

火星の極冠

岩崎 恭輔*

1. はじめに

明るく輝く火星の極冠は、火星面上で最も目につく対象であり、その縮少の様子は2世紀以上にわたり観測されてきた。ヴァイキング火星探査船以前の火星の姿については宮本氏(天文月報1976年3月号)によって紹介されているので、ここではヴァイキング1, 2号の観測および最近の地上観測から得られた結果にもとづいた最近の火星像を極冠を中心に紹介してみよう。

冬の間、極地は極霧におおわれているため、地表はほとんど見えない。春分の頃になると極霧が晴れ上り、その下からキラキラと白く輝く極冠が現われ、季節が進むにつれて極冠は縮少していき、夏の頃になると極冠はそれ以上縮少しなくなる。秋分の頃になると北極地方は再び極霧におおわれてしまう。最近のヴァイキング2号軌道船の観測によると、南極地方の極霧は冬至をすぎてから突然現われ、北極地方のものにくらべると厚さもうすく、場所的にも時間的にも極地方全体をカバーしていないらしい。

火星の公転軌道の離心率が大きいため、北極冠と南極冠はかなり違った振舞を示すことが知られている。近日点通過が北半球の冬至前になるため、北半球の秋と冬は南半球にくらべると75日も短くなり、しかも太陽に近い。したがって北半球の冬は南半球にくらべて暖かいことになる。このため春分の頃に見える北極冠は南極冠より小さくなる。又、北極冠の縮少するスピードは南極冠にくらべて遅く、北半球の夏至には火星は遠日点にいるので、真夏に残っている永久極冠は北極の方が大きくなる。火星公転軌道の離心率のもう一つの影響は、地球と火星の間の接近時における距離に現われてくる。近日点付近で接近がおこると大接近になり、火星の南半球の夏におこる。一方遠日点付近の接近の時には、地球と火星間の距離は倍近くになり小接近と呼ばれ、火星の北半球の夏におこる。したがって春から夏にかけての北極冠の縮少の地上観測は、南極冠にくらべて非常に難しくなり、観測回数もずっと少ない。

2. 北極冠

北極冠の縮少の様子は、バウムとマーチン(ローエル天文台, 1905-1965年)、ドルフェス(ビック・デュ・ミ

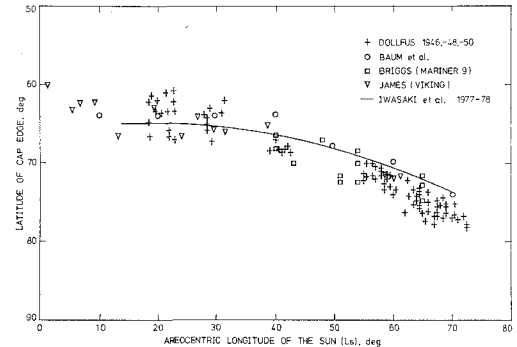


図1 北極冠の縮少(岩崎, 斉藤, 赤羽, 1979による)

ディ, 1946-1950年), 宮本(花山天文台, 1960-1963年), ケーベン(テーブル山天文台, 1962-1967年)らによって観測されている。1972年にはマリナー9号が北極地方の写真を取り、ソーダーブロム達やブリッグスがこの写真から北極冠の縮少の様子を調べている。図1は北極冠の縮少の観測をまとめたもので、たて軸は極冠の端の緯度を表わしている。横軸は火星中心太陽経度(L_s)で、火星の季節を表わしている。 $L_s=0^\circ$ が北半球の春分、 90° が夏至、 180° が秋分、 270° が冬至に対応している。

