

魚眼レンズを搭載した  
カメラを用いた大気モニタ  
引き継ぎ資料



執筆者

信州大学工学部

電子情報システム工学科

森 大和

最終編集日 2026年2月13日

# 目次

第 1 章	カメラの姿勢推定のコード実行方法	1
1.1	カタログ.py を実行する . . . . .	1
1.2	クラスター.py を実行する . . . . .	2
1.3	2周.py を実行する . . . . .	4
1.4	総当り 3 回_単体.py を実行する . . . . .	8
第 2 章	写真解析のコード実行方法	11
2.1	設定を変更する . . . . .	11
2.1.1	クラスター.py の設定項目 . . . . .	11
2.1.2	カタログ.py の設定項目 . . . . .	13
2.1.3	回転.py の設定項目 . . . . .	15
2.1.4	マッチング.py の設定項目 . . . . .	16
2.1.5	skymap.py の設定項目 . . . . .	17
2.2	orchestrate_pipeline.py を実行する . . . . .	19
第 3 章	解析結果の見方	21
3.1	各画像ごとの解析結果の見方 . . . . .	21
3.2	解析結果のマージ作成方法 . . . . .	23

## 第 1 章

# カメラの姿勢推定のコード実行方法

この章では卒業論文内でも示したカメラの姿勢推定の方法を順に説明する。使用するコードは”pose\_estimation”フォルダ内のものである。

### 1.1 カタログ.py を実行する

姿勢推定を行う場合は、まず画像に写る恒星と比較するための天体カタログの情報を用意するために、`カタログ.py` を実行する。まず、変数の値を適切な値に書き換える。表 1.1 に `カタログ.py` を実行する前に適宜変更する必要がある変数を示す。

表 1.1 姿勢推定に用いるデフォルト設定

定数名	説明
DEFAULT_VMAG_LIMI	姿勢推定に使用する恒星の実視等級の下限值。
DEFAULT_MAX_RESULTS	姿勢推定に使用する恒星の数の上限値。
DEFAULT_LAT	姿勢推定に用いる画像が撮影された位置の緯度（北緯を正，南緯を負）。
DEFAULT_LON	姿勢推定に用いる画像が撮影された位置の経度（東経を正，西経を負）。
DEFAULT_UTC_ISO	姿勢推定に用いる画像が撮影された時刻（ISO 8601 形式）。
FALLBACK_DEFAULT_DUT1	UT1-UTC の補正值（秒）。地球自転の不規則さを補正するために用いる。基本的には WebAPI で自動取得するが失敗時はこの値を使用する。
FALLBACK_DEFAULT_DELTA_AT	TAI-UTC (秒)。うるう秒による累積差。基本的には WebAPI で自動取得するが失敗時はこの値を使用する。
DEFAULT_USE_MEAN_OF_DATE	歳差および固有運動を反映した当日の平均座標系（Mean of Date）を使用するかどうか。True の場合に有効。

また、出力ファイルのファイル名を各人の環境に合わせて必要があれば調節する(コード内 54~57 行)。ファイル名は変数としてコード内にハードコード的に記述する。以下表 1.2 に変数とデフォルト値、csv ファイルの中身の対応関係を示す。

表 1.2 姿勢推定に用いるデフォルト設定 (出力ファイル関連)

定数名	デフォルト値	説明
DEFAULT_HIP_CSV	bright_stars_hip.csv	姿勢推定に使用する恒星候補一覧の情報を格納する csv ファイル名を定義する変数。天体カタログに存在するすべての恒星の中から DEFAULT_VMAG_LIMIT より明るい恒星すべての HIP 番号と実視等級の一覧。
DEFAULT_OUT_ALL	stars_output.csv	DEFAULT_HIP_CSV のファイル内にあるすべての恒星について、撮影場所・時間における方位角・高度などを計算した結果を格納する csv ファイル名を定義する変数。
DEFAULT_OUT_HGEO	stars_output2.csv	DEFAULT_OUT_ALL にある恒星の情報の中から恒星の高度が 30°以上のものだけを抽出した csv ファイルのファイル名を定義する変数。
DEFAULT_OUT_AA	stars_output3.csv	DEFAULT_OUT_HGEO の csv ファイルの中から、姿勢推定に使用する情報のみ抽出した軽量版の csv ファイルのファイル名を定義する変数。

実行した結果出力された DEFAULT\_OUT\_AA(stars\_output3.csv) のファイルを以降姿勢推定に用いる。

## 1.2 クラスタ.py を実行する

次に姿勢推定に用いる画像から恒星像 (星候補クラスタ) を同定するためクラスタ.py を実行する、表 1.3 にカタログ.py を実行する前に適宜変更する必要がある変数を示す。

表 1.3 姿勢推定に用いるデフォルト設定（出力ファイル関連）

定数名	デフォルト値	説明
TARGET_FOLDER_PATH	環境次第	姿勢推定に用いる画像が保存されているフォルダのフルパス。 r”パス”の形で記述。
SIGMA_THRESHOLD	3	比較的明るいピクセルを識別する際に使うしきい値計算の係数。 閾値=平均値 +k× 標準偏差 ( $\mu + k\sigma$ ) の k の値。
AREA_MIN	4	同定されたクラスタの面積フィルタリングで用いる。クラスタ 構成ピクセル数の下限。この数値未満のピクセル数のクラスタ はノイズだと考え除去する。
AREA_MAX	55	同定されたクラスタの面積フィルタリングで用いる。クラスタ 構成ピクセル数の上限。この数値を超えたピクセル数のクラスタ は恒星ではないなにかだと考え除去する。
IMG_W	1936	センサの横方向ピクセル数。
IMG_H	1216	センサの縦方向ピクセル数。
CX	968	センサ中央の x 軸 (横方向) 座標。
CY	608	センサ中央の y 軸 (縦方向) 座標
MASK_CENTER_OFFSET	(-56, 9)	センサ中央からレンズの結像領域 (円形領域) 中心が何ピクセル ずれているか (x 座標,y 座標)。
MASK_RADIUS	513	レンズの結像領域 (円形領域) の半径ピクセル数
PIXEL_PITCH_UM_X	5.86	ピクセルピッチ (横)[ $\mu m$ ]
PIXEL_PITCH_UM_Y	5.86	ピクセルピッチ (縦)[ $\mu m$ ]
FOCAL_LENGTH_MM	1.8	レンズの焦点距離 [ $mm$ ]
ENCODING_IO	None	CSV の入出力エンコーディング (None=自動)
LOCAL_RADIUS	25	比較的明るいピクセルを識別する際に使うしきい値計算を行う 円形領域の半径ピクセル数。

出力は、TARGET\_FOLDER\_PATH の下に”findstar”という名前でフォルダが  
自動生成され保存される。出力されるファイルは表 1.4 の 5 ファイルである。

