

天文教材としての天体写真の撮影と処理

岩田恒郎

愛媛県総合科学博物館 学芸課

〒792 愛媛県新居浜市大生院2133番地の2

はじめに

筆者は約30年間県立学校や愛媛県立博物館等で天文教育をしてきた、天文教育は理科教育の一分野であるが、理科教育に重要な実験観察が困難である。特定の時刻・地域で起こる天文現象の観測や夜間の天体観察を学校の授業時間中や博物館の開館時間中に行うことは不可能で、学校や博物館では観察実習しにくい天文教育を敬遠する恐れがある。

天文教育では天体の代用として天体写真を提示して教育を展開することができる。教材用の天体写真には昨今の天文雑誌にみられるようなコンテスト向けの「芸術的な」天体写真ではなく、指導者が教材用として撮影した手作りの写真で十分である。

天体写真には、ハロゲン化銀を用いたフィルムや印画紙を化学的に処理して像を作り記録する従来の写真の方法と、ビデオカメラで撮影して像を電子的に処理して磁気・光学的に記録するビデオの方法があり、筆者はこの二つの方法で撮影している。

撮影観測機器の整備

天体写真の撮影に必要な機器には天体望遠鏡、撮影・拡大レンズ、カメラアダプタ、カメラ、ビデオカメラ、等がある。筆者は月・惑星面の撮影に適する天体望遠鏡は中口径の反射望遠鏡を中心にして教材用の天体写真を撮影している。

1. 天体望遠鏡の改造

A 光学製の25cm反射赤道儀の架台に41cmカセグレン式鏡筒（以下41cm反射鏡筒）とV社製の10cmフローライト付屈折鏡筒（以下10cm屈折鏡筒）を搭載し、バランスウエイトに45kgのバーベルを追加した。

望遠鏡の焦点調節をしやすくするために、二つの鏡筒の焦点調節の片側のノブを外してM社製のMMD用の60歯の平ギアを蝶ナットで付け、これをMMD用の20歯の平ギアを付けたオルゴール用モータで回転させる。モータの適正電圧は1.5V～4.5Vだが、短時間の運転なので運転時計と同じDC12Vを印加する。ドロチューブが完全に入ると、蝶ナットが緩んで平ギアが空回りしてモータを保護し、手動調節に切り替わる。

41cm主鏡はパイレックスガラスであるが、重さが約14kgもあり熱容量が大きいので、主鏡セル（枠）に直径約6cmの穴を3箇所開けてDCファンを取り付けて、ファンの風力をチョッパ回路で制御しながら主鏡の裏面に外気を当てて冷却する（写真1）。

赤道儀の運転時計は60Hzで回転するシンクロナスモータの出力を毎分1/10回転に減速して144歯のウォームギアを回転していた。モータの電源をインバータに換えて周波数を変えて運転時計の速さを月や恒星の動きに合わせたがモータの振動が残った。シンクロナスモータを外してステッピングモータ（パルスモータ）を採用しているV社製のMD-6を改造して取り付けた。MD-6は恒星時運転で、ボタン操作で停止、1倍速、2倍速、

16倍速が得られる。駆動回路に手を加えて-1倍速と-16倍速を追加して天体の導入を容易にし、太陽と月の動きに合う基本発振周波数の99.727%（太陽）と96.380%（月）の水晶発振子を追加して観測天体に応じた周波数の水晶発振子に切り替えて極軸を回転させる。電源部に定電圧回路を付けてモータを安定に回転させている。

赤緯軸の微動は長いねじを利用したタンジェントスクリュー方式である。細かく調節するために焦点調節と同じ方法でオルゴール用モータで微調節する。

ハンドボックスを作って多芯コードで天体望遠鏡の制御回路と連結し、手元で天体望遠鏡の極細の正逆転・早回し・停止、赤緯軸の微動、二つの鏡筒の焦点調節、観測室の電灯の点滅・明暗切り替え等をする。

天体望遠鏡の電気回路のDC12Vの電源は、屋外に設置した3Wの太陽電池で充電する6V-4Ahのニッケルカドミウム電池で、主鏡や鏡筒の冷却等で消費電流が多い場合には電灯線電流からDC12Vを得る予備電源を使うこともある（写真2）。

太陽電池の充電電流を春秋の快晴の正午ころ0.15Aに程度に設定してある。天体望遠鏡の平均消費電流は0.40Aなのでフル充電ならば約10時間使用できることになるが、日月食のような特別な天文現象がない限り長時間連続使用することはほとんどない。晴天が連続する時期に天体観測を休むと過充電の心配がある。ニッケルカドミウム電池をこのように使うとメモリー現象が現われると言われているが、天気が悪くて十分に充電できないような日には天体望遠鏡を使用することが少ないせい、10年余りの使用では問題はない。

