

4. 花山天文台の思い出

惑星観測

赤羽 徳英

元京都大学飛騨天文台助教授

花山天文台のクック屈折望遠鏡は学術観測用としては小口径（口径30cm、F数15）である。しかし、ホームテレスコープとして常時使用できる。この利点を生かしてMiyamoto（宮本正太郎）は月と火星の連続観測を始めたと聞いている。月の観測は月面に見られる形態の成因を解明するためのものであり、眼視と写真撮影を併用した。火星観測の目的は火星気象の究明であった。火星大気中の微細な変化をとらえる必要から、眼視観測が行なわれた。Miyamotoの観測と研究はたちまち高い評価を受け、花山天文台は欧米と肩を並べる惑星天文台となった。

1. 火星観測

火星は小さな天体で観測しにくいけれども、地球環境に最も近い惑星である。火星には四季の変化があること、黄雲や白雲が発生すること、極冠は各半球の春季に見られることは古くから知られていた。火星は約24時間半の周期で自転しているし、大気中の現象は時々刻々変化しているので、少なくとも1時間毎の観測が要求される。Miyamotoは火星の視直径が5"になると観測を始めた。しかし、詳細な観測ができる期間は視直径が約10"以上の時であるから、一度の接近で観測できるのは火星の一つの半球のある季節だけである。火星は2年2ヶ月毎に衝となる。南北両半球の全季節に亘る資料を得るためには最短でも15年が必要となる。Miyamotoは1956年から1976年までの観測記録を残している。

火星の本格的な写真観測は飛騨天文台の65cmツァイス屈折望遠鏡で行われ、1973年から2003年までの資料が揃っている。

（1）火星大気大循環の発見

花山天文台で火星観測を始めた1956年は視直径が大きい大接近であった。その年には大黃雲が火星南半球中緯度帯のノアキス（Noachis）に発生した。さらに幸運にも、日本では発生当初から黄雲の成長過程を観測できた。火星自転周期の関係で、欧米の観測時間帯では、ノアキスは地球方向を向いていなかった。Miyamotoはその黄雲の観測から火星大気大循環に関する重大な発見をした。黄雲の先端は西へ移動して南半球中緯度帯をとりまくと共に、赤道を越えて北半球へ広がっていったのである。このことは火星の中緯度帯では地球とは逆の偏東風が吹いていて、しかも大気の大循環は夏半球と冬半球（南北両半球）の間で行われている事を意味する。

Miyamotoは火星大気の大循環は地球のそれとは全く異なっていることを初めて実証したのである (Miyamoto 1957, 1960)。

(2) 黄雲の光学的厚さ

大黃雲は1971年と1973年にも観測された。飛騨天文台では65cm屈折望遠鏡を用いて1973年の黄雲を写真観測した (Fig. 1)。この年の黄雲は太陽湖 (Solis Lacus) に発生した。黄雲の先端は西へ移動し、中緯度帯の所々で黄雲は一際明るさを増した。黄雲が更に新たな黄雲を誘発し、それらが一体となって大黃雲を形成していったように思われる。大黃雲のダストの供給源は発生源の一カ所とは限らないようである (Hattori and Akabane 1974)。

飛騨天文台にドームレス太陽望遠鏡が設置されると、その制御用計算機を借りて、大気多重散乱の輻射輸達式を解くことが可能となった。1973年の大黃雲の光学的厚さを推定してみるとそれは3~5であることがわかった。この値は黄雲と黄雲で覆われていないように見える地点 (参照地点) との明るさの比から推定した値である。参照点とした地点も薄い黄雲で覆われていた可能性は否定できず、上記の値は下限を示すものと解釈すべきである (Akabane et al. 1992)。

