

天体画像処理ソフトウェア

# StellaImage<sup>®</sup>7

ステライメージ7

## 新機能の「オートストレッチ」で 天体写真のカラーバランスを整える

僕が数年前に開発した「オートストレッチ (AutoStretch)」アルゴリズムが「ステライメージ7」に搭載されました。フィルターワークによって撮影されたさまざまな条件の画像を自動的にストレッチし、カラーバランスやバックグラウンドを整える処理プロセスです。この記事では、オートストレッチの機能を紹介しながら、天体写真における色のあれこれについて解説していきます。

機能紹介 / 上坂浩光

## オートストレッチプロセスとは

モノクロ冷却 CCD カメラによる撮影では、通常 RGB の3色のフィルターを切り替えながら撮影を行い、画像処理の段階でカラー化を行います。しかし、フィルターの露出倍数や CCD 自体の感度特性などが複雑に絡み合い、撮影した画像をそのままカラー合成しただけでは、バランスが崩れてなかなか正しい色が表現できません。「オートストレッチ」は、RGB 各チャンネルのヒストグラムの最小値とその広がりを整えることで、安定した色表現をめざす処理プロセスです。

このプロセスを実装したはじめてのアプリケーションが、2009年に僕が開発した「AutoStretch」です。このソフトは Windows スクリプトで MaxImDL を外部からコントロールする方法をとっていましたが、処理の結果がすぐに確認できないなど、操作が煩雑になる部分がありました。それが今回「ステライメージ7」に実装されたことにより、リアルタイムレビューが実現するなど、かなり使いやすいものに進化しています。ぜひこの記事を参考に、活用いただければと思います。

なおこの記事は、モノクロ冷却 CCD カメラとフィルターを使った撮影画像からカラー画像を作ることを想定して書いていますが、デジタル一眼レフカメラなどでも同様な処理ができますのでぜひ試してみてください。

## 現状のカラー化プロセス

まず現状のカラー画像化のプロセスを順に見ていながら、その問題点を探っていきましょう。

フィルターを切り替えて RGB 画像を撮影する場合、そのフィルターの透過特性や、CCD カメラの波長 (色) 感度が違うために、同じ露出時間を与えても、同じ明るさの画像にはなりません。例えば、白い対象を撮影した場合、RGB それぞれのピクセル値は等しくなるはずですが、実際に各 RGB 画像のピクセル値を見比べると、同じ値にはなっていません。これを補正する係数が「露出倍数」です。この露出倍数を決めることもとても難しいのですが、とりあえず正確な値が得られたとして話を進めます。

露出倍数で示された補正を行うために、実作業としては、露出時間や絞り、感度を調整します。冷却 CCD による望遠鏡直焦点撮影の場合には、絞りや感度は変えられないので、露出時間を変化させます。たとえばグリーンフィルターの露出倍数が1で、ブルーフィルターの露出倍数が2だった場合、グリーンフィルターで



WELCOME GALLERY EQUIPMENT TIPS DOWNLOAD FAQ BLOG ABOUT ME

SEIKYO Web *Hironitsu Kohsaka's astro photo gallery*

上坂浩光氏の天体写真のWebサイト「星居Web」(<http://www.live-net.co.jp/SeikyoWeb/>)で公開している画像は、初期のものを除き、オートストレッチプロセスを使って処理している。「ステライメージ7」のテーマ画像のM42も氏の作品だ。

Mess

★

オリオン座 M42・オリオン大星雲

ずっとそっとしておいた対象。オリオン大星雲です。あまりにもメジャーな対象であり、いままでに出山の方がこれに挑戦しておられます。これを撮るにあたって、時が晴れるまで、ずっと待っていました。そしてやっとな、ML8300を得て、技術的蓄積もある程度できたと判断し、挑戦しました。それにしてもやはりここはツダの星雲ではありませんね。その準備不安に収めてため息をつきました。

