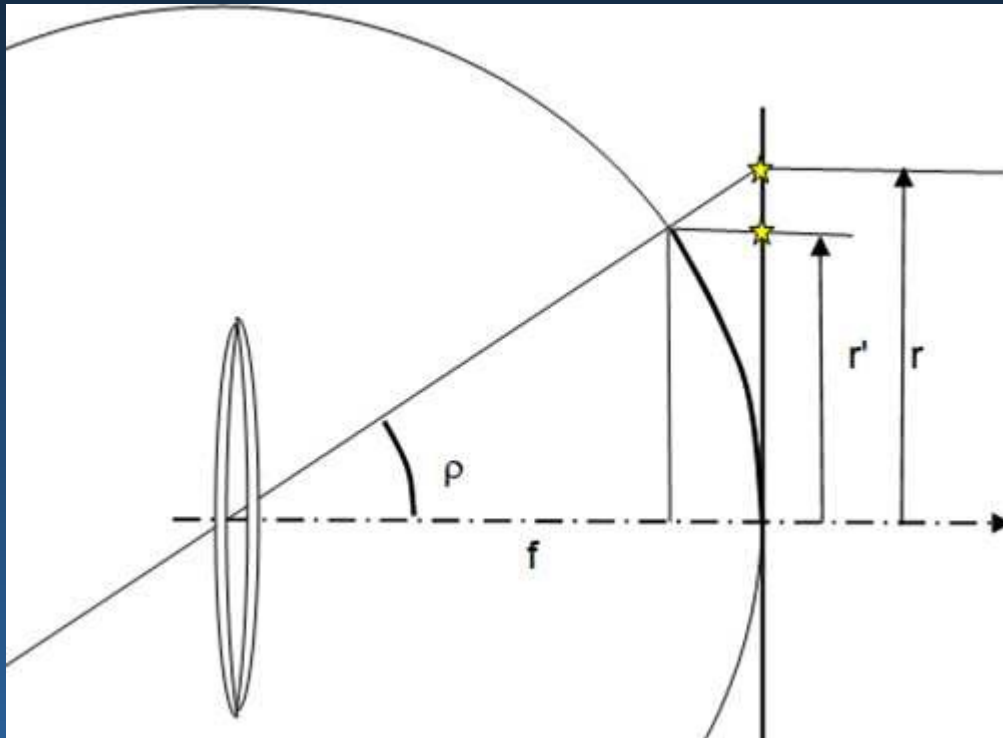


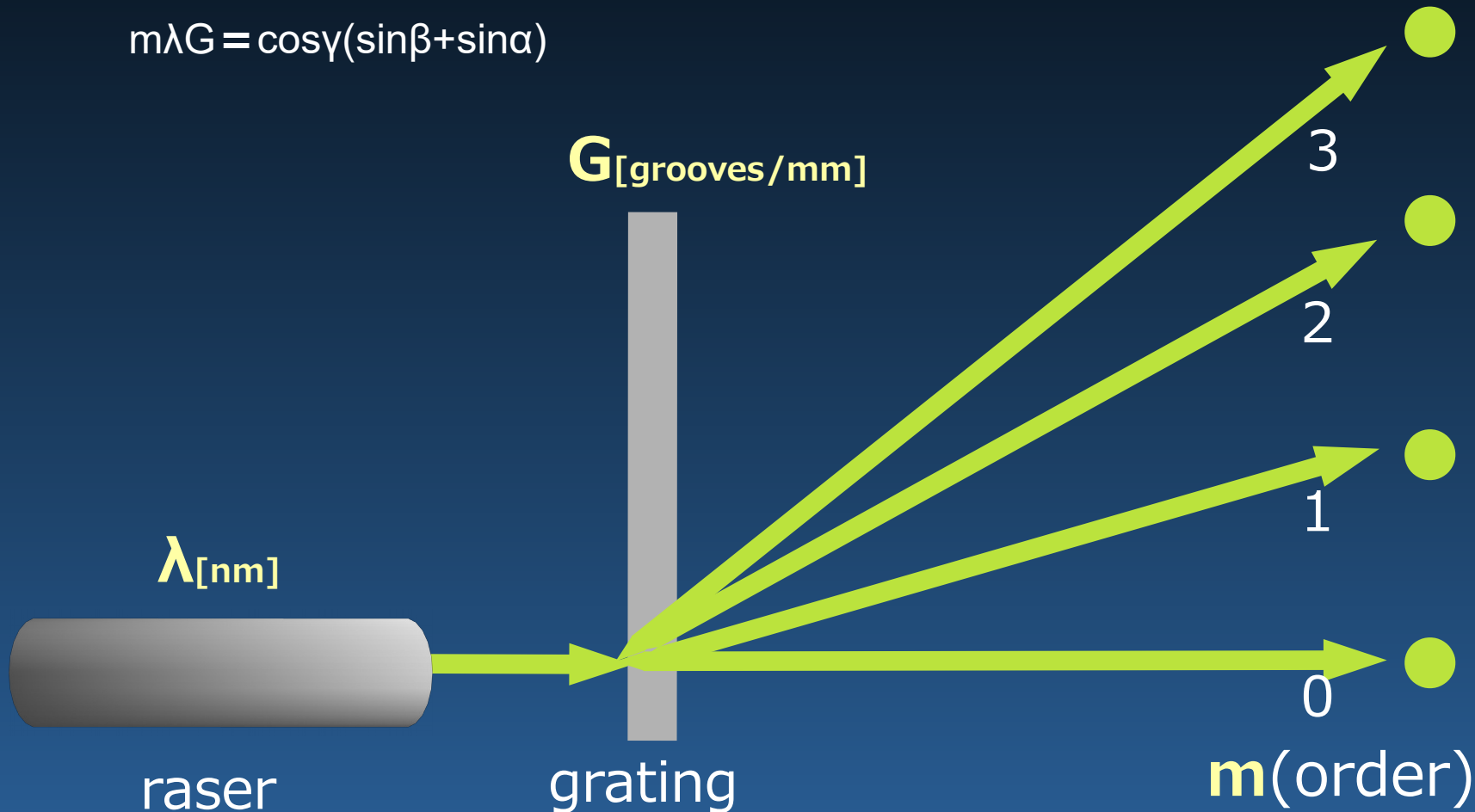
Figure 2 - Section through meteor camera showing relation between ρ and r .

