

# デジタル撮影機材を活用した天体撮影

- 2003年の天文現象の記録 -

榎 井 俊 彦\*

## 1. はじめに

ここ数年におけるデジタルカメラの普及は著しく、2002年には世界の出荷台数はフィルムカメラを超えた(カメラ映像機器工業会調べ)。カメラ付携帯電話も登場し、写真や動画の撮影も簡単になった。中学校理科や高等学校地学の教科書には一眼レフカメラを使った天体の日周運動の撮影方法が載っているが、いつかフィルムカメラが使われなくなり撮影できない時が来るかもしれない。小学校第4学年の理科における月や星の動きの学習では、家庭用デジタルビデオカメラを用いて月と地上の建物を同一画面に撮影し、早送り再生して確かめる観察方法が示されている教科書もある。このような技術の進歩や普及に合わせて、新しい実習や教材作成の方法を開発する必要がある。

本稿では、大阪府教育センター天体観測室(図1)において撮影された2003年の天文現象の画像を中心に、デジタル撮影機材を活用した天体撮影の方法を紹介する。

## 2. 天体撮影技術の変遷

ハッブル宇宙望遠鏡の撮影した画像に見られるように、天体観測には常に時代の最先端技術が用いられてきた。長い間、天体の位置測定やスペクトルの撮影には銀塩写真が使われてきたが、現在ではCCD(Charge Coupled Device:電荷結合素子)を用いたカメラによる撮影へ移行している。

アマチュアによる天体観測も、コンピュータ制御により目標天体を自動導入する天体望遠鏡の使用や冷却CCDカメラによる撮影など、急速にデジタル化が進んでいる。特に2003年は、一眼レフデジタルカメラの低価格化と性能の向上によって星雲・星団の撮影が可能になり、約6万年ぶりともいわれる火星大接近に合わせたように、惑星観測にWebCamカメラと後述の画像処理ソフトが普及するなど、アマチュア天体観測史上記録に残る年であった。



図1 大阪府教育センター天体観測室

フォーク式赤道儀に50cmカセグレン・ニュートン兼用式反射望遠鏡、15cmと10cmの屈折式望遠鏡が同架してある。

## 3. デジタル撮影機材による天体撮影の特徴

身の回りにおける撮影機材のデジタル化が進んでいることから分かるように、光電効果を利用したCCDを用いたカメラは、ハロゲン化銀による光化学反応を利用した銀塩写真のカメラと比べて多くの点で優れている。ここでは、天体撮影の実際に即して、両者を比較して述べる。

### (1) デジタル撮影機材の長所

高感度である

銀塩写真では受光した光子の1%程度しか画像に変換できないのに対し、CCDは50~80%と変換効率が高く、極めて高感度である。特に1秒以上の長時間露光が必要な低照度の撮影対象では、銀塩写真は露光時間が長くなればなるほど実効感度が著しく低下するが、CCDではそのような感度低下がないので、実効感度の差はより大きくなる。

アマチュアによる天体撮影においても、銀塩写真では数十分間必要であった星雲・星団の撮影に要する露光時間がCCDでは数分間で済むようになった。撮影が短時間で済むために、天候の変化や天体の日周運動を追尾する際に生じる誤差による影響が

\* 大阪府教育センター

少なくなり、結果的には天体撮影の成功率を高めることになる。

#### データが正確で扱いやすい

銀塩写真では、写真乾板などから測定器を使用してデータを読み取る際に誤差が生じるが、デジタル撮影機材で得られた画像はそのままコンピュータのデータとして扱えるので読み取り誤差を生じず、扱いやすい。また、銀塩写真ではアセテートやガラスからなるベースに感光剤を塗布してある。そのため、塗布むらによる部分的な感度の違いや熱膨張によるベースの伸び縮みが大きく、天体の等級や位置測定には支障があった。しかし、CCDは部分的な感度の違いや熱膨張による伸び縮みはあるものの補正しやすいので、より高い精度の測定が可能である。

#### 画像をすぐに確認できる

銀塩写真では撮影後に現像をしなければ画像を見ることができないが、デジタルカメラ・ビデオでは撮影した画像がすぐに確認できる。皆既日食や流星のような継続時間の短い天文現象以外では、写りが悪ければすぐにピントや露光等の条件を変えた撮影のやり直しができるので、天体撮影の成功率を高めることができる。

#### 経済的である

フィルムや現像液などの消耗品が不要なので、ランニングコストが低い。特に惑星の撮影では、大気の揺らぎの影響を受けやすく、良像を得るために多くのコマ数を撮影しなければならなかったのが、デジタルビデオカメラとのコストの差は大きい。半面、機材の価格が高いように思われるが、以前のフィルムカメラより低価格になっており、今後の普及によって、さらに低価格化が進むと考えられる。