調いの結果は、ご覧になったみなさんがご判断ください。一応、渾身の力作のつもりです



CG黎明期より独自の3Dソフトを開発し、映像制作を行う。CM、ゲーム映像、大型映像、企業VPなど、その制作分野は多岐にわたる。フルドーム映像「HAYABUSA -BACK TO THE EARTH-」、「Eternal Return -いのちを継ぐもの-」の監督をつとめた。リモート天文台を持つアマチュア天体写真家としても活躍している。

の露出時間が5分なら、ブルーフィルターは10分の露出時間を与える必要があるということになります。

しかし露出時間を変えて露出倍数に対応する場合、それに応じたダーク画像も用意する必要があります。また、露出倍数は整数とは限りませんから、半端な秒数での撮影(9分35秒とか)になったりとあまり良い方法ではないかもしれません。ですので、同じ露出時間で撮影しておいて、画像処理でブルー画像のヒストグラムを2倍に引き伸ばす(ストレッチ)という方法もあります。しかし、このストレッチ法が良いかといえば、ここにも問題があります。本来ブルーは10分の露出が必要なのに5分しか露出していないのですから、暗部が見えなくなったり、もし運良く写っているでもS/Nはかなり劣化してしまいます。逆にグリーン画像をブルーと同じ露出10分にして1/2にストレッチするという方法もありますね。現状大多数の人は、このように露出時間とストレッチを組み合わせることで撮影と画像処理を行っていると思いますが、いずれにせよ、はじめは試行錯誤が必要な部分になります。

以上のような方法で補正を行い、カラー画像化してみると、たいていはバックグラウンドはグレーにならず色がついてしまいます。RGB各チャンネルのバックグラウンドの明るさがわずかでも違うとそれは色となって表れてしまうのです。均一の色であればまだ良い方で、実際にはさまざまな要因で背景にムラができることが多いのではないのでしょうか。光害や露出中の薄雲の通過、フィルター上のゴミなどさまざまな原因によってムラができます。これらは本来フラット処理で取り除かれるべきものですが、これがなかなか一筋縄ではいきません。完璧なフラット補正はなかなか難しく、今回のカラーバランスの問題と並んで、天体写真にとって永遠の課題ではないのでしょうか。

バックグラウンドの色を消すために、みなさんさまざまな方法で対処していると思います。より正確なフラット補正をめざす、バックグラウンド補正を行ってくれるいろいろなソフトを使う、などの方法もありますが、結局最後はレベル補正やトーンカーブなどで調整を行っているのではないのでしょうか。バックグラウンドが同じ値になるように、RGBチャンネル別にオフセットをかける、ストレッチして幅を変える、ガンマを変えてみる、などなど。しかしこれらの操作はちょっと間違えると露出倍数を変えてしまうことにもなり、カラーバランスとのいたちごっこが始まります。

そして何時間が格闘すると、何となく納得す

る色に辿り着くのですが、はたしてそれが本当に正しい色なの? という状態になってしまうのです。デジタル画像処理はその調整の自由度がとて大きく「この星雲の明部は黄色で、暗部は赤にしよう」と思ったら、それができてしまいます。ここがやっかいなところで、気がつくたびにやぐにやなトーンカーブになっていることも……。このような極端な補正は避けた方が賢明ですね。

さてみなさん、この問題の一番良い解決方法を知っていますか? これはとても簡単なことなんです。表示レンジを広げればOK。そうすることによってさっきまで見えていた色ムラは暗くなって見えなくなります。なんだオートスト

レッチなんていらないうって結論?

