

ファイル(F)

必要なもの(N)

できること(P)

ステップアップ(S)

ヘルプ(H)

AA

天文シミュレーション

望遠鏡制御

冷却CCDカメラ

画像処理

パソコン通信

必要なもの

冷却CCDカメラ

パソコン

制御ソフト

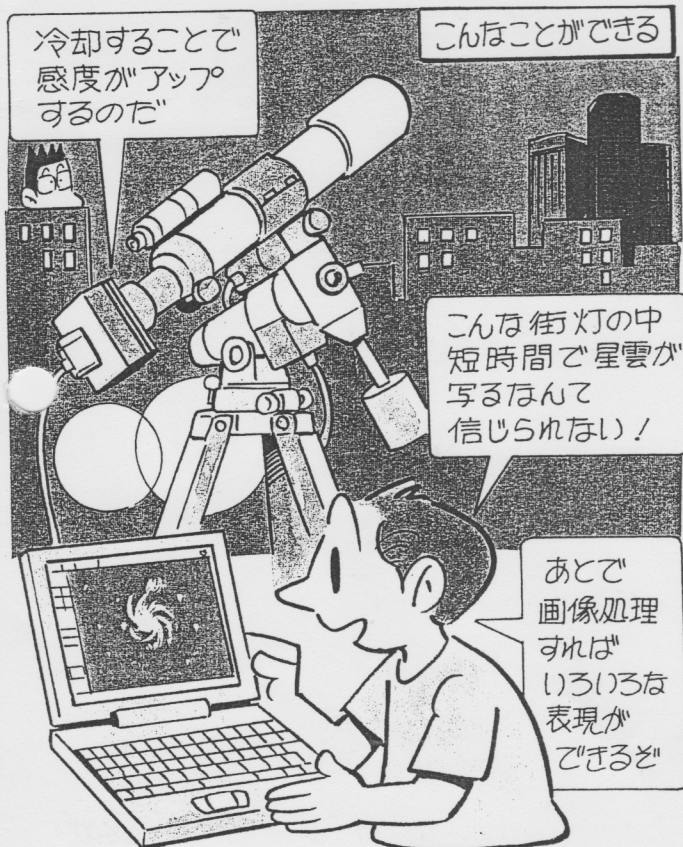
パソコン・冷却CCDカメラ一式・制御ソフト
冷却CCDカメラは屋外で使うことが多いため、できれば携帯性のよいノートパソコンがほしいところだ。パソコン側にカメラの接続ケーブルが見つからないものもあるので注意してほしい。

冷却CCDカメラで手軽に見る・撮る、宇宙の姿

(株)ニュートン

村上将之

冷却CCDカメラを使った素晴らしい天体画像をよく目にするようになった。この冷却CCDカメラとはいったいどのようなシロモノなのだろうか。確かに世界中の天文台では以前から冷却CCDカメラが使用されており、天文学においても重要な役割を果たしているわけだが、そのようなカメラを十分に使いこなすことができるのであろうか。天文ライフの中で冷却CCDカメラを使うとどんな事ができて、どのようなメリットが享受できるのか。それらのことをなるべくわかりやすく、5W1Hの形式に展開して解説していこう。



WHAT 冷却CCDカメラとは何か?

コンビニでも売っている35ミリフィルムカメラと冷却CCDカメラとは何が違うのだろうか。ひとことで言うと、冷却CCDカメラはウルトラ超高感度カメラであり、天体を撮像する時はパソコンからすべての制御を行なうものだ。感度については、たとえば口径8センチクラスの望遠鏡で露出を2分間かけると約15等星ぐらいの恒星が写る。口径が20センチになると露出がたったの10秒で16等級がラクラク写る。これだけ写れば超新星の発見も不可能ではない。

