

2018 年 火星の観測成果と授業活用案

松濤誠之

1. はじめに

2018 年における注目の天文現象は、7 月から 9 月にかけての火星大接近である。学習院高等科で地学の天文分野の教鞭をとるにあたって初心に帰ると、本当の夜空と生徒の仲介役になることが大切であると感じる。高等科生ほぼ全員が持つであろうスマートフォンのアプリでも天文関連のものは多数あるし、ブラウザで検索すれば世界のだれかが撮った素晴らしい天文写真は数限りなく容易みつかると。それを眺め宇宙に思いをはせることは、それはそれで素晴らしいことであろうが、なにか宇宙で実際に存在する天体や天文現象が画面の中の出来事のように感じてしまうのではないかと危惧してしまう。とはいえ東京という世界最高の光害地で学ぶ高等科生に天文を身近に感じるチャンスがすくないのも仕方ないことでもあろう。

そこで、筆者は天文現象をより現実的なものとして感じることでできる教材が作れないかと考え、火星大接近を題材に学習院中高等科校舎から撮影するというこだわりを持ち、撮影を行うことにした。実際に自分の過ごしている場所からの観測データを用い、撮影の工夫や苦労話などとあわせて実習にもちいれば、都会でも天体の観測はできるという意識を植え付けることになるであろうと考え、火星大接近をテーマとして 3 か月以上にわたる観測計画を立て実行してみた。

本レポートでは、2018 年春から夏にかけ火星に関して行った、火星のインターバル撮影による観測成果および拡大撮影の観測成果と、その他火星に関わるいくつかの観測結果を掲載し、授業活用のアイデアについて報告したい。

2. 2018 年の火星の大接近に関して

火星の半径は 3396 km で地球の約半分であり、質量は約 10 分の 1 で、重力が小さいため、大気は地球の 100 分の 1 程度である。火星の公転周期は 687 日で、軌道離心率は 0.0934 と惑星では水星の 0.2056 に次いで大きい離心率を持っている。なお、地球の軌道離心率は 0.0167 で火星より円に近い。また火星の会合周期は 780 日である。図 1 にあるように太陽、地球、火星が一直線になる衝の前後で地球と火星は接近するわけだが、2018 年の最接近は火星の近日点付近で起きるために地球との距離が特に近づき、「大接近」と呼ばれた。なお、「大接近」の明確な定義はないが、今回は地球と火星の距離が約 5759 万 km となり、6000 万 km より近づくのは 2003 年以来、約 15 年ぶりである。図 1 にあるよ

うに、2027年の予想では火星の遠日点付近でおこる衝のとなるため最接近距離が1億km以上となる。

なお、2018年の場合には火星の衝は7月28日であるが、楕円軌道であることから火星と地球の最接近は7月31日と3日ほどずれている。

3. 固定カメラによる火星の インターバル撮影

火星をはじめとする惑星は、太陽の周りを公転しており、その姿を同様に回転している地球から観測するため、天球上で複雑な動きをする。火星、木星、土星などの外惑星の場合、通常は天球上の西から東に動いていき、これを順行という。地球が外惑星を軌道上で追いつく前後には天球上を東から西に動き、通常と逆向きのため、逆行という。この内容は教科書、資料集に概念図とともに説明されお馴染みであるが、この観測資料などはなかなか目にすることはない。また東京都などの都市光害の激しい地域では見える恒星も少なく、2等星くらいまで見えたとしても、生徒には星座の形もとらえることが難しいため、惑星が日々天球上を動いているという感覚を得ることはなかなか難しいであろう。そこで、星座が固定され、その中を惑星が動いていく教材を作るべく、毎晩の固定撮影を行った。

<撮影機材>

三脚、微動雲台、カメラ (Canon 50D)、レンズ (Canon EF-S 24 mm f 2.8)、ACアダプター、コンパクトフラッシュカード (64 GB)、タイマーリリース (Canon TC-80N3)、ソフトフィルター (Kenko Pro Softon A)、レインカバー

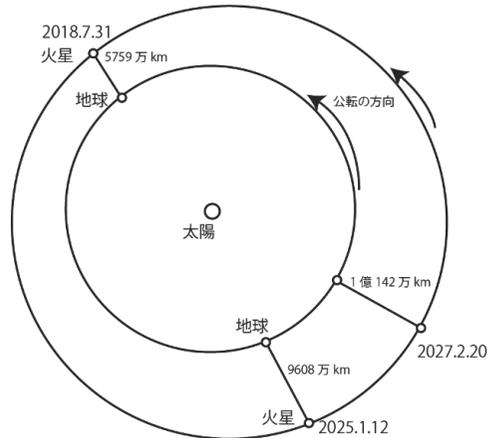


図1 最接近時の地球と火星
(国立天文台の天文情報センターの図を参考に作図した.)