星雲などの暗部は見えなくなりますが、スッキリして星は輝きを取り戻し、キレイな画像になると思います。……そうなのです、この時の状態が、撮影した画像が持つ本来のポテンシャルなのです。それを無理して暗部まで出そうとするから、さまざまな問題が起きるわけです。闇雲に暗い星雲を出そうとしたり、より高い解像度を求めることには必ずマイナス面があるわけで、無理しないという選択肢があることは知っておく必要があると思います。僕は、画像処理にとって一番大切なことはこの「正しい見切り」ができるかどうかではないかと密かに思っていたりします。

#### ■ 撮影画像が持つポテンシャルの中で処理をすることの大切さ

バックグラウンドをグレーに保ち、なおかつ適切なカラーバランスをとることは難しいことです。オートストレッチはそれを補助しますが、あるところで「見切り」をつけて、撮影画像が持つ許容範囲を超えないように処理することがたいせつです。作例は Sh2-155(ケフェウス座) RCOS14.5インチ(焦点距離2888mm) SBIG STL-11000M



暗部の描写を無理していない適度な画像処理例



暗部を描写するために過度な画像処理で破壊した例

## カラー合成の前にやっておくべきこと 「ノーマライズコンポジット」

これらの問題をオートストレッチでどのように解決していくかを解説する前に、ひとつだけやっておくべきことがあります。RGBの各画像は、通常何枚かの画像をコンポジットしてS/Nを上げるのが普通です。これらは同じ露出時間で撮影されますが、これを無造作にコンポジットすると、S/Nを下げる原因になるので注意が必要です。撮影された各画像は、たとえ一晩のうちに撮られたものだとしても、撮影条件の変化によってその明るさは変化しています。コンポジットする前に、最小値と最大値を揃えて同じ明るさの画像にしておく必要があるのです。この操作を「ノーマライズ」と言います。ノーマライズの方法はたくさんあって、最小・最大値を合わせるはその中の一つの方法です。ノーマライズとは「同じルールを適用してデータを揃えて扱いやすくすること」です。

さて、コンポジットを行うとなぜS/Nが上がるのかといえば、S（信号）とN（ノイズ）の差が大きくなるからです。各画像に含まれている共通

部分はそのまま残り、ランダムに現れるノイズは薄まってS/Nが上がります。コンポジットを計算や計算平均のアルゴリズムによって行っている場合はほとんど問題になりませんが、中央値（メディアン）やシングマクリップ、比較明、比較暗などを使うと、ノーマライズをした場合に比べS/Nの劣化が顕著になります（下の画像参照）。

せっかく精魂込めて撮影した画像なのに、コンポジットで大きくS/Nを下げていたとしたら、とてももったいないので、コンポジットする前に、最小と最大値が同じ値になるようにヒストグラムの幅を揃えて、画像のレンジを合わせてください。とくに、複数夜にわたって撮影した場合は、必ず画像が明るかったり暗かったりしています。手間がかかる部分ですが、ここに注意を払うことで、大きくS/Nが改善する可能性があります。これはL画像など、全てのコンポジットで同様なので、ぜひご自身の処理プロセスの中に加えていただければと思います。