(3) 白雲

火星北半球の晩春から初夏は火星北半球の高い山々に雲が発生する。特にオリンパス山に発生する雲は明るく観測しやすい (Fig. 2)。この雲は火星地方時の10時頃から観測にかかるようになり、夕方のリムに近づくにつれて、明るさを増していく。高い山の頂に懸かる雲はこのような日変化を長期に亘って繰り返す。オリンパス山等の雲が夕方のリムに近づくにつれて明るく見えるのは視線方向の雲の厚さが増すことによるものであって、雲の発達状況の目安となる光学的厚さが増加しているのではない。1982年の観測では、オリンパス山の光学的厚さは火星地方時の14時頃に極大に達し、その値は 0.5~1 であった。その雲に含まれる水蒸気量は $1 \mu m$ (可降水量) 程であり、地球の雲とは比較にならないほど少ない (Akabane et al 1987)。

同じ時期に低緯度帯では朝雲や夕雲が発生する。朝雲はおよそ北緯 30° から南緯 20° あたりまでのびている。朝雲はその名の通り時間と共に薄くなり、ある地域のもの火星地方時11時頃に消滅してしまう。しかし、多くの朝雲は真昼でも消滅せずに残り夕雲へと移行していくので、低緯度帯は雲の帯で覆われているように見える (Fig. 3) (Akabane et al. 2002)。

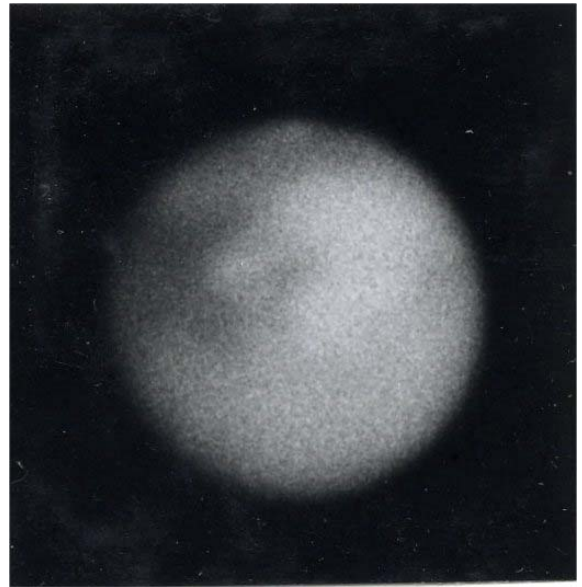


Fig.1 1973年の黄雲 (Oct. 16, 1973. 12:16 UT. Hida Obs.).

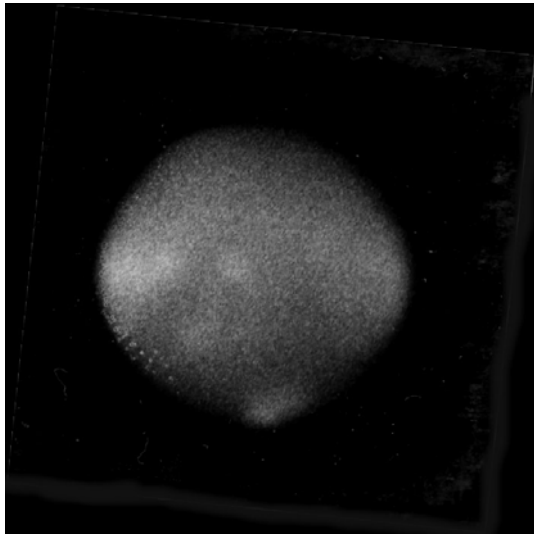


Fig.2 オリンパス山にかかる白雲(ほぼ中央の白斑.
Apr. 11, 1982. 12:45 UT. Hida Obs.).