2. カメラアダプタと拡大レンズ

天体望遠鏡の接眼部に付けた五頭レボルバに市販の直接焦点用のアダプタと拡大用のアダプタを取り付けて、直接焦点撮影と拡大撮影の切り替えを容易にしてある。眼視観測には拡大用のアダプタに接眼レンズを付けて覗く（写真1）。

2倍程度の拡大にはカメラレンズ用の1.4倍と2倍のテレコンバータを使用し、3倍以上の拡大撮影には、アサヒペンタックス製のXP14とXP8を使用する。

3. カメラ（写真機）と撮影レンズ

星野（星座と星座中にある月や惑星）の固定撮影ならば標準レンズ付きのレンズシャッター付きのカメラを丈夫な三脚で固定すれば十分撮影できる。星野撮影にはレンジファインダー付きの35mmカメラ、ブローニー判の2眼レフカメラ等を使用することもできる。

天体望遠鏡を使った惑星等の撮影には、フォーカルプレキシャッター付の一眼レフカメラが適している。筆者はOMシリーズのファインダースクリーンを全面マットのインテンスクリューに交換し、天体望遠鏡に付ける場合にはワインダーを付けてリモコン撮影する。予備としてワインダー内蔵のXR-10Mを用意してある。

天文現象の撮影では撮り直しができないので、撮影中はフィルムを装填したカメラを2台以上用意し、フィルム終了やカメラの故障時には短時間でカメラを交換する。

OMマウントの対角線魚眼から超望遠まで用意し、撮影天体（主に星雲・星団）に適する焦点距離のレンズを使用する。KマウントのペンタックスMF4.5/500mmとニコンマウントのシグマF2.8/300mmはOMマウントに交換してある。

4. テレビカメラ

レンズが外れないホームビデオカメラは天体撮影には使いにくいので、Cマウント付きで小型軽量の業務用（監視用）単板式カラーカメラを採用した。天体望遠鏡や撮影レンズ

への接続にはOM-Cを用いる。像の拡大は拡大レンズを用いなくて、カメラレンズ用のテレコンバータ（1.4倍，2倍，3倍）を使う。

4.1 IKC-30（東芝製）

仕様 CCD：1/2インチ，有効画素数：27万（570H×485V）

解像度：水平370TV本，垂直350TV本，感度：F1.4で10ルクス，感度調節：手動可能，シャッタ：1/60秒と1/1000秒（手動切り換え），出力：1V_{p-p}，75ΩNTSC

赤外カットフィルタ：有，電源：12V-300mA（専用アダプタ付），重量：90g

水星，金星，火星，木星，土星の像と木星の四大衛星が撮影できる。明るい天体は感度調節とシャッタの変換で撮影できる。1/2インチのCCDでは焦点距離が300mmの超望遠レンズで月と太陽の全体像が撮影できる。

4.2 CCD-301N（エムテック製）

仕様 CCD：1/3インチ，有効画素数：38万（768H×494V）

解像度：水平480TV本，垂直350TV本，感度：F1.2で2ルクス，感度調節：自動，シャッタ：1/1000秒，出力：1V_{p-p}75ΩNTSC，

赤外カットフィルタ：有，電源：12V-300mA（専用アダプタ付），重量：250g，

単位面積当たりの画素数がIKC-30より多くて惑星面の細かい模様を撮影できるが，自動感度調節の働きが遅くて明るい月面や金星を撮影しにくいことがある。

写真撮影

一般に言う天体写真である。ハロゲン化銀の化合物を塗布した感光剤に光を当てて銀の化学変化に基づいて映像を記録する方法で，発明されてから1世紀以上の歴史がある客観的な記録方法の一つである。フィルムの性能と現像処理が感度・画質を大きく左右する。

1. フィルム

現在は写真フィルムと言えばカラーフィルムで，通常はカラーフィルムを使用している。モノクロ（黒白）フィルムを販売していない販売店が多い。

1.1 カラーリバーサルフィルム

現在は表示感度がISO25～ISO1600のものが発売されていて，ほとんどのフィルムがコダックのE-6処方（代用処方）で処理できる。フィルムベースが透明なので現像処理すればすぐに天体の姿が見えて良好な色再現を望める。コダクローム意外のカラーリバーサルフィルムは乳剤に含まれた色素が現像処理の際に発色する内式（内形）カラーフィルムである。内式カラーフィルムは処理が容易で，簡単な器具で自家現像処理が可能である。

筆者は主にカラーリバーサルフィルムで撮影している。各社のフィルムには個性があって発色・解像度等が異なるが，大差はない。現像処理がしやすく扱いやすいプロビアシリーズを使用するが，コニカクロームやエクタクロームなどを使用することもある。

コダックのコダクロームは外式カラーフィルムで高画質と言われているが，簡単に自家現像できないので，ほとんど使用しない。

1.2 カラーネガフィルム

現在のカラーネガフィルムはプリントの色調補正を容易にするためにフィルムのベースをオレンジ色に着色してある。表示感度がISO50～ISO3200のものが発売されていて，ほとんどのフィルムがコダックのC-41処方（代用処方）で処理できる。カラーネガフィル