高感度であることを生かして、天体の発していない水銀灯などが出す光の波長を避けて撮影することができるようになったこと、また、コンピュータデータであるので、画像処理によって夜空の明るさを低減して天体の姿を浮かび上がらせることができるようになった。これらによって、月・惑星以外の暗い天体の撮影のために市街地の照明を避けて夜空の暗い山間部へ出かけることは必ずしも必要でなくなり、時間的・経済的にも無駄が少なくなった。

#### (2) デジタル撮影機材の短所

##### 機材の個体差による写りの違い

本来、CCDの感色性は赤外域に高い感度を持っているが、一般撮影用の機材では、カラーバランスの崩れを防ぐためにCCD直前に取り付けられるフィルターによって赤外域はカットされる。特に、散

光星雲はH $\gamma$ 線（水素原子の輝線656.28nm）で光っているものが多いが、この波長は赤外線に極めて近いためにほとんどカットされてしまい、天文用に開発された冷却CCDカメラに比べると写りが悪い。また、赤外カットフィルターの製造コストの問題で、カットされる波長にばらつきが生じるため、同じ機種であっても個体ごとに差を生じる。この点、フィルムカメラの場合は撮影に使用するフィルムを天体撮影に向く銘柄に換えさえすれば解決できる。ただし、最近のフィルムは感色性の傾向として赤い散光星雲の写りが悪くなっている。

##### 熱ノイズの発生

CCDでは、動作電流により発生する熱で、画像上にあたかも星のように見える“スターノイズ”を生じる。天文用の冷却CCDカメラでは、冷却することによってこの発生を防いでいるが、冷却機構を持たない一眼レフデジタルカメラでの長時間露光の際には、気温の低い時に撮影したり、画像処理で取り除くなどの工夫が必要である。

##### 画像の内部処理

デジタルカメラでは、撮影後にデータが保存される時点で内部のコンピュータによる画像処理が行われる。そのため、厳密な測定には向かない。

#### 4. 天体撮影の方法と使用する機材

天体は、見かけが大きな星座から見かけが小さな惑星まで様々であり、また、現象の継続時間が短時間である流星や皆既日食などや、暗いために長時間露光を必要とする星雲・星団があり、それらの撮影方法も異なってくる。ここでは、天体の撮影方法を紹介し、機材別の撮影に向く天体を説明する。

##### (1) 撮影方法

###### カメラレンズによる撮影

カメラに、カメラ用のレンズを付けて撮影する方法である。広角レンズによる星座や流星の撮影、望遠レンズによる見かけの大きな天体の撮影に適している。カメラ三脚に取り付けて風景などの一般撮影と同様に固定撮影をしたり、赤道儀に載せて天体を追尾撮影したりする。

###### 直接焦点撮影

接眼レンズを付けていない天体望遠鏡にレンズを外すことのできる一眼レフタイプのカメラボディを直接取り付け撮影する方法である。天体望遠鏡アクセサリーの接続アダプターを使用して固定する。星雲・星団の拡大撮影に適しているが、赤道儀による追尾撮影をしなければならない。

## 間接撮影

観察撮影には、天体望遠鏡の接眼レンズを眼で覗く代わりに、レンズの付いたカメラやビデオで覗かせて撮影するコリメート法とレンズの付いていないボディを取り付けるアイピース拡大法とがある。手で持って撮影するとブレを生じたり、光軸がずれて画面に影が生じるので、カメラ三脚に取り付けて固定するか、できれば図2のような天体望遠鏡アクセサリのアダプターを使用して取り付けるのがよい。月・惑星の拡大撮影に適する。



図2 コンパクトデジタルカメラの取り付け

## (2) 撮影機材

### コンパクトデジタルカメラ

レンズを交換することができないので、主にコリメート法による月・惑星の撮影を行う。また、ほとんどの機種が数秒までの露光しかできないので、天体の日周運動の撮影はできないが、星座の撮影は可能である。星雲・星団の撮影は不可能ではないが、かなりの工夫と努力が必要である。

### 一眼レフデジタルカメラ

レンズが交換できるので、焦点距離の違うレンズを使い分けたり、望遠鏡に接続することができる。また、長時間露光ができるので、日周運動から星雲・星団まですべての天体撮影が可能である。一般にデジタル撮影機材に使用されるCCDの面積は狭く、35mm版フィルムカメラ用の交換レンズを用いた場合は表示されている焦点距離の約1.5倍（たとえば200mm望遠レンズは300mm相当）に写る機種が多いため、望遠側の撮影では有利であるが、広角側の撮影では不利になる。撮影画像を無圧縮のRAWデータで保存すれば、12bit（4096階調）であるので、画像処理の際には有利である。