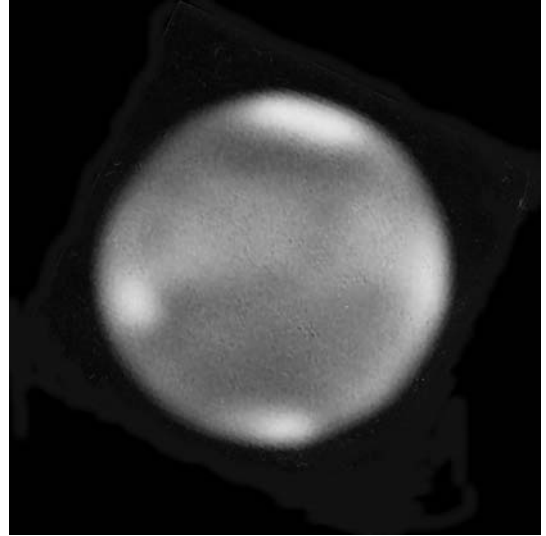


Fig.3 低緯度地方を取り巻く雲帯 (Mar. 5, 1997.
13:38 UT. Hida Obs.)

(4) 極雲

極地方では晩夏になると極雲が発生する。最初は不安定で消滅することもあるが、間もなく安定し、翌仲春まで極地方を覆う。しかし、Miyamoto や Ebisawa (海老沢嗣郎) の詳細な眼視観測によると、晩冬になると極雲が晴れたり或いは薄くなったりする事があり、その時には大きな極冠が見えると云う。

地球からは火星の極地方を斜めに見ることになり、特に冬の極地方の観測は難しいのであるが、火星と地球の軌道の関係で、秋の北極地方は比較的観測しやすい。連続的に観測してみると、この時期の北極雲は日変化をしていることがわかる。朝方の北極雲は北緯 30° あたりまで張り出しているが、午後には北緯 60° 付近まで後退する。北極雲の縁は緯線に平行ではなく、傾いているのである(Fig. 4)。ある一地点における北極雲の変化を追跡してみると、その光学的厚さは明け方に厚く、夕方に向けて減少していく。そして翌朝には元の状態に戻っている。北緯 60° 地点で正午における北極雲の光学的厚さは 0.6 ほどであった(Akabane et al. 1995)。

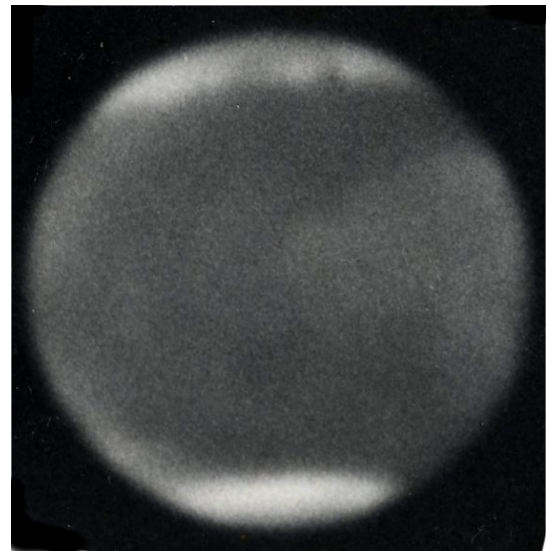


Fig.4 北極雲(上方の白い部分. 下方の白い部分
は南極冠. July 6, 1986. 18:44 UT.
Bosscha Obs., K. Iwasaki)

早春の火星を望遠鏡で見ると、誰しものが極冠の美しさに感激する。その極冠は火

星の冬季には見えないので、極冠の成長過程を地上から観測した記録はない。冬季の極地方は極雲で覆われているために地表が見えないと云われている。しかし、極冠の反射能や極雲の厚さを適当に仮定して、極冠とその近くの地点でのコントラストを求めてみると、赤色光では十分に極冠を識別できる値になる。更にNarumi (鳴海泰典) 等の理論によると、極冠は真冬に最大になっているはずである。それにもかかわらず、火星の春分の頃まで極冠は地上からの観測にかからない。地上から極冠が見え始めるときには、既に極冠は縮小期に入っているのである(e.g. Iwasaki et al. 1979)。火星の極冠は不思議な存在である。

(5) ブルークリアリング (Blue clearing)

