

ボイジャーによる土星観測

岩崎 恭 輔*

1. はじめに

1980年11月12日、ボイジャー1号は土星に最接近し、数々の貴重な発見を行った。続いて1981年8月26日にはボイジャー2号が土星に最接近し、新たな発見を行ったり、1号の観測結果を確認したりした(図1)。ここではボイジャー1号と2号によって得られた新しい土星系の姿を Lunar and Planetary Institute より提供された写真を中心に紹介してみよう。



図1 ボイジャー2号の撮影した土星と3つの衛星、土星に近い方から順にテチス、ディオネ、レアの各衛星と土星の南半球にテチスの影が見られる。(NASA P-23887)

2. 土星の大気

ボイジャー1号は電波観測により、土星本体と磁気圏が10時間39分26秒で自転しているのを見出した。この自転周期に対して雲の運動が調べられ、各緯度における雲の速度すなわち風速が測定された。赤道帯にある幅広いジェット流は東向きで、最高速度は480m/secにもなる。この値は木星における風速に比べると4~5倍早い。このジェット流の風速は緯度と共に減少し、北緯

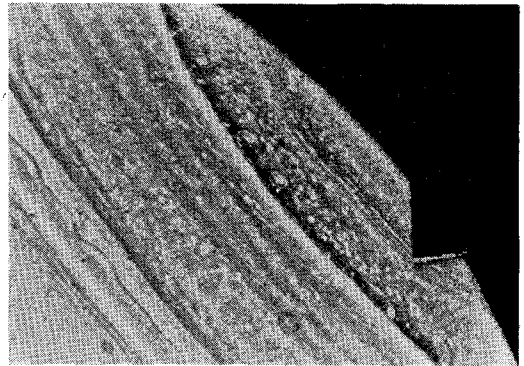


図2 土星北半球の雲の様子。(NASA P-23926)

35°、南緯40°付近でゼロになる。北緯38°付近には西向きのジェット流があり、最高風速は30m/secである。木星では縞と帯の境界線と風系の間には強い相関が見られたが、土星ではあまりはっきりした相関は見られない。風速のプロファイルが赤道に対して対称的なことから、雲上の東西流は雲の層内だけを吹いているのではなく、少なくとも2000kmの深さまで達しているのではないかと考えられている。北緯46°にはリボンに似た波状の暗条が見られる(図2)。これは地球のジェット流に似た大規模な大気の波と考えられており、この緯度の東向きの風と共に動いている。リボンの北側には、地球の低気圧に似た対流性のセルが、南側には高気圧に似た対流性のセルが見られる。

3. 環

ボイジャーによる観測から、土星の環が地球からの観測やパイオニア11号の写真から考えられていたよりもはるかに複雑で変化に富んだ構造をしていることが明らかになった(図3)。環の粒子の大きさは数十mから数 μ mの間にあり、各環によって粒子の大きさの分布に差があることがわかった。土星の主要な環の厚さが数百m以下であることも明らかになった。土星の環が多数の細かい環から構成されているのは、環の内部に数Kmから数十Kmの大きさの衛星が存在し、それらが環の間の物質を重力的に掃き清めるためであると考えられていた。しかし、ボイジャーの撮影した写真を調べてみても、分解能極限の10Km以上の衛星を見つけ出すことはできなかった。ボイジャー1号はA環のすぐ外側にあるF環が図4(a)に見られるように、ひもをよじったような奇妙な形をしていることを発見した。F環のすぐ外側にはシェパード(羊追い犬)衛星と呼ばれている1980S26

* 京大・花山天文台 Kyosuke Iwasaki: Observation of the Saturnian System from Voyager

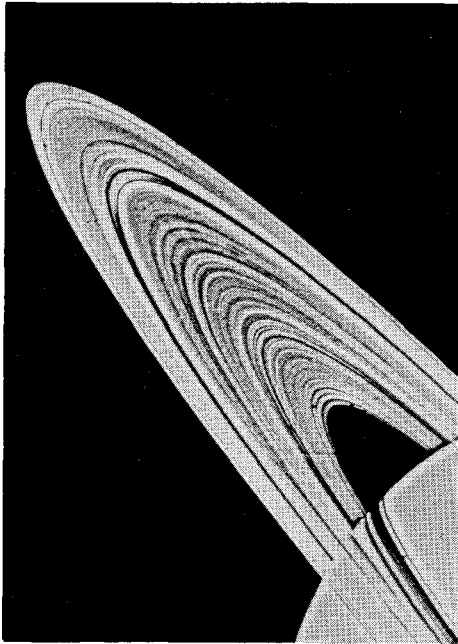


図3 画像処理でコントラストが強調された土星の環。A, B, C環が多数の細い環で構成されているのがわかる。(NASA P-23068)