補正係数の決定：Martinによる方法

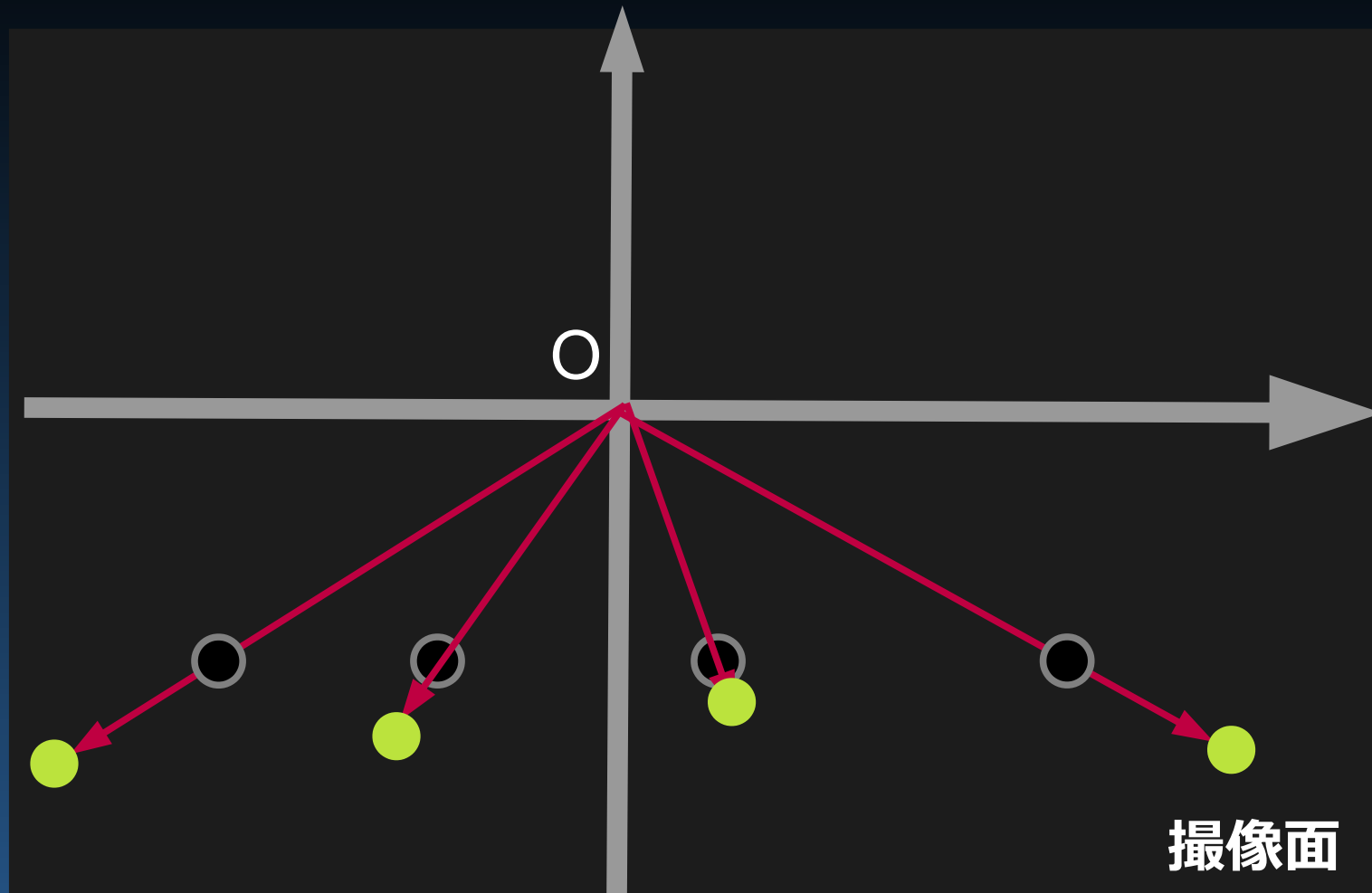
グレーティング方程式

$$m\lambda G = \cos\gamma(\sin\beta + \sin\alpha)$$