図2 撮影機材の様子

<撮影方法>

まず大切なのは撮影場所の確保である。巡行から逆行までの日数は4ヶ月以上を毎日撮影するわけだが、

- ・南がよく見える。
- ・屋外でコンセントが確保できる。
- ・できれば屋根の下。
- ・誰にも触られない

といった以上の条件を満たした場所を確保するのはなかなか難しい。そこで、学習院中等科の5階にある南側の倉庫のベランダを使用することとした。ここに三脚を立て、カメラを固定し、ちょうど逆行が起きるやぎ座といて座の間くらいの領域が中央くらいになるように画角を調整した。画角は24mmのレンズをAPS-Cサイズの一眼レフで撮るので、フルサイズ換算では約38mmである。カメラレンズには、恒星がわかりやすく、色が際立つようにソフトフィルターを入れた。

屋根の下とはいえ数カ月にわたり屋外にカメラをさらすことになるので、ステップアップリングをフード代わりにし、レインカバーをかけた。このレインカバーが風などでなびいて、写りこまないようにクリップで絞った。ピントはマニュアルフォーカスにして、恒星に合わせ、ピントリングをテープでがっちりと固定した。露出はあらかじめ予備撮影し、ISO800, F5.0, 5sec とすることにした。

撮影を自動化するために、Canon 純正タイマーリリースを使い、1恒星日(23時間56分4秒)ごとにシャッターを切る設定とした。また、雲の通過などに対応するために、フリーのファームウェアである Magic Lantern を Canon 50D にインストールし、タイマーリリースによるシャッターをきっかけに、やぎ座が南中する前後2時間を5分おきに1日24枚自動撮影するように設定した。なお、Magic Lantern は無料で、タイマーリリースなどを使用することなく、長時間露出やインターバル撮影ができる機能を有するが、それに関するトラブル、故障は全てメーカー補償外となるとのことなので、自己責任で使用しなければならない。

<観測成果>

固定撮影は5月から始めてこの現行の執筆段階の(9/3)まで、54夜分のデータを得ることができた。図3は観測に成功した日のデータを比較明合成した画像である。

<授業活用のアイデア>

- ・惑星探し実習
パワーポイントを利用し写真のコマ送りから、星座に対して動いている星を見つけさせる。
- ・惑星の軌跡を描く実習
プリントアウトした1週間ごとの写真から、火星の位置をトレーシングペーパーに写し



図3 54夜分の固定撮影の観測結果
逆行中の土星も写っている。

取り，巡行，逆行，留などを日付とともに記入していく。

<学ばせたい内容>

- ・天球上を複雑な動きをすることから「惑う」という字が用いられ，惑星という名称となったこと。
- ・衝付近では火星が明るく大きく見えていること。
- ・実際の観測では，曇りや雨で観測できないこともあれば，月明りにより空の明るさが日々変化すること。
- ・都会でも工夫すれば星座の形が現れる写真が撮れること。

<発展的な授業の展開例>

- ・どのような時間間隔で撮影すれば，このように星座を固定した撮影ができるか考えさせる。太陽日，恒星日の復習にもなる。

4. 望遠鏡での拡大撮影

今回の最接近時には火星は視直径が $24.3''$ となり，最遠時の約7倍の大きさに見える。大きいといっても月の77分の1の視直径しかないので，火星の模様を観測するにはかな

り長焦点の望遠鏡が必要になる。そのため今回は Celestron 社のシュミットカセグレン式望遠鏡を用いることとした。また、拡大率を上げるためにカメラの前に焦点距離が3倍になるバローレンズを用い合成焦点としては約 6000 mm のセットを組んだ。

また最近の撮像素子の進歩により、PCにカメラをUSBで接続し、動画を撮影する方法が主流となっている。



図4 撮影システムの写真

<撮影機材>

Celestron Edge 800 鏡筒 (2032 mm, f10), テレビュー 3倍バローレンズ, Vixen 10 mm アイピース, ZWO 大気分散補正プリズム (Atmospheric Dispersion Corrector-以下 ADC), ZWO CMOS カメラ (ASI290MC), Vixen SXP 赤道儀, PC, 撮影ソフト FireCapture, 画像処理ソフト RegiStax6

<撮影方法>

撮影の原理としては、通常の日体撮影通り、安定した場所に赤道儀を設置し、鏡筒を載せ、バランス、極軸、ファインダーを調整し、カメラを装着し撮影を行えばよいのだが、そもそも合成 6000 mm (カメラに写るのは、太陽の直径の約 10 分の 1 の領域) の状態でカメラの中心に火星を導入するのが難しい。ファインダーを正確にあわせつつも、赤道儀の自動導入機能を使っても、PC画面内に火星が入ってこないのである。その理由にはアイピースの中心とカメラの中心が若干異なることや、バローレンズやADCを間に挿入することで、それぞれ中心がずれるため、容易にはいかない。撮影を始めた当初はこの時点でかなりの時間を使うことになってしまった。経験を積むごとに上達したので、参考にそのやり方を下記に記す。