図4(a) ひもをよじったような奇妙な形をしたF環(ボイジャー1号)(NASA P-23099)

衛星が、すぐ内側には 1980 S 27 衛星がまわっており、それらの重力摂動が奇妙な環の原因であると考えられていた。そこでボイジャー2号は、これらの衛星の近傍のF環の写真(図4(b))を撮ったが、そこにはよじれや乱れは見られなかった。そのかわり、A環のなかにあるエンケの間隙中の細い環によじれが見つかった。これらの細い環の付近にも摂動を起こすような小衛星は見つからない。したがって小衛星がよじれの原因であると考えるのは無理なようである。

4. 氷衛星

土星の衛星のなかで比較的大きくて大気のない衛星は低密度(1~2g/cm³)で明るい天体なので、氷と岩石が混ざりあった氷衛星であると考えられている。

ミマスは氷衛星のなかでは最も小さく、一面小さなクレーターで埋めつくされている。最大のクレーターは直径が130kmもあり、これはミマスの直径の約3分の1にもなる(図5)。クレーターの中央には高さが6kmもある巨大な中央峰が見られる。ミマスの重力(地球の0.005倍)が非常に小さいために、このように巨大な中央峰が生じたのであろう。明るい領域は水の霜でおおわれているらしい。

エンケラズス(図6)は土星系のなかで最も活動的な表面を持った衛星である。初期のクレーターにおおわれた地域からクレーターのほとんど見られない平原まで、

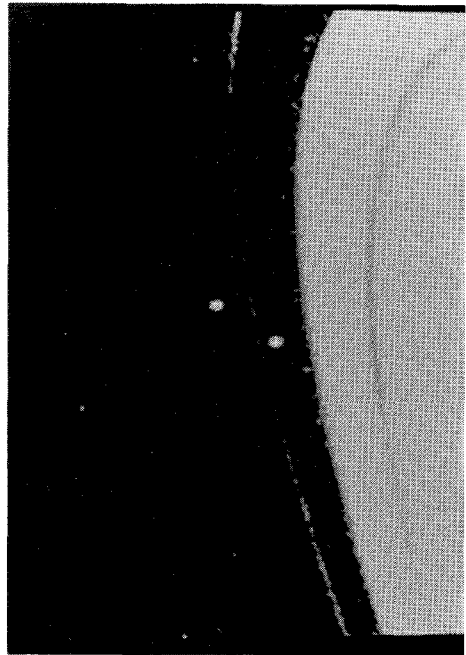


図4(b) シェパード(羊追い犬)衛星(1980 S 26, 1980 S 27)とF環(ボイジャー2号)(NASA P-23911)

少なくとも5つのタイプの表面に分離できる。クレーターの少ない最も若い地域は、数億年より若いと考えられている。事実エンケラズスは現在でも活動しているらし

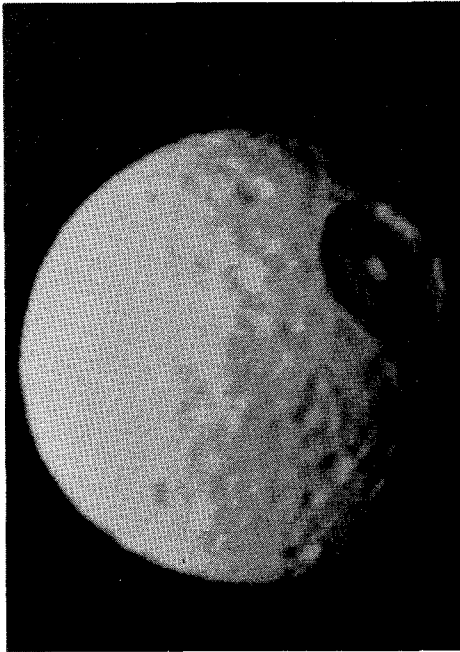


図 5 ミマスの巨大なクレーター (NASA P-23210)