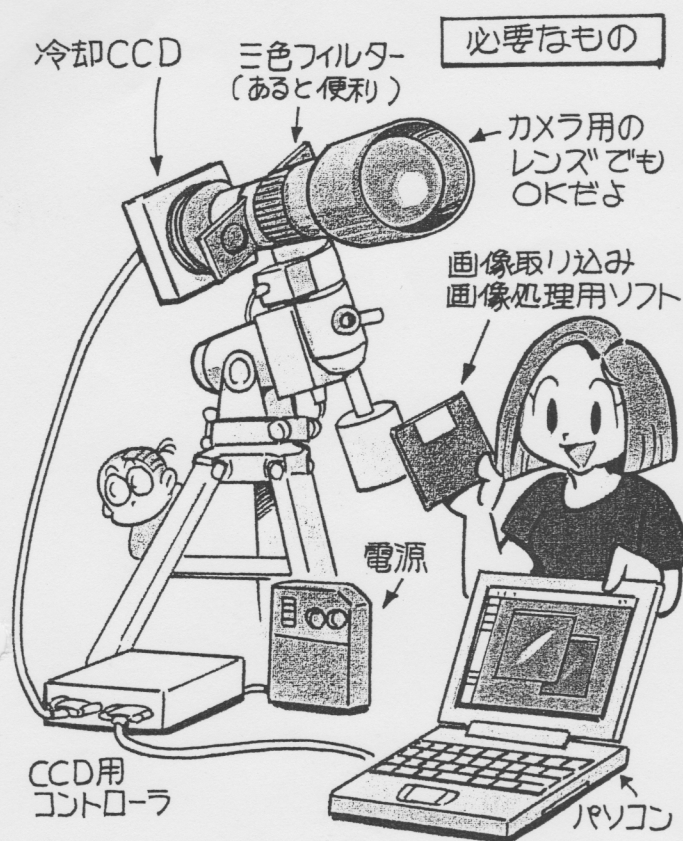
また、35ミリ判カメラの場合、フィルムは天体像を撮影する事と、撮影した情報を保持することの2つの機能がある。ところが冷却CCDカメラはこのフィルムを使わない。フィルムの代わりに天体画像を撮像するためのCCDチップとその画像情報を保持するためにパソコンのハードディスク(記憶装置)を使用するのだ。このときの露出設定指示などは冷却CCDカメラに付属の制御ソフトウェアでコントロールする。ちなみにCCDとはCharge Coupled Deviceの略。

WHY なぜ暗い星が撮像できるのか?

冷却CCD撮像では、CCDチップをおおむね対気温マイナス40度ぐらいまで冷却し、撮像する。CCDチップの冷却は電気のノイズの発生を抑え、相対的な感度の向上のために行なう。計算上では冷却することにより約64分の1にノイズ量を軽減できるので、光量が64分の1の暗い天体まで検出が可能になるほど再現のハバが広がるのだ。

WHO どんな人が始めているのか?

冷却CCDカメラを使う人はパソコンのパワーユーザーやフィルムカメラによる天体写真の達人で、パソコンの初心者にはとてもでないが扱えない難しいカメラ、だと思っていないだろうか。実際はまったく反対なのである。冷却CCDカメラのユーザーは10、20年も天文の趣味から離れていて、ふと書店で手にした雑誌の冷却CCDカメラの記事が目とまって、「よしこれなら自



分のライフスタイルに合うぞ／と感じた潜在的天文ファンが圧倒的に多いのである。ということは天体写真の極意などまったく知らない星趣味人が冷却CCDカメラというデジタル武装を望遠鏡に施して、無理をせず簡単に、天体画像を撮像して楽しんでいるのである。また、冷却CCDカメラを使いこなすぞという明確な目的意識があればパソコンはその目的達成のための単なるツールにしかすぎず、パソコン初心者にも冷却CCDカメラはなんなく受け入れられているようだ。

WHEN いつ撮像できるのか？

超高感度な冷却CCDカメラとはいえ、雨の日や曇りの日など天体からの光が明らかに地上に届いていない状態では、もちろん撮像はできない。また白昼の星雲・星団の撮像も太陽の光が強すぎて不可能だ。フィルム撮影と大きく違うのは月明かりのばあいだ。冷却CCDカメラにとっても月明かりはノイズにほかならず、月明かりのない条件では、よりデータ量が豊富で滑らかな画像を撮り込むことが可能となる。