## 家庭用デジタルビデオカメラ

ほとんどの機種でレンズの交換ができないので、コリメート法による月・惑星の撮影や皆既日食撮影に適する。夜間撮影モードで高感度のできるものもあるが、モノクロでの撮影になる。小さなテープに長時間記録できるのがよい点であるが、動画をコンピュータへ取り込んだときに大容量のデータになるのが難点である。ビデオ編集はもとより、動画を静止画に分解して、画像処理によって様々な加工をすることができる。

### CCDビデオカメラ

主に監視用カメラとして使用されるが、感度が高く、レンズが交換できるものが多いので、天体望遠鏡や顕微鏡にも使用されるようになった。図3のようにCマウントアダプターを使用して取り付けることが多い。別にレコーダーが必要であるので、外部入力端子を使って家庭用デジタルビデオカメラをレコーダーとして使用することが多い。望遠鏡に取り付けて月・惑星を撮影したり、CCDビデオカメラ専用の明るいレンズを付けて流星を撮影するのに適する。蓄光できるものは星雲・星団の撮影もできる。



図3 CCDビデオカメラの取り付け

### Web Camカメラ

Web Camカメラは、コンピュータに接続してビデオチャット等に使用される小型のビデオカメラである。日本で入手できるものはほとんどC-MOSが使われているが、感度の良さやノイズの少なさからはCCDを用いたものの方がよい。レンズ一体型で、レンズの質も悪いので、レンズを外すなどの改造が必要である。動画を直接コンピュータに取り込むことができるので画像処理は簡単であるが、記録したデータが大容量になるのが難点である。

## 5. 画像処理ソフトウェア

デジタル撮影機材で得られた天体画像は、暗黒の宇宙を背景にして微弱な像が写っているものが多いので、ほとんどの場合、コンピュータによる画像処理が必要である。撮影した画像を何枚も重ね合わせることや画像復元処理を施すことなどにより天体の模様を鮮明に浮かび上がらせることができる。一般的なフォトタッチソフトウェアでもある程度の処理はできるが、天体の画像処理に特化したソフトウェアでなければできないことも多い。ここでは、よく使われる天体画像処理専用ソフトウェアを紹介する。

### (1) ステライメージ 4<sup>1)</sup>

市販されている天体画像処理ソフトウェアである。一般的なフォトタッチソフトウェアの機能に加えて天体画像処理専用のフィルターなどの豊富な機能を持つ。bitmapなどの一般的な画像ファイルだけではなく、天体撮影用の冷却CCDカメラで撮影された特殊な形式の画像ファイルや一眼レフデジタルカメラのRAWデータも処理することができる。

### (2) RegiStax<sup>2)</sup>

Cor Berrevoets氏(オランダ)の開発したフリーソフトウェア。デジタルビデオカメラやWebCamカメラによって撮影された動画を処理して鮮明な静止画を得ることができる。フレーム単位に静止画へ分解し、自動的に位置合わせをしながら重ね合わせ(スタック)による画質改善を行い、ウェブページ変換と呼ばれる、模様のおおきさ別に画像強調することにより惑星表面の微細構造を浮かび上がらせることができる画期的なソフトウェアである(図4)。惑星表面の観測では大きな成果を上げている。

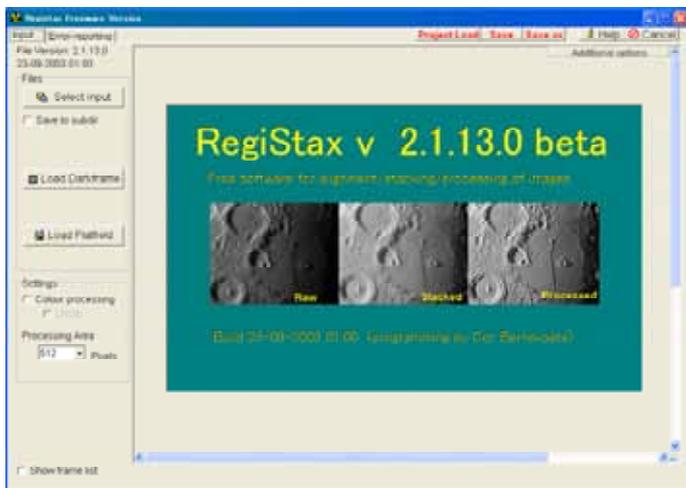


図4 RegiStaxの起動画面

## 6. デジタル撮影機材による天体撮影の作例

今までに説明してきた方法による、天体撮影の作例を示す。2003年に撮影したものは日時のみ記し、撮影地が大阪府教育センター(東経135度31分、北緯34度35分)のものは省略した。撮影機材は図の下に記すが、頻出するものは以下のように略記した。