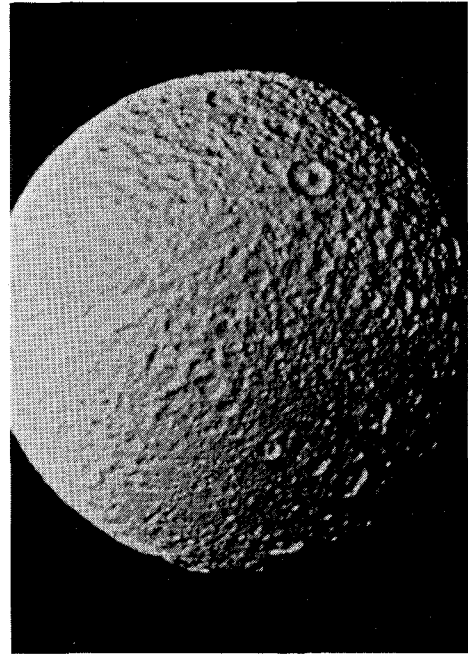


図 7 衛星の円周の4分の3にも達する非常に長い谷を持つテチス (NASA P-24065)

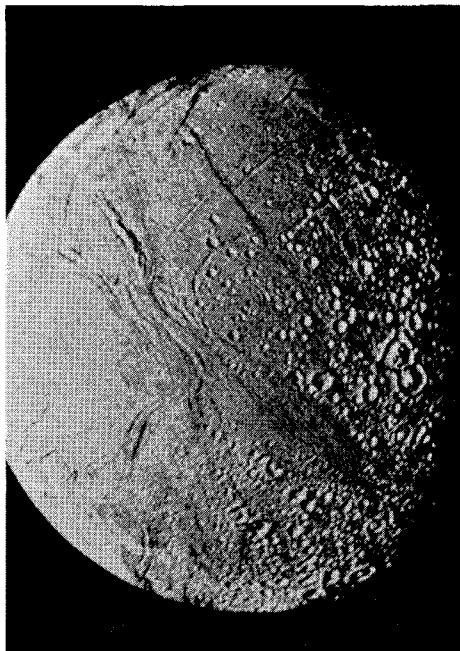


図 6 活動的な表面を持つエンケラズ (NASA P-23956)

い。このように小さな天体では、放射性元素による熱によって内部活動が起こることは考えにくい。可能性のある熱源としては、木星の衛星イオの火山の熱源と同様の潮汐力による内部加熱が考えられている。ディオオーネとテチスの引力による周期的な引っばりがエンケラズを

その本来の軌道から少し内外にずらせる。すると土星の重力場によりエンケラズが変形し、まさつ熱により内部温度が上昇するというのである。

テチス (図 7) には円周の4分の3にも達する非常に長い谷が見られる。テチスが冷え固まる時に内部より地殻の方が早く固まったために、内部が凍るにつれて膨張し地殻に割れ目が入り、このように巨大な表面の割れ目が生じたのではないかと考えられている。テチスには土星系の衛星に見られるクレーターの中で最大の直径 400 km もあるクレーターがある。これはミマスの直径 130 km のクレーターをしのぐものであるが、どちらも衛星の直径の3分の1の大きさである。大きさの比率がこの値より大きいクレーターは太陽系の天体には存在していない。この比率以上のクレーターを形成するような隕石の衝突では、天体自身が破碎されてしまうのではないかと考えられている。クレーターの多い領域 (右上) とクレーターの少ない領域 (右下) の間の境界は、ディオオーネやレア上のそれに非常によく似ており、テチスの歴史の早い時期に古い地形を部分的に再表面化した内部活動の活発な時期が存在したことを示している。

ディオオーネの密度は 1.4g/cm^3 なので、氷と岩石が 6 : 4 の割合で混ざったものに対応している。明るい物質は谷に沿って内部から出てきた水の氷か霜と考えられている (図 8)。進行方向の半球の表面には、2種類以上の地形が見られる。古い方の地形はクレーターの数が多