表 1.4 姿勢推定に用いるデフォルト設定

定数名	説明
基画像ファイル名_stats.csv	レンズの結像領域を分割し、各領域の統計量のファイル
基画像ファイル名_clusters.csv	検出されたクラスタ情報のファイル
基画像ファイル名_stars.png	検出結果を可視化した画像ファイル。黄色：星候補ピクセル， 赤：各クラスタの重心ピクセル，赤円：レンズが像を結んでいる とする円形領域の縁
基画像ファイル名_clusters_polar.csv	検出されたクラスタ情報に、その情報に基づき算出したクラスタ の角度情報を追加したファイル
基画像ファイル名_clusters_polar2.csv	クラスタの ID と角度情報のみ抜き出したファイル

出力ファイルの中には、次段以降使用しないが、プログラム作成にあたりデバツク  
を行えるように残しているファイルや情報も存在する。

### 1.3 2周.py を実行する

次に、実際にカメラの姿勢推定のステップに移る。2周.py は、姿勢推定フローにおける座標降下法によるプリパラメータサーチを行うプログラムである。1.1 及び 1.2 で述べた2つのコードの出力を用いてプリパラメータを決定する。以下表 1.5 に、適宜変更する必要があるパス関係の変数を示す。

表 1.5 2周.py 実行前に変更する変数

定数名	説明
STARS_CSV	カタログ.py で出力された天体カタログ由来の恒星の情報ファイルのパス。カタログ.py 内の DEFAULT_OUT_AA(デフォルトだと stars_output3.csv) のフルパス記入。
CLUSTERS_POLAR2_CSV	クラスター.py で出力した星候補クラスターの情報ファイル(元画像ファイル名_clusters_polar2.csv) のフルパスを記入。
CLUSTERS_PIXEL_CSV	クラスター.py で出力した星候補クラスターの情報ファイル(元画像ファイル名_clusters.csv) のフルパスを記入。
OUTDIR_ROOT	2周の実行結果の保存先を指定するパス。各人の環境に合わせて適宜に変更。
PIXEL_PITCH_UM_X	カメラセンサピクセルピッチ(横)[ $\mu m$ ]
PIXEL_PITCH_UM_Y	カメラセンサピクセルピッチ(縦)[ $\mu m$ ]

また、必要に応じてプリパラメータ探索におけるパラメータの範囲とその刻み幅を変更する(プログラム内 42 51 行)。以下表 1.6 に変更可能なパラメータと、範囲・刻み幅のデフォルト値を示す。なおパラメータはタプル形式であり、以下のよう設定する。

$$\text{変数名} = (\text{範囲の下限値}, \text{範囲の上限値}, \text{刻み幅}) \quad (1.1)$$

表 1.6 プリパラメータ探索における設定項目

定数名	範囲デフォルト値	刻み幅デフォルト値	説明
R1_LZ	0.0 360.0[deg]	1.0[deg]	座標降下法によるプリパラメータ決定における, 1 周目の $\lambda_z$ の探索範囲と刻み幅
R1_F	1.26 2.34[mm]	0.01[mm]	座標降下法によるプリパラメータ決定における, 1 周目のカメラの焦点距離 $f$ の探索範囲と刻み幅
R1_LY	-15.0 15.0[deg]	1.0[deg]	座標降下法によるプリパラメータ決定における, 1 周目の $\lambda_y$ の探索範囲と刻み幅
R1_LX	-15.0 15.0[deg]	1.0[deg]	座標降下法によるプリパラメータ決定における, 1 周目の $\lambda_x$ の探索範囲と刻み幅
R2_DZ	-5.0 5.0[deg]	0.5[deg]	座標降下法によるプリパラメータ決定における, 2 周目の $\lambda_z$ の探索範囲と刻み幅
R2_DF	-0.3 0.3[mm]	0.01[mm]	座標降下法によるプリパラメータ決定における, 2 周目のカメラの焦点距離 $f$ の探索範囲と刻み幅. 1 周目の結果を中央値に $\pm 0.3$ [mm] を探索する.
R2_DY	-5.0 5.0[deg]	0.5[deg]	座標降下法によるプリパラメータ決定における, 2 周目の $\lambda_y$ の探索範囲と刻み幅
R2_DX	-5.0 5.0[deg]	0.5[deg]	座標降下法によるプリパラメータ決定における, 2 周目の $\lambda_x$ の探索範囲と刻み幅

2 周.py で行っているのは, 天体カタログから取得した恒星の天球座標を示す単位ベクトル  $e(star)$  に対して回転行列を順番にかけたり画像上での拡大縮小比率 ( $f$  が該当) を変えることで, 最もカメラで撮影された星空と見え方が一致するパラメータを探索することである. 2 周目の焦点距離 R2\_DF の探索範囲は 1 周目で得られた R1\_F の値を基準にその近傍を探索する. 回転行列は探索を行っている順番にかける. すなわち, 1 周目の回転行列を  $R_{pre1}$ , 2 周目の回転行列を  $R_{pre2}$  とするとこの 2 つは以下のように示される.

$$\mathbf{R}_{pre1} = \mathbf{R}(-LX) \mathbf{R}(-LY) \mathbf{R}(-LZ) \quad (1.2)$$

$$\mathbf{R}_{pre2} = \mathbf{R}(-DX) \mathbf{R}(-DY) \mathbf{R}(-DZ) \quad (1.3)$$

また, 2 周.py を実行した結果, 最終的に得られる天体カタログ由来の恒星方向ベクトル  $e'(star)$  は以下で与えられる.

$$e'(star) = \mathbf{R}_{pre2} \mathbf{R}_{pre1} e(Star) \quad (1.4)$$

出力されるファイル名とその内容を以下表に示す.

表 1.7 2 周.py の出力先フォルダ

パス	説明
OUTDIR_ROOT/first	Round1 (1 周目) の出力先フォルダ
OUTDIR_ROOT/second	Round2 (2 周目) の出力先フォルダ

表 1.8 Round1 (first):  $\lambda_z$  sweep で生成される 6 ファイル

ファイル名	説明
first/lambdaZ_sweep_results.csv	$\lambda_z$ (deg) ごとの評価結果 (sum_min_angle_deg, mean_min_angle_deg)
first/lambda_z_vs_min_angle_plot.png	$\lambda_z$ (deg) と sum_min_angle_deg の散布図
first/lambda_z_vs_mean_min_angle_plot.png	$\lambda_z$ (deg) と mean_min_angle_deg の散布図
first/stars_output3_roteted_lambdaz.csv	最良 $\lambda_z$ 適用後の恒星 CSV (A_deg, Theta_deg)
first/matched_pairs_lambdaz.csv	恒星 $\leftrightarrow$ クラスタ対応 CSV (min_angle_deg 等)
first/dot_products_matrix_lambdaz.csv	恒星 $\times$ クラスタの内積 (cos) 行列 CSV

表 1.9 Round1 (first): 焦点距離  $f$  sweep で生成される 6 ファイル

ファイル名	説明
first/focal_length_sweep_results.csv	$f$ (mm) ごとの評価結果 (sum_min_angle_deg, mean_min_angle_deg)
first/focal_length_vs_min_angle_plot.png	$f$ (mm) と sum_min_angle_deg の散布図
first/focal_length_vs_mean_min_angle_plot.png	$f$ (mm) と mean_min_angle_deg の散布図
first/clusters_polar_best1.csv	最良 $f$ のクラスタ極座標 CSV (theta, phi は rad)
first/matched_pairs_f.csv	最良 $f$ での対応 CSV (min_angle_deg 等)
first/dot_products_matrix_f.csv	恒星 $\times$ クラスタの内積 (cos) 行列 CSV