10cm: 口径10cm焦点距離1500mm屈折望遠鏡

12.5cm: 口径12.5cm焦点距離800mm屈折望遠鏡

15cm: 口径15cm焦点距離1800mm屈折望遠鏡

50cm: 口径50cm焦点距離6000mm反射望遠鏡カセグレン焦点

W A T - 221 S : ワテック社製カラーCCDビデオカメラ

S 2 P r o : 富士写真フイルム社製FinePix S 2 P r o一眼レフデジタルカメラ

### (1) 水星の太陽面通過(図5)

天候は時々雨の降る曇りで、雲を通して何とか撮影することができた。大阪では日没が18時47分であるために最後まで観測できなかった。



図5 水星の太陽面通過(5月7日14時40分頃撮影) 撮影機材10cm, W A T - 221 S, 減光フィルターを使用。

### (2) 金星食(図6)

金星を月が隠す現象であるが、新月直前(月齢27.7)の月は、青空の中では見ることができなかった。快晴であったが強い風が吹いていたのでシンチレーションが大きく、強拡大した金星はぶれてしまっている。潜入(13時54分51秒~55分20秒)の撮影には成功したが、赤道儀の追尾精度が悪かったので出現の撮影には失敗した。星食の撮影は、出現するまで月に隠されていて見えないために失敗しやすい。



図6 金星（5月29日13時54分頃潜入直前）  
撮影機材50cm，W A T - 221 S ，25mmアイピース拡大撮影．



図8 火星（8月7日1時32分撮影）  
光度-2.6等，視直径23.2秒角．

### (3) 火星大接近

火星は2年2か月ごとに地球へ接近し，8月27日には6万年ぶりともいわれる大接近をしたが，当日の大阪は雲が多く，撮影できなかった．

社会的な関心も高く，各地の天文台では観望会が行われた．当センターにおいても府内の中学校及び高等学校の生徒と府民とを対象とした観望会を実施し，多数の参加者があった．

図7～図9の火星画像の撮影機材は50cm，WAT-221S，14mmアイピース拡大撮影である．家庭用デジタルビデオカメラをレコーダーとして録画した動画をコンピュータへ取り込み，RegiStaxで画像処理を行った．自転の影響を考慮して2分以内の動画を使用している．



図9 火星（8月20日0時55分撮影）  
光度-2.9等，視直径24.8秒角．CCD上のごみのために数か所に偽模様が出ていることに注意．



図7 火星（7月17日4時12分撮影）  
光度-2.0等，視直径19.5秒角．



図10 火星と月の接近（9月9日20時30分頃撮影）  
デジタルビデオカメラVictor GR-DV3000にて撮影．

#### (4) 太陽の撮影

太陽活動は極小期に向かっているのに黒点数は減少傾向にあるが、10月下旬に巨大な肉眼黒点が現れた。その黒点群は、10月28日18時51分に過去30年で最大級のフレアを起こし、日本の中部地方でも夜空が赤く染まる低緯度オーロラが目撃された。

図11のS側の黒点群でフレアが発生したが、最初の撮影は、発生2時間47分前であり、その日から連続して5日間の移動を記録することができた。

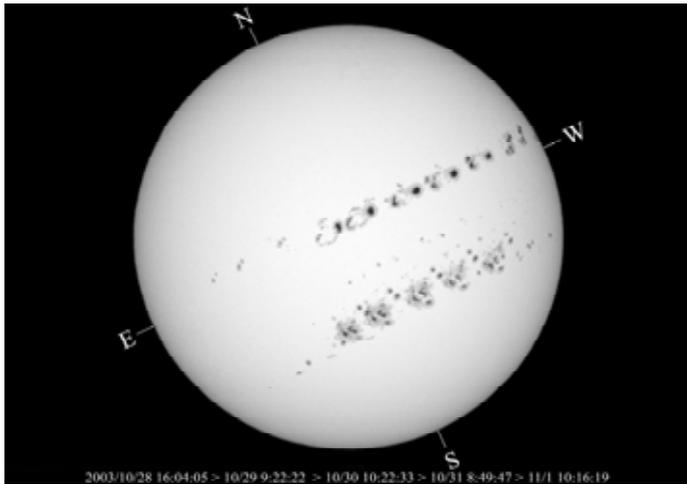


図11 肉眼黒点の移動（10月28日～11月1日）  
撮影機材10cm，S 2 P ro，減光フィルターを使用して直焦点撮影。

図12は10月29日にH 線（水素原子の輝線656.28 nm）だけを透過するフィルターを使用して撮影した太陽面であるが、黒点群の位置に高エネルギー領域が白く写っているのがわかる。