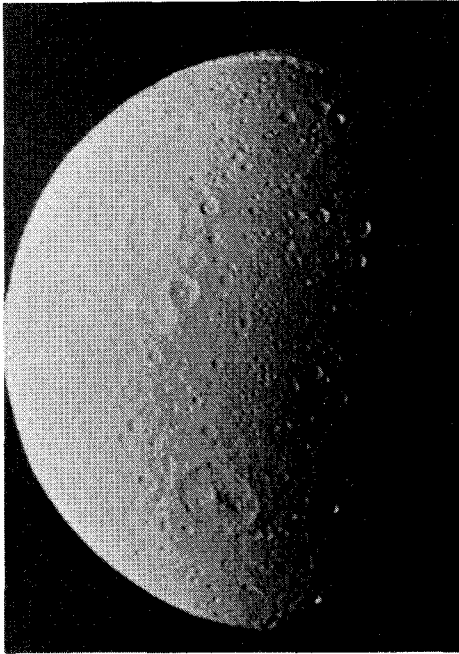


図 8 水の氷か霜と考えられている明るい物質が見られるディオネ (NASA P-23113)

く、若い方の地形はクレーターの少ない平原である。クレーターにおおわれた古い地形の上を十分な厚さの物質の層がおおったものが若い平原の地形であると考えられている。その原因としては、内部の熱によりディオネ

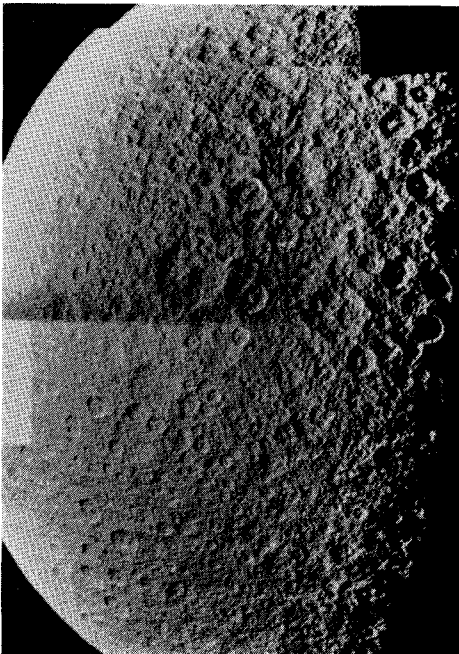


図 9 月や水星の陸地の地形によく似たレアの北極地域 (NASA P-23177)

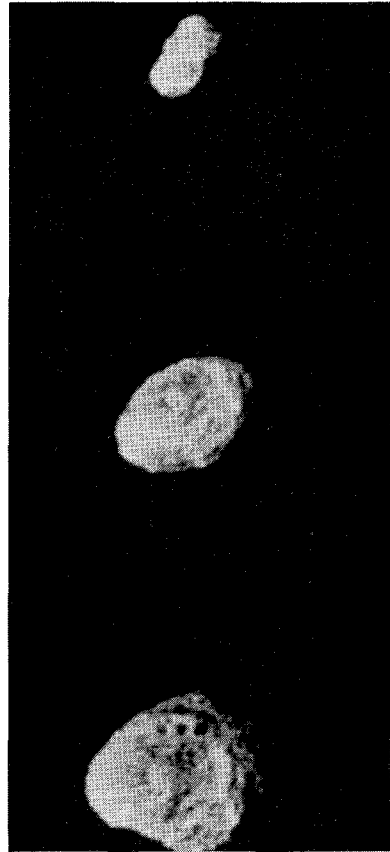


図 10 ハンバーガー形をしたヒペリオン (NASA P-23932)

が活動的になり表面に物質が流出したという説や、隕石の衝突によって溶けた水や岩石が噴出したという説がある。

レア (図 9) の表面の大部分はぎっしり衝突クレーターでうまっており、月や水星のクレーターにおおわれた陸地に非常によく似ている。しかし、月や水星上の大きくて新しいクレーターのまわりは噴出物におおわれているのに対して、レア上のクレーターにはそのような物は見あたらない。たぶんレアの重力が弱いために、噴出物がレアの表面全体に飛びちってしまったためであろう。

ヒペリオン (図 10) は $410 \times 260 \times 220 \text{ km}$ というハンバーガーによく似た異常な形の天体である。このように異常な形をしているのは、はげしい衝突によって表面がはぎとられたためであろう。いくつかの大きなクレーターが見られ、直径 120 km のクレーターの起伏は 10 km もある。土星系のなかで最も暗い表面を持っている一方、水の霜の吸収帯が観測されている。質量はまだわかっていないが、土星の他の衛星と同様、内部には多量の氷が存在していると考えるのが妥当である。もしそうだとすると、この暗い表面は次に述べるヤペトスの場合と