1977-1978年の火星の小接近は、北極冠の縮少を観測するのに適しており、花山・飛驒天文台では1977年10月より写真観測を開始した。海老沢氏の眼視観測では、北極冠は春分頃($L_s=0^\circ$)から時々見えていたらしいが、我々の写真観測ではやや遅れて $L_s=14^\circ$ になってやっと確認された。北極冠の縁は暗い帯におおわれており、北極冠の端は北緯 65° 近くまで拡がっていた。この北極冠の端は $L_s=50^\circ$ 近くまでほとんど動かず、後退の一時停止が見られた。その後、北極冠は高緯度地方に向かって後退し始め、観測終了の頃すなわち $L_s=70^\circ$ には北緯 74° 近くまで後退した。 $L_s=50^\circ$ 以前の一時停止は宮本氏の1963年の観測やバウムらの測定結果にも現われており、北極冠の定常的な振舞と考えられる。花山・飛驒天文台で観測している丁度その頃、火星ではヴァイキング軌道船が北極冠の写真を取っていた。ジェームス(1979)はこの写真を測定し北極冠の縮少を調べ、図1に見られるような我々の測定と非常によく合う結果を得た。極冠の縮少の様子を、地上と火星探査船の両方から同時に観測したというのはこれが始めであり、しかも両者が同じ結果を得たことから、今までの地上観測につい

* 京大花山天文台 Kyosuke Iwasaki: Martian Polar Caps

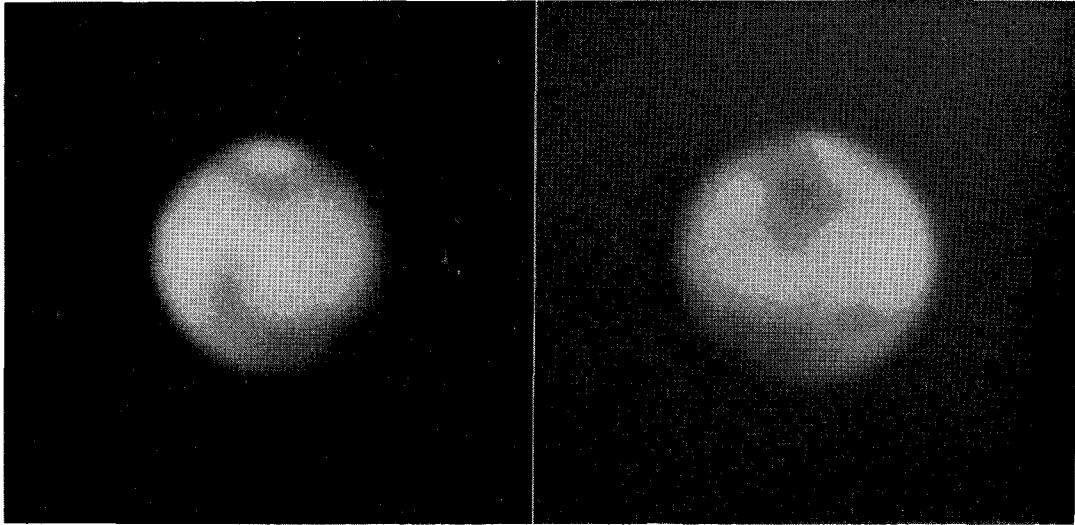


図 2 1980 年の火星の北極冠の縮少を示す赤フィルター写真
 左: 1980 年 2 月 7 日 $L_s=63^\circ$ CM (中央子午線) $=267^\circ$ $Diam.=13'0$
 右: 1980 年 3 月 3 日 $L_s=74^\circ$ $CM=22^\circ$ $Diam.=13'7$
 (花山天文台)

での信頼度が一段と増したと考えられる。

1979-1980 年の小接近時の火星は、前回にくらべて季節的には少しずれており、北半球の春から夏にかけての様子が観測できた(図 2)。北極冠の後退の一時停止が終わる時期は、前回の観測では $L_s=50^\circ$ であったが、今回は 56° であった。宮本氏の 1963 年の観測では 40° である。このように一時停止から後退に移る時期は年によって多少変化するようである。この原因としては砂嵐等が考えられるが、まだはっきりしたことはわかっていない。