像ができるはずの
位置を計算から求める

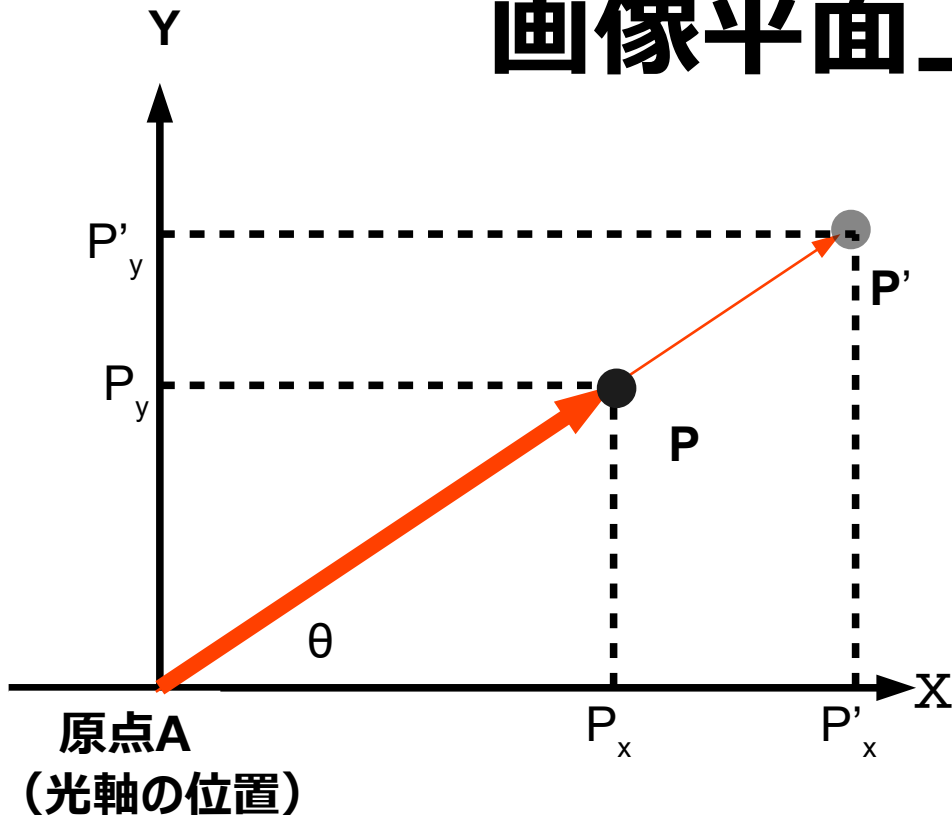


補正係数の決定：Martinによる方法



- : 歪められたレーザー光の位置 (測定値)
- : 本来の位置 (計算値)

