

福井市自然史博物館天文台における2018年の火星観測報告

吉澤 康暢*

Mars Observations in 2018 at the Observatory of the Fukui City Museum of Natural History

Yasunobu YOSHIZAWA*

(要旨) この火星観測報告は、2019年1月28日に永眠された、世界的な火星眼視観測者であった南政次氏の遺志を受け継いで行われた2018年大接近時の火星観測記録である。南政次氏が65年にわたり観測を継続してきた福井市自然史博物館天文台にある小さな観測機器での観測でもある。南政次氏は、日頃より火星表面の気象現象を継続観測することの重要性を述べられていた。2018年7月31日、15年ぶりの大接近を迎えた火星は、明るくまばゆい光(-2.8等)を放っていたが、折りしも火星表面では大規模なダストストーム(砂嵐)が発生しており、赤い火星というより、オレンジ色の輝きを放っていた。

2018年5月31日にアキダリアの海で発生したダストストームは、6月中旬には火星全体を覆う大規模ダストストームとなった。大接近のころは、表面の暗色模様はダストに覆われ、非常に淡い模様となっていた。ダストストームの発生から4ヵ月が経過した10月1日には、かなり収束して、暗色模様のシユルティス・マイヨルなども見えるようになってきた。(南ほか, 2018)

今回の観測で、ダストストームに覆われた暗色模様が、時間の経過にともない晴れていく過程が観測できたほか南極冠が縮小していく過程なども記録できた。

特筆すべきことは、今回の観測に、南政次氏の参加があったことである。その後、南政次氏は体調がすぐれず、これが氏の生涯最後の火星観測となった。

キーワード：火星大接近、ダストストーム、南極冠の縮小、南政次

1. はじめに

2018年は火星が2年2ヵ月ぶりの接近を迎えたが、今回は7月31日に15年ぶりの大接近となった。視直径は $24.31''$ であった(図1)。火星は、南の夜空でひととき明るく輝き、そのオレンジ色の光が印象的であった。福井市自然史博物館天文台では、20cm屈折望遠鏡を使用して火星の写真観測を7月1日より11月中旬まで、晴天の日にはほぼ毎日観測してきた。当館の火星観測は、毎日40分毎に動画撮影を継続する方法である。火星の自転が地球のそれより約37.4分長いので、毎日40分毎に観測していれば、西に約10度違った火星面が連続して得られる。つまり同じ ω (火星面中央子午線)の火星像が得られるので、約36日後に火星面が1周してきたとき、火星面で起きた諸現象の比較が容易になるのである。

今回の観測では、火星の南極にある南極冠が白く輝き、火星の南半球の季節は夏を迎え、南極冠が縮小していく変化を追うことができた。また、2018年5月31日ごろ、火星の北半球で観測史上最大級のダストスト

ームが発生した。6月12日ごろの時点では、火星表面の4分の1を覆う範囲にまで広がり、2007年以来の大規模なものであった。7月の大接近時には火星全体を覆う大規模なダストストームとなり、火星表面のほぼすべての模様や南極冠を覆いつくし、詳細な観測を妨げた(南ほか, 2018)。しかし、その分火星は赤みを増しこれまでに見たことがないような印象的な輝きが見られた。その後、8月中旬頃より嵐がおさまり表面の模様は明瞭になってきたが、今度は南中高度が約30度と低く、さらにシーイングが悪く、全体として良い観測結果は得られなかった。

(1) 火星の観測目標

当天文台での2018年大接近の火星観測は、6月13日から開始し、11月17日まで、火星が見えていれば、必ず天文台に登り、延べ55日間の観測を行ってきた。その間約数百個のavi動画ファイルを40分インターバルで記録保存した。

この間、火星の季節は $\lambda = 221.2^\circ$ Lsで、つまり火星の南半球の春分より夏至までのCMOSカメラによる観

*福井市自然史博物館協力員 〒918-8006 福井市足羽上町147

*Expert adviser of Fukui City Museum of Natural History, 147 Asuwakami-cho, Fukui City, Fukui 918-8006, Japan

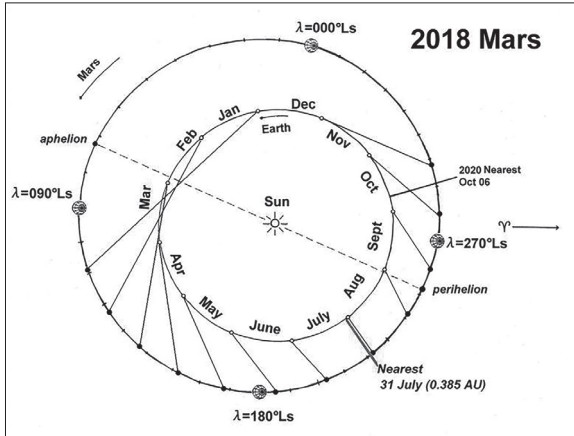


図1. CMO463号2018年の火星接近状況より (作図:村上昌己)

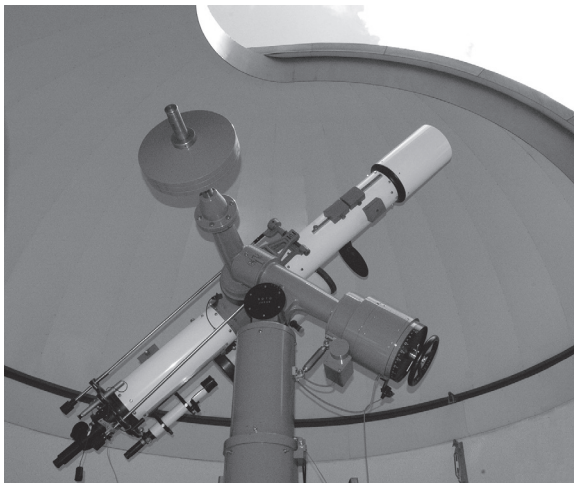


図2. 福井市自然史博物館天文台の20cm屈折望遠鏡

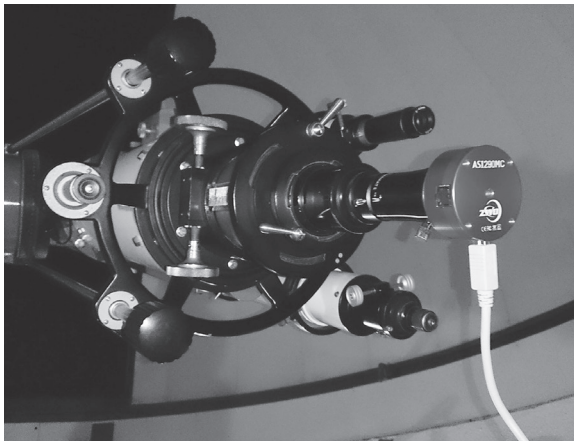


図3. 20cm屈折望遠鏡に取り付けたCMOSカメラ (Zwo ASI 290MC)