3. 南極冠

南半球の春から夏にかけての南極冠の縮少の様子は、火星の視直径が北極冠の場合にくらべて倍近くも大きいので、くわしく観測されている。古くはスライファー(ローエル天文台, 1798-1924 年), アントニアディ(ムードン天文台, 1856-1888 年)等がある。フィッシュバハ達はローエル天文台で観測された 1905 年から 1965 年までの写真を整理し、経度毎の極冠の縮少の様子をくわしく調べた。宮本氏は 1971 年と 1973 年の大接近時に、花山・飛驒天文台で観測を行い、1971 年の南極冠が冬ではなく春分の少し前に形成されること、および 1973 年の南極冠が例年より小さいことを示した。1977 年の南極冠の縮少はヴァイキング軌道船によって観測されている。ジェームス達(1979)はこの観測された写真を測定し図 3 のような結果を得た。1977 年 2 月 ($L_s=205^\circ$)、火星のこの季節にはめずらしい大砂嵐がおこり、それ以後南極冠の後退のスピードが例年よりかなりおそくなった。又、夏に残っている永久極冠の大きさはマリナー 9 号が

観測した時ほど小さくならなかった。普通、大砂嵐は南半球の夏至頃におこっており、このようにはやい時期におこるのはめずらしく、砂嵐によってまき上げられたダストが太陽放射を吸収したために、このような南極冠の異常がおこったのではないかと考えられている。

4. 極冠の成分

今世紀の前半、ビケリングは北極冠と南極冠が同時に見えないことから、極冠の成分である水蒸気が渡り鳥のように極から極へ移動するという極冠交替説を提唱した。その後、地上からの高分散分光観測やマリナー 4 号による電波のえんぺい観測から火星大気の主成分が炭酸ガスであることがわかり、レイトンとマーレイ(1966)が理論計算から極の温度が冬には炭酸ガスの凍結温度である 148°K まで下がることを示し、極冠ドライアイス説が有力になった。1969 年のマリナー 7 号の赤外測定器による測定は、春の南極冠の温度が 148°K であることを示し、ドライアイス説を裏付けた。又、ヴァイキング 1 号軌道船は真冬の南極冠の赤外観測を行い、極冠のほとんどの場所が 148°K よりさらに低い温度であり、南極では 133°K と凍結温度より 15°K も低い温度であることを示した。最近の実験室での測定によれば、この明らかに異常な低温は炭酸ガスの雪の熱放射率が非常に低いことに起因するらしい。

ヴァイキング 1, 2 号着陸船の気圧測定器は、極冠についての重要な情報をもたらした。着陸船は大気圧の変動を 1 火星年以上にわたって観測し図 4 のような結果を得た。 $L_s=150^\circ$ での最小値は南半球の冬の終わり頃に南

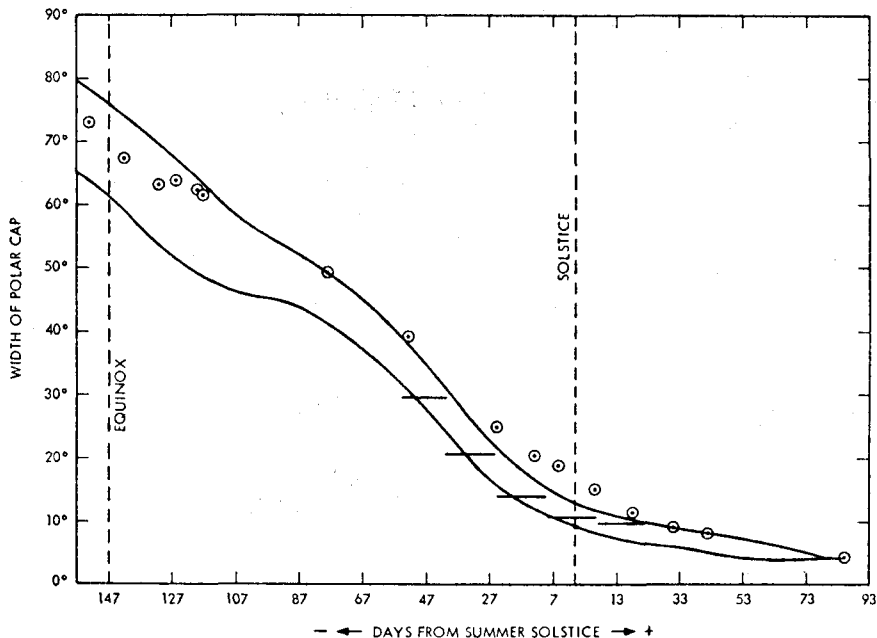


図 3 南極冠の縮少
 たて軸は火星中心よりみた極冠の張る角直径，横軸は南半球の夏至からの日数（火星日）．◎印はヴァイキングの値，曲線はスライファァの値，横線はフィッシュベッハ達の値．（ジェームスら，1979 による）