画像平面上での歪曲収差



正しい像の位置
 $P'(P'_x, P'_y)$

$$A \rightarrow P' \equiv r'$$

$$= \sqrt{(P'_x)^2 + (P'_y)^2}$$

$$P'_x = r' \cdot \cos\theta$$

$$P'_y = r' \cdot \sin\theta$$

$$\tan\theta = P'_y / P'_x$$

$$\theta = \text{atan}P'_y / P'_x$$

歪曲収差を受けた像の位置
 $P(P_x, P_y)$

$$A \rightarrow P \equiv r$$

$$= \sqrt{(P_x)^2 + (P_y)^2}$$

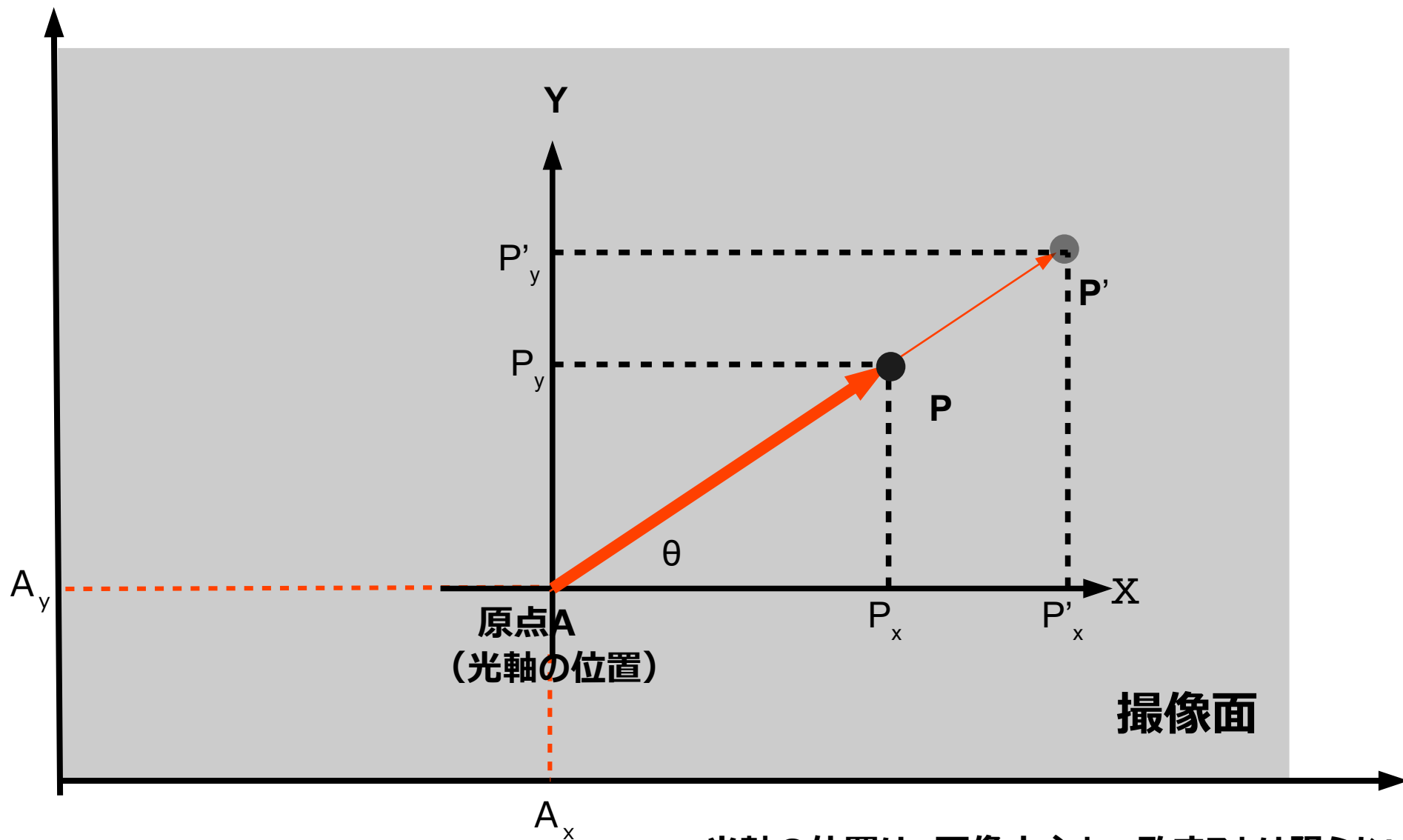
$$P_x = r \cdot \cos\theta$$

$$P_y = r \cdot \sin\theta$$

$P'(P'_x, P'_y) \rightarrow P(P_x, P_y)$ の計算手順

- ① $r' = \sqrt{(P'_x)^2 + (P'_y)^2}$
- ② $r = 1 + a_1 \cdot r' + a_2 \cdot r'^2 + a_3 \cdot r'^3 + \dots + a_n \cdot r'^n$
- ③ $\theta = \text{atan}P'_y / P'_x$ ※Martin(2015)では、 $r = r(1 + a_3 \cdot r'^2 + a_5 \cdot r'^4)$
- ④ $P_x = r \cdot \cos\theta$ $P_y = r \cdot \sin\theta$

画像上の光軸の位置



光軸の位置は、画像中心と一致するとは限らない

画像復元の手順 ①

必要な値等

- ① 元画像（歪曲収差補正前の画像）
- ② 歪曲収差補正係数 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$
- ② 画像上の光軸の位置 $A (A_x, A_y)$
- ③ 変換後の画像サイズ N, M (縦横のピクセル数)
 - ・ 通常は元画像と同じでよい
 - ・ 解析に使う領域が画像の縁に非常に近い場合は、少し大きめにしておく及安全

画像復元の手順 ②

① 復元後の画像上のピクセル P' を選択→ 普通は一番端のピクセルを選択

② $P'(P'_x, P'_y)$ を、画像上の光軸の位置 A を原点とした座標に変換

$$(1) dP'_x = P'_x - A_x, \quad dP'_y = P'_y - A_y$$

$$(2) r' = \sqrt{(dP'_x)^2 + (dP'_y)^2}$$

(3) 補正係数 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ を用いて、 $r = f(r')$ を計算