- ① 鏡筒に 10 mm のアイピースのみを装着し (約 200 倍)、眼で見てファインダーをなるべく正確にあわせる。これくらいの倍率ならば導入は容易である。
- ② アイピースの中心に対象の天体をきっちりあわせる。ここで再度ファインダーも調整。
- ③ アイピースからカメラに切り替えパソコンの画面でフォーカスと位置を調整。
- ④ カメラを外し、バローレンズとADCを装着し、10 mm アイピースで対象を中心に完全に合わせる。
- ⑤ ③と同様にカメラに付け替えて中心を合わせる。

扱いに慣れていれば②の項目は省いてもよいが、このように段階を踏んで中心を合わせていくことで、確実に目当ての火星をカメラの中心に合わせることができる。また、ここでは省くがADCの調整においても画面内で天体の位置が変化するため、色合いの調整と赤道儀の微調整は同時に行わねばならない。

当然鏡筒の光軸は調整されておらねばならず、不十分だと惑星の模様は出ない。惑星ではなく2等星程度の恒星をもちいてしっかりと光軸は調整しておく。

うまく光軸調整と、火星の画面導入ができれば、Fire Capture というフリー撮影ソフトを用いて、動画を撮影する。今回の撮影では約5000フレーム（約1分40秒）の動画を取得した。

取得した動画はRegiStax6 というフリーソフトで静止画作成をした。このソフトで約30%分のうまく取れているフレームを自動で選ぶ設定をして、静止画として合成した。合成後はWavelet 処理という、模様を際立たせる強調処理を施し、最終的な拡大撮影の画像が得られる。

<観測結果>

観測したデータの例として2つの拡大撮影の結果をのせる（図5、図6）。惑星の拡大撮影は、星雲や銀河などの撮影と違い月明りや都市の光害の影響をあまり受けないが、大気の揺らぎに結果が大きく左右されてしまう。この揺らぎはシーイングと呼ばれる。シーイングの主たる要因は上空の気流で、一般に上空にジェット気流が流れる冬よりも、風の弱い夏の方がシーイングは良いとされる。言い換えると冬に際立つ星の瞬きは惑星の拡大撮影には悪影響となる。また、近くの建物の蓄熱や、エアコンの室外機、お風呂からの熱

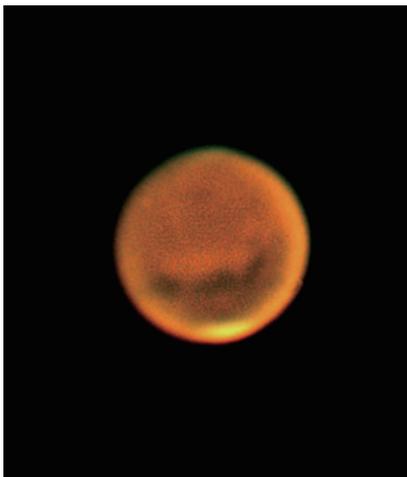


図5 シーイングが悪い時の火星
(2018/8/10 22:07)

わずかに極冠はみられるが、模様が不明瞭である。

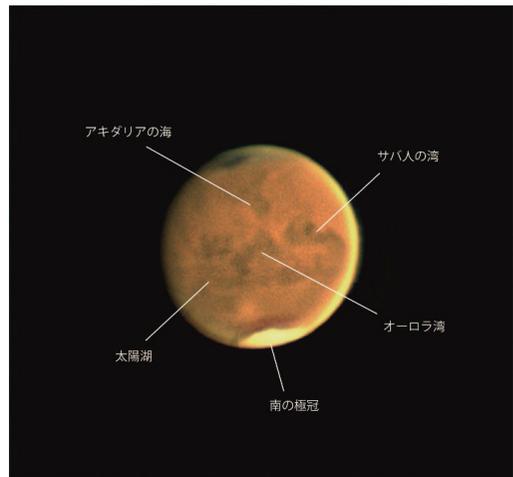


図6 シーイングが良い時の火星
(2018/8/21 21:20)

表面の模様も良く見え、極冠も明瞭にみられる。

気などもシーイングを悪化させる。

シーイングが悪いと動画の中で惑星が絶えずゆれ動き、ぐにゃぐにゃと歪んでしまう。いくら良いフレームだけを選んででも模様は現れない。惑星観測のベテランに聞いたところ、シーイングを予想するのは難しく、晴れていてもシーイングが悪い日、雲が多くてもシーイングが良い日もあり、一晩の中でも時刻によって変わったりするという。

