

# 「すた～ふらっとナ～」仕様書

## 1. 背景

近ごろの日本は一年を通じて曇りや雨が多く、星のキレイな撮影地に遠征する機会や気力が少なくなりました。（気力は年のせいかも？）そんな訳で、ベランダや近所の川原で星の写真を撮る機会が増えています。

一方で、ここ5～6年で省エネ化のために街灯が蛍光灯や水銀灯からLEDへと置換が進み、同時に上空への光の散乱が防止されるようになってきており、市街地の星空も大きく変化してきました。ここ横浜市でも、最近ではベランダで夏の天の川が撮影できるようになりましたが、輝線対策用の公害カットフィルターでも低空の光害は取りづらくなってきました。

そんな中でネット上の星の写真を閲覧していると美しい星景写真が圧倒的に多く、風景と星空をバランスよく撮影されていることに興味します。ケンコーから昨年発売されたフィルター「スターリーナイト」は、カラーバランスと光害除去が絶妙で、私のお気に入りのフィルターの1つです。

以上を踏まえると、今後の星の写真の加工処理に求められるのは、低空の光害を除去した上で、風景と星空のカラーバランスを整えることだと思います。そんな中、最近、天文雑誌（天ガカ星ナビかは忘れました… ^^;）で紹介された星の写真の加工ソフト「Sequator」は、光害によるかぶりを平坦化する機能に優れていて、まさにベランダ撮影の加工処理に最適な機能をもっています。このような便利なフリーソフトが多く出回ることで、星の写真を撮ることがもっと身近に普及して、美しい星の写真がさらにたくさん見れるようになることを願わずにいたしません。

(2020年10月 by Kappa v.v.v)

## 2. 「すた～ふらっとナ～」の概要

「すた～ふらっとナ～」は、星の写真をキレイに加工処理するためのソフトです。私の好みは、星野写真という、どちらかと言うと星空がメインの写真なのですが、ベランダや近所で撮影するとどうしても風景と一緒に写りこんでしまいます。星景写真であれば星空と風景をバランスよく調整するところでしょうが、ベランダの見慣れた風景にはあまり興味がそそられず、むしろ徹底的に星空をキレイにしたいという願望がありました。幸か不幸か、シルバーウィークは悪天候のため星の写真が撮れなかったので、持てあました時間でこのソフトを作ってみました。

「すた～ふらっとナ～」には次の機能があります。各機能は私の好みにカスタマイズされていて、残念ながら皆さんが調整できる部分はあまりありません。星の写真を読み込ませば特に何も指定しなくても（私好みの... ^^;）キレイな写真に加工して書き出すことができるソフトです。とにかく、自動一発でそれなりのレベルにまで仕上がることを目標にしています。お気に召さない部分は、出力後の画像ファイルを心ゆくまで加工して頂ければと思います。

- (1) ノイズ除去 : 明るさが突出した点を周囲に同化させます。
- (2) アライメント機能 : 複数の写真の星や月の位置を合わせます。
- (3) フラット補正機能 : 背景の明るさを均等にします。
- (4) コンポジット機能 : 複数の写真を重ね合わせてノイズ低減します。  
以下、スタックを加算平均、コンポジットを比較明合成の意味で使うことがあります。  
いずれも広義のコンポジット機能と言えます。
- (5) トーンカーブ調整 : 背景を暗くした上でコントラストを上げます。

ただし、何も調整できない訳ではなく、次のオプション機能は付けました。

- (6) ダーク減算機能 : ダーク画像を平均化後、減算処理に使用。
- (7) アライメントBOX : アライメントを取る領域を指定できます。
- (8) フラット補正関数 : 0,1,2 次関数または移動平均から選べます。
- (9) エンハンス量 : 0~1 の実数でトーンカーブ調整量を指定。

星の写真にもいくつかのシーンがあるので、それに応じて機能を使い分けることで、好みの写真に加工することができます。シーン毎の設定方法については、次章で詳しく説明します。