(4) $\theta = \text{atan}(dP'_y/dP'_x)$ を用いて、

(5) 歪曲収差を受けた（補正前の）位置 dP を計算

$$dP_x = r \cos\theta, \quad dP_y = r \sin\theta$$

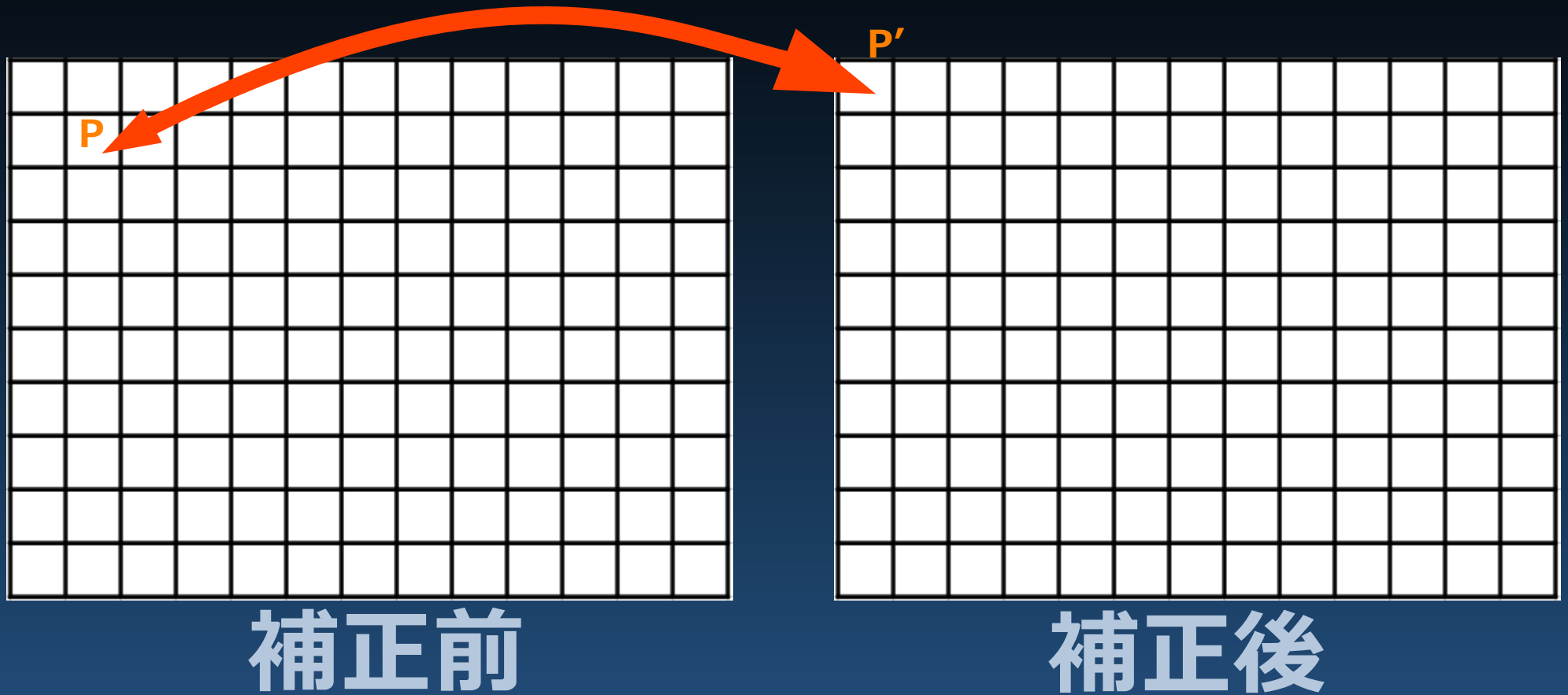
③ これを、画像上の座標（画像の左下が原点）に戻す

$$P_x = dP_x + A_x, \quad P_y = dP_y + A_y$$

④元画像上からこのピクセルの値を読み込み、 $P'(P'_x, P'_y)$ の値に設定

⑤復元後の画像のすべてのピクセルについて同じ操作を繰り返す。

画像復元の概念図



- ①補正後の画像の各ピクセル P' に対応する補正前の画像のピクセル位置 P を求め、その輝度値で埋める。
- ②必要に応じて、輝度値は P' の周囲のピクセルの値から補間して用いる。