ムは長期保存すると正しい色調にプリントしにくく、プリント時に正確な色再現が難しい。

また、カラーネガフィルムの情報量はカラーリバーサルフィルムより少ない。筆者は補助撮影に使用している。

2. 撮影

2.1 星野（星座）撮影

肉眼で見える星を撮影するのであれば10秒～30秒の露出で十分だが、肉眼で見えない暗い星や星雲・星団の撮影には長時間露出が必要になる。

2.1.1 固定撮影

明るいレンズ付きのカメラを丈夫な三脚で固定して撮影するので「固定撮影」と呼ばれる。焦点距離が50mm程度の標準レンズで10秒～20秒の露出では天体の日周運動による星の像の伸びが小さいので、この方法で星座の形を撮影できる。F 2の標準レンズとISO400のフィルムで15秒の露出で星座の形を写せる。星座中を動く月や惑星、オリオン座の大星雲やアンドロメダ座の大星雲なども撮影できる。

星の日周運動による弧の撮影には10分～数時間の露出をする。長時間露出する場合には空の明るさに応じてレンズをF 5.6～F 8程度に絞る。

2.1.2 ガイド撮影

固定撮影で1分以上の長時間露出すると天体の日周運動による星の像の伸びが大きくなるので、カメラを星の動きを追い掛けながら動かして露出する「ガイド（追尾）撮影」しなければならない。露出時間を延長すればフィルム面上に光子を蓄積するので、理論上は暗い天体を撮影できることになるが、実際にはフィルムの相反測不軌（フィルムの感度が露出時間を長くすると低下する現象）等によって撮影できる等級には限界がある。

筆者はF 2.8/300mmやF 4.5/500mmの超望遠レンズとISO800以上の高感度フィルムで数分間の露出にとどめて星雲・星団や彗星を撮影している。

2.2 太陽・月・惑星撮影

太陽面の黒点や白斑、月面のクレータや凹凸、惑星の衛星や惑星面の模様等の撮影には天体望遠鏡が必要である。各天体の適正と思われる露出時間が天文書等に掲載されているが、フィルム面での天体の明るさは望遠鏡の光学系や空の状態によって大きく変り、書物の値を鵜呑みにはできない。筆者は数年間の撮影結果から自分の撮影機器とフィルムで適正と思われる露出時間を求めている。

2.2.1 直接撮影

天体望遠鏡の対物レンズや主鏡の像を直接撮影するので「直接撮影」と呼ばれる。像は小さいが鋭い。この方法で太陽と月の全体像や惑星の衛星などを撮影する。

太陽と月の全体像は10cm屈折鏡筒とISO100のフィルムで撮影するが、フィルム面の像の直径が9mm弱なのでテレコンバータで2倍に拡大することがある。

太陽の撮影は、直径52mmのND400フィルタを2枚重ねて対物レンズのキャップの穴に付けて減光し（F 18）、ISO100のフィルムで1/15秒～1/30秒露出する。

月の撮影は、ISO100のフィルムで月齢に応じて1/125秒～1/4秒露出するが、地球照の撮影の際にはISO400のフィルムで5秒以上露出することもある。

惑星の衛星は41cm反射鏡筒とISO400のフィルムで撮影する。木星のガリレオ衛星では

1秒，土星のタイタン衛星では10秒以上露出する．土星のタイタン以外の衛星は20秒～30秒の露出で幾つか写る．41cmカセグレン式鏡筒は焦点距離が480cm (F 12)なので ISO400のフィルムで1/60秒～1/125秒露出すれば木星の太い縞模様が，1/8秒～1/15秒露出すれば土星の環も写るが，火星の様子は最接近時でも無理である（写真3）．

2.2.2 拡大撮影

天体望遠鏡の対物レンズや主鏡の像を拡大レンズで拡大して撮影するので「拡大撮影」と呼ばれる．大きい像を得られるので太陽と月の部分拡大撮影や惑星面の模様を撮影する．太陽と月の部分拡大撮影は，像がフィルム面のほぼ全面を占めるので，カメラのTTL露出計にまかせて露出できる．この場合にダイレクト測光が有効で，ほとんど露出ミスがない．太陽は10cm屈折鏡筒をND400フィルタを2枚重ねて付けて減光してXP14で拡大し，月は41cm反射鏡筒にテレコンバータかXP14を付けて拡大する．

惑星面の模様の拡大撮影はISO400のフィルムで行うが，露出時間は各惑星の条件によって大きく変る．昼間の水星と金星はカメラのTTL露出計にまかせて露出できるが，フィルム面の明るさを直接測定するダイレクト測光でないカメラでは接眼部を塞がないと，接眼部からの逆入光を測定して露出不足になることがある．