表 1.10 Round2 (second):  $\delta\lambda_z$  sweep で生成される 6 ファイル

ファイル名	説明
second/lambdaZ_sweep_results.csv	$\delta\lambda_z$ (deg) ごとの評価結果 (sum_min_angle_deg, mean_min_angle_deg)
second/lambda_z_vs_min_angle_plot.png	$\delta\lambda_z$ (deg) と sum_min_angle_deg の散布図
second/lambda_z_vs_mean_min_angle_plot.png	$\delta\lambda_z$ (deg) と mean_min_angle_deg の散布図
second/stars_output3_roteted_lambdaz.csv	最良 $\delta\lambda_z$ 適用後の恒星 CSV
second/matched_pairs_lambdaz.csv	恒星 $\leftrightarrow$ クラスタ対応 CSV (min_angle_deg 等)
second/dot_products_matrix_lambdaz.csv	恒星 $\times$ クラスタの内積 (cos) 行列 CSV

表 1.11 Round1 (first):  $\lambda_y$  sweep で生成される 6 ファイル

ファイル名	説明
first/lambdaY_sweep_results.csv	$\lambda_y$ (deg) ごとの評価結果 (sum_min_angle_deg, mean_min_angle_deg)
first/lambda_y_vs_min_angle_plot.png	$\lambda_y$ (deg) と sum_min_angle_deg の散布図
first/lambda_y_vs_mean_min_angle_plot.png	$\lambda_y$ (deg) と mean_min_angle_deg の散布図
first/stars_output3_roteted_lambday.csv	最良 $\lambda_y$ 適用後の恒星 CSV (A_deg, Theta_deg)
first/matched_pairs_lambday.csv	恒星 $\leftrightarrow$ クラスタ対応 CSV (min_angle_deg 等)
first/dot_products_matrix_lambday.csv	恒星 $\times$ クラスタの内積 (cos) 行列 CSV

表 1.12 Round1 (first):  $\lambda_x$  sweep (Round1 最終) で生成される 6 ファイル

ファイル名	説明
first/lambdaX_sweep_results.csv	$\lambda_x$ (deg) ごとの評価結果 (sum_min_angle_deg, mean_min_angle_deg)
first/lambda_x_vs_min_angle_plot.png	$\lambda_x$ (deg) と sum_min_angle_deg の散布図
first/lambda_x_vs_mean_min_angle_plot.png	$\lambda_x$ (deg) と mean_min_angle_deg の散布図
first/stars_output3_roteted_lambdaz_y_x.csv	最良 $\lambda_x$ 適用後 (Round1 最終) の恒星 CSV
first/matched_pairs_lambdax.csv	恒星 $\leftrightarrow$ クラスタ対応 CSV (min_angle_deg 等)
first/dot_products_matrix_lambdax.csv	恒星 $\times$ クラスタの内積 (cos) 行列 CSV

表 1.13 Round1 (first): 後処理で生成される 4 ファイル

ファイル名	説明
first/names_min_angle_ge5.txt	min_angle_deg $\geq 5$ の恒星名を 1 列出力 (CSV 形式内容)
first/stars_output3_roteted_lambdaz_y_x_useful.csv	上記恒星名を除外した恒星 CSV
first/stars_output3_roteted_lambdaz_y_x_useful2.csv	Theta_deg $> 30$ のみ抽出した恒星 CSV
first/round1_summary.csv	Round1 最良パラメータ ( $\lambda_z, f, \lambda_y, \lambda_x$ ) と sum/mean/N サマリ

表 1.14 Round2 (second):  $\delta f$  sweep で生成される 6 ファイル

ファイル名	説明
second/focal_length_sweep_results.csv	$\delta f$ (mm) ごとの評価結果 (focal_length_mm=base+ $\delta$ , sum_min_angle_deg, mean_min_angle_deg)
second/focal_length_vs_min_angle_plot.png	$f$ (mm) と sum_min_angle_deg の散布図
second/focal_length_vs_mean_min_angle_plot.png	$f$ (mm) と mean_min_angle_deg の散布図
second/clusters_polar_best1.csv	最良 $\delta f$ (最終 $f$ ) のクラスタ極座標 CSV (theta, phi は rad)
second/matched_pairs_f.csv	最良 $\delta f$ での対応 CSV (min_angle_deg 等)
second/dot_products_matrix_f.csv	恒星 $\times$ クラスタの内積 (cos) 行列 CSV

表 1.15 Round2 (second):  $\delta\lambda_y$  sweep で生成される 6 ファイル

ファイル名	説明
second/lambdaY_sweep_results.csv	$\delta\lambda_y$ (deg) ごとの評価結果 (sum_min_angle_deg, mean_min_angle_deg)
second/lambda_y_vs_min_angle_plot.png	$\delta\lambda_y$ (deg) と sum_min_angle_deg の散布図
second/lambda_y_vs_mean_min_angle_plot.png	$\delta\lambda_y$ (deg) と mean_min_angle_deg の散布図
second/stars_output3_roteted_lambdaz_y.csv	最良 $\delta\lambda_y$ 適用後の恒星 CSV
second/matched_pairs_lambday.csv	恒星 $\leftrightarrow$ クラスタ対応 CSV (min_angle_deg 等)
second/dot_products_matrix_lambday.csv	恒星 $\times$ クラスタの内積 (cos) 行列 CSV

表 1.16 Round2 (second):  $\delta\lambda_x$  sweep (Round2 最終) で生成される 6 ファイル

ファイル名	説明
second/lambdaX_sweep_results.csv	$\delta\lambda_x$ (deg) ごとの評価結果 (sum_min_angle_deg, mean_min_angle_deg)
second/lambda_x_vs_min_angle_plot.png	$\delta\lambda_x$ (deg) と sum_min_angle_deg の散布図
second/lambda_x_vs_mean_min_angle_plot.png	$\delta\lambda_x$ (deg) と mean_min_angle_deg の散布図
second/stars_output3_roteted_lambdaz_y_x.csv	最良 $\delta\lambda_x$ 適用後 (Round2 最終) の恒星 CSV
second/matched_pairs_lambdax.csv	恒星 $\leftrightarrow$ クラスタ対応 CSV (min_angle_deg 等)
second/dot_products_matrix_lambdax.csv	恒星 $\times$ クラスタの内積 (cos) 行列 CSV

表 1.17 Round2 (second): サマリ・最終エクスポートで生成される 2 ファイル

ファイル名	説明
second/round2_summary.csv	Round2 最良パラメータ ( $\delta\lambda_z, \delta f, \delta\lambda_y, \delta\lambda_x$ ) と sum/mean/N サマリ
second/stars_rotated_r1r2_from_original.csv	Round1 回転 ( $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ ) と Round2 微調整 ( $\delta\lambda_x, \delta\lambda_y, \delta\lambda_z$ ) を合成し元カタログへ適用した恒星 CSV (A_deg/Theta_deg 更新)