図12 H 線による太陽面（10月29日）  
10cm S 2 P ro ディスター社製H フィルター使用。

#### (5) 惑星

図13の木星画像はWeb Camカメラによる撮影であり、図14の土星画像は一眼レフデジタルカメラによる撮影である。同一天体を同一条件で撮影したものではないので、厳密には比較できないが、Web Camカメラにより撮影した動画をRegi S taxにより静止画に分解し、重ね合わせなどの画像処理を施すことにより得られた画像が、非常に詳細であることが分かる。



図13 木星（5月1日20時20分撮影）  
撮影機材50cm，Philips社製ToUcam Pro（Web Camカメラ）で直焦点撮影，2分間の動画をRegi S taxで画像処理。



図14 土星（4月16日撮影）  
撮影機材50cm，S2Pro，12mmアイピース拡大撮影，レベル調整のみ行った。

## (6) 星座・星雲・星団の撮影

星座・星雲・星団の画像を図15～図21に示す。露光時間を見ると、デジタル撮影機材が銀塩写真よりも高感度であることが分かる。撮影地は図15～図18は大阪府豊能郡能勢町、図19～図21はニュージーランド・カンタベリー州テカポ村である。

### 星座（図15）

一眼レフデジタルカメラは、広い視野の撮影には不向きであるが、魚眼レンズを使用することにより図15のような写真を撮影することができる。ぎょしゃ座からオリオン座・おおいぬ座など、にぎやかな冬の星座が写っている。低空には大阪中心部の街明かりと、それに照らされた雲が見える。



図15 冬の星座（11月22日 5時20分撮影）

16mm魚眼レンズ絞りF2.8 F4, S2 Pro, 20秒間  
露光レベル調整のみ行った。

### 散光星雲（図16, 図17）

前述のように、一般撮影用のデジタル撮影機材は赤外域をカットしているために赤い散光星雲の写りが悪く、図16の上の方にあるNGC 1977や図18のM45を取り巻く青い星雲の写りが相対的によくなる。



図16 M42（2002年12月29日撮影）

12.5cmレデューサー使用でF4.9, S2 Pro, ランダムに発生するノイズを平均化して画質改善するために約5分間露光したものを4枚重ねてある。オリオン大星雲の愛称で呼ばれる。



図17 NGC 2174（11月24日 3時2分撮影）

5分間露光したものをレベルと赤のトーンカーブの調整を行った。モンキーフェイス星雲の愛称で呼ばれる。

散開星団（図18）・球状星団（図19）

散開星団・球状星団のような，連続スペクトルを  
発している恒星の集団は写りがよい．



図18 M45（2002年12月28日23時46分撮影）

12.5cmレデューサー使用でF4.9，S 2 P ro，3分間露光したものをレベルと青のトーンカーブの調整を行った．プレアデス星団，和名は「すばる」である．



図19 N G C 5139（9月2日20時7分現地時）

3分30秒間露光したものをレベル調整のみ行った．分解能の高さを示すために，焦点距離600mmの望遠鏡で撮影したものを35mm版フィルムで焦点距離1800mm相当まで拡大してある．レベル調整のみ行った．（オメガ）星団の愛称で呼ばれる．

系外銀河（図20）・天の川（図21）

系外銀河や天の川も恒星の部分はよく写るが，散光星雲のH 線は写りにくい．



図20 大マゼラン銀河（9月3日1時14分撮影）

180mm望遠レンズF2.8 F3.3，S 2 P ro，5分間露光



図21 天の川（9月2日21時53分）

16mm魚眼レンズF2.8開放，S 2 P ro，3分間露光したものをレベルと赤のトーンカーブの調整を行った．

以上の作例は，大阪府教育センターのWebページ（<http://www.osaka-c.ed.jp>）にカラーで掲示する予定である．ぜひご覧いただきたい．

## 6．おわりに

天体を撮影すると，肉眼では見えない天体の姿が浮かび上がってくる．今までは難しかった天体撮影が，技術の進歩により，花や風景の撮影と同じように簡単に撮影することができるようになるとうとしている．本稿が，時代に即した新たな教材や実習の開発にお役に立てば幸いである．

## 引用・参考文献

- 1) (株) アストロアーツ
- 2) <http://aberrator.astoronomy.net/registax/>