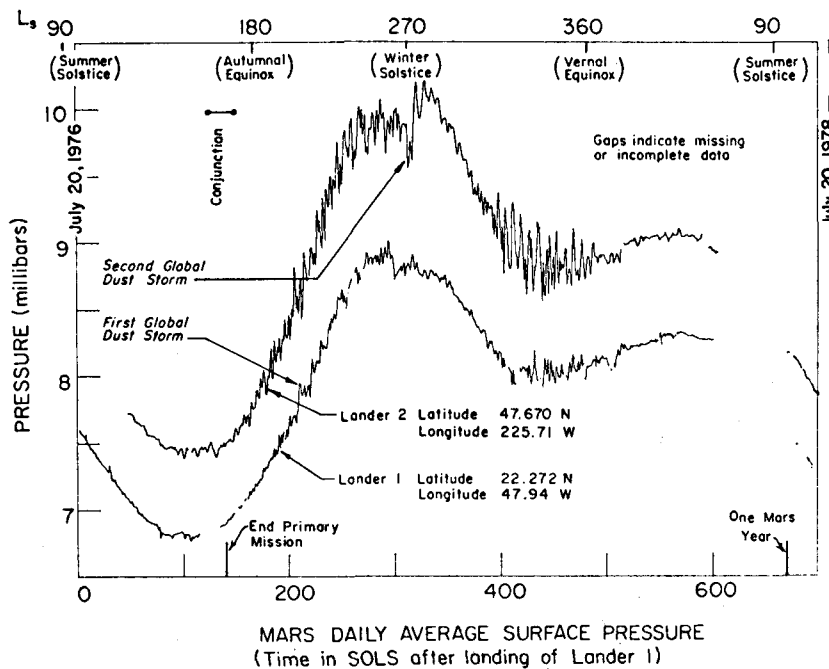


図 4 ヴァイキング着陸船によって観測された大気圧変動（スナイダー，1979 による）

極冠で炭酸ガスが最も多く凍結することに対応しており、 $L_s=350^\circ$ 近くでの極小値は北極冠における炭酸ガスの最多凍結に対応している。両者をくらべると、北極冠が最大の時のドライアイスの量は南極冠のそのの 40%

にしかならない。ヘス (1979) は大気圧の最大値 (8.90 mb) と最小値 (6.85 mb) の比較から、南極冠から昇華した炭酸ガスの質量は 7.9×10^{15} kg 以上になると見續っている。この量を南極冠の最大時の面積で割ると、南極

冠の平均的な厚さは約 23 cm になる。もちろん実際には極冠の中心部ほど厚く端ほど薄くなっているはずである。

ドライアイス説では極冠は秋頃からでき始め、真冬の頃最大になるはずである。春分頃までは極地は極霧におおわれているため地表面が見えない。しかし時々極霧が晴れ上がることがある。我国の伝統的なアマチュア観測家の火星観測グループは長年にわたってこの晴れ間を観測しており、極冠は春分前に突然形成されると結論している。又、宮本氏は 1971 年の南半球の真冬の頃の眼視観測において、この晴れ間から白い極冠ではなくて暗い地面を見たとき報告している。1971 年のマリナー 9 号は春分前の北極地方の写真を電送してきた。それによると北緯 75° より南の地域では極冠らしきものが写っていない。1975-1976 年の接近時に、飛騨天文台で撮った春分直前の北極地方の写真 (図 5=表紙) を調べてみると、青フィルター写真には北緯 50° まで広がった極霧が写っているが、赤フィルター写真には極冠らしきものが見あたらない。ドライアイス説では春分前に広大な極冠が存在するはずであるが、春分前の地上観測やマリナー 9 号による観測ではそのような極冠が確認されていないのは不思議である。春分頃に突然晴れ上がる極霧についてはまだあまりわかっていないので、このへんに矛盾を解く鍵があるのかもしれない。