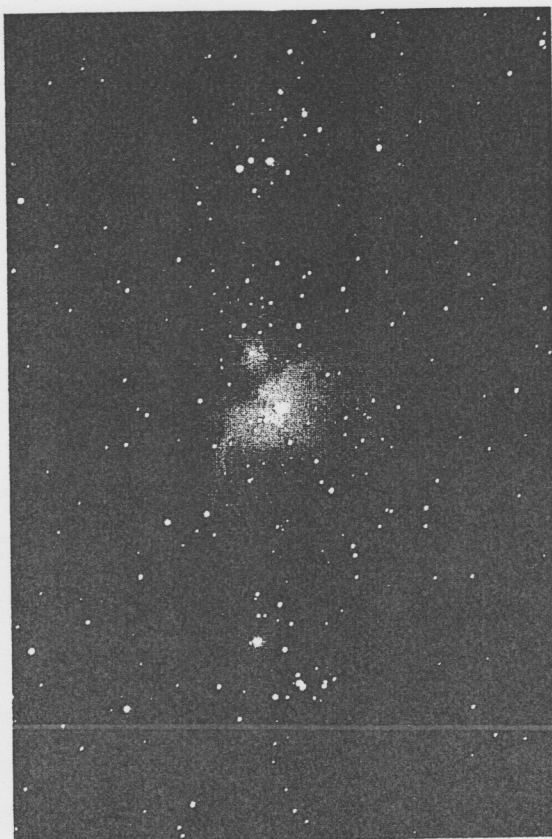
WHERE どこで撮像できるのか？

経験的に言うと、研究用データとして解析に使うのではなく天体を撮像して楽しむ目的では、自宅でもどこでも撮像できてしまう。冷却CCDカメラを使うと街灯やネオンの光があふれる街中でも、それらは月明かりと同じようなものだ。晴れてさえいれば天体からの光は地上に届いているはずであり、それがただ人間の目には見えないだけなのである。自宅でも撮像することが可

HOW どのように撮像するのか？

能となれば、遠出をする必要がなくなるので、ガソリン代や高速代も掛からない。ランニングコストが掛からないため財布にもやさしいシステムといえるだろう。

冷却CCDカメラ、パソコン、画像処理ソフト、電源が必要となる。最終的にはこれら4つのシステムを撮像目的や撮像目標および撮像対象を明確にした上で選択することがたいへん重要となる。この点に関しては、経験豊富な望遠鏡ショップやメーカーに問い合わせ、適切なアドバイスを受ければよいであろう。そうすれば無理や無駄のない自分の天文趣味に合致した冷却CCDカメラシステムが完成するはずだ。



左のM42は冷却CCDカメラを300ミリレンズに取り付けて撮像した（撮影地：山梨県清里）。赤緑青のフィルターでそれぞれ3分、4分、4分露出した3枚の画像を重ねあわせたもの。上のM51は冷却CCDカメラをLX200-25に取り付け撮像。2分露光の8枚の画像を重ねあわせた。撮影地は光害のひどい埼玉県所沢市。



カタログが読める! 機能がわかる!

冷却CCD カメラ キーワード

はじめて購入するときには言葉の意味がわからな
いと不安なもの。そこで
冷却CCDカメラのカタログスペックを読むた
めの基本的なキーワードを集めてみた。知識を
整理して疑問点を解消しよう。

A/D変換

A/D変換とは、CCDから読み取った電荷量をデジタル信号に変換することである。電荷情報をより正確に変換するためにはより大きなビット数でA/D変換する必要がある。しかしあまり大きくしすぎるとデータ量が増え転送時間がかかるので、CCDのもつダイナミックレンジが収まる程度に設定されている。

CCD

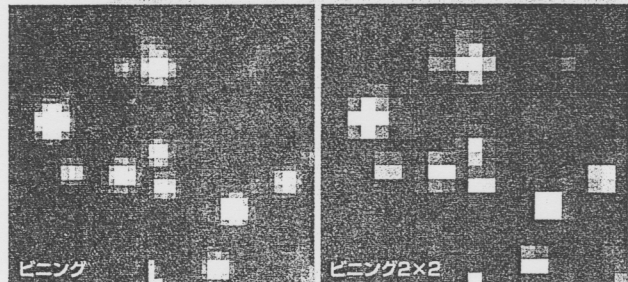
CCDはCharge Coupled Deviceの略で、日本語では電荷結合素子という。半導体でできた表面に光があたると内部光電効果により電荷が発生し、電荷の量から光の強度を計っている。CCDチップの表面は細かく基盤目のように区分けされ、1つ1つの区域を画素(ピクセル)と呼ぶ。画素数が多いほど画像のデータ量が多くなる。CCDの種類によって画素サイズの大さは異なり、小さな画素サイズほど解像力は高くなる。CCDのメーカーとしてはコダックやソニーが有名である。