次節以降用いるのは”first/round1\_summary.csv”と,”second/round2\_summary.csv”内にある各種パラメータの数値であり、その他のファイルは途中経過を追ったり、デバッグをする際に使用したファイルである。

## 1.4 総当り 3 回\_単体.py を実行する

次に、グリッドサーチを行いより詳細に姿勢を推定する。このコードではグリッドサーチを 3 回に分けて行っている。荒く探索することから始め、荒く探索した結果の近傍をより詳細に狭く探索することで最適なパラメータを探し出している。

以下表 1.18 に、適宜変更する必要があるパス関係の変数を示す (コード内 31~40 行)。

表 1.18 総当り 3 回\_単体.py 実行前に変更するパス変数

定数名	説明
STARS_ROUND1_CSV	プリパラメータ決定の最終結果の天体カタログ由来の恒星の座標データ
CLUSTERS_PIXEL_CSV	クラスター.py で出力した星候補クラスターの情報ファイル (元画像ファイル名_clusters.csv) のフルパスを記入
OUTDIR_ROOT	実行結果の保存先を指定するパス。各人の環境に合わせて適当に変更。
PIXEL_PITCH_UM_X	カメラセンサピクセルピッチ (横)[ $\mu m$ ]
PIXEL_PITCH_UM_Y	カメラセンサピクセルピッチ (横)[ $\mu m$ ]
BASE_F_MM_ROUND1	プリパラメータ決定で得た焦点距離 f[mm] の最適値。

次に、グリッドサーチにおける各パラメータの範囲・刻み幅のデフォルト値を1.19~1.21に示す(コード内337行以降 main 関数内参照)。“res1”が1回目のグリッドサーチ，“res2”が2回目のグリッドサーチ，“res3”が3回目のグリッドサーチに該当する。

表 1.19 1 回目のグリッドサーチにおける設定項目

定数名	範囲デフォルト値	刻み幅デフォルト値	説明
dlx	-5.0 5.0[deg]	0.5[deg]	1 回目のグリッドサーチによるパラメータ決定における $\lambda_x$ の探索範囲と刻み幅。
dly	-5.0 5.0[deg]	0.5[deg]	1 回目のグリッドサーチによるパラメータ決定における $\lambda_y$ の探索範囲と刻み幅。
dlz	-5.0 5.0[deg]	0.5[deg]	1 回目のグリッドサーチによるパラメータ決定における $\lambda_z$ の探索範囲と刻み幅。
df	-0.3 0.3[mm]	0.01[mm]	1 回目のグリッドサーチによるパラメータ決定における焦点距離 $f$ の探索範囲と刻み幅。範囲はプリパラメータ決定の結果を中央値とした範囲。

表 1.20 2 回目のグリッドサーチにおける設定項目

定数名	範囲デフォルト値	刻み幅デフォルト値	説明
dlx	-1.0 1.0[deg]	0.1[deg]	2 回目のグリッドサーチによるパラメータ決定における $\lambda_x$ の探索範囲と刻み幅。範囲は 1 回目の結果を中央値とした範囲。
dly	-1.0 1.0[deg]	0.1[deg]	2 回目のグリッドサーチによるパラメータ決定における $\lambda_y$ の探索範囲と刻み幅。範囲は 1 回目の結果を中央値とした範囲。
dlz	-1.0 1.0[deg]	0.1[deg]	2 回目のグリッドサーチによるパラメータ決定における $\lambda_z$ の探索範囲と刻み幅。範囲は 1 回目の結果を中央値とした範囲。
df	-0.02 0.02[mm]	0.002[mm]	2 回目のグリッドサーチによるパラメータ決定における焦点距離 $f$ の探索範囲と刻み幅。範囲は 1 回目の結果を中央値とした範囲。

表 1.21 3 回目のグリッドサーチにおける設定項目

定数名	範囲デフォルト値	刻み幅デフォルト値	説明
dlx	-0.2 0.2[deg]	0.01[deg]	3 回目のグリッドサーチによるパラメータ決定における $\lambda_x$ の探索範囲と刻み幅。範囲は 2 回目の結果を中央値とした範囲。
dly	-0.2 0.2[deg]	0.01[deg]	3 回目のグリッドサーチによるパラメータ決定における $\lambda_y$ の探索範囲と刻み幅。範囲は 2 回目の結果を中央値とした範囲。
dlz	-0.2 0.2[deg]	0.01[deg]	3 回目のグリッドサーチによるパラメータ決定における $\lambda_z$ の探索範囲と刻み幅。範囲は 2 回目の結果を中央値とした範囲。
df	-0.004 0.004[mm]	0.001[mm]	3 回目のグリッドサーチによるパラメータ決定における焦点距離 $f$ の探索範囲と刻み幅。範囲は 2 回目の結果を中央値とした範囲。

出力されるファイルを表 1.22 に示す。1 回目の結果は“first”，2 回目の結果

は”second”, 三回目の結果は”third”フォルダ内に保存される。出力は各回共通である。

表 1.22 グリッドサーチ実行時の出力ファイル一覧

ファイル名	説明
refine4d_best.csv	グリッドサーチ ( $\delta\lambda_x, \delta\lambda_y, \delta\lambda_z, \delta f$ ) で得られた最良解の要約.
stars_output3_refined.csv	最良解の回転 ( $\delta\lambda_x, \delta\lambda_y, \delta\lambda_z$ ) を適用した天体カタログ由来の恒星の座標情報.
matched_pairs_refine4d.csv	最良解の回転後の各星に対し, クラスタ重心との内積最大の対応付け結果. 付加情報としてクラスタのメタ情報もマージされる.
dot_products_matrix_refine4d.csv	回転後の星ベクトルとクラスタベクトルの内積行列.
refine4d_f_candidates.csv	評価した焦点距離 $f$ 候補の一覧 (mm)
refine4d_f_candidates.png	$f$ 候補のサンプル可視化 (横軸 $f$ 、縦軸インデックス)

最終的に”third”フォルダ内の refine4d\_best.csv 内にある値が最終的なグリッドサーチ結果である。

## 第2章

# 写真解析のコード実行方法

この章では写真解析を行う方法について順に説明する。使用するコードは”pics\_anal”フォルダ内のものである。実行するのは、”orchestrate\_pipeline.py”であるが、このコードで呼び出すコードがいくつかあり、そちらのコードの設定項目を必要に応じて変更する必要がある。まず、その設定項目について説明する。