<授業活用のアイデア>

- ・火星の地図と見比べて、写真に地形を記入する。

<学ばせたい内容>

- ・火星の表面は、明るい部分と暗い部分がある。
- ・極には極冠がある。
- ・東京 23 区内でも惑星の拡大撮影できる。
- ・シーイングの良し悪しで見える模様はかなり違う。星のまたたきの話題も絡めて理解させたい。

<発展的な内容>

- ・日を変えた拡大撮影の画像を準備し、火星の自転周期（24 時間 39 分）を予想させる。
- ・インターネットなどから数年前からの火星の拡大撮影を取得し、極冠などを見比べ、火星にも 25.2° の自転軸の傾きがあるため、地球同様季節があることを理解させる。

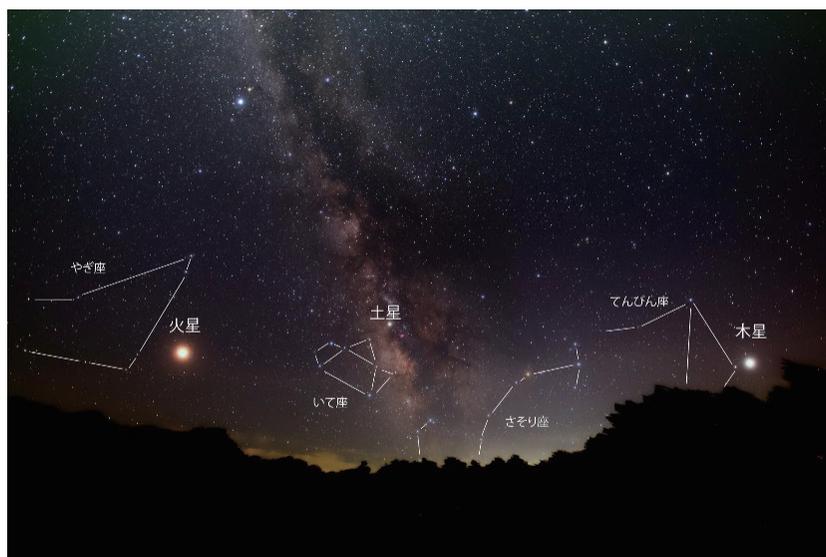
5. その他の撮影

7/28 の早朝に 2018 年では 2 回目となる皆既月食が火星に近い位置で起きた。この皆既月食は、皆既の状態のまま地平線に沈む月没帯食と呼ばれる月食であった。日本全国でみられると期待されたが、上空の寒冷渦の影響で迷走台風となった台風 12 号の影響で本州では観望が難しかったようであるが、地学部の引率で訪れた小笠原では月食を観望することができた。残念ながら皆既月食中には火星に雲がかかってしまい、同時に写真に収めることはできなかったが、空と海の境界線の無いような青さのなかに、赤銅色の月が沈む風景には自然の壮大さと、美しさを大いに感じた。

2018 年の 7 月下旬から 8 月上旬にかけては、日が沈むころに西の空に金星、それより高いところに木星、そして南にはぼ南中している土星、そしてその東に最接近をむかえている火星が見られるという、惑星観望には非常に恵まれた夏となった。ラグビー部の合宿引率で訪れた菅平高原では広角の星野写真を撮影した。



部分月食中の月と火星（中央）。奥に見えるのは世界自然遺産の南島である。
 2018/7/28 4:00頃 小笠原村父島小港海岸付近 中山峠展望台
 Canon EF24-70 mm F2.8L II USM, Canon 5D mark III (F 5.6 10sec), Photoshop CC



天の川と3惑星（黄道12星座には星座線を示した。）
 2018/8/1 21:27 菅平グランビリオロジグラウンド
 Sigma 14 mm F1.8 DG HSM, LEE Filter soft3, Vixen ポラリエ
 Canon 6D SEO-SP4 (F 2.0 30sec 10枚コンポジット), ステライメージ 8, Photoshop CC

6. おわりに

今回の一連の観測は、東京都 23 区内で撮影した。高等科生にとっては、普段の生活圏での観測データであることから、天文を身近に感じてくれることを期待したい。また金星、火星、木星、土星の撮影は都市部でもできるため今後、高等科生と共に観測ができればなおよい。

今回の記事には詳しくは書かなかったが、最も明るい-4等近くになった金星であれば、昼間に肉眼で観ることもできる。このような惑星観望も今後授業で行ってみたいものである。今後さらにアイデアと工夫で、できれば学習院校舎内からの様々な天文現象の観測データを得ていきたい。

なお本レポートは、東京都私学フォーラムレポート 2018 に掲載されたレポートに加筆、修正を行ったものである。作成するにあたり、学習院高等科講師の大澤雅仁先生、丸茂恭徳先生にも多大なるご協力、ご意見をいただいた。ここに感謝の意を表する。