41cm反射鏡筒にISO400のフィルムでは南中時前後の惑星の適正露出時間は，火星はXP14で1/8秒～1/4秒，XP8で1/4秒～1秒，木星はXP14で1/2秒～1秒，XP8で1秒～2秒，土星はXP14で2秒～3秒，XP8で6秒～8秒である．小さい像ではダイレクト測光で自動露出できないが，像の直径が5mm以上あればスポット測光で自動露出できる（写真4）

3. 現像処理

特殊な被写体を撮影した天体写真の場合には自家現像が望ましい．市販の各種のカラーフィルムの現像薬品は1度に35mm24枚撮りフィルムを4～5本処理しなければ割高になる．フィルム現像と違ってまとめて処理することができるカラープリントのペーパー用の処理液は市販品で十分である．

1996年1月現在フジのパンドールとキングのポジカラーキットが発売中止になっている．今後は国産の既成調合現像薬は入手しにくくなる心配がある．

筆者は1973年からコダックのE-4キット，キクチのポジカラー，キングのポジカラーキット等を使用していたが，マウント代を加えるとラボ現像より割高になった．

1976年以後は天文雑誌や写真雑誌等の記事から処方を読み取り，原則として単薬を購入して処理薬品を自家調合している．1976年ころはコダックのE-2代用処方（24℃処理）で調合していたが，1980年ころからほとんどのカラーリバーサルフィルムがコダックのE-6処方（38℃処理）で処理するようになり，その後はE-6代用処方（30℃～38℃処理）で調合して現在に至っている．

写真用単薬はエヌ・エヌ・シー，中外写真，富士写真フィルムなどから発売されていて写真材料店購入している．写真用単薬を学校や研究所向けの試薬を取り扱う薬局でも純薬を入手することができるが，カラー写真とはいえ，高価な純薬は写真用にはもったいない．1995年秋現在，発色現像主薬のCD-3とCD-4を50gや500gの小容器で国内販売しているのはエヌ・エヌ・シーのみである．写真用チオ硫酸アンモニウムは変質を防止するためにチオ硫酸ナトリウムを添加してチオ硫酸アンモンソーダになり，EDTA鉄ナトリ

ウム錯塩には保健衛生上 E D T A 2 Na を添加して粉塵を発生しにくくしてある。調合の際には増量している。

3.1 筆者の自家調合処方 (全て全量が500ml)

3.1.1 カラーリバーサルフィルム(E-6 代用)

★第一現像 (PH10.2)	38℃, 7分00秒
無水亜硫酸ナトリウム	10.0g
ハイドロキノン	1.0g
炭酸ナトリウム (1水塩)	12.0g
フェニドン	1.0g
炭酸水素ナトリウム (重曹)	1.5g
臭化カリウム	1.4g
チオシアン酸カリウム	0.7g
0.1%ヨウ化カリウム水溶液	5.0ml
0.2%6ニトロベンズイミダゾール硝酸塩水溶液	7.5ml
★発色現像 (PH11.8)	38℃, 6分00秒
リン酸三ナトリウム	11.5g
水酸化ナトリウム	2.0g
シトラジン酸	0.5g
E D T A 2 Na	1.5g
無水亜硫酸ナトリウム	2.0g
無水炭酸カリウム	5.0g
1%塩化ナトリウム水溶液	3.5ml
C D - 3 (使用直前に添加)	7.4g
☆発色停止 (PH6.5)	38℃, 2分00秒
E D T A 2 Na	4.0g
無水亜硫酸ナトリウム	6.0g
チオグリセロール	0.2ml
無水酢酸 (氷酢酸)	3.0ml
☆漂白・定着 (PH5.9)	38℃, 6分00秒
チオ硫酸アンモンソーダ (含チオ硫酸ナトリウム)	60.0g
無水亜硫酸ナトリウム	3.5ml
チオグリセロール	0.2ml
E D T A 鉄ナトリウム錯塩 (含 E D T A 2 Na)	60.0g
☆安定35℃,	1分00秒
ホルムアルデヒド液 (ホルマリン液)	3.0ml
ドライウエル	5.0ml

3.1.2 カラーネガフィルム (C-41代用)

★発色現像 (PH10.7)	38°C, 3分15秒
無水亜硫酸ナトリウム	0.6g
炭酸ナトリウム (1水塩)	7.5g
臭化カリウム	0.3g
水酸化ナトリウム	0.8g
炭酸水素ナトリウム (重曹)	0.7g
ホウ酸ナトリウム (ホウ砂)	3.0g
0.2% 6ニトロベンズイミダゾール硝酸塩水溶液	6.0ml
CD-4 (使用直前に添加)	1.6g
☆漂白・定着	38°C, 4分20秒
(PH6.0~6.2)	
チオ硫酸アンモンソーダ	60.0g
(含チオ硫酸ナトリウム)	
28%アオモニア水	2 ml
臭化カリウム	5.0g
EDTA鉄ナトリウム錯塩	60.0g
(含EDTA 2Na)	
無水亜硫酸ナトリウム	2.0g
リン酸二カリウム	4.0g
☆安定	35°C, 1分00秒
ホルムアルデヒド液	3.0ml
(ホルマリン液)	
ドライウエル	5.0ml