### 2.1 設定を変更する

以下順にコードと設定項目について説明する。

#### 2.1.1 クラスタ.py の設定項目

”クラスタ.py”は写真から恒星の像を抽出するためのコードである。以下表2.1 に必要に応じて変更する定数とその説明を示す。

表 2.1 クラスター.py の設定項目一覧

定数名	デフォルト値	説明
TARGET_FOLDER_PATH	-	コードを単体で動かす際に画像ファイルの保存先を格納する変数. "orchestrate_pipeline.py"実行の際には変更不要.
SIGMA_THRESHOLD	3	比較的明るいピクセルを識別する際に使うしきい値計算の係数. しきい値は $T = \mu + k\sigma$ とし, $k$ の値.
AREA_MIN	4	同定されたクラスタの面積フィルタリングで用いる. クラスタ構成ピクセル数の下限. この数値未満のピクセル数のクラスタはノイズだと考え除去する.
AREA_MAX	55	同定されたクラスタの面積フィルタリングで用いる. クラスタ構成ピクセル数の上限. この数値を超えたピクセル数のクラスタは恒星ではないなにかだと考え除去する.
IMG_W	1936	センサの横方向ピクセル数.
IMG_H	1216	センサの縦方向ピクセル数.
CX	968	センサ中央の x 軸 (横方向) 座標.
CY	608	センサ中央の y 軸 (縦方向) 座標
MASK_CENTER_OFFSET	(-56, 9)	センサ中央からレンズの結像領域 (円形領域) 中心が何ピクセルずれているか (x 座標,y 座標).
MASK_RADIUS	513	レンズの結像領域 (円形領域) の半径ピクセル数
PIXEL_PITCH_UM_X	5.86	ピクセルピッチ (横)[ $\mu m$ ]
PIXEL_PITCH_UM_Y	5.86	ピクセルピッチ (縦)[ $\mu m$ ]
FOCAL_LENGTH_MM	1.778	グリッドサーチの結果得られたレンズの焦点距離 [ $mm$ ] の最適値.
COS_ANG_0P5	0.6	恒星の明るさを取得する際に, 輝度値の積分値を計算する領域を決定する変数. 重心からの開き角の大きさ [deg].
COS_ANG_0P8	1.0	恒星の明るさを取得する際に, 背景光の平均値を計算する円環領域の内側を決定する変数. 重心からの開き角の大きさ [deg].
COS_ANG_1P0	1.2	恒星の明るさを取得する際に, 背景光の平均値を計算する円環領域の外側を決定する変数. 重心からの開き角の大きさ [deg].

ここで, 表 2.1 内の下 3 つは, 恒星の明るさを画像から取得する際に使用する項目である. 図 2.1 にこのコードで行っている画像から恒星の明るさを取得する例を示す. 例えば図左側のような恒星像があり, その重心が赤いピクセルだったとする. この場合, まず恒星像を覆い尽くすような領域の輝度値の積分値  $F$  とそのピクセル数  $N$  を算出する. この積分範囲を決めるのが変数 COS\_ANG\_0P5[deg] に該当し, 重心から開き角 COS\_ANG\_0P5[deg] の範囲で積分値を計算する. デフォルト値 0.6 は, 筆者が 0.6 で恒星像がカバーしきれているかどうかを画像に着色して確認した結果設定した値である. 0.6 という値が解析に影響を与えているか否かはまだ正確に評価できていないため要検討である. 次に重心から開き角 COS\_ANG\_0P8[deg] から COS\_ANG\_1P0[deg] の円環領域 (図内紫色のピクセル) のピクセルの輝度値の平均値  $B$  を算出する. この 2 変数の値も解析に影響を与えているか否かは正確に評価できていないため要検討である. そして最後に

$F - N \times B$  を計算し、これを恒星の明るさとしている。

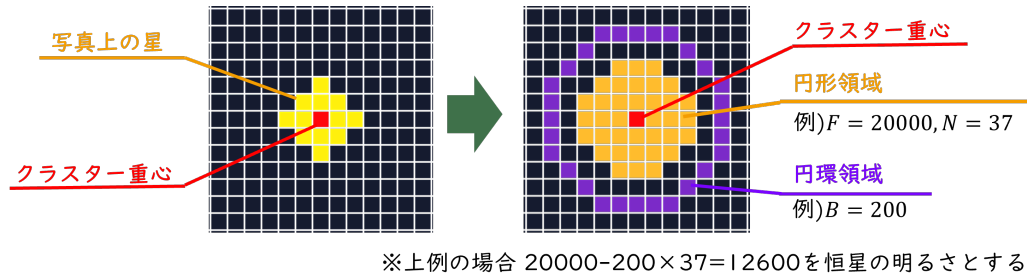


図 2.1 恒星の明るさ取得例

### 2.1.2 カタログ.py の設定項目

次に天体カタログの情報を取得するカタログ.py の説明を述べる。先述の通り、画像解析をする際に実行するのは”orchestrate\_pipeline.py”であるが、こちらのコード内で定義している変数は実行するのは”orchestrate\_pipeline.py”内で定義している数値を用いるため、このコードは基本的に書き換え不要である。以下表 2.2 に必要に応じて変更する変数とその説明を示す。

表 2.2 クラスタ.py の設定項目一覧

定数名	デフォルト値	説明
DEFAULT_VMAG_LIMI	2.5	姿勢推定に使用する恒星の実視等級の下限值。このコード単体で動かす場合は変更が必要だが、画像解析の際には変更不要。
DEFAULT_MAX_RESULTS	2000	画像解析に使用する恒星の数の上限値。
DEFAULT_LAT	"39:11:18"	姿勢推定に用いる画像が撮影された位置の緯度（北緯を正，南緯を負）。このコード単体で動かす場合は変更が必要だが、画像解析の際には変更不要。
DEFAULT_LON	"-112:42:40"	姿勢推定に用いる画像が撮影された位置の経度（東経を正，西経を負）。このコード単体で動かす場合は変更が必要だが、画像解析の際には変更不要。
DEFAULT_UTC_ISO	-	姿勢推定に用いる画像が撮影された時刻（ISO 8601 形式）。このコード単体で動かす場合は変更が必要だが、画像解析の際には変更不要。
DEFAULT_DUT1	-0.2	UT1-UTC の補正值（秒）。地球自転の不規則さを補正するために用いる。このコード単体で動かす場合は変更が必要だが、画像解析の際には変更不要。
DEFAULT_DELTA_AT	37.0	TAI-UTC（秒）。うるう秒による累積差。このコード単体で動かす場合は変更が必要だが、画像解析の際には変更不要。
DEFAULT_USE_MEAN_OF_DATE	True	歳差および固有運動を反映した当日の平均座標系（Mean of Date）を使用するかどうか。True の場合に有効。このコード単体で動かす場合は変更が必要だが、画像解析の際には変更不要。

また出力ファイル名を以下表 2.3 に示す変数を変更することで変えることが可能である。

表 2.3 姿勢推定に用いるデフォルト設定（出力ファイル関連）

定数名	デフォルト値	説明
DEFAULT_HIP_CSV	bright_stars_hip.csv	使用する恒星候補一覧の情報を格納する csv ファイル名を定義する変数。天体カタログに存在するすべての恒星の中から DEFAULT_VMAG_LIMIT より明るい恒星すべての HIP 番号と実視等級の一覧。
DEFAULT_OUT_ALL	stars_output.csv	DEFAULT_HIP_CSV のファイル内にあるすべての恒星について、撮影場所・時間における方位角・高度などを計算した結果を格納する csv ファイル名を定義する変数。
DEFAULT_OUT_HGEO	stars_output2.csv	DEFAULT_OUT_ALL にある恒星の情報の中から恒星の高度が 30°以上のものだけを抽出した csv ファイルのファイル名を定義する変数。
DEFAULT_OUT_AA	stars_output3.csv	DEFAULT_OUT_HGEO の csv ファイルの中から、姿勢推定に使用する情報のみ抽出した軽量版の csv ファイルのファイル名を定義する変数。