補正例

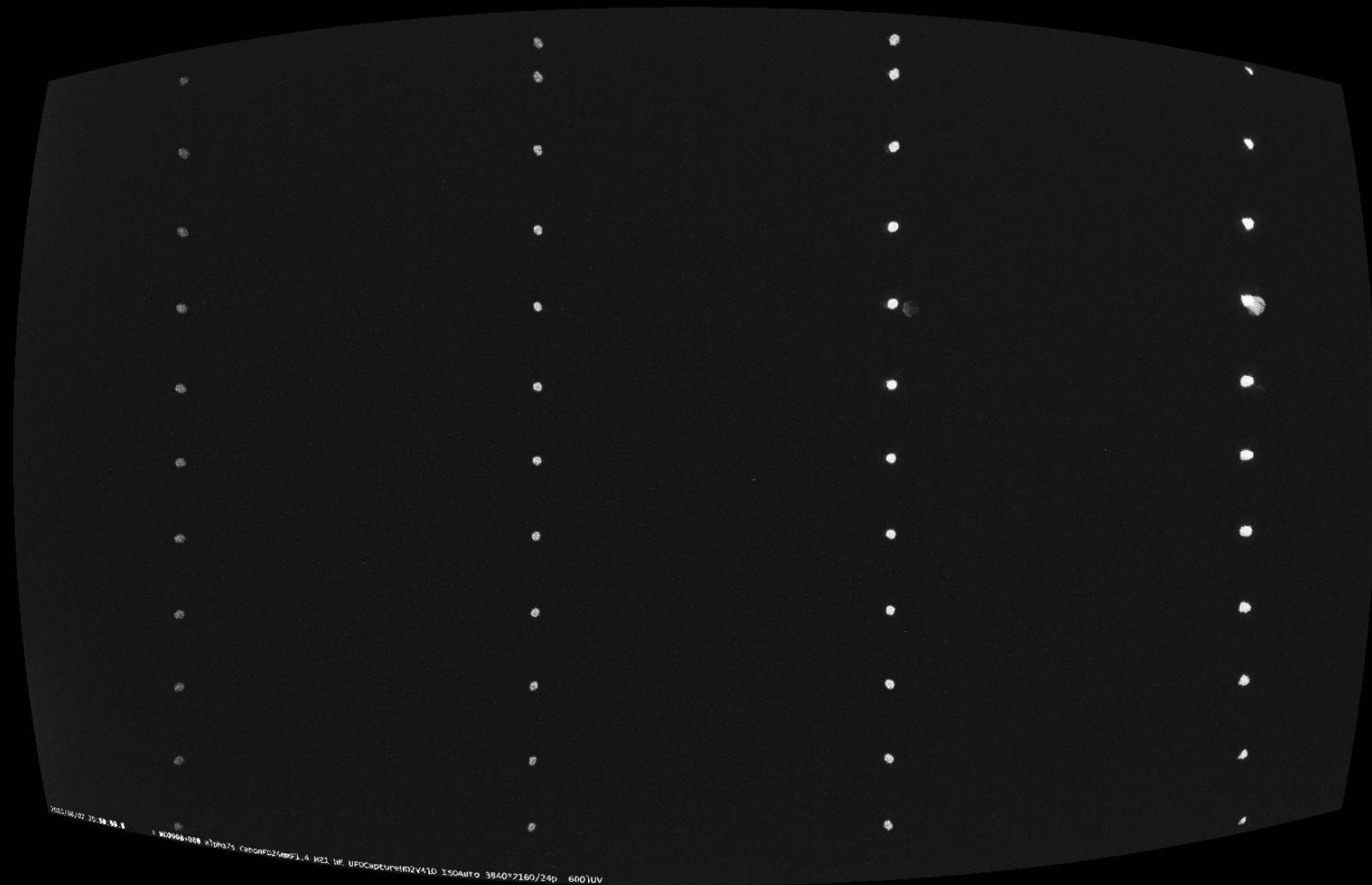
撮影：前田幸治氏

before



補正例

after



補正の例 ①

すばる画像処理ソフト：マリ - M20160705_213355_JPMZ1_HEP_mono.fits

ファイル(F) 編集(E) 画像表示(V) 画像演算(P) 画像情報(I) データ処理(D) データ1次処理(A) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)

終了 開く 保存 印刷 FITSヘッダー 切り抜き プリント 測光 位置測定 グラフ コントア ヘルプ

グレースケール 対数 0 1020 自動調整 マークの非表示...

X: Y: カウント値: 平均値:

M20160705_213355_JPMZ1_HEP_mono.fits (1/3倍) [1920x1080x1]

撮影：前田幸治氏

補正前

M20160705_213355_JPMZ1_HEP_mono_distcor.fits (1/3倍) [1920x1080x1]

補正後

ヘルプを表示するには [F1] を押してください。 データ処理表示：ON

補正の例 ②

すばる画像処理ソフト：マカリ - M20161203_011138_JPMZ1_HEP_mono_distcor.fits

ファイル(F) 編集(E) 画像表示(V) 画像演算(P) 画像情報(I) データ処理(D) データ1次処理(A) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)


終了 開く 保存 印刷 FITSヘッダー 切り抜き プリント 測光 位置測定 グラフ コントア ヘルプ

グレースケール 対数 0 1020 自動調整 マークの非表示...