全ての処理液は水を加えて総量が500mlになるように45°C~50°Cの温水で溶解・調合して二つの250ml容器に分けて保存する。35mm フィルムの場合は250mlで十分処理できるので一つの容器の薬品で処理し、ブローニーフイルムの場合は450ml必要なので二つの容器の薬品を混合して処理する。

3.3処理

フィルムの現像処理は全てタンク現像で、ダークボックスを用いてフィルムをステンレスリールへ装填し、ステンレスタンク (ブローニ1本・35mm 2本用) に入れる。カラーリバーサルフィルムの第一現像・第一水洗とカラーネガフィルムの発色現像・すすぎ・漂白定着は暗黒が必要でステンレスタンクで処理し、順番に処理液や水を注入して処理する。カラーリバーサルフィルムの反転露光・発色現像以降の処理は明るい所で処理できるので各処理液をそれぞれ500mlのポリビーカーに入れておき、順番に浸して処理する。現像タンクや各処理液容器を40°Cの温水に浸して処理液を38°Cに保温する。

処理温度は38°C、攪拌はタンクをゆさぶる方法で、最初は30秒間連続、その後は25秒静置と5秒の攪拌を繰り返す。予定時間の10秒前から処理液を排出する。

自家調合した処理液は全て液温と処理時間を変えて処理することができる。気温が低い

冬期には処理工程が多いカラーリバーサルフィルムでは液温を下げて第1表のように時間を延長して処理することもできる。

第一現像の処理時間を延長すれば増感できる。一応の目安は38℃で2分間の延長で2倍、4分間の延長で4倍である。増感すると粒状が悪化して硬調になりカラーバランスが崩れやすい。普通のフィルムでは2倍増感までにとどめるべきである。

プロビア1600は、標準現像ではプロビア400と同じ感度であるが、第一現像液を増感用にすれば、8倍までの増感に耐えられる。筆者が自家調合した第一現像液では38℃の場合に時間を延長すれば、第2表のように増感できる。

カラーネガフィルムは、発色現像の後で35℃の水で1分間すすいでから漂白定着に移る。最終水洗は35℃の水ならば5分間、30℃の水ならば7分間で十分である。

タンクの上から注水する流水法で水洗すれば、タンクの底部の水が動かないので水が無駄になる。第一現像後の水洗や発色現像後のすすぎはタンクに33℃～38℃の水を入れて20秒間の攪拌と10秒間の水交換を予定時間まで繰り返す溜めすすぎ法で行う。この方法で十分水洗できる。漂泊・定着後の水洗は専用の水洗容器を用いて33℃～38℃の流水で行う。

多数現像すれば薬品が疲労するので、処理本数に応じて処理時間を延長する。250mlで24枚撮りを4本まで処理できるが、2本目から処理時間を1本につき約8%ずつ延長する。現像液はPHをチェックして炭酸水素ナトリウム等を添加してPHを所定の値に近づけるが、発色現像液はPHを大きくし過ぎると青く発色するので注意を要する。

500mlの処理液で35mmフィルム24枚撮りを8本まで処理している。

水洗後安定液に浸したフィルムを埃がない場所で自然に乾燥させ、乾燥機を使用する場合には60℃以下で温風乾燥する。

使用済みの処理液をそのまま廃液として廃棄してはならない。発色現像液と第一現像液はアルカリ性、発色停止液と漂泊・定着液は酸性で、いずれの液も有毒物質を含んでいる。二種の現像液と発色停止液は、混合してさらに酢酸を追加して中和した後で廃棄できないことはないが、全ての液を口が大きい容器に入れて自然乾燥で蒸発乾固させた残渣を集めて焼却すべきである。

第1表 液温と処理時間

温 度	38±0.5℃	35±0.5℃	33±0.5℃	30±0.5℃	
第一現象	7分00秒	9分00秒	12分00秒	15分00秒	温度・時間厳守
第一水洗	4分00秒	4分15秒	4分30秒	5分00秒	
発色現像	6分00秒	7分30秒	9分00秒	12分00秒	延長可・時間不足不可
すすぎ	2分00秒	2分00秒	2分15秒	2分30秒	延長不可・3分以内
発色停止	2分00秒	2分00秒	2分00秒	2分00秒	延長不可・3分以内
漂白定着	5分00秒	6分00秒	7分00秒	9分00秒	延長可・時間不足不可
水 洗	7分00秒	8分00秒	9分00秒	10分00秒	
安 定	1分00秒	1分00秒	1分15秒	1分30秒	延長可・時間不足不可