### 2.1.3 回転.py の設定項目

次に 1 章で述べたカメラの姿勢推定の結果を解析に反映させるためのコード”回転.py”内の変数について述べる。こちらのコード内の変数の数値は、姿勢推定を行った結果を反映させるときに必ず変更させる必要がある。すなわち、カメラの設置変更や、経時変化でカメラの姿勢が変わった場合は姿勢推定をやりなおし、こちらのコードの変数も変更が必要である。以下表 2.4 に各変数名とその説明を示す。

表 2.4 回転.py の設定項目一覧

定数名	説明
INPUT_STARS_CSV	カメラの姿勢を含めた座標系に変換したい天体カタログ由来の恒星の座標情報ファイル.
LAMBDA_Z	プリパラメータ決定における座標降下法 1 回目の $\lambda_z$ の値. デフォルトだと”results_2round”フォルダ内の”first”フォルダにある”round1_summary.csv”ファイル内の”best_lambda_z_deg”列の値.
LAMBDA_Y	プリパラメータ決定における座標降下法 1 回目の $\lambda_y$ の値. デフォルトだと”results_2round”フォルダ内の”first”フォルダにある”round1_summary.csv”ファイル内の”best_lambda_y_deg”列の値.
LAMBDA_X	プリパラメータ決定における座標降下法 1 回目の $\lambda_x$ の値. デフォルトだと”results_2round”フォルダ内の”first”フォルダにある”round1_summary.csv”ファイル内の”best_lambda_x_deg”列の値.
DELTA_Z	プリパラメータ決定における座標降下法 2 回目の $\lambda_z$ の値. デフォルトだと”results_2round”フォルダ内の”second”フォルダにある”round2_summary.csv”ファイル内の”best_delta_lambda_z_deg”列の値.
DELTA_Y	プリパラメータ決定における座標降下法 2 回目の $\lambda_y$ の値. デフォルトだと”results_2round”フォルダ内の”second”フォルダにある”round2_summary.csv”ファイル内の”best_delta_lambda_y_deg”列の値.
DELTA_X	プリパラメータ決定における座標降下法 2 回目の $\lambda_x$ の値. デフォルトだと”results_2round”フォルダ内の”second”フォルダにある”round2_summary.csv”ファイル内の”best_delta_lambda_x_deg”列の値.
GAMMA_Z	パラメータ決定におけるグリッドサーチ 3 回目の $\lambda_z$ の値. デフォルトだと”results_refine”フォルダ内の”third”フォルダにある”3refine4d_best.csv”ファイル内の”delta_lx_deg”列の値.
GAMMA_Y	パラメータ決定におけるグリッドサーチ 3 回目の $\lambda_y$ の値. デフォルトだと”results_refine”フォルダ内の”third”フォルダにある”3refine4d_best.csv”ファイル内の”delta_ly_deg”列の値.
GAMMA_X	パラメータ決定におけるグリッドサーチ 3 回目の $\lambda_x$ の値. デフォルトだと”results_refine”フォルダ内の”third”フォルダにある”3refine4d_best.csv”ファイル内の”delta_lz_deg”列の値.

### 2.1.4 マッチング.py の設定項目

次に、天体カタログの恒星と画像上の恒星像をマッチングして対応関係を取る”マッチング.py”の変数について述べる。以下表 2.5 に変数名とその説明を述べる。

表 2.5 回転.py の設定項目一覧

定数名	説明
INPUT_STARS_CSV	カメラの姿勢を含めた座標系に変換したい天体カタログ由来の恒星の座標情報ファイル.
LAMBDA_Z	プリパラメータ決定における座標降下法 1 回目の $\lambda_z$ の値. デフォルトだと”results_2round”フォルダ内の”first”フォルダにある”round1_summary.csv”ファイル内の”best_lambda_z_deg”列の値.
LAMBDA_Y	プリパラメータ決定における座標降下法 1 回目の $\lambda_y$ の値. デフォルトだと”results_2round”フォルダ内の”first”フォルダにある”round1_summary.csv”ファイル内の”best_lambda_y_deg”列の値.
LAMBDA_X	プリパラメータ決定における座標降下法 1 回目の $\lambda_x$ の値. デフォルトだと”results_2round”フォルダ内の”first”フォルダにある”round1_summary.csv”ファイル内の”best_lambda_x_deg”列の値.
DELTA_Z	プリパラメータ決定における座標降下法 2 回目の $\lambda_z$ の値. デフォルトだと”results_2round”フォルダ内の”second”フォルダにある”round2_summary.csv”ファイル内の”best_delta_lambda_z_deg”列の値.
DELTA_Y	プリパラメータ決定における座標降下法 2 回目の $\lambda_y$ の値. デフォルトだと”results_2round”フォルダ内の”second”フォルダにある”round2_summary.csv”ファイル内の”best_delta_lambda_y_deg”列の値.
DELTA_X	プリパラメータ決定における座標降下法 2 回目の $\lambda_x$ の値. デフォルトだと”results_2round”フォルダ内の”second”フォルダにある”round2_summary.csv”ファイル内の”best_delta_lambda_x_deg”列の値.
GAMMA_Z	パラメータ決定におけるグリッドサーチ 3 回目の $\lambda_z$ の値. デフォルトだと”results_refine”フォルダ内の”third”フォルダにある”3refine4d_best.csv”ファイル内の”delta_lx_deg”列の値.
GAMMA_Y	パラメータ決定におけるグリッドサーチ 3 回目の $\lambda_y$ の値. デフォルトだと”results_refine”フォルダ内の”third”フォルダにある”3refine4d_best.csv”ファイル内の”delta_ly_deg”列の値.
GAMMA_X	パラメータ決定におけるグリッドサーチ 3 回目の $\lambda_x$ の値. デフォルトだと”results_refine”フォルダ内の”third”フォルダにある”3refine4d_best.csv”ファイル内の”delta_lz_deg”列の値.

### 2.1.5 skymap.py の設定項目

次に、マッチング結果を可視化する”skymap.py”の設定項目について説明する. 表 2.6 に定数とその説明を示す.