オートガイダー

冷却CCDカメラは、CCD上の星像の

もっとも大切な画素数と画素サイズについて知っておこう。画素数は画像の空間分解能を決め、画素サイズは1画素が受ける光量を決める。画素サイズはデジカメのように3ミクロンという微小なものから、24ミクロンという大きなものまでであるが、画素サイズが大きいほど1素子が受けられる光量も多くなり、天体からの信号を階調豊かに表現するのに有利である。

天体望遠鏡のように、焦点距離が長く、大気の影響による像の乱れ(シンチレーション)の影響を受ける撮像では、空間分解能はせいぜい数秒角であり、レンズ口径から計算される理論分解能を達成することはほとんど不可能である。たとえば、口径20センチの理論分解能は約0.6秒角であるが、長時間露出している間に星像はどんどん大きくボケていき、シーイングが良いときでも分解能は2秒角前後であろう。このボケた像をCCDがとらえると、画素サイズが星像より小さい場合にはCCDのもつ画素数の有効性はほとんどなくなり、星像の大きさが画質が決定される。ピンニングなしと2×2ピンニング撮像をしてみたとき、どちらも像が変わらないのであれば、じっさいには2×2ピンニング換算のみかけの画素数しか生かされていないと言ってよい。このように、一概に画素が小さいから高精細な画像が得られるというわけではないので、冷却CCDカメラを選ぶときは、光学系との組み合わせを考えて適切なCCDを選択したい。選び方は次号で解説予定だ。



ピンニングした画像の比較。シンチレーションなどにより星像が大きいくボケていると、ピンニングしても解像力はさほど変わらない。このような場合は画素数の少ないCCDチップでも充分といえる。

CCDの画素数は大きいほどいい?

1タドドライブが付いている赤道儀であればほとんど取り付け可能である。

位置を簡単に読み出すことができるので、天体の追尾を自動補正するオートガイダーとしても広く使われている。通常、オートガイダーは撮像用の光学系とは別にガイド鏡などが利用されるが、冷却CCDカメラの中には撮像用CCDの隣にオートガイド用チップを置いたダブルチップ仕様のものもあり、1つの光学系で撮像とガイドを両方行なうセルフガイドができるようになってきている。多くのオートガイダーは、2軸にモータードライブが付いている赤道儀であればほとんど取り付け可能である。

オフアキシスガイド

CCDチップは小さいので、チップ外の周辺にある恒星を使ってガイドすることができる。この方法をオフアキシスガイドという。オフアキシスガイド用のマウントが市販されており、光路の途中に小さなプリズムが配置されそこから光線を拾ってガイドを行なう方式をとっている。

画像ファイル

画像を保存するファイル形式は数10種類にもなっており、それぞれ情報量が違うので用途に応じて使い分ける必要がある。正確なデータ保存が要求される科学の分野では最大64ビットまで保存できるFITSが使われ、天体撮像であれば16ビットの場合16ビットFITS形式での保存で充分である。しかしそれを表示するパソコンのモニターは8ビットの階調しかないため、それ以上のデータは8ビットに収まるよう処理

感度(量子効率)

感度とはいかに微弱な信号をとらえられるかという指標で、CCDでは量子効率を使うことが多い。量子効率とは、入射した光子数に対する発生した電子の数の比率。最近ではCCD製造の技術革新で飛躍的に感度がアップしたEチップも広く使われるようになった。さらにCCDは表面よりも裏側から光を当てたほうが感度が高いという性質を利用した背面照射CCD(または裏面受光CCD)も注目されている。背面照射CCDだと量子効率は90%ほどあるが、表面受光だと50~80%である。

コントローラ

コントローラは、カメラ本体とは別にカメラを操作するための装置のことで、多くの場合パソコン上で専用の制御ソフトウェアを立ち上げて操作する。カメラとパソコンを接続するケーブルにはいくつかの種類があり、プリンターケーブル(パラレルケーブル)を使うものが多いが最新機種は転送速度がより速いUSBが使われつつある。

購入前の素朴な疑問

カメラの電源は?