第2表 第一現像時間と増感の関係

第一現像時間	7分00秒	9分00秒	10分30秒	12分00秒
感度 (推定)	ISO 400	ISO 800	ISO 1600	ISO 3200

ビデオ撮影

映像を光電効果などによって電気信号を変えて記録する方法である。発明されてから半世紀余りの歴史があるが、電子技術の進歩によって高感度で高画質の映像を記録できるようになった。テレビカメラの性能が映像の画質を左右し、月面・惑星面等の撮影に適する。撮影直後に映像を見ることができ、不良・不要画像は消去してテープを有効に使える。

1. ビデオデッキ

ビデオデッキは、テレビカメラで得た電気信号を磁気テープに記録する機械で、記録する画像の質にはビデオデッキとビデオテープによって多少の変化がある。

ビデオデッキの方式にはベータマックス、VHS (S-VHS), 8mm (Hi-8) があるが、筆者は広く普及しているVHSとHi-8対応の8mmを採用している。

1.1 VHS

VHSには、普通のVHSと高画質のS-VHS, それに小型のVHS-CとS-VHS-Cがあるが、VHS-Cは標準速度で連続20分か30分しか録画できなく、日食や月食のように1時間以上継続する天文現象を記録できない。テープの互換性や標準速度での録画時間から、普通のVHSデッキにした、狭くて暗いことが多い観測室での使用を考えてデッキとモニターが一体になった小型の10形テレビデオを用いている。

1.2 8mm

Hi-8対応の8mmビデオならば通常の8mmビデオテープとHi-8の8mmビデオテープの両方使うことができる。ビデオカメラを天体望遠鏡の接眼部に直接接続するコリメート方式にも対応でき、インターバルタイム録画が可能なホームビデオカメラタイプのHi-8ビデオカメラを用いている。

1.3 接続

ビデオカメラの出力を10形VHSテレビデオのビデオ入力端子に入れてモニタ画面で構図を決定して焦点合わせをする。10形テレビデオのビデオ出力端子から出たビデオ信号を8mmビデオカメラのビデオ入力端子に入れることもあるが、通常は10形テレビデオで画面を確認後に直接8mmビデオカメラのビデオ入力端子に入れて録画中の画面を8mmビデオカメラのファインダで確認する。

2. ビデオテープ

VHSとHi-8の8mmを用いている。学校用にはVHSを使用し、個人的な記録には体積が小さくて画質の良いHi-8を使用する。

月面や惑星面等の撮影には20分か30分の短いテープを装填し、日食・月食のように長時間以上続く天文現象の場合には120分以上の長時間テープを装填する。

3. 撮影

3.1 直接撮影

3.1.1 カメラレンズによる撮影

1/2インチCCDの受像面積はかつての8mmムービーフィルムとほぼ同じ4.8mm×6.4mmである。35mmカメラの標準レンズと同じ画角のレンズの焦点距離は約8mmである。焦点距離が300mm～350mmの超望遠レンズで太陽や月を画面一杯に撮影できる。100mmの望遠レンズではプレアデス星団（すばる）の全景を写せる。

1/3インチCCDの場合には受像面積が1/2インチCCDの約67%で、短いレンズで大きく撮影でき、200mmの望遠レンズで太陽や月が画面に大きく撮影できる。

3.1.2 天体望遠鏡による撮影

天体望遠鏡の対物レンズや主鏡の像を直接CCDで受ける。10cm屈折鏡筒、41cm反射鏡筒ともに木星のガリレオ衛星を撮影できるが、10cm屈折鏡筒では光量不足で惑星面の模様は撮影できない。41cm反射鏡筒ではそのまま水星と金星が満ち欠け、火星と木星面の模様、土星の環を撮影できる。金星と火星では明るすぎて減光しなければならないことがある。IKC-30では感度調整で対応できなければ、シャッタ速度を1/60秒から1/1000秒に変えると良くなることがある。CCD-301Nでは数秒後に自動調節される。

3.2 拡大撮影

41cm反射鏡筒の主鏡の像をテレコンバータで2倍～3倍に拡大してCCDで受ける。像の方向を統一するために拡大レンズを使うことはしない。火星面の模様や木星面の縞模様が良く写り、土星の環の隙間も写すことができる。衝のころの南中時前後に火星は6倍まで、木星は4倍まで、土星は2倍まで拡大するのが限界である。1994年7月の木星とシューメーカー・レビー彗星との衝突痕も撮影できた。