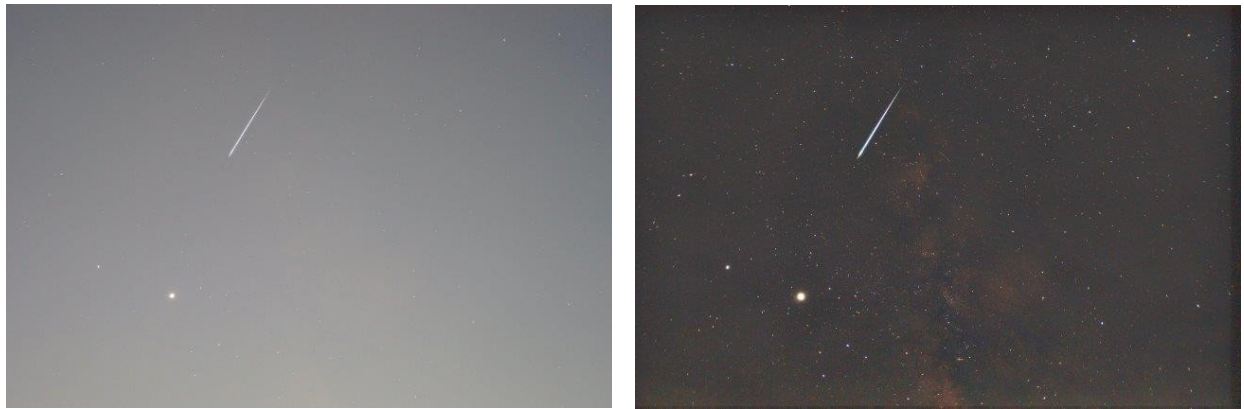
### 3. シーン別の設定方法（例）

#### 3.1. 固定撮影（景色が入っていない場合）

よくある星野写真です。カメラを三脚に固定し、10 枚以上連続で同じ露出で撮影してください。コマが進む毎に星が日周運動で動いていきますので、アライメント機能を併用して加算平均します。枚数を増やすと、ノイズ成分が平均化されて滑らかな写真に仕上がります。ただし、あまり星の移動量が大きいとこのソフトではアライメント対応できなくなりますので、あしからず。

input フォルダに星の写真が複数入っていて、加工した画像を output.jpg として出力したい場合、コマンドプロンプトで次のように実行します。

```
> starflattener -out output.jpg -stack input¥*.jpg
```



この例は、ベランダに三脚立ててタイムラプス撮りっパしたら、偶然、流れ星が写っていたというケースです。流れ星のコマから始めて 25 枚スタック後、最後にまた最初の流れ星のコマをコンポジットするとキレイに仕上がります。

```
> starflattener -out output.jpg -stack input¥shooting.jpg  
input¥other*.jpg -compo input¥shooting.jpg
```

#### 3.2. 固定撮影（景色が入っている場合）

星景写真のたぐいです。用意する写真は景色を入れない場合と同じです。近所の市街地で景色を入れて星の写真を撮ると、景色が明るく星が暗く写るので、移動平均を用いたフラット補正を使って星空をキレイに仕上げます。

（景色はある程度犠牲になります… ^^;）星が景色に負けないように、各コマをコンポジットして星の軌跡を映します。

```
> starflattener -out output.jpg -order 3 -compo input¥*.jpg
```



この例はベランダじゃなくて十国峠ですが、西の空がとても明るいので移動平均が適した事例です。固定撮影した 30 枚中、木々がライトに照らされたコマが 1 コマあったので、星の軌跡とバランスが取れた写真に仕上がりました。

### 3.3 ガイド撮影（極軸が少しズレている場合）

ベランダや市街地など、北極星が見えなくて極軸が多少ズレていても、気にせずに 10 枚以上連続撮影します。多少のズレはアライメント補正で調整してしまいます。ガイド撮影さえしていれば、かなりの枚数を重ねても回転が少なくキレイな写真に上げることができます。それでも望遠レンズの場合は長時間経つと対象が視野から外れてしまいますので、絞り開放で高感度撮影し、少ない時間で枚数をかせぐようにします。

```
> starflattener -out output.jpg -order 3 -stack input¥*.jpg
```

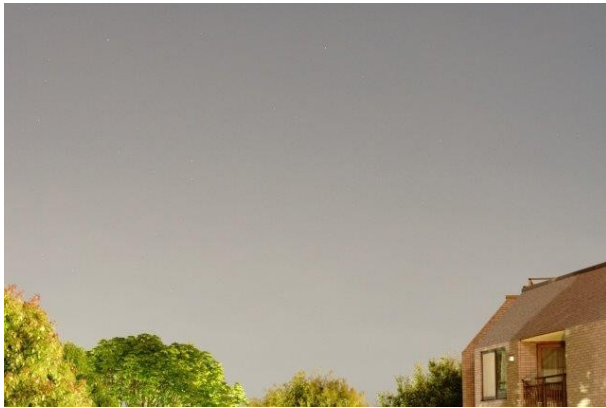


この例では、ベランダで極軸がズレたままオートガイダーで追尾して、ズレ具合を見ながら多少の極軸調整を加えた後、ISO1600 で 15 秒露出を 100 枚撮ってスタックしています。それでも極軸はズレているので、写真の下側がスタックされずにケラれています。中央付近はキレイに仕上がっています。