多くのカメラでは12V直流電源を必要とし、家庭用電源100V交流から12V直流変換するアダプタが付属している場合が多い。野外で使うときには、車の12V電源に12DC-100ACコンバータを使って100V交流電源を得る。発電機などから100V交流を得ることもできるが、ノイズが大きいので取り扱いに注意が必要で、この場合には安定化電源を用いると安全である。

シャッター

CCDに集まった電荷を瞬時に電氣的に読み取る方式を、電子シャッターといい、これに対しCCDの直前にシャッター幕を開閉するのが機械式シャッターである。機械式シャッターはCCD上の電荷を読み取っている間の露光を避けることができるため、フルフレーム転送タイプのCCDカメラでは機械式シャッターが多く使われている。インターライン型CCDはビデオカメラなどに多く使われ、高速で随時信号を読み出すことができる特徴がある。

ダイナミックレンジ

記録できる最小信号から最大信号までの幅をダイナミックレンジといい、これが大きいほど明暗差のある被写体をより階調豊かに記録することができる。通常、ダイナミックレンジはカメラのビット数よりも小さくしてある。

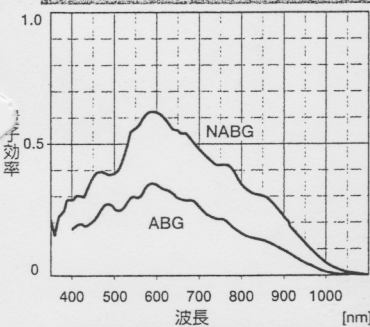
ダークノイズ

ダークノイズ（暗電流ノイズ）とは、CCDに光を当てないにもかかわらず長時間露光するとCCDにぼつぼつと現われる電気信号である。これはCCD内部の電子が熱振動で刺激され信号としてみなされてしまうためである。画面上ではその空間的分布が一見ランダムに見えるが、じつは画素ごとに温度と露出時間に応じて決まった強度の信号が現われ、温度が低いとダークノ

イズも減る。その性質を利用して、ふたをして同じ露出時間で撮像したダーク画像を撮像フレームから引き算するのがダーク補正処理である。ダークノイズは温度依存性があるので、ダーク画像は撮像フレームと同じ温度条件で撮像されるのが望ましい。

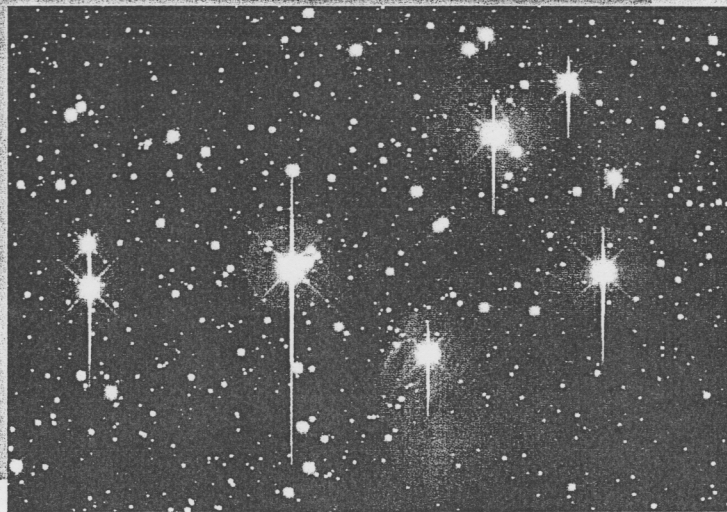
アンチブルーミングゲート(ABG)有無の違い

アンチブルーミングゲート(ABG)の有無の違いについて知っておこう。CCDはあまりに強烈な光が集まると、そこから電荷が飽和して映像に縦筋が入るブルーミングという現象が起こる。これを防ぐために考案されたのがアンチブルーミングゲート(ABG)と呼ばれる回路で、CCD表面上に構築されている。そのためこのゲート自体が遮蔽になって光量の損失となり、一般にアンチブルーミングゲートありの仕様はなしの仕様と比べ感度が半分程度になってしまう。このブルーミングが問題になるのは明るい星を撮像したときだけなので、写野に明るい恒星がなかったり、惑星撮像や月面撮像のときにはほとんど問題にならない。NABG仕様はブルーミングが発生する可能性があるものの、感度と飽和容量がABG仕様よりも高いことを覚えておこう。



アンチブルーミングゲートあり(ABG)となし(NABG)の分光感度曲線の比較(KAF-1602Eの例)。NABG仕様のほうが全波長域にわたって感度が高いことがわかる。

アンチブルーミングゲートなし(NABG仕様)のCCDでプレアデス星団を撮像した例。明るい星の画素で電荷が飽和し、筋状のブルーミングが発生している。ABG仕様であればこのようなことはない。



ビンニング

ビンニングとは、周辺の複数の画素を組み合わせ、それを一つの大きな画素とみなす処理のことである。たとえば 2×2 ビンニングであれば、近接する $2 \times 2 = 4$ 画素を

購入前の素朴な疑問

メンテナンスは?