3.3 録画

ビデオカメラの映像信号をビデオデッキで録画（記録）するが、VHSと8mmを標準速度で録画する。VHSで静止画像が必要な場合には長時間録画を用いる。

木星のガリレオ衛星の動きを短時間で再現するにはインターバル撮影が必要になるが、ビデオデッキとビデオテープでは8mmや16mmムービーのような確実なインターバル撮影はできない。ビデオのインターバル撮影は0.5秒～1秒間のテープ走行録画と数秒～数分間の一時停止の繰り返しであるが、ゆるやかに動く天文現象の撮影には支障はない。一般のビデオデッキでインターバル撮影する場合には一時停止ボタン（デッキによっては一時停止ボタンと録画ボタン）を操作するが、長時間ボタンを操作し続けることはできない。ビデオデッキを改造するのは好ましくないので、市販の汎用リモートコントローラを改造して一時停止ボタンの回路に繰り返しタイマーを組み込んでインターバル撮影する。

天体写真の撮影結果と天体写真の利用

1. 撮影結果

固定撮影では1962年春にはF3.5の標準レンズとISO100のモノクロフィルムを使って関・ラインズ彗星の姿を撮影し、1986年に現われたハレー彗星の尾を付けた姿をF2.5/135mmの望遠レンズとISO400のフィルムを使って撮影した。F2の標準レンズとISO1600のフィルムでは北アメリカ星雲やカリフォルニア星雲も固定撮影できる。星座の紹介写真は標準レンズとISO400のフィルムによる20秒間程度の固定撮影で十分で撮影できるが、星雲・星団を写すのには標準レンズとISO400のフィルムで3分間程度のガイド撮影が必要になる。

超望遠レンズとISO1600のフィルムで3分～5分ガイド撮影すれば惑星状星雲や散光星雲を写せるが、細部や暗部が露出不足である。明るい望遠レンズとISO800以上の高感度フィルムでは5分の露出でオリオン座の周囲にあるバーナードループが写る。惑星状星雲や散光星雲は、カラーリバーサルフィルムよりもカラーネガフィルムのほうが写りやすい。

天体望遠鏡による直接撮影では惑星とその衛星は写りやすいが、星雲・星団や彗星は難物で、10分間以上の長時間露出が必要である。他の観測に支障があるので、長時間露出による星雲・星団等の撮影はしていない。天体望遠鏡は惑星撮影に限定している。

惑星面と二重星を天体望遠鏡で拡大撮影する。木星面の縞模様は写りやすいが、土星の環の隙間と火星面の模様は写りにくく、天王星の表面の模様は写りにくい。

現像処理は標準感度に仕上げているが、稀にISO100のセンシアやプロビア100を4倍に増感することがある。プロビア1600をISO800～ISO3200の感度に現像してみたが、粒状の悪化を押えるためにISO1600までの増感に止めている。プロビア1600を標準現像すればプロビア400と同じ感度になるが、画質はプロビア400の方が良い。

カラーリバーサルフィルムの膜面は弱く、現像処理の途中の水洗・すすぎ等の水温を誤ると膜面にレチュキレーション（ちりめんじわ）が発生して画質が劣化する。処理液の液温と水洗・すすぎ等の水温の温度差が5度以上でレチュキレーションが発生しやすくなる。最終水洗では徐々に水温を下げて水洗時間を延長することができる。

自家調合した処理薬品は容器を満たして冷暗所に保存すれば、1月間使用可能である。1度処理すると処理能力が減少するので処理時間を延長すればよいが、注意を要する。

テレビカメラでは惑星面の模様がよく写る。特に、シンチレーションが大きい時には高速の1/1000秒のシャッターが有効で、火星面のかなり細かい模様がちらちらと見え隠れし、一時停止を使えば模様を確認できる。木星のガリレオ衛星を2時間以上撮影・録画し、早送り再生すれば公転がわかる。インターバル録画すれば良い教材になる。

上空の風が強くてシンチレーションが大きくて天体の像がゆらゆらと動いている場合には露出時間が1/15秒～15秒間必要な写真撮影では良好な天体像の記録はできないが、シャッター速度が1/60秒や1/1000秒のビデオカメラでは一瞬静止した天体の像をキャッチすることができる。天体の高度が低い場合や偏西風が強い冬期にはビデオ撮影が有効で、少々のシンチレーションならばパソコンの画像処理によってキャンセルできる。

2 天体写真の利用

撮影した天体写真を、学校の授業、博物館の小型プラネタリウムの補助投影、星空教室等の生涯学習では事前事後学習の補助などの各方面での天文教育に活用してきた。

学校教育では、理科の授業で太陽面の白斑や黒点の構造と増減、月の位相の変化（満ち欠け）と月面のクレータや凹凸地形、惑星の運行や惑星面の模様と内惑星の満ち欠け、木星の衛星の公転、主な星座と星雲・星団、肉眼で見える彗星、天体の日周運動などをカラーライドで提示してきた。1987年ころからはT社製のフォトビックスによって必要なライドをビデオ撮りして明るい教室で大型テレビモニタで提示できるようにした。ライドをビデオ化すると、授業の途中で暗くする必要がなく、授業の流れが円滑になった。