表 2.6 skymap.py の設定項目一覧 (画像・投影中心・描画)

定数名	デフォルト値	説明
W	1936	出力画像の横方向ピクセル数. 撮影された画像に合わせる.
H	1216	出力画像の縦方向ピクセル数. 撮影された画像に合わせる.
FOV_FULL_DEG	185.0	魚眼レンズの全視野角 [deg]. メーカーが出している値.
FOCAL_LENGTH_MM	1.779	グリッドサーチの結果得られたレンズの焦点距離 [mm] の最適値.
PIXEL_PITCH_UM_X	5.86	ピクセルピッチ (横)[ $\mu m$ ]
PIXEL_PITCH_UM_Y	5.86	ピクセルピッチ (縦)[ $\mu m$ ]
cx0	W//2	画像の幾何学中心の x 軸 (横方向) 座標.
cy0	H//2	画像の幾何学中心の y 軸 (縦方向) 座標.
cx	cx0 - 56	投影中心の x 軸 (横方向) 座標. 画像中心 (cx0) から x 方向に -56[px] だけ補正した値.
cy	cy0 + 9	投影中心の y 軸 (縦方向) 座標. 画像中心 (cy0) から y 方向に +9[px] だけ補正した値.
ALPHA_DEG	1.0	リングとして描画する球面小円の角半径 [deg]. 各恒星座標の周囲に, 開き角 ALPHA_DEG[deg] の小円を投影して描画する.
N_RING	180	小円 (リング) を折れ線近似して描画する際の分割数 (近似頂点数).
CROSS_HALFLLEN	1	各恒星座標に描画する十字の半長 [px]. 実際の十字の線分長は $2 \times \text{CROSS_HALFLLEN}$ となる.
CROSS_WIDTH	1	十字線の太さ [px]. 0 の場合は十字を描画しない.
RING_WIDTH	1	リング線の太さ [px]. 0 の場合はリングを描画しない.

撮影された画像ファイルに重ね合わせることで, マッチングの様子を可視化できる. 以下図 2.2 に撮影された画像内の星候補クラスターに黄色く着色した画像の上に, "skymap.py" で生成された画像を重ねた例を示す. 図内黄色が星候補クラスター, 水色のクロスヘアが天体カタログの恒星の座標を示す. また, 緑円はマッチングが成功した恒星, 赤円はマッチングが失敗した恒星を示す. この円は, どちらの色も開き角  $1^\circ$  を描写しており, "skymap.py" 19 行 "ALPHA\_DEG" の数値を変えることで変更することができる.

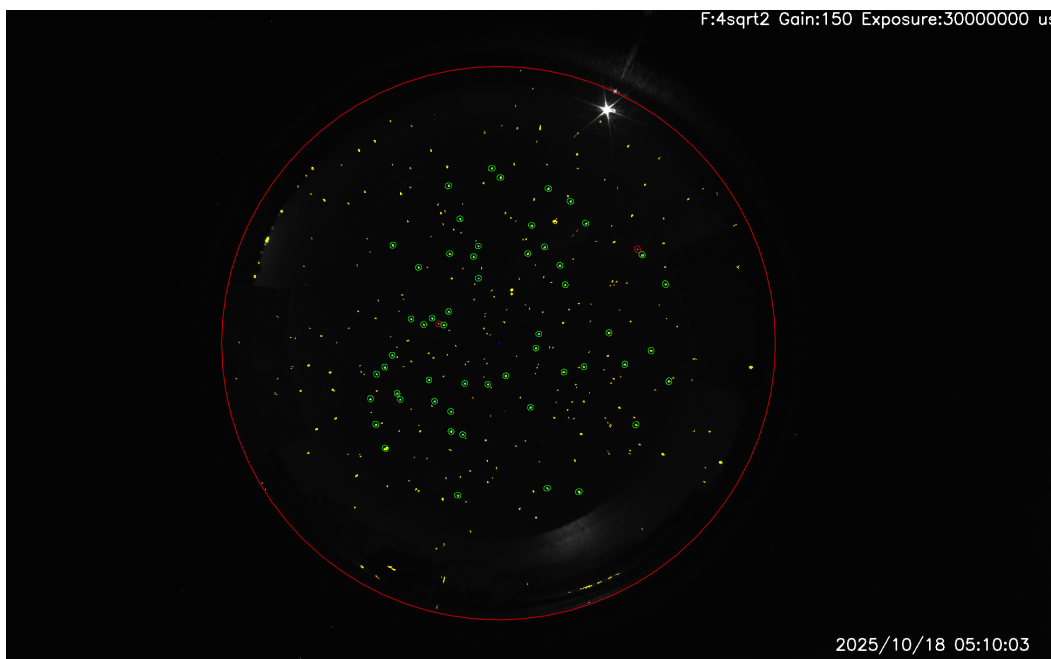


図 2.2 マッチング結果例

## 2.2 orchestrate\_pipeline.py を実行する

画像解析で主に使用するはこのコードである。このコードは 2.1 節で述べた 4 つのコードのラッパーコードであり、基本的に実行するのはこのコードである。また、このコードは任意のフォルダ内に保存された全ての画像ファイルを一度の実行で解析できる。以下表 2.7 に必要に応じて変更する定数とその説明を示す。

表 2.7 クラスタ.py の設定項目一覧

定数名	デフォルト値	説明
IMAGE_DIR	-	解析する画像を保存しているフォルダのフルパス。
OUTPUT_ROOT	-	解析結果を出力するフォルダのフルパス。
LAT	"39:11:18"	姿勢推定に用いる画像が撮影された位置の緯度（北緯を正，南緯を負）。デフォルト値は BRM の値。
LON	"-112:42:40"	姿勢推定に用いる画像が撮影された位置の経度（東経を正，西経を負）。デフォルト値は BRM の値。
DUT1	-0.2	UT1-UTC の補正值（秒）。地球自転の不規則さを補正するために用いる。
DELTA_AT	37.0	TAI-UTC（秒）。うるう秒による累積差。このコード単体で動かす場合は変更が必要だが，画像解析の際には変更不要。
ANGLE_THRESH_DEG	1.0	マッチング時に恒星の座標から最寄りのクラスター重心までの開き角 [deg]。この数値以下の範囲にクラスター重心がない恒星はマッチングしない。
VMAG_LIMIT = 3.0	True	解析対象にする恒星の実視等級下限値。

## 第3章

# 解析結果の見方

この章では画像解析結果の見方を説明する。使用するコードは”pics\_anal”フォルダ内のものである。

### 3.1 各画像ごとの解析結果の見方

画像解析を行うと、作業フォルダ内に”results”フォルダが自動生成され、その中に結果が保存される。”results”フォルダ内に各画像ファイル毎にフォルダが生成され、その中に画像毎の出力結果が保存される。画像解析を行った時に、各画像毎に出力されるファイル一覧を以下に示す。

```
results フォルダ/  
├── 画像名フォルダ/  
│   ├── 画像名_cog0p60_and_ring1p00_1p20.png  
│   ├── 画像名_matched.csv  
│   ├── 画像名_skymap.png  
│   ├── 画像名_starsoutput.csv  
│   ├── 画像名_stars_output2.csv  
│   ├── 画像名_stars_output3.csv  
│   ├── 画像名_starsoutput3_rotatedall.csv  
│   ├── 画像名_unmatched_stars.csv  
│   ├── clusters_polar.csv  
│   ├── clusters_polar2.csv  
│   ├── stars.png  
└── stars_arround.png
```