### 「オートストレッチ」プロセスの詳細

では、オートストレッチが何をしているかの説明に入ります。通常の色合成処理で

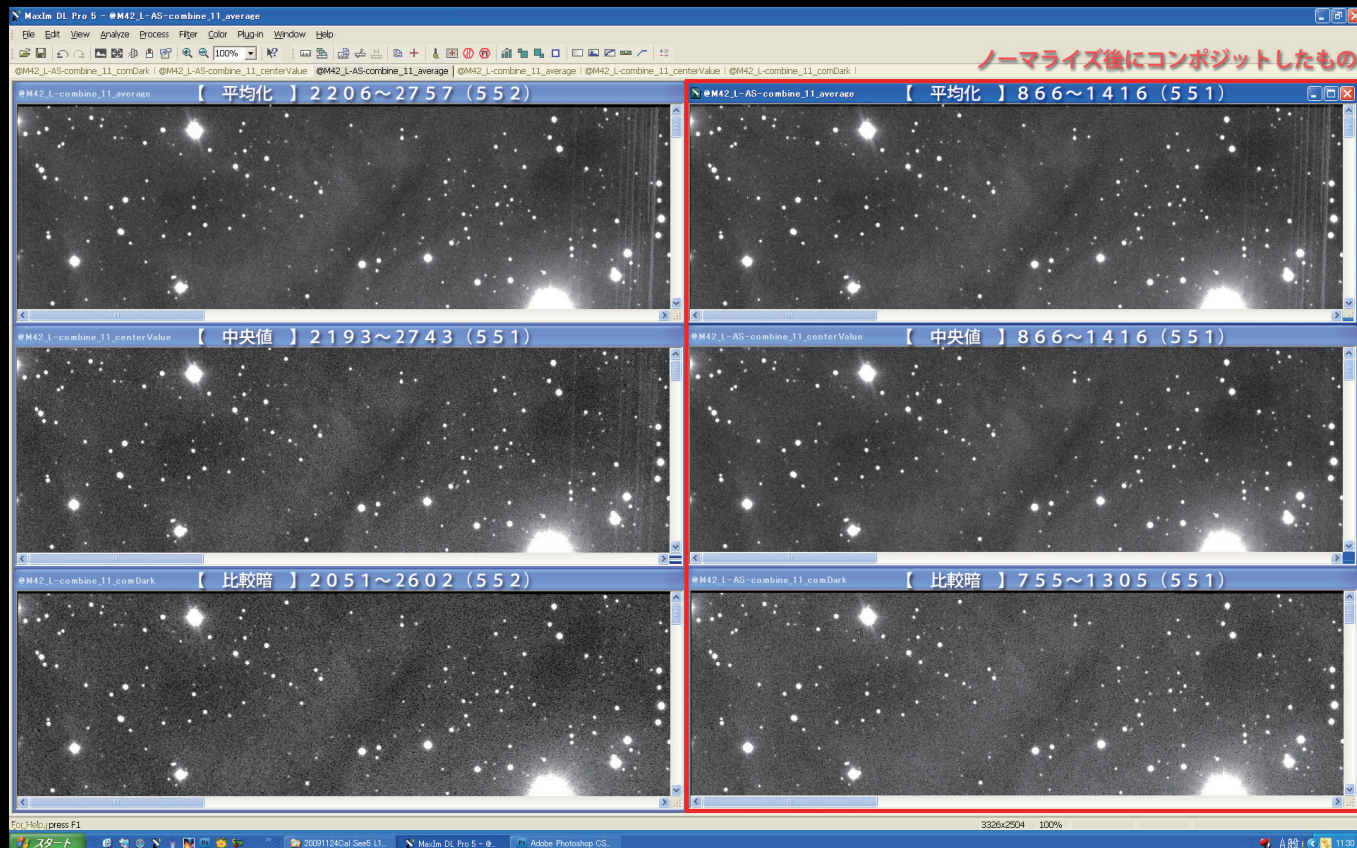
は、RGBの各画像を、露出倍数で補正（乗算）しますが、オートストレッチではその前にまず画像をストレッチしてノーマライズします。RGBの各画像の明るさは露出時間ももちろんのこと、撮影した条件によっても微妙に変化しています。それらをひっくるめて同じ状態にすることができれば、その後の露出倍数補正が正確に行えるようになります。しかしここで難しいのはノーマライズコンポジットと同じように最小・最大値でノーマライズというわけにはいかないことです。それが通用するのは、RGBが同じ比率、つまり白が最大輝度として存在している画像に限られます。

では何を基準にノーマライズを行えば良いか？僕はこれに標準偏差を使いました。「ほとんどの対象は、RGBの各画像において、標準偏差は同じになるのではないか？」という仮説を立てたのです。標準偏差とは、画像のヒストグラムの平均値からの広がり具合を示していますが、いろいろな対象でこの値が同じになるようにノーマライズしてみたところ、たいへん良い結果が得られました。