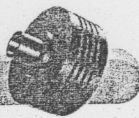
冷却CCDカメラは精密な電子機器であり、むやみにカメラを分解して内部を開けるのはよくない。CCDチップやガラス面上のごみによる影などは、フラット補正で簡単に消すことができるので、少々のごみは気にすることはない。カメラの気密性には限界があるので、マニュアルに従って清掃したり、保守サービスに出して必要であればガス交換などをしてもらうとよい。

ピント合わせ

1つの信号として集積する。画素が大きくなったことに相当するので、見かけの画素数は落ち、解像度は低下するが、画素数が少なくなつたぶん、転送時間は短縮される。また、解像度よりも感度が優先する撮像にも使われる。

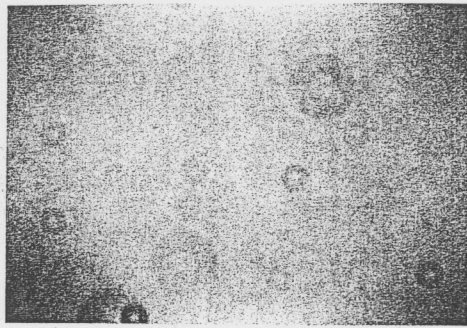
フィルター

モノクロCCDカメラでカラー画像を作るためにはフィルターごとに撮像する必要がある(左ページカコミ参照)。各色をフィルターで振り分けるRGB撮像、LRGB撮像のほか、冷却CCDカメラの高い感度を利用してH α やOIIIのみを透過するナローバンドフィルターを使った撮像なども流行りつつある。フィルターの透過特性が可視域のみで設計されている場合には、赤外光の影響を受けるので、赤外カットフィルターが別途必要となる。また、複数のフィルターを収めるフィルターホイールやフ



分光感度特性

スペクトル特性、感色特性などともいう。一般にCCDの分光感度特性は、波長400～1000ナノメートルの広いレンジで感度を持ち、600～700ナノメートル付近にピークがある。青側の感度が低いことから、短波長を吸収しやすい素材を使ったり、CCD表面にコーティングを施して青感度アップにつなげている。分光感度特性はCCDチップによっても違ってくる。分光感度特性を表わすグラフは、横軸が波長、縦軸が量子効率で表わされることが多い。



フラットフレームの例。一様な明るさの板を撮像しても、CCDの各画素の感度のばらつきや、フィルター上のごみによる遮蔽、光学系の周辺減光などにより濃淡パターンが現われる。

フラット補正

望遠鏡を一樣な明るさの白い板に向けて撮像した画像をフラットフレームという。フラットフレームは実際には一樣にならず左の例のような濃淡パターンが現われる。CCDの各画素の感度のばらつきや、フィルター上のごみによる遮蔽、そして光学系の周辺減光などによるものだが、撮像フレームからフラットフレームを割り算することでムラを消すことができる。この処理をフラット補正という。

ブルーミング

1素子が蓄積できる電荷量には上限があるため、それ以上の光が入射すると電荷があふれ出し、周辺の画素に擬信号を作り出す。これがブルーミングと呼ばれる現象である。このブルーミングを起こさないようなゲートを組み込んだのがアンチブルーミングゲート(ABG)であるが、ゲートが入射光を遮蔽してしまうので感度が低くなってしまふ(右ページコミ参照)。

飽和容量

飽和とは、光の容器となる画素に電子がいったいたまった状態をいい、1つの画素が蓄積できる最大の電荷量を飽和容量(フルウェルキャパシティ)という。10万 e^- のように、画素に蓄えられる最大の電子数で表わされる。画素サイズが大きいほど飽和容量も大きくなる。

購入前の素朴な疑問

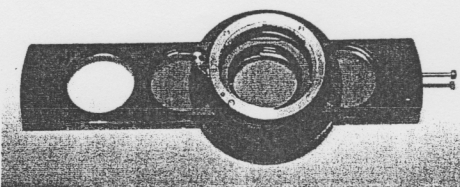
どんなソフトがいるの?