火星独特の現象に blue clearing がある。青色光で火星を見ると、通常は極冠以外の地面の様子は識別できない。青色光での火星面の反射能はどこもほとんど同じであるために地面の様子は明暗のコントラストがつかないのである。しかし、時には青色光でも赤色光と同じ様子が見えることがある。その現象を blue clearing という。火星大気が十分に厚いと思われていた20世紀前半では、大気中にブルーを吸収する物質が多量に含まれていると考えられた。その物質が何らかの原因で少なくなると、霧が晴れたようにブルーでも地面の様子を見る事ができると解釈されていた。それが blue clearing のいわれである。Blue clearing の資料を集めてみると blue clearing が起こったという報告は火星の衝付近に多い。飛騨天文台の観測から、blue clearing の強さ(周囲とのコントラスト)は火星の位相角が小さいほど高く、位相角が少し大きくなると、急速に減少する事がわかった。これは blue clearing は大気中の現象ではなく、地面の衝効果によることを示している。赤色光で明るく見える地域は暗い地域よりも可視域では衝効果が大きいのである。青色光では明るい地域と暗い地域との反射能の差はほとんどないのであるが、位相角が 5° 以下になると、衝効果の差が現れて、青色光でも暗い地域を識別できるようになる(Akabane et al. 1990, Nakakushi et al. 2001)。

しかし、衝からかなり離れているときでも、blue clearing を観測したという報告がいくつかある。火星の中低緯度帯にある明暗模様は春から夏にかけてコントラストが高くなる。いわゆる、極冠付近から始まった dark wave の通過である。それ故 Syrtis Major のような中低緯度帯の大きな模様は火星の位相角が大きな時でも青色光で識別できる場合がある。

2. 彗星のダスト量

1976年3月に出現したウェスト彗星 (Comet 1976VI West) は私が目にした彗星では最も美しいものであった。孔雀の尾を想わせる扇形の尾は明け方の山の稜線に巾広い先端を現し、見る見るうちにきらきらと輝くコマが稜線の上に現れた。コマを扇の要とする尾には何本もの明るいすじ (stria) があり、尾をより美しく見せていた (Fig. 5a)。



Fig.5a ウェスト彗星 (Mar. 4, 1976. 19:55 UT. Hida Obs.).

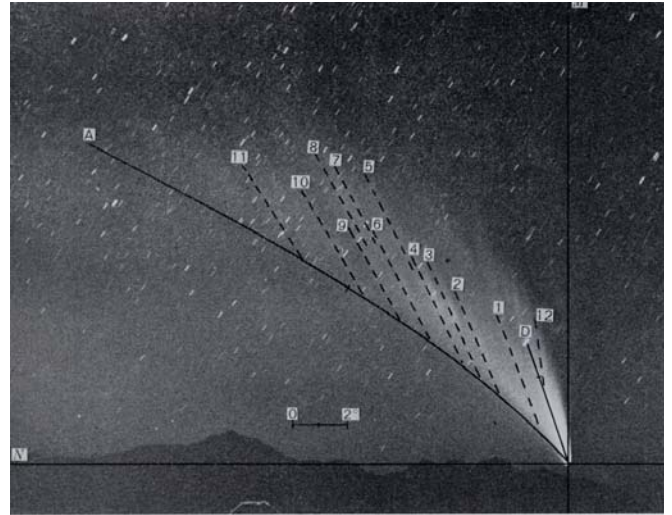


Fig. 5b ウェスト彗星のシンクロン(同左).