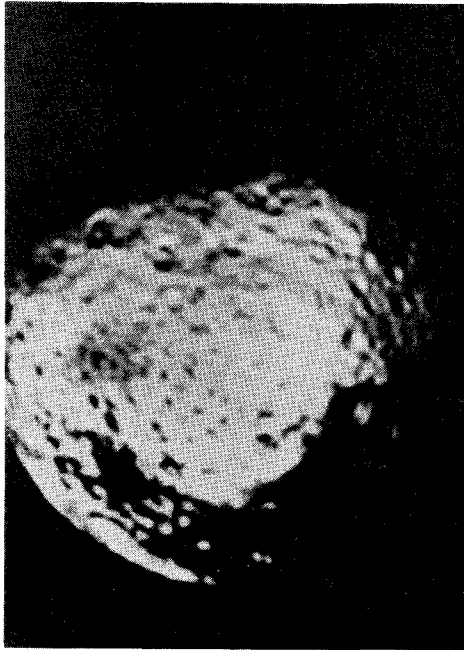


図 11 進行方向とその反対側の半球で極端に違う反射能を持つヤペトス (NASA P-23920)

同様フェーベからやってきた暗い物質におおわれているためではないかという説がある。ヤペトスと違ってヒペリオンは全体に黒っぽいので、この説が正しいとするとヒペリオンは非同期回転、すなわち土星に対していつも同じ面を向けていないことになる。ボイジャー2号の撮影したヒペリオンの写真はその軌道上のごく一部しかカバーしていなかったので、ヒペリオンが非同期回転を行っているかどうかはまだわかっていない。

ヤペトス (図 11) が進行方向の半球とその反対側の半球で極端に違う反射能を持っているということは、1671年のカッシーニによる発見以来ずっと謎であった。ボイジャー2号は、暗い半球が太陽光の5%しか反射しないのに反して、明るい半球は50%も反射することを見出し、従来の地上観測を確認した。反射能の比が10:1もあることになり、この値は太陽系の天体のなかで最大である。暗い物質の非常に低い反射能は炭素質隕石で発見されるある種の炭素質の値によく似ている。暗い物質の大部分がヤペトスの軌道運動の進行方向側に集中していることは、暗い物質が外からやってきたことを示唆しているように見える。ヤペトスの外側をまわっているフェーベから暗い物質がポインティング・ロバートソン効果によって土星に向かって落ちていく途中ヤペトスに降り積もったという考えが有力である。しかし、進行方向と反対側の半球の中心近くにあるクレーターも暗い物質でおおわれている。これは外因説では説明できないので、暗い物質がヤペトスの内部から噴出したとする

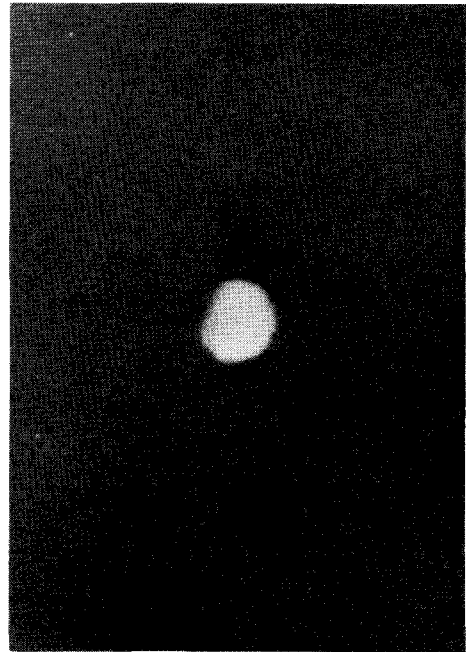


図 12 補捉された小惑星と考えられているフェーベ (NASA P-24137)