天体のビデオ撮りを始めてからは天体の動く像を授業に使えるようになった。シンチレーションでゆらゆら揺れている月や惑星の像から、我々が動いている空気の底にいるのがよくわかり、生徒の興味をひいた。

プラネタリウム演出では、愛媛県立博物館に在職中に五藤光学研究所製のE-5型小型プラネタリウムの投影の補助に使った。博物館の行事として毎月1回投影してその月の星空と天文現象を紹介し、その中で星座写真や月面・惑星面等のライドを投影して星座の姿や月・惑星等の見え方を紹介した。希望者には天体写真の撮影法のとほどもした。この投影では自作の天体写真が有意義であったと思っている。

当時は松山市に公開しているプラネタリウムがなかったので、市民の関心が高くて混雑し、30分おきに1日10回投影したこともあった。

博物館教育の方法には、展示、博物館教室、教育普及活動などがある。天文関係の映像展示等に太陽面の黒点写真、惑星面の模様等の写真を展示資料として提供した。

教育普及活動の天体観測会には、要請があれば資料として貸し出すこともある。

おわりに

天体写真の撮影と現像処理等を天文教材として考えると、1975年ころからカラーフィルムのISO400以上の高感度化とコダックE-6処方・C-41処方による高温短時間処理化によってアマチュアでも簡単に優れた天体写真を撮影できるようになった。

1980年代以降は優れたビデオシステムと高画質のビデオテープが発売され、更にパソコンによる画像処理が手軽にできるようになり天体写真の環境が一変した。

いくら美しい芸術的な天体写真でも、撮影者がカメラのファインダーばかり覗いて天体と対面しなかった天体写真は、良い教材になりえない。

天体写真は、目的ではなく、天体を他人に紹介（教育）する手段である。

参考文献

天文と気象（現在は月刊天文）	月刊天文編集部編	地人書館
天文観測年表	月刊天文編集部編	地人書館
天体望遠鏡入門	太田健太郎著	地人書館
新訂天体写真マニュアル	月刊天文編集部編	地人書館
天文ガイド	天文ガイド編集部編	誠文堂新光社
天文年鑑	天文ガイド編集部編	誠文堂新光社
新版天体望遠鏡ガイドブック	西条善弘・渡辺和明著	誠文堂新光社
天体観測セミナー（現代天文学講座13）	森本雅樹編	恒星社厚生閣
天体写真の撮影（天体観測シリーズ10）	富田弘一郎著	恒星社厚生閣

スカイウォッチング事典 朝日コスモス

カラー写真の事典

写真処理 その理論と実際

ステッピングモーターの回路設計

最新半導体 (トランジスタ・C-MOS I C等) 規格表

中山八郎著

矢野哲夫著

真壁國昭著

朝日新聞社

日本カメラ社

共立出版

CQ出版

CQ出版

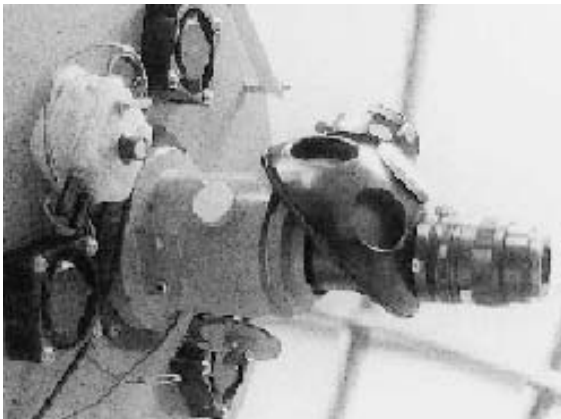


写真1 接眼部のアダプタとファン



写真2 屋外の太陽電池



写真3 木星(41cm直焦 ISO400 1/60秒)

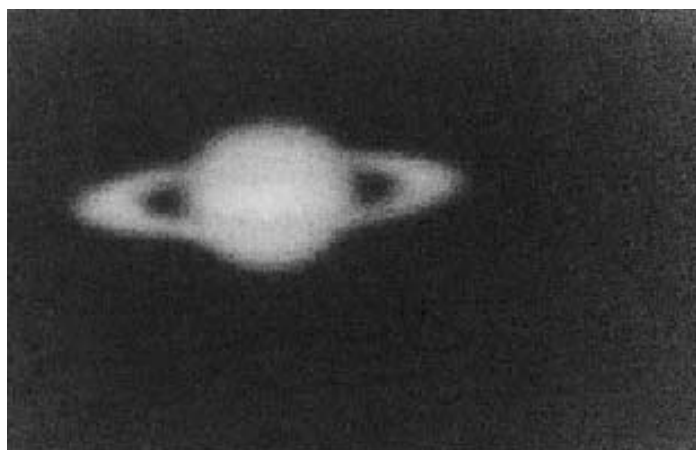


写真4 土星(41cm X P 8拡大 ISO4008秒)