なお、オートストレッチは原理的に、単色で

### ■ ノーマライズコンポジットの効果

各コンポジットアルゴリズムによってノーマライズ処理がS/Nにどんな影響を及ぼすのかを比べました。参考画像の右にある縦線は静止衛星の軌跡ですが、そもそもノーマライズを行わないと中央値（メディアン）や比較暗などのアルゴリズムを使ってもそれが消えていないことがわかります。アルゴリズムによってはノーマライズが必須という意味がよくわかると思います。



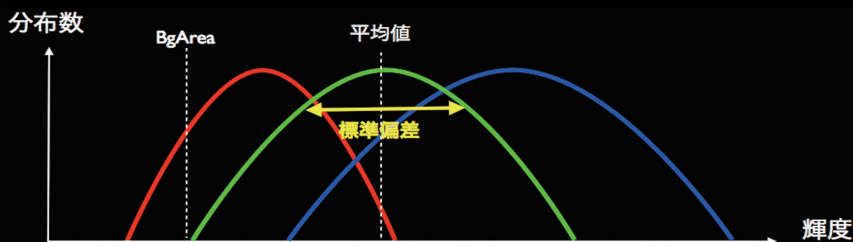
構成された画像には適していません。画面一杯の赤い星雲とか青い星雲などではうまく働かない可能性があることに注意してください。

僕はこのプロセスを開発するまで、みなさんと同じように通常の露出倍数補正を行っていました。しかしうまくいく時もあれば、失敗しておかしな色になる時もありました。おそらくそれは撮影条件の違いが最終的なカラー画像に影響を及ぼしていたのではないかと思います。オートストレッチプロセスは、このような画像のバラツキを安定させます。露出時間が違う画像であっても自動的に補正されるという嬉しい副作用も生まれました。

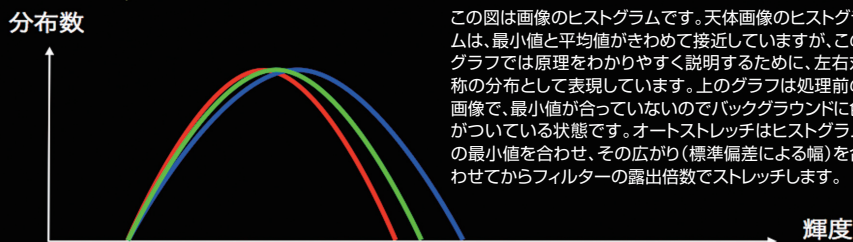
また、ストレッチすると同時にバックグラウンドのRGB値を数値的に正確に合わせます。ここで問題になるのは、画像のどの部分がバックグラウンドなのかということです。先ほど言及した背景ムラという問題もあり、これをプログラムで特定することは非常に難しいので、オートストレッチ処理ではユーザーが指定するようにしています。バックグラウンドだとと思われる場所をマウスで指定してください。点ではなくエリアで指定するようにしたのは、ノイズなどによる影響を受けにくくするためです。さらに、ステライメージへの実装にあたり、ある一定以上の輝度を持つピクセル値は除外するようにしてもらいました。つまり指定したエリア内に星があったとしても、それは無視されますので、安心して領域を選択してください。ここで指定したエリアが（エリア内に輝度差がある場合はその中間値の明るさが）完全に黒になります。バックグラウンドの取り方で全体のイメージが変わりますから、気に入るまでやり直してください。

ノーマライズされてバックグラウンドも黒になった後に行われるのが露出倍数の乗算。オートストレッチプロセスでユーザーが決めなければならない一番大切な数値です。正確な露出倍数をどのように決めていくかは次回に説明しますが、とりあえず全ての値を1にすると露出倍数補正が行われなくなりますので、標準偏差によるノーマライズの変化を見ることができます。プレビューボタンのON/OFFで効果を確認してみてください。このプレビュー機能がオリジナルアプリ“AutoStretch”から大幅に進歩した部分です。プレビューのチェックボックスをONにしておくと、全てのパラメーターの変更に対して画像がリアルタイムに変化するのでも便利です。