5. 永久極冠

極冠は春から夏にかけて縮小するが、夏至の少し前になるとこの縮小はぱったり止み、それ以後極冠の大きさは変化しない。この夏でも残っている極冠を永久極冠という (図 6)。ヴァイキング 2 号軌道船の赤外測定器は夏

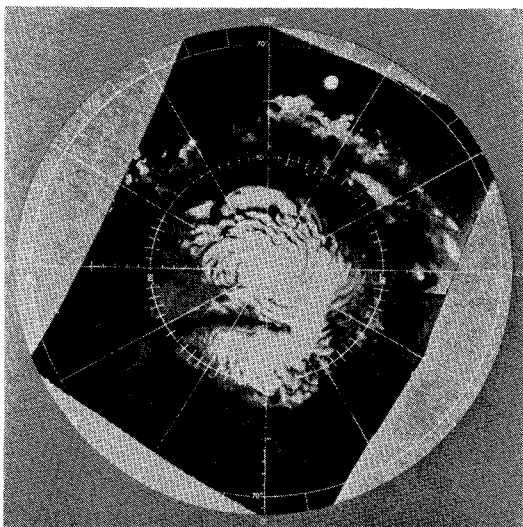


図 6 北半球の夏 ($L_s=97^\circ$) に残る永久北極冠 (マリナー 9 号)

の北極に残っている永久極冠の温度を測定し 205°K の値を得た。この温度は火星面上での炭酸ガスの凍結温度 (148°K) にくらべてあまりに高すぎるので、夏の北極にある永久極冠は水の氷であると考えられている。この永久極冠の反射率は約 43% であり、純粋の氷 (70%) よりかなり小さいのは、ダストが氷にまじっているからである。このダストは大砂嵐や、秋や冬の間に吹く強い極地方への風によって運ばれたと考えられる。1979-1980 年の我々の観測では、永久極冠は緑フィルター写真にははっきり見られたが、赤フィルター写真にはほとんど写っていない。永久極冠の色がダストのために赤味がかっているためにこのような見え方をするようである。ヴァイキング軌道船の水検出器は 1.38 ミクロン付近にある水の吸収帯を測り、大気中の水蒸気の緯度分布を調べた。その結果、夏半球では高緯度にいくほど水蒸気量が増加し、永久極冠のある極地方が最も多くなった。又、極地方には水の氷の雲が時々現われ、極地方の下層大気の水蒸気で飽和していることがわかった。これらのことは夏の北極の永久極冠が水の氷であることを裏付けている。永久極冠の一部であるパッチ状の氷がいつも同じ場所に存在することや、永久極冠とそのまわりの温度差がかなり大きいこと等から氷の厚さは大分厚いのではないかと考えられている。太陽光を下まで透さぬ数 cm の厚さから、クレーターの深さから推定された 1 km の厚さまでの間だろうと見られている。もし平均的な厚さが 10 m とするとその量は全火星大気中に存在する水蒸気量の 1000 倍にもなる。永久北極冠が水の氷であることと、南極の夏の方が北極より太陽光の入射エネルギーが多いことを考え合わせると、永久南極冠も又水の氷であると考えるのが妥当である。この考えは大砂嵐のない年にはあてはまるが、大砂嵐がおこって大気がダストにおおわれると事情が違って来る。ダストの冷却効果のため地表の温度が下がってくるからである。今までの観測記録を調べてみると、南半球の夏は太陽光の入射エネルギーが多いため砂嵐が起こりやすく、1956 年や 1971 年等には火星全面をおおうような大規模な砂嵐がおこっている。キーファー (1979) はヴァイキング 2 号軌道船の赤外測定器の測定結果を調べ、南半球の夏におこった大砂嵐の影響のために 1977 年の永久南極冠はドライアイスでおおわれていると報告している。もちろんその下には水の氷が存在するはずである。

6. 極冠のモデル計算

極冠の大きさの季節変化に対するモデル計算はレイトンとマーレイ (1966) 以来クロス (1971)、ブリッグス (1974)、デービス (1977) らによって行なわれている。レイトンとマーレイ、クロス、デービスらのモデルでは大