### 3.4. ガイド撮影（景色が入っている場合）

ベランダや市街地で、標準レンズや広角レンズを用いて気軽にガイド撮影をする場合、ほぼ確実に景色が入ります。そんなことは気にせず 10 枚以上連続でガイド撮影してみてください。景色はともかく、星空の写真は移動平均を用いたフラット補正でキレイに仕上がります。アライメント BOX 指定をして、星が写っている付近でアライメント調整し、景色が写っている付近はアライメント対象から除外するようにします。

```
> starflattener -out output.jpg -box 111111000 -order 3 -stack input¥*.jpg
```



この例は、低空にあるはずの星団を狙ってイチかバチかのガイド撮影を 20 枚やってみた事例です。移動平均によるフラット補正では、可能な限り星空の背景をフラットに仕上げますので、景色の谷間にあるような星団もキレイに浮き上がります。

### 3.5. 月の撮影

月を撮る場合は、ガイド撮影は必須です。少し多めに 30 枚以上の連続撮影をしましょう。それでも露出は何分の 1 秒と短いので、1 秒 1 コマで 30 秒で撮り終わってしまいますので、極軸はあっても構いません。アライメント調整機能で加算平均して滑らかな月面像に仕上げます。背景はもともと真っ暗なのでフラット処理は 0 次関数を選び、月面の濃淡を維持するためトーンカーブ調整量を 0 にして、アライメント BOX は月が写っている位置だけを有効にします。



```
> starflattener -out output.jpg -order 0 -enhance 0 -box 010010010
```

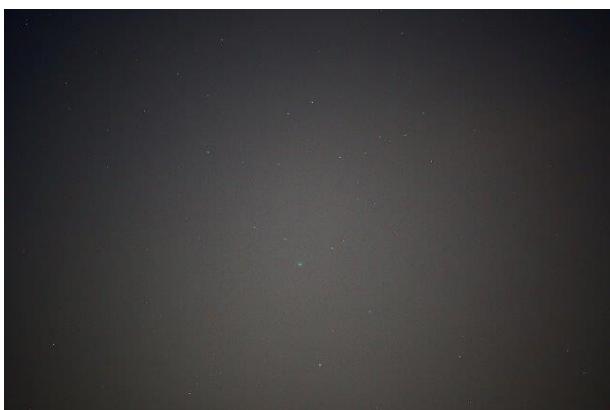


この例は、ベランダ撮りの月を 30 枚スタックしたものです。トーンカーブ調整のエンハンス量を 0 にしていますが、自動補正機能を星空に合わせて作っているため、月や太陽のように中央集光的な対象の場合は少しコントラストが下がった明るめの画像として出力されます。

### 3.6. ガイド撮影（周辺減光や内面散乱光がある場合）

カメラやレンズによっては、周辺減光や内面散乱光によって視野内の明るさが不均一になることが多々あります。そんな時にも、移動平均によるフラット補正は有効なので、ガイド撮影で 10 枚以上連続撮影するようにしましょう。

```
> starflattener -out output.jpg -order 3 -stack input¥*.jpg
```