冷却CCDカメラの画像を扱うためにはカメラ専用の制御ソフトウェアと撮像した画像を画像処理する天体画像処理ソフトウェア(ステディメージ3など)の2種類が最低限必要だ。制御ソフトウェアはカメラに付属していることが多い。天体用画像処理ソフトウェアは市販のフォトレタッチソフトとは異なり、ダーク補正やフラット補正、カラー合成などが簡単にできるようにになっている。

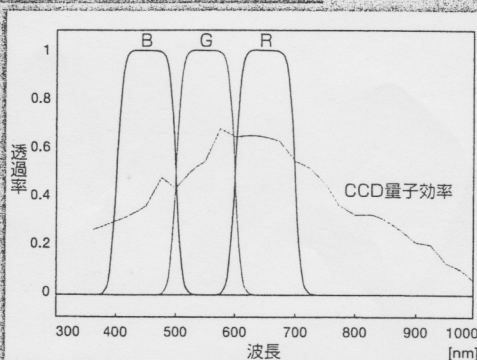
モノクロCCDでカラー画像を得るには?

カラーCCDを使えばカラー画像を得られるが、モノクロの冷却CCDカメラでカラー画像を得るには、光の3原色である赤(R)・緑(G)・青(B)の各フィルターを用いるのが一般的だ。RGBそれぞれのフィルターで天体の光を透過させて撮像し、3色分解した画像をパソコン上で合成してフルカラー画像を得るという操作が行なわれる。用いるCCDの分光感度特性によって、RGBそれぞれの露出時間を変え、それぞれの画像を画像処理ソフトウェアでRGB各チャンネルに割当てて合成する。また、輝度信号(L画像)と色信号(RGB画像)からカラー画像を合成するLRGB合成など、カラー合成画像を得る方法にはさまざまな方法がある。

また、各フィルターの撮像を能率的に行なうためのオプションもある。スライド式でフィルターを交換できるカメラマウント付きのものや、フィルター交換を電動で行なうフィルターホイールなども販売されている。



手でフィルターをスライドさせるタイプの3色フィルター付きカメラマウントの例(光映舎)



干渉タイプの3色フィルターの分光透過特性(CCDの分光感度曲線はKAF-1602Eの例)。露光量を $R < G < B$ とするのが一般的である。

フレーム転送

CCDに蓄積された電荷を転送する方法にはいくつかあるが、冷却CCDカメラの多くはフルフレーム転送型が使われている。これは素子にたまった電荷を隣の画素に転送し、これを繰り返して情報を読み出すしくみだ。オートゲイダーなどで使われているフルフレーム転送型のCCDは、受光面と映像信号を一時的に蓄積しておく領域とが分かれていて、電荷をいったん蓄積部に移動させたあとに読み出す方式だ。インタライン型は画素ラインの隣に信号を送るための回路が設けてあり、随時画素に集まった電気信号を転送して読み出すことができる。(星ナビ2002年4月号「CCDのノイズを知る」でもくわしく解説している。)

望遠鏡との接続

冷却CCDカメラと望遠鏡を接続する部分は、望遠鏡の他のアクセサリ同様31・7ミリ径のスリーブや2インチ規格になっているのが一般的だが、そのほかに42ミリT

スレッド(「Tねじ」)やCマウントが使えるものもある。光学系としてカメラレンズを取り付けたい場合にはオプションのカメラレンズアダプターを使う。

冷却方式

冷却CCDカメラはダークノイズを抑えるために冷却するが、冷却には電子冷却装置であるペルチエ素子が使われる。CCDの裏側に配置され、ペルチエ素子のCCD側から熱を吸収し反対側の面で放熱するようになっている。放熱する面を冷やすとともに冷却効果が高まるので、ペルチエ素子を2段にした2段冷却や、ファンで風を通して効率的に熱を逃がす空冷式、さらに夏場などに有効な水冷式などの方式がある。温度管理は制御ソフトウェアから行なうが、CCDを痛めることがないよう時間をかけて冷却するよう設定されていることが多い。長時間撮像では冷却と同時に温度を一定に保つことも重要である。