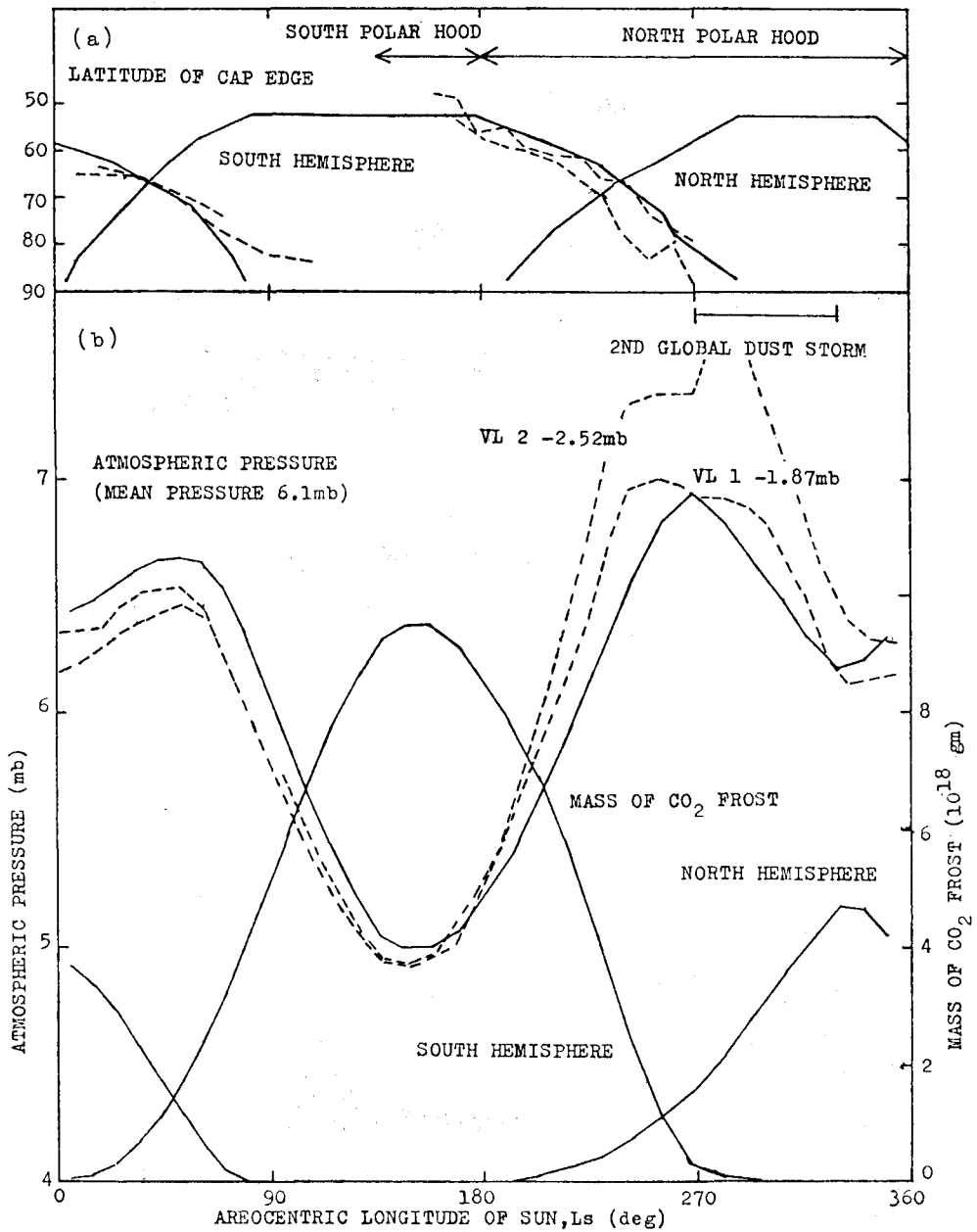


図7 極冠のモデル計算

(a) 極冠の形成と後退。破線は観測値

(b) 炭酸ガス凍結量の季節変化と大気圧変動。破線はヴァイキング着陸船による観測値 (鳴海, 1980 による)