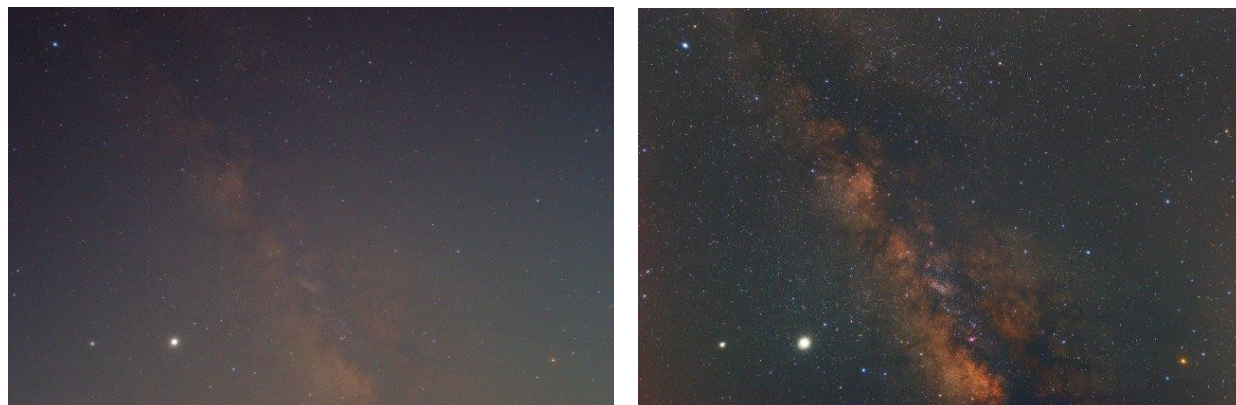


この例は、絞り開放で撮影した彗星を 25 枚スタックしたものです。周辺減光がかなりキレイに取れていることが分かります。イメージセンサー中央付近に巨大なホコリが付いていたのが、浮き上がって見えるようになりました。

### 3.7. ガイド撮影（低空の光害がある天の川）

低空の公害がある場合、移動平均によるフラット補正が有効である事例を見てきましたが、天の川が対象の場合はその濃淡も平坦化されてしまい、美しさが半減してしまいます。そんな時は default の 2 次関数によるフラット補正を選ぶとキレイに仕上がります。

```
> starflattener -out output.jpg -stack input¥*.jpg
```

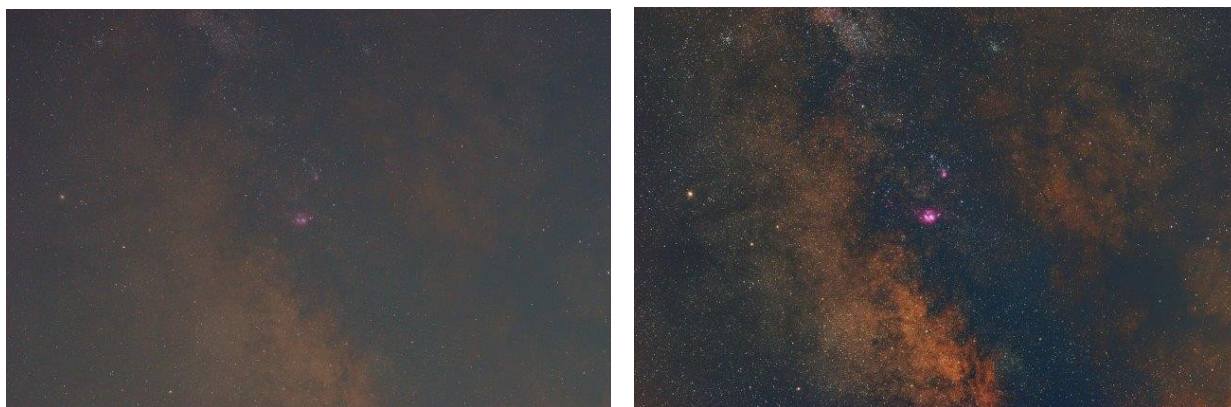


この例は、十国峠でいて座付近の天の川を撮影したものです。低空の天の川はよほど条件の良い土地まで遠征しないと、このような光害に見舞われます。

### 3.8. ガイド撮影（濃淡を浮き上がらせたい対象）

天の川や暗黒星雲などの濃淡を浮き上がらせたい場合は、フラット補正で背景を暗くした上でコントラストを上げる必要があります。このとき、センサーノイズも強調されてしまうので、多数枚の写真をスタックしてノイズを低減します。

```
> starflattener -out output.jpg -stack input¥*.jpg
```