測記録である。観測の目標は、火星面の暗色模様の変化、南極冠の縮小過程や極冠の割れ目、暗部、輝点、白雲、山岳雲、峡谷、ダストストームの分布と流れなどである。

(2) 天文台の位置

名称：福井市自然史博物館天文台

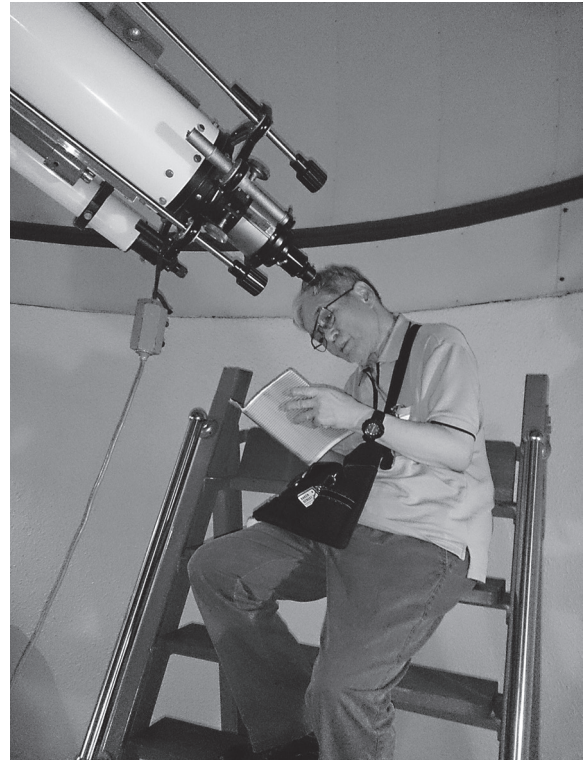


図4. 南政次氏の最後の火星観測 (作図：2018年8月17日)

所在地：福井県福井市足羽上町147

位置：北緯36度03分24秒，東経136度12分34秒，
標高83m

開館：1952年7月

(3) 天文台の望遠鏡

口径20cm (EDレンズ) 屈折赤道儀式天体望遠鏡，
焦点距離2400mm，五藤光学製 (図2)

2. 写真観測方法

(1) CMOSカメラ

カメラはZwo ASI 290 MCでテレビュー2.5× Powermateの組み合わせにより動画 (aviファイル) を記録し，AutoStakkert3およびRegiStax 6によりスタック処理 (1500~2000フレーム) とウェブレット処理を実施した。

(2) カメラの接続と撮影方法

五藤光学製20cm屈折望遠鏡にアメリカンサイズ変換アダプターを付け，テレビュー2.5倍PowermateとZwo ASI 290 MCを接続した (図3)。CMOSセンサーにはZWOのIRカットフィルターを使用した。USBケーブルでCMOSカメラとノートパソコンを接続し，カメラ付属のソフトウェアSharp Cap 3.1にて動画撮影しaviファイルで保存した。

Sharp Cap 3.1の各種設定はGainは50，Frame Rate

は30～15fps, で使用した。

(3) 40分インターバル観測

22時10分 (JST) を基準にした。理由は、南政次氏の理論であるが、火星の自転速度と地球の自転速度の差があるため、40分間隔で観測データを撮ると、異なる日のデータを比較するとき同じ ω となるため、比較考察が容易となる (村上ほか, 2011)。22時10分 (JST) は南政次氏からこの指導を受けたときの時刻で、観測を継続する際、この時刻から始めればよいということである。以下に40分間隔の観測時刻を列挙する

(JST) 19:30, 20:10, 20:50, 21:30, 22:10, 22:50, 23:30, 24:10, 24:50, 25:30

これ以外の時刻は、火星の高度が低く、厚い大気層に阻まれ、火星面の写真観測に適さないため、観測をしていない。

3. 画像データのスタック処理とウェブレット処理

(1) 処理ソフト

AutoStakkert 3およびRegiStax 6により、撮影したaviファイルの1500～2000フレームより30%についてスタック処理とウェブレット処理を実施した。

(2) オートスタッカー3による処理

Sharp Cap Capturesホルダーよりaviファイルを選択し、Analyseを実施、Alignment Pointsを指定した後、Stackを自動処理後、pngファイルを保存した。

(3) レジスタックス6による処理

オートスタッカー3で保存したファイルを開き、Linear, Defaultを選択後、Wevelet Filterの6種類を選択、調整。その他、Contrast, Brightness, Gamma, Flip and Rotateなどを調整後、画像をjpgで保存した。(図5)

4. 観測結果および考察

南政次氏が65年もの間継続してきた、福井市自然史博物館天文台での火星の観測を絶やさないようにするため、筆者は2018年の大接近に備え、博物館天文台の20cm屈折望遠鏡によるCMOSカメラを使った写真観測を計画し、大接近の7月31日をはさみ、6月～11月までの6カ月に及ぶ観測 (55回) を実施したので、その観測結果について報告する。その間、南政次氏は体力的に火星観測の継続が困難な状況にあったが、天文台で筆者との共同観測を望まれ、自宅への送迎をはじめ、観測のサポートをさせていただいた。観測期間中、南

政次氏とは4回 (2018年7月31～8月1日, 8月4～5日, 8月17日, 8月18日～19日) の観測を実施できた。(図4)

(1) 観測日時 (JST)

観測を実施した日時は次のとおりである。

2018年6月13日～14日 (23:00～1:30), 7月1日 (1:30～3:30), 7月10日 (1:30～4:00), 7月20日～21日 (22:00～0:30), 7月25日～26日 (21:30～0:30), 7月29日～30日 (22:00～0:48), 7月30日～31日 (21:00～01:30), 7月31日～8月1日 (21:30～01:04), 8月1日～2日 (21:30～0:30), 8月2日～3日 (22:30～01:30), 8月3日～4日 (21:30～01:15), 8月4日～5日 (21:30～01:15), 8月5日～6日 (21:00～0:40), 8月6日～7日 (21:30～01:00), 8月7日～8日 (21:30～01:30), 8月9日～10日 (21:00～0:10), 8月10日～11日 (22:30～0:30), 8月11日～12日 (21:30～0:30), 8月12日～13日 (21:30～1:30), 8月13日～14日 (21:50～0:30), 8月14日～15日 (21:30～01:00), 8月17日 (21:00～23:10), 8月18日～19日 (20:30～01:00), 8月19日～20日 (20:30～0:30), 8月20日～21日 (21:00～0:10), 8月21日 (20:30～23:30), 8月22日 (21:00～23:30), 8月24日 (21:00～23:30), 8月26日 (22:00～23:30), 8月27日 (21:00～23:30), 8月29日 (20:30～23:50), 9月2日 (20:30～23:30), 9月3日 (20:30～23:30), 9月5日 (19:10～22:00), 9月10日 (21:10～23:00), 9月17日 (19:30～23:00), 9月18日 (19:00～22:30), 9月19日 (18:30～22:30), 9月22日 (18:30～22:30), 9月27日 (18:00～22:00), 9月28日 (18:00～21:40), 10月3日 (18:00～21:00), 10月6日 (20:00～21:40), 10月7日 (18:00～22:30), 10月8日 (18:00～22:30), 10月18日 (17:30～21:00), 10月19日 (19:30～21:00), 10月21日 (20:00～21:40), 10月24日 (17:00～21:30), 10月25日 (17:00～21:00), 11月8日 (16:30～18:30), 11月10日 (16:30～20:30), 11月14日 (17:00～20:30), 11月15日 (17:00～20:30), 11月17日 (17:00～19:00) の55回の写真観測を実施できた。その間、約数百個のavi動画ファイルを記録保存した。今回の報告では、そのうちシーイングが良好で、処理画像が良好なものを考察に使用した。数多く撮影したが、天候不良、火星の低高度、シーイングの悪さに悩まされ、報告書用に耐える画像は少なく残念であった。