一般に彗星にはイオンテイル (ion tail, type I) とダストテイル (dust tail, type II) がある。イオンテイルは太陽と彗星を結ぶ線上にあって、青色をしている。イオンは太陽風によって早いスピードで移動する。ダストテイルは地球から見る位置関係により、直線上に見えたり、あるいはウェスト彗星のような巾広い尾に見えたりする。彗星の核から放出されたダストはその時の初速度、太陽引力、太陽の光圧で決まる軌跡をえがく。ダストには様々な質量の粒子が混ざっているから、ある瞬間に多量のダストが放出されると、質量の大きなダストは頭部近くに留まり、小さなダストは光圧で遠くへ流される。かくして一本の明るい stria ができる。これをシンクロン (synchron) という。ダストテイルの stria はシンクロンで説明できる。

ウェスト彗星の明るい stria は、あるものはコマへ収斂するが、多くのものは収斂しない。前者を primary tail、後者を secondary tail と名付け、secondary tail のダストは primary tail のダストがさらに分裂したものであると仮定すれば、secondary tail の stria を首尾良く説明できる。即ち、ウェスト彗星が近日点を通過する瞬間にバーストが生じて明るい Stria A が形成され、その 3.2 日後に、Stria A 上のダストが更に分裂して、secondary tail の Stria 1—Stria 11 ができたとすれば、それらはシンクロンと一致する(Fig. 5b)。コマに収斂しない多くの stria は primary tail に起点をもつ secondary tail であることがわかった。

シンクロンを用いると、バーストで放出されたダスト量を推定できる。それによると、近日点通過時に起こったバーストで放出されたダスト量は 9.6×10^{12} g になる (Akabane 1983)。これは一回のバーストで放出されるダスト量としては多い方である。

1986年には有名なハレー彗星 (Halley's Comet 1986 III) がやってきた。近日点通過は2月5. 9日 (世界時) であった。彗星と地球との位置関係から、1986のハレー彗星は見栄えのしないものと予測されていた。はたして肉眼でぼんやりと見ることはできたが、これがかの有名なハレー彗星とは思えないほど貧弱であった。飛騨天文台では1985年11月から1986年5月まで60cm反射望遠鏡と65cm屈折望遠鏡を用いてハレー彗星の観測を行った。その内3月25日から4月13日に得られた資料から コマ内のダスト量を求めてみた (Fig. 6)。3月25日のダスト量は 3×10^{13} g、他日では $(3 \sim 9) \times 10^{12}$ g であった。近似点通過時における観測がないので、その時のダスト量は不明であるが、上記の観測から推定すると、およそ 10^{14} g となる。これはウェスト彗星が近日点通過時に放出したダスト量の10倍である(Akabane et al. 1988)。



Fig.6 ハレー彗星のコマ (Mar. 25, 1986. 19:54 UT. Hida Obs.).

3. 月の地形

火星が地球から遠ざかっている間、Miyamoto はクック望遠鏡を月に向け月面の観測を行っていた。また1963年からしばらくの間、60cmツガミ反射望遠鏡を用いて、月面の国際共同観測が行われた。それは月面探査のための詳細な月面図を作る事を目的としたものである。

ソ連の月探査機 Lunik III により、月の裏側には・海・と呼ばれる暗く平坦な低地の無いことがわかった。月の海は表側に集中しているのである。この海陸の分布状態からMiyamoto (1967) は月の海はマントル対流によって形成されたというマントル対流説を出した。月は中心核のない小さな天体であるから、次数1に相当する対流となる。たまたま地球側がマントルの上昇口となり、そこに海が形成されたという。地球ほどの天体になると、中心核が成長し、現在の海陸の分布は次数5のマントル対流に相当しているらしい。それでも地球の海陸の分布をおおざっぱに陸半球と海半球に分けることができるのは次数1の対流の名残であると云われている。

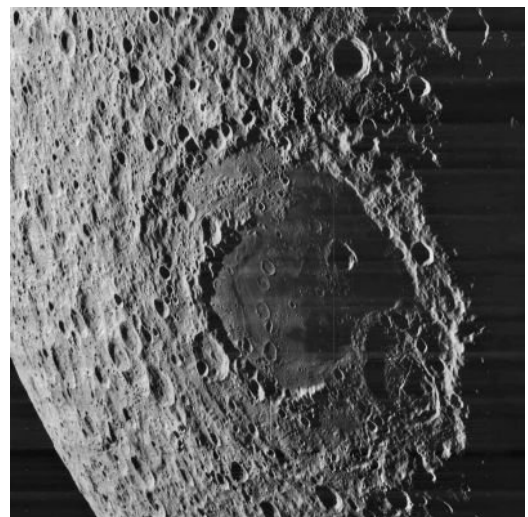


Fig. 7 月裏側のタラソイド Moscoviense (Lunar Orbiter V, NASA).