## 4. コマンドラインの説明

「すた～ふらっとナ～」は、コマンドプロンプト上で実行します。簡単な使用方は -h または -help を付けて実行すると表示されます。

```
> starflattener -h
```

```
starflattener version 1.35 Copyright (c) 2020-2023 by Kappa v.v.v
```

```
usage: starflattener image_in1 [image_in2...]
```

```
options)
```

```
-cuda <#gpu>      : if need to enable cuda, assign it the first.
-out <image_out>  : to output the generated image file.
-outs <base_out>  : base name with folder name to output image files.
-compo            * : to composite images from here.
-stack           : to stack images from here.
-align_light     : to composite lighten with alignment.
-align_dark      : to composite darken with alignment.
-dark            : to stack dark images from here.
-dark_ratio <r>  : ratio to multiply dark images.
-box <box_string> : alignment box for stacking like as 101010101.*
-spot <x> <y>     : alignment around specific spot for stacking.
-order <0-2*-5>  : the order of flattner func. 3-4 is moving average.
-enhance <0-1*>  : enhancement of tone curve. 0 is min and 1 is max.
-isolation       : to make isolation between R/G/B channels.
-expand          : expand histogram. for the moon or the sun.
-rotate <deg>    : to rotate at assigned degree in alignment.
-distortion <k>  : to correct distortion with k-factor in alignment.
-raw <gamma>     : to use RAW file as input file. required dcraw.exe.
-h | -help       : to show the usage.
                  ( * : default )
```

- 画像ファイルはワイルドカードを使って指定できます。私は jpeg を使っています。
- -out で出力画像ファイル名を指定します。jpeg(jpg)または tiff(tif)のみです。
- -outs は 1 枚ずつ処理した画像を出力するモードに切り替わります。指定した base 名(フォルダ名など階層を含むもの)に入力ファイル名を繋げたファイルに画像を出力します。タイムラプス用に作っていますが、もう少し改良予定です。



- -compo / -stack / -align\_light / -align\_dark / -dark は、それ以降に続く画像ファイルの処理方法を決定します。いずれも指定しない場合は -compo が default 動作となります。
- -compo は、指定した画像を比較明合成（コンポジット）します。
- -stack は、指定した画像をアライメント後に加算平均（スタック）します。
- -align\_light は、指定した画像を比較明合成します。
- -align\_dark は、指定した画像を比較暗合成します。
- -dark は、指定した画像をダーク減算用画像として使用します。-compo / -stack / -align\_light / -align\_dark に先立って指定します。指定した画像を加算平均（スタック）した後に、-compo / -stack / -align\_light / -align\_dark で指定した画像のダーク減算処理に利用します。
- -dark\_ratio は -dark に先立って指定し、ダーク減算用画像を指定した倍率で補正します。
- -box / -order / -enhance は、指定しなければ default 動作をします。
- -box は、アライメント処理時に使用する画像上の領域を指定します。アライメント処理は、-compo 以外の処理時に有効になります。0000000000 を指定すると元の画像の位置のまま処理します。
- -spot は、指定した座標(x,y)付近の領域をアライメントします。彗星など特定の被写体でアライメントする際に指定します。指定すると、-box の指定は無効になります。
- -order は、フラット補正の方法を指定します。0 / 1 / 2 は、フラット補正関数の次数を決めます。0 次は一定値、1 次は直線、2 次は 2 次曲線に入力画像を fitting して、フラット補正に使用します。3 / 4 は、移動平均をフラット補正に使用します。3 よりも 4 は移動平均する範囲が広がります。

5 は中心から放射状に 2 次と 5 次の合成曲線でフラット補正します。

- -enhance は、トーンカーブ調整量を 0~1 の実数で指定します。0 はトーンカーブ補正が最小に、1 はトーンカーブ補正が最大になります。
- -isolation は、R/G/B 各チャンネル間の重なりを分離します。天体の色を強調することができます。ピクセル毎に最も明るい色を基準に、他の色の強度を二乗します。
- -expand は、明暗のヒストグラムをフラットに引き伸ばします。月や太陽など、光源が集中している写真に使用すると、被写体のコントラスト低下を防止できます。
- -rotate はアライメント処理時に画像を 1 コマずつ回転させます。  
-90~90°を指定可能です。
- -distortion はアライメント処理時に歪曲補正を考慮して位置計算します。超広角レンズで連続固定撮影した画像をスタックする際に k=0.6 くらいを指定すると、周辺部の星が重なりやすくなります。
- -raw 以降に指定した RAW 画像を dcraw.exe で TIFF に変換してから入力します。gamma は通常は 2 が良いようです。暗い部分が潰れてしまう時は大きな値を試してみてください。  
dcraw.exe はパスを張ったフォルダに置いて、starflattener から起動できるようにしてください。私は Cygwin に dcraw を入れて  
C:¥cygwin64¥bin にパスを張ってます。

dcraw.exe で出力した TIFF は一時的に TEMP フォルダに作成し、終了時にまとめて消去します。強制終了すると TEMP フォルダに tmp\_starflattener\_\*.tif というファイルが残ります。  
starflattener を複数起動しても上記ファイルが干渉しないように、ファイル名の\*の部分に時間を付加しています。