観測は早くから準備していたが、実際に使用に耐えられる写真が得られたのは大接近になった7月下旬頃からであった。そのため、大接近の後半部が主な観測データである。火星の高度が低く、30度を越えたのは10月に入ってからであった。気流が安定せず、台風の接近などもあり毎回シーイングが悪く、良いときは南

中時のごくわずかの時間のみで、大接近といえども火星面の細部については、不明瞭であった。とても残念な結果となり、わずかの観測データでの考察となった。

以下の考察は、東亜天文学会火星課のホームページに掲載されている火星観測レポート（村上，2018）を参考に、自分が確認した事実を記述したものである。火星面の暗色模様等の名称は、Antoniadi著、Marsの巻末の付図によるものである。

(2) 7月後半～最接近時前後の火星面（図5の①～⑭）

火星はやぎ座を逆行中で、27日には黄経で衝、31日には最接近（0.385AU）、視直径は24.31"となって、15年ぶりの大接近を迎えた（図1）。季節は212° Lsから222° Ls、ダストに覆われた火星面は、暗色模様の見え難い状況が続いて、最大視直径になった期間だったが詳細は捉えられなかった。それでも、視直径が24"を越えているので、かなり大きく見えていた。また、衝前後であるため、望遠鏡で拡大して見える火星の輪郭が、美しい円形であった。暗色模様のシヌス・メリディアニ（ANTONIADI, 1930）の輪郭がはっきり見え、アルギュレの輪郭が明るく見えていた。ノアキスからパンドラエ・フレツムあたりは、地形の影響で複雑な模様になっていた。暗色模様で特に変化が大きかったのは、ダエダリアの東を区切るパシスが濃化して幅が広がっていたことである（南ほか，2018）。タルシス三山とオリュムプス・モンスは山頂の突起が見えていた。シヌス・サバエウスの北岸はダストが薄いのか、西側に続くシヌス・メリディアニに比べて暗色模様はっきり判るようになっていた。南極冠内部には大きな暗部が中央に見えていた。

ヘッラスは北半球の陸地と比較して明るい、ダストに覆われているためか通常よりは暗かった。また、ヘッラスの地形が盆地状の窪みであるためか、ダストが溢れて停滞し、通常より面積は拡がり輪郭は不明確であった。ヘッラスの北東端からはダストが溢れているかのように吹き出しがみられた。シュルティス・マイヨルの南方の根元付近の両サイドはダストに覆われ切れ切れのまだら模様になっていた。

南極冠は大きく輝いているが、ダストに覆われ白色ではなく淡いオレンジ色となっていた。南極冠の周囲は暗部に囲まれ、黒い縁どりとなっている。ω = 278° w付近で南極冠を見ると、その東半分がダストに覆われて隠されていた。また、場所によっては、南極冠の縁どりに凹凸が認められた。

北半球の北極付近に注目すると、ω = 330° ~ 340° w付近では、北極冠の広がりの一部が見えていて、その縁どりが暗い暗部となっていた。ω = 225° w付近のマレ・キンメリウムからは、北部に2条の暗部の突起（ア

リンコの足）が見えていた。

(3) 8月前半の火星面（図5の⑮～⑳）

火星は7月31日の最接近後の逆行のループ上で、やぎ座の西部へと向かっていた。衝を過ぎて、南中も夜半前にと、早くなってきた。視直径は23.4"と少し小さくなった。季節は222° Lsから231° Lsと進んで、南極冠の縮小も進んできた。新たな大きなダストの活動は認められなかった。少しずつであるがダストは薄くなっていた。

8月前半はω = 135° w付近が見えていた。この頃、火星は遠ざかっているものの、高度も上がり、シーイングも改善されてきている。ダストに覆われていた火星面も少しずつ晴れてきて、暗部模様も確認できるようになってきた。特に、オリュムプス・モンズやタルシス三山などは明瞭に確認できた。

7月の末までダストの活動が見られたソリス・ラクス周辺で、暗色模様の目立つ最大の変化は、ダエダリア東側のパシスの濃化・肥大（南ほか，2018）である。6月21日に始まったダストの活動で、ダエダリアも含め濃化したところが明瞭に残っている。NASAのMOLAの地形図（NASA，2007）によると、地形的にはアルシア・モンズ南東方の山脈状につらなる大きな起伏のある高地あたりに一致する。山脈状の高地に沿った暗色模様の分布は、ダストの通過による影響が考えられて興味深い。マリネリス溪谷にはダストが詰まって谷筋の地形がわずかに明るく見えている。

ほかに、マルガリティフェル・シヌスとオクシア・パルスとの間が、アラムから北西にクリュセ方向に延びる明部でちょん切られてしまっていた。シヌス・メリディアニからシヌス・サバエウスの北岸は変化が少ない。マレ・キンメリウム北部の2条の垂れ下がり（アリンコの足）はよく見えていた。

(4) 8月後半の火星面（図5の㉑～㉓）

火星は最接近から約一ヶ月過ぎてやぎ座西部を移動し、視直径は、23.3"から20.9"と一回り小さくなり、北半球朝方の欠けが目立つようになった。季節は231° Lsから241° Lsへと移り、縮小の進む南極冠は明るく小さく見えるようになってきた。

8月後半はω = 300° ~ 0° w付近が見え、ダストが晴れ上がってきたせいか、見応えのある模様のシュルティス・マイヨルやサバエウスがはっきり見えるようになってきた。ヘッラスの西側にあるノアキス付近は暗部が多く、黒々としている。ヘッラスの東側には盆地にたまったダストの流れ出し状の突出部が見られた。ヘッラスは南極冠に比較して白くはないが、明るく輝いている。シュルティス・マイヨルとヘッラスの境界