次号では、露出倍数（＝フィルター係数）の決め方、オートストレッチの具体的な効果、応用例などを紹介する予定です。



標準偏差の幅を同じにしてBGをあわせた後、フィルター係数をかける。



### ■オートストレッチの概念図

この図は画像のヒストグラムです。天体画像のヒストグラムは、最小値と平均値がきわめて接近していますが、このグラフでは原理をわかりやすく説明するために、左右対称の分布として表現しています。上のグラフは処理前の画像で、最小値が合っていないのでバックグラウンドに色がついている状態です。オートストレッチはヒストグラムの最小値を合わせ、その広がり（標準偏差による幅）を合わせてからフィルターの露出倍数でストレッチします。

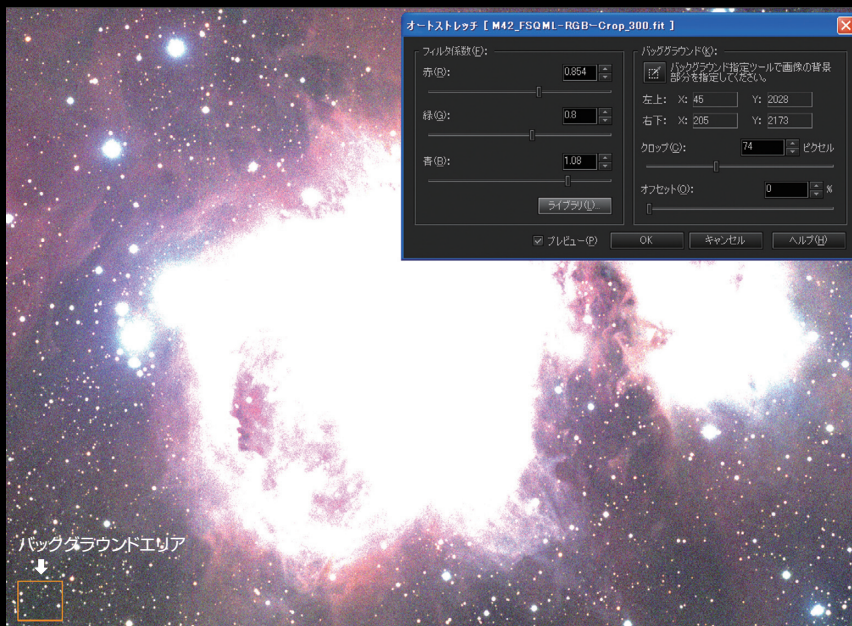
### ■オートストレッチの論理式

「オートストレッチ」処理を具体的に式で示しておきます。ピクセル値からまずバックグラウンドの明るさを引き、一番大きな標準偏差の色を基準にノーマライズ、さらに露出倍数（＝フィルター係数）をかけます。最後のOffsetは、最小値が黒になると後の処理がやりづらいので、指定した値だけ画像をもち上げることができるようになりました。

$$P' = (P - \text{BgArea}) \times (\text{StdDevR} \times \text{Filter}) + \text{Offset}$$

$$\text{StdDevR} = \text{TStdDev} / \text{StdDev}$$

P: 画像のピクセル値  
TStdDev: 基準画像の標準偏差  
StdDev: 元画像の標準偏差  
BgArea: 指定されたバックグラウンドエリアの平均値  
Offset: ユーザーが与えたオフセット値  
Filter: フィルターの露出倍数



### ■「ステライメージ」の「オートストレッチ」操作

バックグラウンドを指定する時は、表示レンジを狭めて、この程度画像を明るく、ハイコントラストにしておいた方がやりやすくなります。プレビューボタンをONにしておくと、設定に応じてリアルタイムにカラー画像が変わりますので、難しい理屈抜きに、とりあえず適当なフィルター係数を入れて、それで好みの値を決めていくというもお手軽かもしれません。なお、バックグラウンドエリアが指定されないと演算は行われませんので注意してください。