## 5. 主要機能の仕様

### 5.1. ノイズ除去

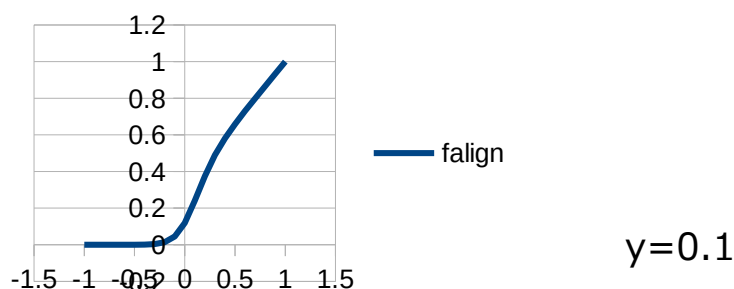
ダーク減算用画像を指定した場合は、複数指定されたダーク減算用画像の加算平均値を RGB 毎に計算し、それ以降に入力する星の画像から減算します。ダーク減算用画像は倍率を指定することが出来て、その程度を調整することもできます。うまく使うとフラット画像による減算処理にも応用できます。

また、ダーク画像の指定有無にかかわらず、全ピクセルについて RGB 合計値と、周囲 8 ピクセルの RGB 合計値の平均値を比較し、周囲平均値の 2 倍以上または 1/2 以下のピクセルを、周囲平均値に置き換えます。

### 5.2. アライメント機能

アライメント処理に先立って、簡易的にフラット補正を行います。入力した星の画像を Gaussian フィルター処理してフラット画像を作成します。Gaussian フィルターは独自アルゴリズムにて±20ピクセル以内の領域を平坦化します。その後、星の画像(b)とフラット画像(f)のそれぞれ RGB 値を、アライメント専用関数 falign()で演算して、アライメント専用画像を作成します。

```
falign( b, f, y=0.1 ) = fsigmo( (b - f) / (256 - f), y, 0 );  
fsigmo( x, y, z ) = (0.5+ x * z) / (0.5+ z + exp( -10 * (x - y) ))
```



アライメント専用画像は、一番最初に入力した星の画像を基準として保存していて、2 個目以降の星の画像のそれを(x,y)方向に±20ピクセルの範囲で平行移動して一致する位置を探します。一致したかどうかは、画面上の 9 個の領域のうち、アライメント BOX で指定された領域内の誤差の合計値が最小であることで判断します。誤差は、上記領域内のピクセル毎 RGB 値の両

者 XOR を合計して算出します。アライメント BOX は、画像の縦横それぞれの 1/4 サイズの矩形が、画面中央とその周囲 8 方向に並んでいます。

a	b	c
d	e	f
g	h	i

画像の中のアライメント BOX のイメージ

アライメント位置の探索を行う(x,y)範囲は、前回の画像で求めたアライメント位置を基準に±20ピクセルの範囲内です。従って、連続する画像のズレ幅が±20ピクセル以内であれば、星が日周運動で流れていても連続して重ね続けることができます。例えば横向きに流れるとすると、横 6000ピクセルのカメラで標準レンズを付けたときに、1ピクセルが約 1.5 秒なので 30 秒くらいならば追いかける計算です。アライメント BOX は、abcdefghi の順に 0/1 を当てはめて指定します。0 は非アライメント領域、1 はアライメント領域となり、default 値は 101010101 です。

### 5.3. フラット補正機能

フラット補正機能は、0~2 次関数に fitting して求める機能と、移動平均によって求める機能を選択できます。いずれも、Gaussian フィルタを適用したフラット画像に対して、更に処理を行います。

0 次関数は(x,y)に依らない定数なので、RGB 毎の 1 画面の平均値をフラット画像とします。

1~2 次関数は縦横の順にライン毎の RGB 値に fitting し、その関数を用いてフラット画像を生成します。fitting 計算は逆行列の手法を使っていますので、詳細に興味のある方は数学の専門書もしくは web サイトを参照してください。

画像中央から放射状に 2 次と 5 次の合成関数に fitting するモードは、光学系の周辺減光や同心円状のハレーションなどに多少効果があると思います。最小二乗法を用いたフィッティングを用いていますので、時々失敗することがあります。