部分は複雑な濃淡部分が見えていた。

自転と共に南極冠の偏心ぶりが識別できた。ω = 320° w付近にノウオス・モンズ（ミッチェル山）と考えられる尖った突出部が存在する。そして、その西側部分が大きくえぐられていた。

(5) 9月～11月の火星面 (図5の⑤⑥～⑦)

9月前半の火星はやぎ座を順行。視直径は20.9"から18.3"と減少し、季節は241° Lsから251° Lsに進み、北半球の朝方が大きく欠けてきている。南極冠は縮小が進み偏芯していた。ヘッラス側のω=330° w方向に延びる白い突起はノウオス・モンズと考えられる。タルシス三山やオリュムプス・モンズは、ダストが薄くなるにつれ、山頂が飛び出し突起状に見えていた。

9月後半、視直径は18.2"から15.8"へと小さくなり、季節は251° Lsから260° Lsへと進んだ。北半球の朝方が大きく欠けている。ω = 118° w付近でみられるダエダリアの東を区切るパシスの暗色模様は濃度が衰えていない。秋雨前線の影響が大きく晴れ間が少なかった。視直径が落ちてきたこともあり、良い画像が少なかった。

10月、火星は日没後の南東の空高く昇るようになってきた。日暮れが早くなり17時すぎからは観測が可能になった。視直径は15.8"から11.9"へと小さくなり、明るさはだいぶ衰えてきている。季節は260° Lsから280° Lsと進み、南半球の夏至も過ぎた。北半球の朝方が大きく欠けている。火星面のダストはまだ残っていて、ソリス・ラクス付近では濃度が回復していない。ヘッラスの見える画像では、南極冠の左半分が消滅している。アルギュレの南では、残っている南極冠が明るく見えていた。

11月、火星はやぎ座を抜けてみずがめ座に入った。視直径は11.9"から9.3"へと変化し、詳細を捉えるのが難しくなってきた。明るさもプラスの等級に落ちてしまった。季節は280° Lsから298° Lsと進み、南極冠は偏芯してさらに縮小を続けて小さく見えていた。

ダストで溢れ大きな拡がりを見せていたヘッラスも縮小しすっきりした形で輝いていた。

(6) まとめ

観測結果の一部は、すでに東亜天文学会の火星課のホームページの画像データ閲覧サイト (CMO Mars Gallery of the 2018 Mars) に福井市自然史博物館天文台の観測記録として8月18日の40分間隔の画像データが掲載されている。

2018年の火星観測は、南政次氏から火星観測方法の手ほどきと、火星の気象現象理論の講義をしていただき6月から観測体制に入った。15年ぶりの大接近で視

直径も十分にあったが、高度が低く、最悪のシーイングに悩まされた。長期間継続した割には、良い観測結果を得ることができなかった。

今回の観測の成果は、福井市自然史博物館天文台の20cm屈折望遠鏡を使用し、CMOSカメラによる火星画像を接近期間中、継続して得ることができたことである。その観測内容は、大接近に伴い発生した大規模ダストストームが暗色模様を覆う状態を観測できた。また、それが晴れていく過程を観察できた。南極冠の縮小の過程を観察できた。さらに火星の視直径や明るさの変化、火星の砂漠やダスト特有の色など、多くの観測成果が得られた。

次回2020年10月6日には、火星が地球に最接近となる。地球からの距離は6200万kmとなり、視直径は20".6を超える準大接近となる。しかも、正中時の地平高度は、60°と2018年の2倍も高くなる。そのため、見えている時間も長く、絶好の条件となる。次に20"よりも大きく見えるのは2033年まで待たなければならない。最接近のころの火星は南半球の夏至を少し過ぎた位置にある。惑理緯度は-20°で南極付近の様子が非常に良く観察できるだろう。福井市自然史博物館天文台での火星観測を今後も継続し、良い結果を残していかなければならない。そして、熱心な後継者を育成していかなければならないと考えている。

5. 南政次氏との観測

南政次氏と中島孝氏は火星眼視観測を中学生時代から取り組んでこられた、福井市自然史博物館天文台での火星観測は65年の実績があり、両氏の人生をかけた仕事であった。観測から得られたダストや白雲などの気象現象は、新たな発見や理論を生み出した。この業績は、日本はもとより世界からも高い評価を受けてきた。今回2018年の接近は、両氏の体力の限界から観測の継続が危ぶまれた。南政次氏は、観測をぜひやりたいと筆者に電話とメールで連絡してこられた。その折、福井市自然史博物館天文台での継続観測の重要性を力説され、筆者にその任務を託された。南政次氏は今回の接近で、足羽山の天文台で、4回（2018年7月31～8月1日、8月4～5日、8月17日、8月18日～19日）の火星観測を実施された。その間、筆者に三国の自宅への送迎と観測のサポートを依頼された。しかし、この観測が氏の生涯最後の火星観測となってしまった。そして、この観測で得られたスケッチ2枚は南氏の最後の観測スケッチとなった。一晩中火星を観測しながら、色々ご指導をいただくことができた。ダストストームの発生、白雲、エドムの閃光現象などの出現や時期について、これまでの観測事実に基づく理論を展開された。

観測の合間には、天文台の外に出てゆったりと椅子に体をあずけ、満天の星空の中で、ひと際赤く明るく輝く火星を仰ぎ、長時間眺めて思いにふけておられた。4回の観測の後には、体調が良くないということで、メールでのやり取りとなり、2018年9月28日にいただいたメールが最後となった。その間、福井市自然史博物館天文台というローカルな小さな観測機器での火星観測の意義と観測の継続の大切さを強調された。また、CMOSカメラによる撮像の方法やスタック処理、ウェブレット処理などについては、今回は方法をあまり変えないでそのまま最後まで続けるように指示された。

南政次氏の長年の火星観測記録帳90冊は、氏の令夫人南知子氏によって、火星観測の聖地であるアメリカのアリゾナ州フラッグスタッフにある、ローウエル天文台のパットナム・コレクションセンターへ寄贈された。これらの観測記録は、火星のダストストームについてのローウエル天文台のデータベースの貴重な資料とされる。また、一部は京都大学花山天文台にも保管されることになっている。(永井, 2019)

謝 辞

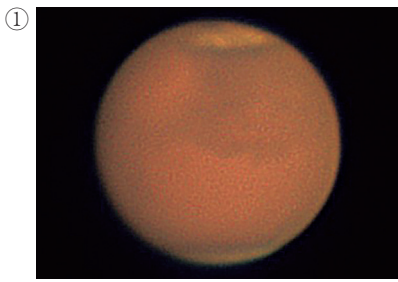
南政次氏の令夫人南知子氏には、生前より火星観測をはじめ、福井市自然史博物館天文台へのご協力など多大なお世話をいただいた。また、中島孝氏、西田昭徳氏には、火星のスケッチ観測や写真観測について日頃よりご助言をいただいた。東亜天文学会火星課長の村上昌己氏には、火星観測の報告について多くのご助言やご援助をいただいた。また、火星課のリーダーである近内礼一氏、阿久津富夫氏には、火星観測や写真撮影のノウハウをご指導いただいた。深くお礼申し上げます。