内因説も考えられている。ヤペトス上の暗い物質の起源は外因か内因かいまだにはっきりしていない。

フェーベ (図 12) は一番外側をまわっている衛星であるが、土星の軌道面よりも黄道面に近い軌道上を、通常の太陽系天体と逆の方向に公転しているため、木星の外側の衛星と同様、補捉された小惑星ではないかと考えられてきた。ボイジャー2号の写真により、フェーベは直径200kmの球に近い形をしており、反射能はヤペトスの暗い部分と同じくらいの値であることがわかった。低い反射能とUBVの値を考え合わせると、フェーベは外側の太陽系によく見られ原始的な組成を持った小惑星の一種であるらしい。フェーベの表面は見かけ上一様でなく、50%以上のコントラストを持つ模様が見られる。これらの模様の動きから、自転周期は約9時間と見積もられている。すなわちフェーベは非同期回転を行っている。

5. タイタン

タイタンは直径が5150kmもあり、木星のガニメデに次いで太陽系第2の衛星である。大量の大気を持っている唯一の衛星で、ボイジャー1号の観測により表面気圧が1.6気圧、大気の主成分は窒素であることがわかった。地上観測から検出されていたメタンの組成比は、約6%である。タイタンは濃密なヘイズの層におおわれているため、ボイジャーの写真でもその表面を見ることはできなかった (図 13)。タイタンは赤味がかった色をしており、南半球の方が少し明るく、北極地方には暗い帯

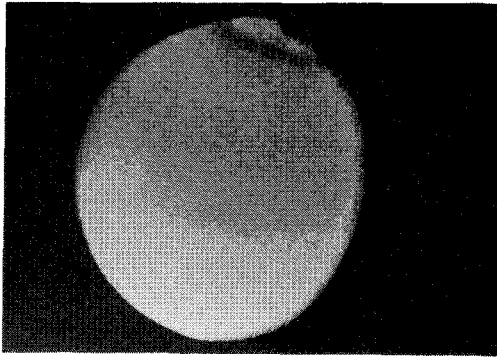


図 13 濃密なヘイズ層におおわれたタイタン (NASA P-24067)

が見られる。主要なヘイズ層の最上部は北半球では表面から 183 km の所にあり、南半球では 50 km ほど高くなっている。この違いは季節変化によるものと考えられている。メタンの雲が存在すると考えられている高さはこれよりはるかに低いので、この層の主成分はたぶんスモッグ粒子であろう。表面から 314 km の所にも非常にうすいヘイズの層が見られる。

6. おわりに

ボイジャーの観測により、土星本体、環、衛星について多くの知識が得られた。しかし、それにつれて多くの謎も生まれてきた。これらの謎の解明や得られた知識を用いた原始太陽系の起源と進化の解明など、これからのより進んだ研究が大いに期待されている。

学会だより

日本天文学会評議員の候補者名簿

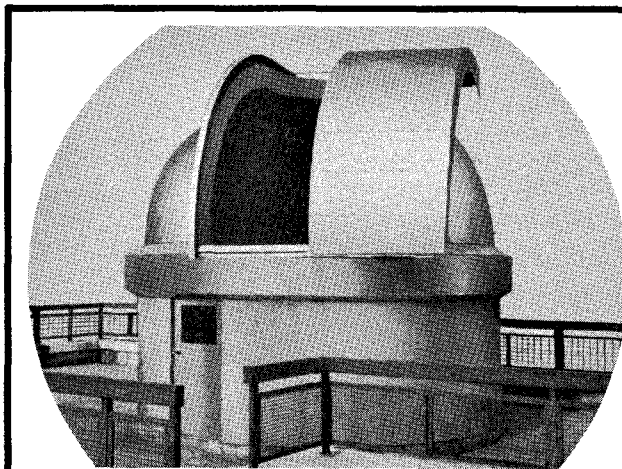
1982 年度の通常総会に推薦される評議員 (任期 1982 年~1986 年) の候補者には、次の方が選ばれました。

磯部 瑠三 奥田 治之 小田 稔
川口市郎 神野 光男 北村 正利

小暮 智一 小平 桂一 斎藤 衛
高窪 啓弥 高瀬 文志郎 谷口 義明
成相 秀一 林 忠 四郎 藤本 光昭
なお、有権者数 516 名、投票者数 195 名、投票総数 1850 票 (うち無効 17 票) でした。

1982 年 2 月 9 日

選挙管理委員会



★営業 ASIBO 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

ASIBO 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 (特級な複焦点)

(D=103mm)
(F=5.8)

ガイドリングスコープ
ガイド用マウント(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。