移動平均は 2 種類のモードがあり、平均する範囲が狭いモードでは画像幅のおよそ 6% の範囲、広いモードではおよそ 12% の範囲で、RGB の各ピクセル毎に平均値を算出してフラット画像を生成しています。

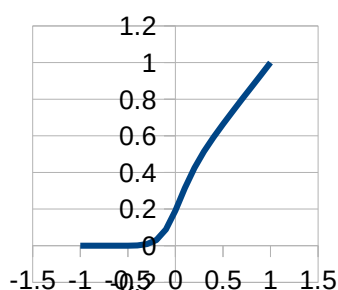
いずれかのフラット画像を作成後、星の画像(b)とフラット画像(f)のそれぞれ RGB 値を、フラット補正専用関数 fdiff() で演算して、アライメント専用画像を作成します。

```
fdiff( b, f, y=0.01 ) = fsigmo( (b - f) / (256 - f), y, 1 )
```

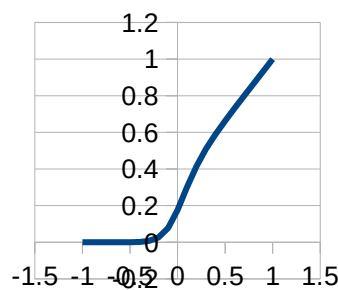
※ - stack 処理時

```
fdiff( b, f, y=0.03 ) = fsigmo( (b - f) / (256 - f), y, 1 )
```

※ - compo 処理時



y=0.01



y=0.03

## 5.4. コンポジット機能

-compo に続いて指定した星の画像は比較明合成します。-align\_light または-align\_dark に続いて指定した星の画像はアライメント処理に続いて、前者は比較明合成を、後者は比較暗合成します。いずれも、±10% 以内と変化が小さいピクセルは加算平均します。

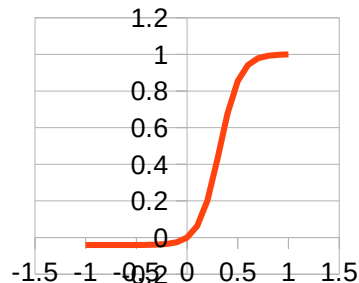
-stack に続いて指定した星の画像はアライメント処理後に加算平均します。加算はピクセル毎の各 RGB 毎に行います。加算総数で割る処理は、最後の星の画像を入力した後、または -compo が指定された時に行います。

## 5.5. トーンカーブ調整

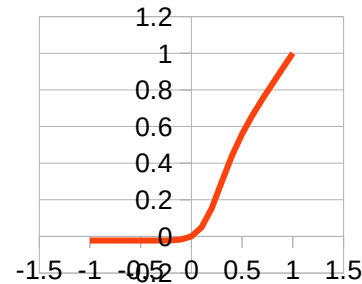
加工した画像を出力する直前に、次のトーンカーブ調整関数 ftune() で演算してから出力します。変数 enhance は、-enhance オプションで指定することも可能です。default 値は 1 です。



```
ftune( x, e=1-enhance ) =
    (fsigmo( x, 0.25, e ) - fsigmo( -1, 0.25, e ))
    / (fsigmo( 1, 0.25, e ) - fsigmo( -1, 0.25, e ))
```



enhance=1



enhance=0

## 5.6. 歪曲補正の考慮

一般的な広角レンズや超広角レンズは、直線形状の被写体を直線に近く撮像するために歪曲補正を行っています。ガイド撮影する際には問題ありませんが、固定撮影で連続撮影した複数画像をスタックする際には周辺部の星だけが放射状に流れてしまいます。

アライメントして画像をスタックする際、一旦、歪曲補正を逆補正してキャンセルして移動および回転した後、あらためて新しい座標系で再度、歪曲補正をかけ直します。補正式は次式を使用しています。再歪曲補正の式は近似式を用いています。

歪曲逆補正：

$$\begin{aligned} u &= (x - w/2) * (1 - k * r) + w/2 \\ v &= (y - h/2) * (1 - k * r) + h/2 \\ \therefore r &= ((x - w/2)^2 + (y - h/2)^2) / (w * h) \end{aligned}$$

再歪曲補正：

$$\begin{aligned} x' &= (u - w/2) / (1 - k * (s + s^2)) + w/2 \\ y' &= (v - h/2) / (1 - k * (s + s^2)) + h/2 \\ \therefore s &= ((u - w/2)^2 * (v - h/2)^2) / (w * h) \end{aligned}$$

以上