アメリカの探査機 Lunar Orbiters により、月の裏側特有の地形として発見されたタラソイド (thalassoid) は海と大型クレーターとの中間的な地形をしている。床 (floor) は同心円をなす二重のリングになっていて、内側の床は外側のものより滑らかである。タラソイドの内側の床が海と同じ暗い溶岩でおおわれているものもある (Fig. 7)。裏側のタラソイドほど明瞭ではないが、表側にもタラソイドやその前身と思われる地形がある。表側の南西部に大型クレーターのシラー (Schiller) を外壁の一部とする大きな凹地形 (depression) がある。その床は二重になっていて、内側の床は外側の床より滑らかである。私はそれをシラータラソイドと呼んでいる。タラソイドの前身と思わせる地形もある。それは表側南東に位置するサクロボスコ (Sacrobosco) を中心とする直径約500kmの凹地である。その輪郭は海やタラソイドほど鮮明ではないが、光の当たり具合が適当な時には全体が暗く見える。この凹地がマグマによりとかされ、床が滑らかになれば、シラータラソイドのような地形になるであろう (Akabane, 1975)。

月のクレーター、特に直径 50km 以上の大きなクレーターにはその一つ一つに特徴がある。個々の特徴を詳細に説明することは隕石説では困難であり、一方火山説 (内因説) では全ての地形を一貫して説明できると Miyamoto は主張した。しかし、当時でも火山説支持者は少数派であった。Miyamotoの火山説の影響を強く受けている私は、月の海やタラソイドの大型地形は内因作用によるものであろうという意見を今でも捨てきれないでいる。

References

- Akabane, T., 1975. Contr. Kwasan Hida Obs. Univ. Kyoto No. 228.
- Akabane, T., 1983. Publ. Astron. Soc. Japan 35, 565.
- Akabane, T., K. Iwasaki, Y. Saito, and Y. Narumi, 1987. Publ. Astron. Soc. Japan 39, 343.
- Akabane, T., Y. Hanaoka, K. Iwasaki, S. Kawakami, Y. Nakai, S. Saito, and A. Takeuchi, 1988. Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ. Series A XXXVII, No2, 183.
- Akabane, T., K. Iwasaki, Y. Saito, and Y. Narumi, 1990. J. Geophys. Res. 95, 14649.
- Akabane, T., K. Iwasaki, Y. Saito, and Y. Narumi, 1992. Astrn. Astrophys. 255, 377.
- Akabane, T., K. Iwasaki, Y. Saito, and Y. Narumi, 1993. Astron. Astrophys. 277, 302.
- Akabane, T., Y. Saito, K. Iwasaki, and L. J. Martin, 1995. Astron. Astrophys. 304, 595.
- Akabane, T., T. Nakakushi, K. Iwasaki, and S. M. Larson, 2002. Astron. Astrophys. 384, 678.
- Hattori, A. And T. Akabane, 1974. Contr. Kwasan Hida Obs. Univ. Kyoto No. 221.
- Iwasaki, K., Y. Saito, T. Akabane, 1979. J. Geophys. Res. 84, 8311.
- Miyamoto, S., 1957. Contr. Inst. Astrophys. Kwasan Obs. Univ. Kyoto No. 71.
- Miyamoto, S., 1960. Contr. Inst. Astrophys. Kwasan Obs. Univ. Kyoto No. 88.
- Miyamoto, S., 1967. Icarus 6, 50.
- Nakakushi, T., T. Akabane, K. Iwasaki, and S. M. Larson, 2001. J. Geophys. Res. 106, 5043.