またこれらのファイルの内容を以下に示す。

表 3.1 orchestrate 実行後に生成される 12 ファイル

ファイル名	説明
画像名_cog0p60_and_ring1p00_1p20.png	重心近傍 ( $0.6^\circ$ ) とリング ( $1.0^\circ - 1.2^\circ$ ) の評価領域を可視化した画像。恒星の明るさ取得の様子を可視化するために使用。
画像名_matched.csv	マッチングできた恒星の CSV (角度差、クラスタ統計、SEC(z) など)
画像名_skymap.png	matched/unmatched を投影して描画した最終スカイマップ画像
画像名_stars_output.csv	カタログ計算の全出力 CSV (RA/Dec, A, Theta, h, JD, Vmag など詳細列)
画像名_stars_output2.csv	stars_output.csv のうち高度 $h \geq 0$ の星のみ
画像名_stars_output3.csv	name, A_deg, Theta_deg, Vmag の最小列 CSV (マッチング入力用)
画像名_stars_output3_rotatedall.csv	stars_output3.csv を回転補正した CSV (元角度列も保持)
画像名_unmatched_stars.csv	マッチしなかった恒星の CSV
clusters_polar.csv	星候補クラスター情報 CSV
clusters_polar2.csv	clusters_polar.csv から ClusterID, theta, phi のみ抽出した CSV
stars.png	検出した星クラスターのオーバーレイ画像。星候補クラスターを黄色に、重心を赤色に着色。
stars_arround.png	元画像の恒星像周辺リング領域を重ねたオーバーレイ画像。不要。

この中でも大気透明度を見るために必須なのが、”画像名\_matched.csv”ファイルである。この csv ファイルの各列の説明を以下表に示す。

表 3.2 画像名 `matched.csv` の列と説明

列名	説明
<code>name</code>	恒星の HIP 番号
<code>star_Vmag</code>	恒星の実視等級
<code>cluster_ClusterID</code>	対応した画像クラスター ID(通し番号)
<code>cluster_PixelCount</code>	クラスターを構成する画素数
<code>cluster_TotalIntensity</code>	クラスター恒星画素の輝度値総和
<code>cluster_MeanIntensity</code>	クラスター恒星画素の平均輝度
<code>cluster_ArroundMeanIntensity</code>	クラスター周辺リング領域平均輝度 (以前使用していたが現在は不使用)
<code>cluster_ArroundTotalIntensity</code>	クラスター周辺リング領域総輝度 (以前使用していたが現在は不使用)
<code>cluster_RealMeanIntensity</code>	実効輝度 (クラスター総輝度 - 周辺成分) (以前使用していたが現在は不使用)
<code>cluster_Total_around_the_center_of_gravity</code>	重心近傍領域の総輝度. 画像 2.1 内の $F$ の値.
<code>cluster_Total_around_the_center_of_gravity_PixelCount</code>	重心近傍領域の画素数. 画像 2.1 内の $N$ の値.
<code>cluster_Average_brightness_of_the_circular_ring_around_the_center_of_gravity</code>	重心周囲リングの平均輝度. 画像 2.1 内の $B$ の値.
<code>cluster_CentroidX</code>	クラスター重心 X 座標 [px]
<code>cluster_CentroidY</code>	クラスター重心 Y 座標 [px]
<code>cluster_X_rel</code>	画像中心基準の相対 X [px]
<code>cluster_Y_rel</code>	画像中心基準の相対 Y [px]
<code>cluster_theta</code>	クラスター天頂角 $\theta$ [rad]
<code>cluster_phi</code>	クラスター方位角 $\phi$ [rad]
<code>theta_deg</code>	<code>cluster_theta</code> の度換算 [deg]
<code>phi_deg</code>	<code>cluster_phi</code> の度換算 [deg]
<code>Original_A_deg</code>	回転補正前の恒星方位角 A [deg]
<code>Original_Theta_deg</code>	回転補正前の恒星天頂角 $\Theta$ [deg]
<code>A_deg</code>	回転補正後の恒星方位角 A [deg]
<code>Theta_deg</code>	回転補正後の恒星天頂角 $\Theta$ [deg]
<code>angle_deg</code>	恒星ベクトルとクラスターベクトルの開き角 [deg]
<code>SEC(z)</code>	天体カタログの座標から計算したエアマス. $\sec(z) = 1/\cos(z)$

## 3.2 解析結果のマージ作成方法

”merge\_csv.py”を使用すると、各画像ごとの解析結果をマージすることができる。具体的にはマッチングできたコード内で指定したフォルダ内にある、マッチングできた恒星のデータの csv ファイルを”merged\_matched.csv”, マッチングで

きなかった恒星の csv ファイルを”merged\_unmatched.csv”として、2つのマージファイルを作成できる。また、”merged\_matched.csv”には、先述の  $F = B \times N$  に則って算出した恒星の明るさ”integral\_value\_minus\_background”と、1等級相当に補正した恒星の明るさの列”Grade1\_equivalent\_corrected\_value”がマージ時に新しい列として csv に追加される。”merged\_matched.csv”内の SEC(Z) 列 vs ”Grade\_1\_equivalent\_corrected\_value”で散布図を作成すると、以下のような散布図が得られる。

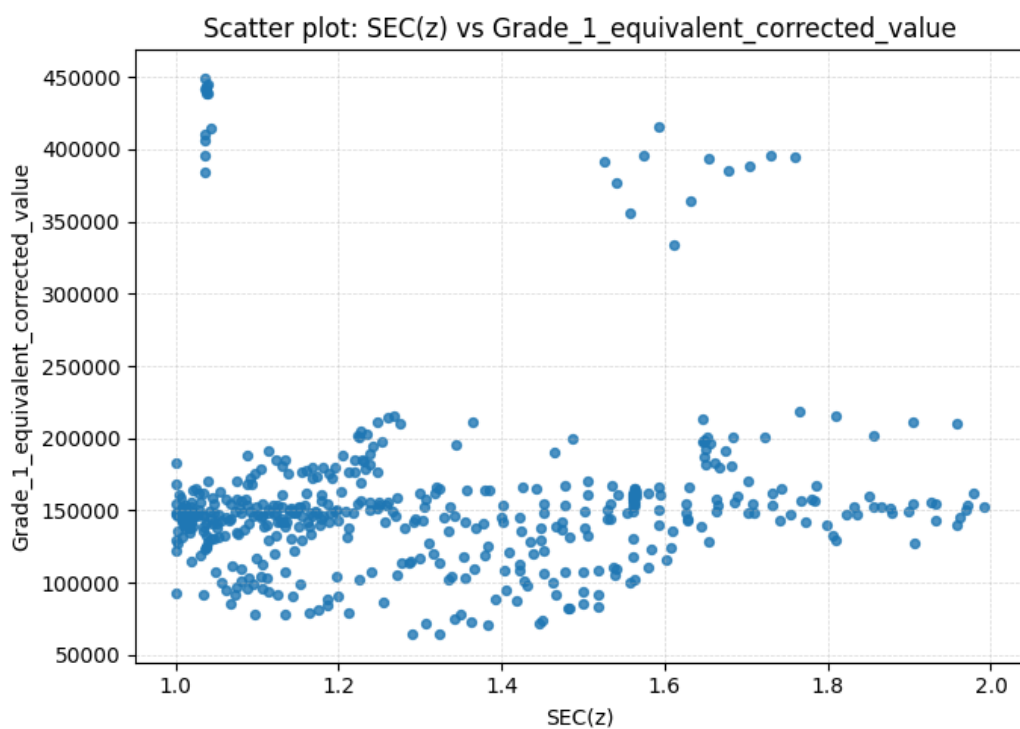


図 3.1 散布図の例