最後になりましたが、この報告書を南政次氏のご霊前に捧げますと共に、謹んで哀悼の意を表し、ご冥福をお祈りいたします。

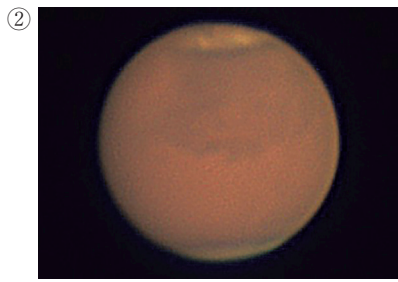
参考・引用文献

- E.-M. ANTONIADI, 1930, 火星図, LA PLANETE MARS 付図
 Masatsugu MINAMI, 2012, Mars Observations in 2003 Part2, 福井市自然史博物館研究報告, no. 59, 1-6
 南政次・村上昌己, 2017, 2018年の火星接近状況その1, 「火星通信」CMO, no. 463
 南政次・村上昌己, 2017, 2018年の火星接近状況その2, 「火星通信」CMO, no. 464
 南政次・村上昌己, 2018, 6月～11月の火星観測レポート, 「火星通信」CMO, no. 471～479
 村上昌己・森田行雄, 2011, 40分毎観測のすすめ, 「火星通信」CMO, no. 387
 永井靖二, 2019, 火星観測情熱の数万枚, 朝日新聞大阪本社, 9月17日朝日新聞朝刊

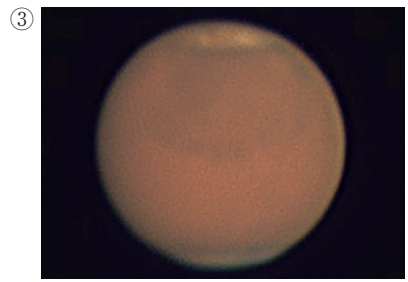
- NASA MOLA Science Team, 2007, 火星グローバル地形図
 Takashi NAKAJIMA and Masatsugu MINAMI, 2011, Mars Observation in 2003 Part1, 福井市自然史博物館研究報告, no. 58, 1-10
 William Sheehan, 2019, 寄稿: 日本の観測者が火星の観測集録をローウエル天文台に寄贈 - 南政次氏 (1939-2019) 略歴, 「火星通信」CMO, no. 486



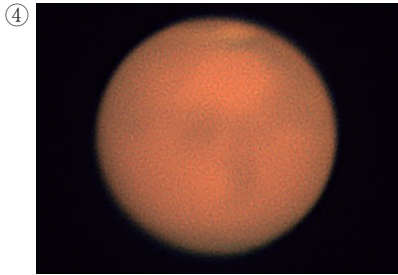
① 07-20-13_47_50GMT $\omega=333^\circ$ w



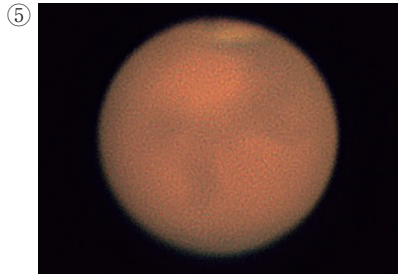
② 07-20-14_42_14GMT $\omega=346^\circ$ w



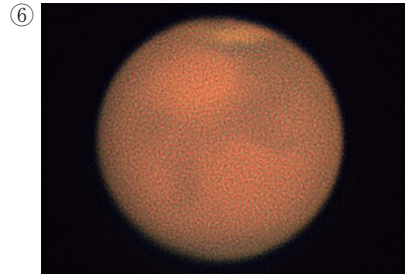
③ 07-20-15_15_38GMT $\omega=354^\circ$ w



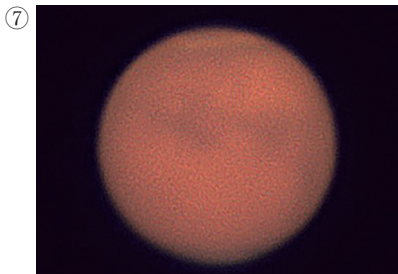
④ 07-25-13_05_52GMT $\omega=278^\circ$ w



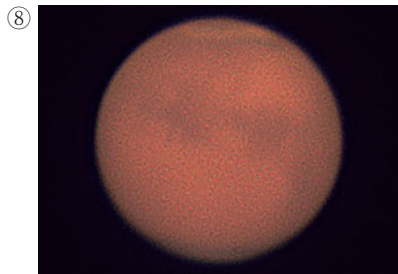
⑤ 07-25-14_29_31GMT $\omega=299^\circ$ w



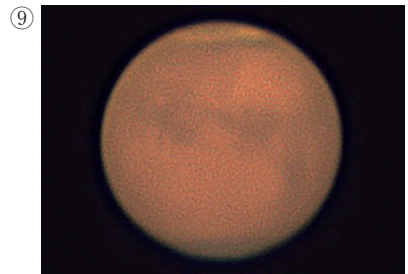
⑥ 07-25-15_00_59GMT $\omega=306^\circ$ w



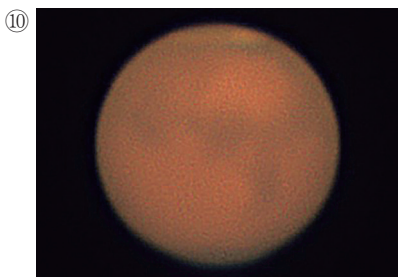
⑦ 07-30-13_33_01GMT $\omega=241^\circ$ w



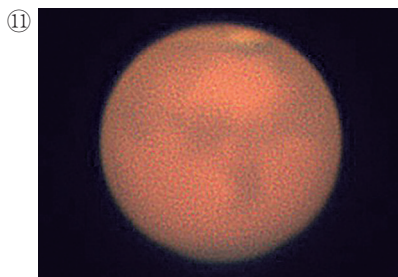
⑧ 07-30-13_54_19GMT $\omega=246^\circ$ w



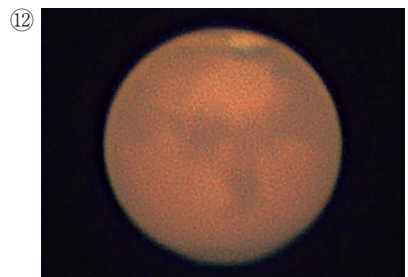
⑨ 07-30-14_58_23GMT $\omega=262^\circ$ w