X: 965 Y: 371 カウント値: 139 平均値: 87.2

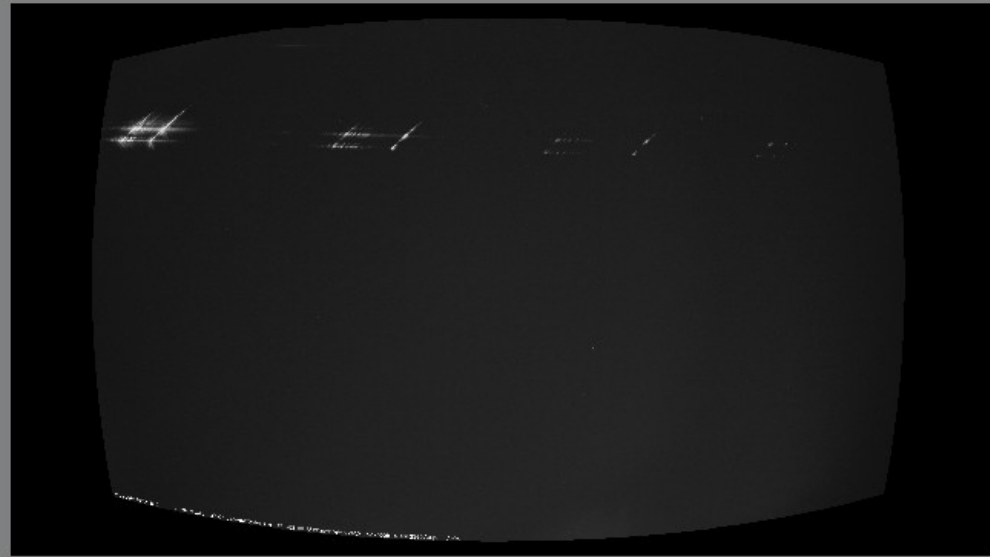
M20161203_011138_JPMZ1_HEP_mono.fits (1/3倍) [1920x1080x1]

撮影：前田幸治氏



補正前

M20161203_011138_JPMZ1_HEP_mono_distcor.fits (1/3倍) [1920x1080x1]



補正後

ヘルプを表示するには [F1] を押してください。 データ処理表示：ON

今後の目標：背景の恒星を使う方法



UFOAnalyzerの出力

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<ufoanalyzer_record version="200"
  clip_name="" o="0" y="0" mo="0"
  d="0" h="0" m="0" s="0.000000"
  tz="32400" tme="1.000000" lid="TK9" sid="5"
  lng="139.439499" lat="35.573799" alt="114.099998" cx="720"
  cy="480" fps="0.000000" interlaced="1" bbf="0"
  frames="0" head="30" tail="0" drop="0"
  dlev="0" dsize="0" sipos="0" ssize="0"
  trig="0" observer="Ken_Sugawara" cam="WAT-100N" lens="6mm_F1.4"
  cap="GV-USB2" u2="" ua="" memo=""
  az="246.116043" ev="73.992546" rot="61.532871" vx="62.576267"
  yx="1.099327" dx="-9.006085" dy="8.091969" k4="0.000000"
  k3="0.103612" k2="-0.059388" atc="58.299999" BVF="-0.300000"
  maxLev="255" maxMag="1.491700" minLev="25" mimMag="4.000000"
  dl="0" leap="0" pixs="0" rstar="0"
  ddega="0.000000" ddegm="0.000000" errm="0.000000" Lmrgn="5"
  Rmrgn="5" Dmrgn="5" Umrgn="5">
</ufoanalyzer_record>
```

gratingによる歪曲収差の影響がなければ、
背景の (α, δ) 既知の恒星の位置を多数測定し、補正係数が得られる？

今後の目標：自動処理