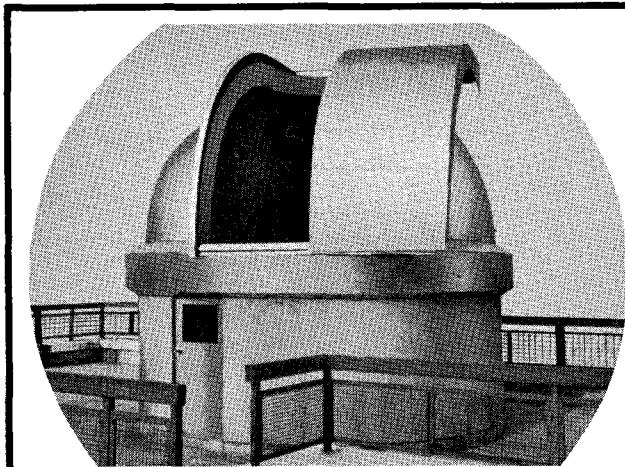
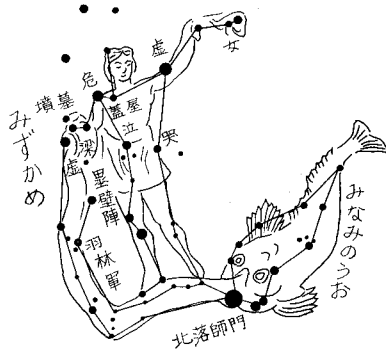
気や極霧による保温効果を考慮していないため、極冠の大きさは観測にくらべてかなり大きくなっている。しかし大気圧変動はヴァイキング着陸船の結果とよく一致している。一方ブリッグスのモデルは大気等を考慮しているため、極冠の大きさは観測とよく合っているが、大気圧変動は観測より小さい。最近、鳴海氏は極霧による保温効果にダストの冷却効果を加えたモデルを考え図7のような結果を得た。ダストによる冷却効果のため南極冠では真夏になってもドライアイスが残っており、1977年の永久極冠はドライアイスにおおわれているというヴァイキングの観測結果とよく合っている。このモデルでは、大気圧変動は観測値と非常に良く一致しているが、北極冠の大きさがやはり観測値にくらべて大きくなっている。北極冠の大きさと大気圧変動の両方の観測を説明できるようなモデルは今のところまだないようである。

7. おわりに

春分前の極冠の様子は今だにはっきり解明されていない。又、秋から春にかけて極地方をおおう極霧についてもまだあまり解明されていない。大砂嵐のおこり方は年によってかなり変わっており、これが極冠の振舞に大いに関係していることがヴァイキング等の観測からわかっ

てきた。このような火星の気象現象をよりよく理解するためには、火星探査船及び地上からの長年にわたる連続的な観測が必要と考えられる。

最後に、原稿に目を通し有益な討論の相手となってくださった齊藤良一氏に感謝の意を表したい。



★営業 ASIB 品目★

天体望遠鏡と双眼鏡
各種部品と撮影用品
ドームの設計と施工

ASIB 光学工業株式会社

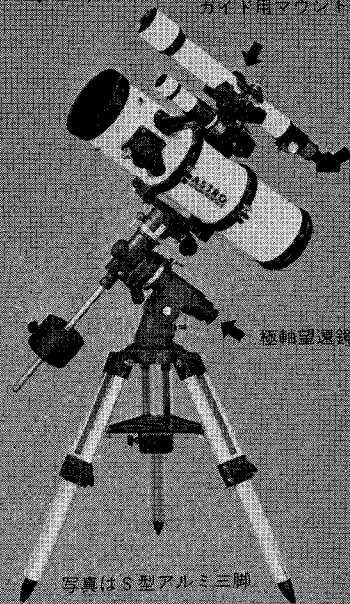
〒170 東京都豊島区池袋本町2-38-15

☎03(985)1321 振替口座東京5-52499番

LN-100S型 (精鏡も短焦点スーパーミラー)

(D=103mm)
(F=5.8)

ガイドインクスコープ
カイト用マウント(別売)



極軸望遠鏡内蔵

写真はS型アルミ三脚

★新総合カタログご希望の方は切手300円を同封下さい。
★全国有名デパート・光学品取扱店でお買い求め下さい。