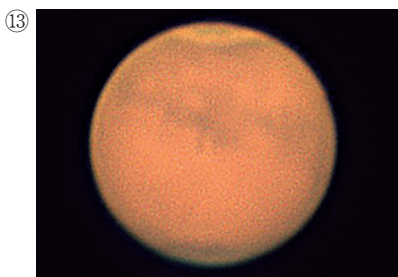
⑩ 07-30-15_20_01GMT $\omega=267^\circ$ w



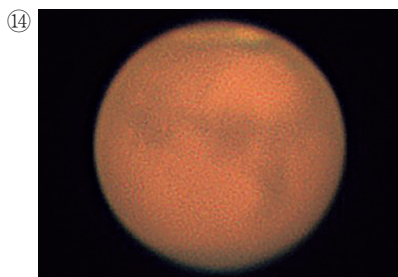
⑪ 07-30-16_05_39GMT $\omega=278^\circ$ w



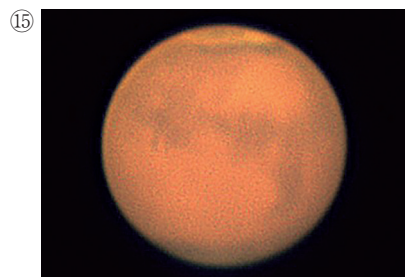
⑫ 07-30-16_15_25GMT $\omega=280^\circ$ w



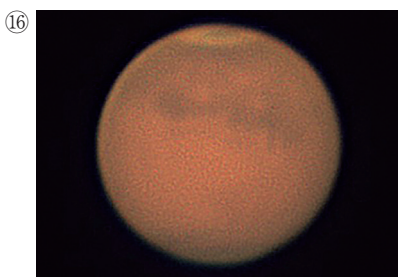
⑬ 07-31-13_52_41GMT $\omega=237^\circ$ w



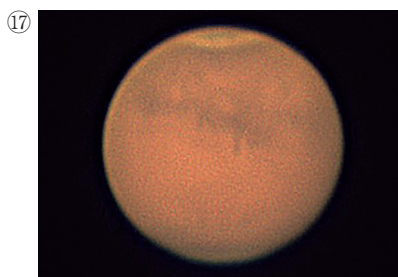
⑭ 07-31-15_46_28GMT $\omega=264^\circ$ w



⑮ 08-01-15_52_19GMT $\omega=257^\circ$ w



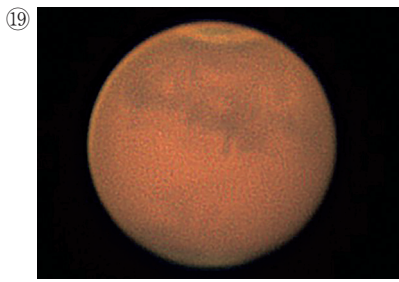
⑯ 08-03-12_53_53GMT $\omega=196^\circ$ w



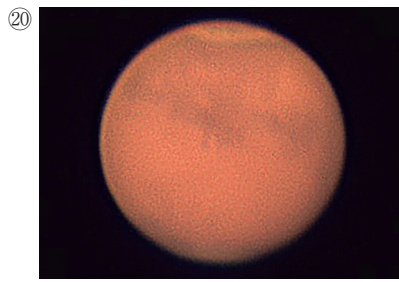
⑰ 08-03-14_12_26GMT $\omega=215^\circ$ w



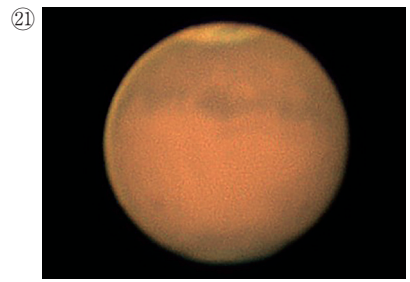
⑱ 08-04-13_50_17GMT $\omega=201^\circ$ w



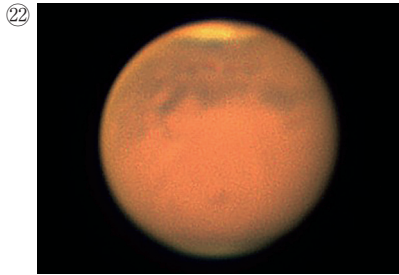
08-04-14_48_13GMT $\omega=215^\circ$ w



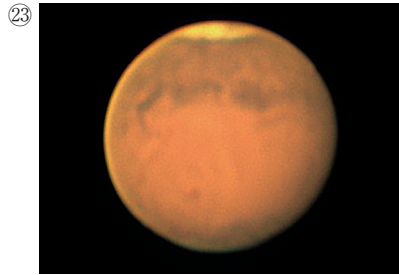
08-04-15_50_19GMT $\omega=230^\circ$ w



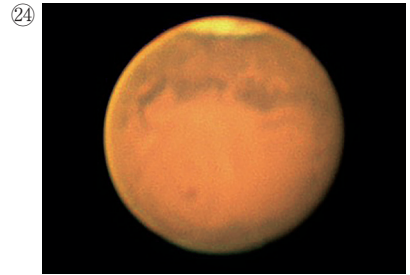
08-06-13_10_01GMT $\omega=173^\circ$ w



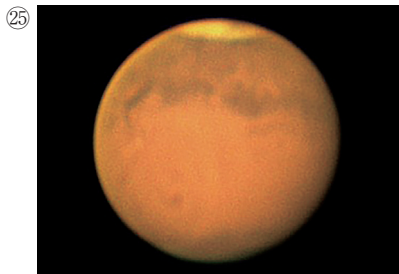
08-09-12_25_31GMT $\omega=136^\circ$ w



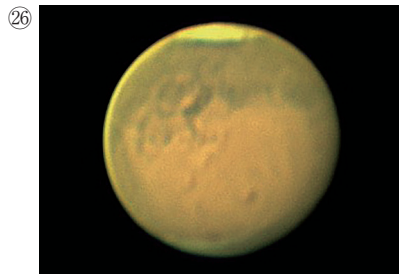
08-10-14_04_11GMT $\omega=151^\circ$ w



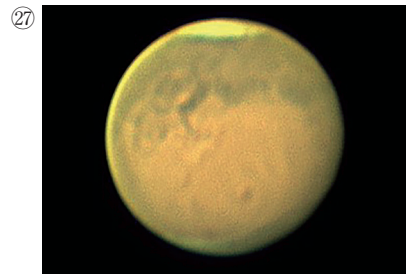
08-10-14_09_34GMT $\omega=152^\circ$ w



08-10-14_22_57GMT $\omega=155^\circ$ w



08-11-12_40_23GMT $\omega=121^\circ$ w



08-11-12_57_35GMT $\omega=126^\circ$ w



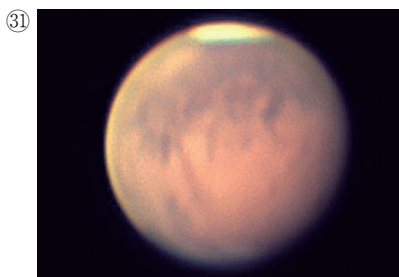
08-12-13_10_01GMT $\omega=120^\circ$ w



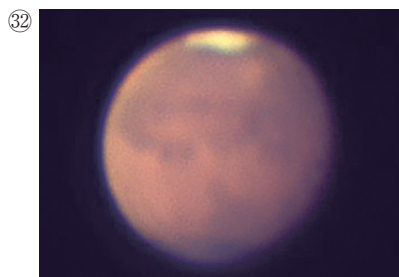
08-13-14_30_00GMT $\omega=130^\circ$ w



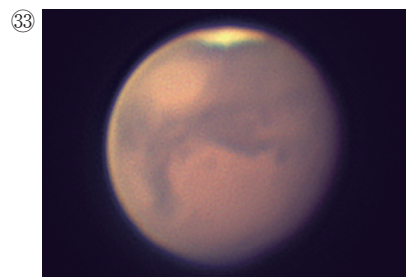
08-18-13_53_14GMT $\omega=076^\circ$ w



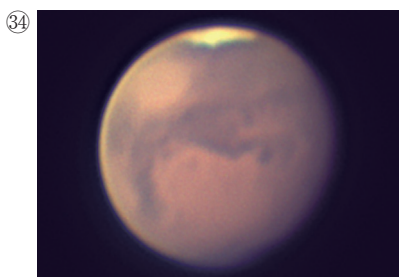
08-18-14_30_02GMT $\omega=085^\circ$ w



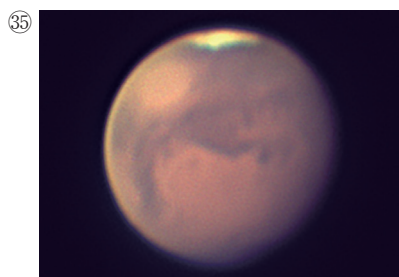
08-24-13_52_55GMT $\omega=022^\circ$ w



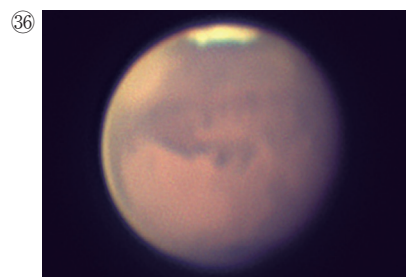
08-26-11_21_15GMT $\omega=327^\circ$ w



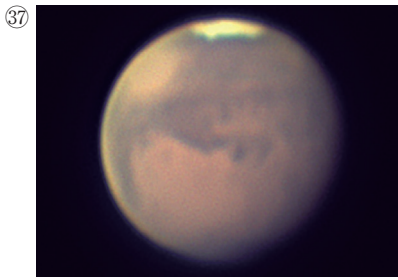
08-26-11_45_26GMT $\omega=333^\circ$ w



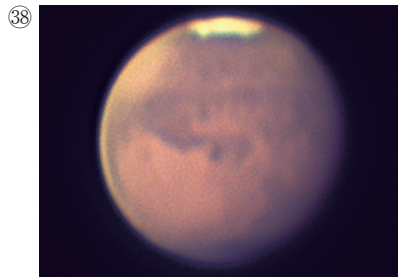
08-26-11_50_01GMT $\omega=334^\circ$ w



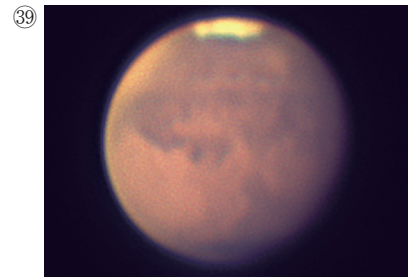
08-26-12_16_36GMT $\omega=341^\circ$ w



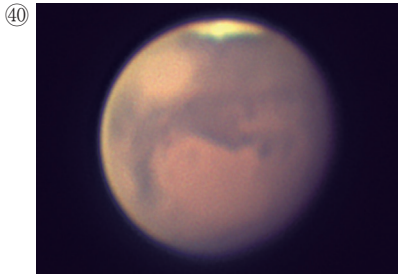
08-26-12_41_56GMT $\omega=347^\circ$ w



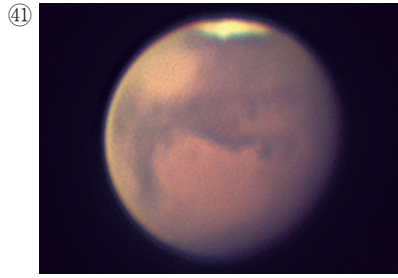
08-26-13_25_56GMT $\omega=358^\circ$ w



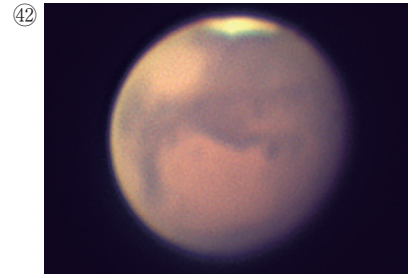
08-26-14_12_29GMT $\omega=009^\circ$ w



08-27-12_21_20GMT $\omega=333^\circ$ w



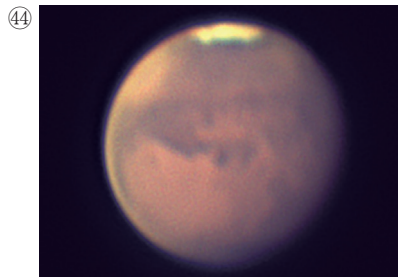
08-27-12_30_06GMT $\omega=335^\circ$ w



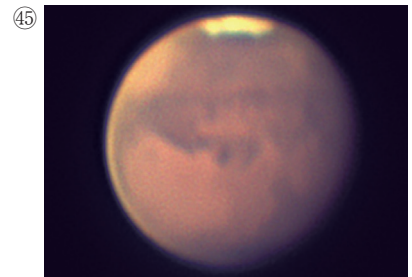
08-27-12_31_21GMT $\omega=335^\circ$ w



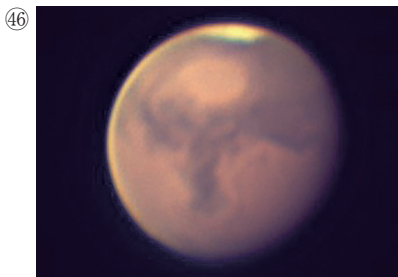
08-27-13_35_53GMT $\omega=351^\circ$ w



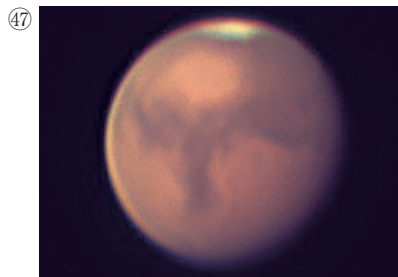
08-27-14_00_01GMT $\omega=357^\circ$ w



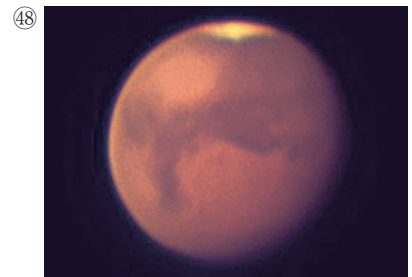
08-27-14_07_11GMT $\omega=359^\circ$ w



08-29-11_33_05GMT $\omega=303^\circ$ w



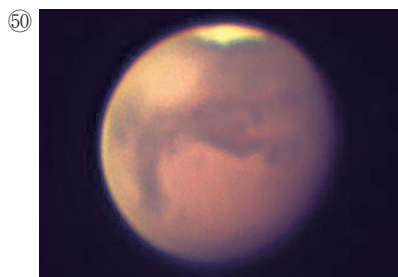
08-29-11_50_01GMT $\omega=307^\circ$ w



08-29-13_00_02GMT $\omega=324^\circ$ w



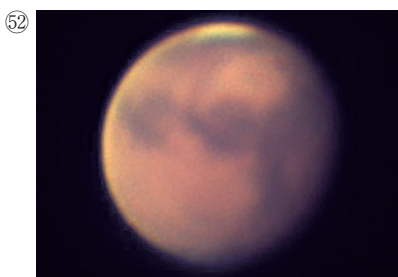
08-29-13_12_19GMT $\omega=327^\circ$ w



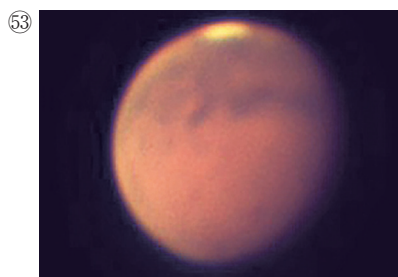
08-29-13_25_02GMT $\omega=330^\circ$ w



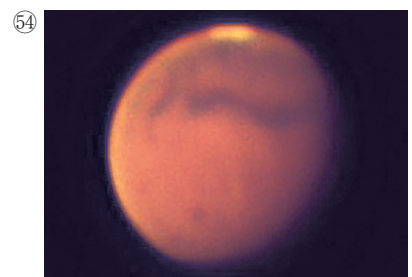
08-29-14_33_02GMT $\omega=347^\circ$ w



09-02-11_50_01GMT $\omega=270^\circ$ w



09-17-11_30_47GMT $\omega=127^\circ$ w



09-17-13_09_34GMT $\omega=151^\circ$ w

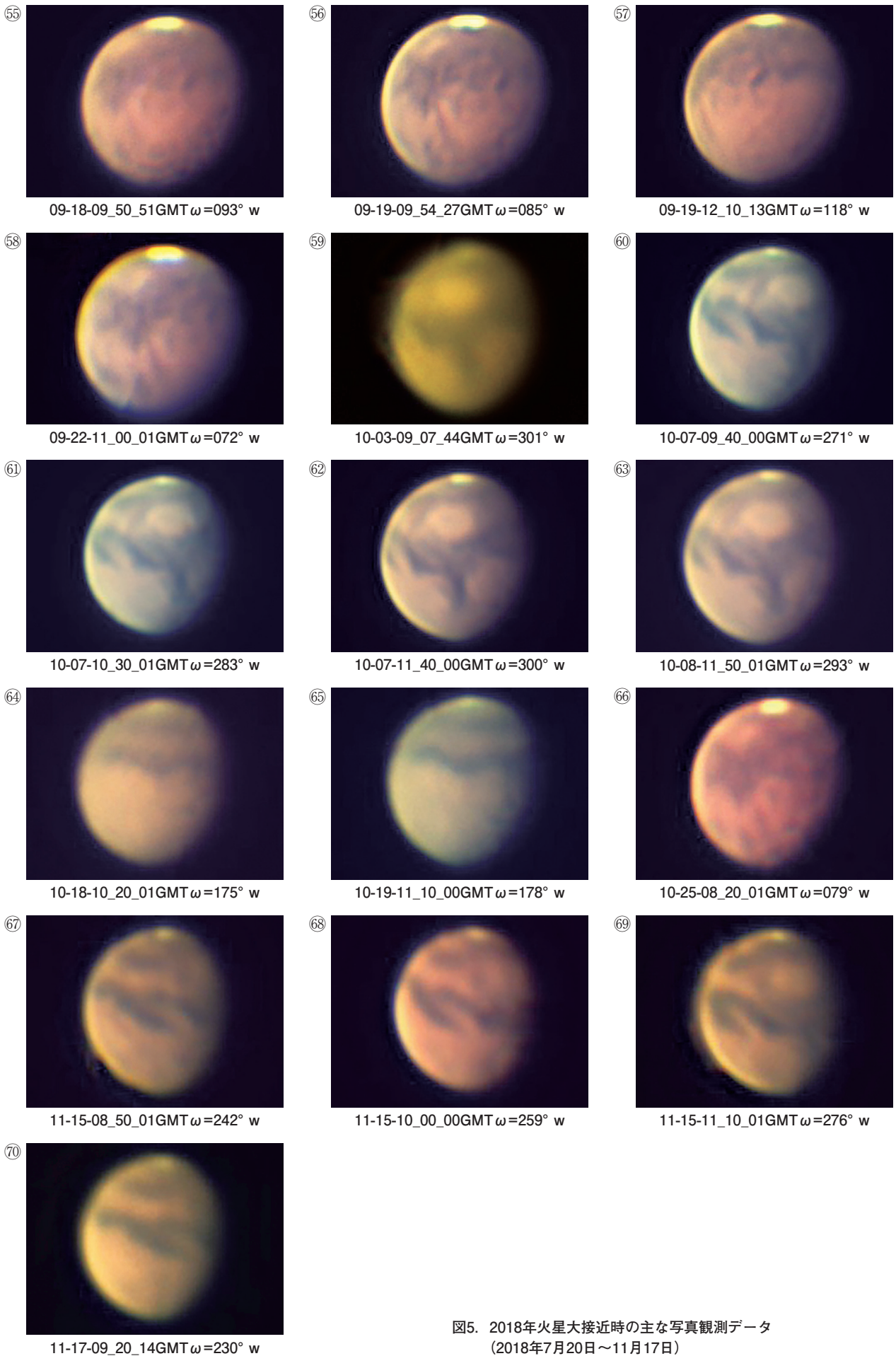


図5. 2018年火星大接近時の主な写真観測データ
(2018年7月20日～11月17日)