

彗星のダストの尾

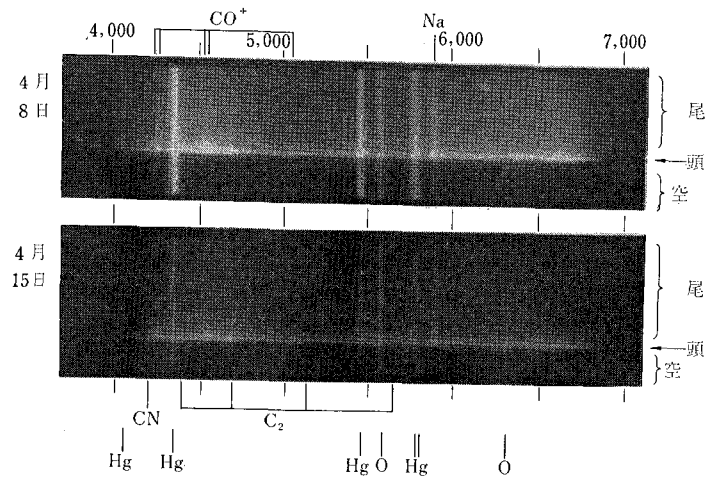
齋藤 馨 児*

1. 彗星の形は、外見の特徴から、核、頭、尾の3部分に大別される。頭の輪郭はほぼ球状で、核は星のように光る点で、頭の中心にあたる位置を占める。核の実体は、半径約 1~10 km の固体である。頭、尾の構成物質は、核からふきだしたガスと固体の粒（ダスト）とで、太陽方向から斥力を受けて、頭部の拡がりや尾の流れを形づくる。とくに尾ではガスの尾（タイプ I という）と、ダストの尾（タイプ II という）とが別々の方向に見えることがある。それらの物質のうち、ガスについては、スペクトル観測、物理化学的な考察が進み、種々の事実がわかってきているのに対し、ダストについて知られている処は少ない。ここでは、後者の話題のいくつかを記したいと思う。

2. ダストの研究方法として、直接には、連続スペクトルの測定、偏光度の測定、タイプ II の尾の形の解析、惑星間電磁場や、彗星ガスとの物理的および化学的な相互作用の分析、間接には流星・黄道光物質との関連の研究などが考えられる。

彗星のスペクトルをしらべると、頭では分子 CN, C₂ を主とし、尾ではイオン CO⁺, N₂⁺などを主とする輝線の群が目立ち、これらに連続スペクトルの重なっているのがわかる。連続光は、ブラウンホーファ吸収線をしめし、太陽光の散乱光だが、その輝線群に対する強さの割合は、彗星ごとに異なる。それに応じて、目で見た彗星の色合も異なるようである。太陽に近づき、小望遠鏡や目で認められるまで発達した彗星は、ふつう頭も尾も青く感じられ、スペクトルには輝線群がいちじるしい。今年はじめ見られたタゴ・サトウ・コサカ彗星はその例である。だが、4月に見られたベネット彗星では、連続光の割合が大きく、核や頭は黄色をしていた。尾については、東京天文台の冨田氏が4月10日撮影されたカラー写真によると、ダストの尾が白く、ガスの尾が青く写っている。

第1図は、堂平観測所で、低分散分光器で撮影した、



第1図 ベネット彗星のスペクトル

波長域 4000~6500 A のスペクトルである。スリットをダストの尾の方向にそろえて、頭から尾の長さ約 3:5 までを写してある。頭と尾とで、輝線の異なること、いっぽんに連続スペクトルの強くでていることがわかる。5000A 付近でそれが弱くなっているのは、この波長の部分のフィルムの感度が落ちているためである。

イケヤ・セキ彗星が近日点通過の後、暁天に見えたときの長い尾も白く感じたが、これも連続スペクトルの強かったことが観測されている。多分、彗星が太陽をかすめて分裂したとき、多量のダストが飛び散ったためと考えられる。

3. 彗星の光電測光や、分光光電測光は、1957年の2大彗星、すなわちアランド・ロランド彗星と、ムルコス彗星との観測を契機に、ひろく行なわれるようになった。Liller は、これら両彗星の尾の光を、連続光だけをふくむ6つのせまい波長域で光電測光し、白鳥座 61 星の場合と比較した。そして尾のダストの散乱光は、もとの太陽光よりも赤っぽく、およそスペクトルが K2 型の恒星のエネルギー分布に近いという結果を得た。それを、数種の物質の粒による光の散乱に関する計算値と較べて、ダストの直径は 0.25~5 μ の間にあると考えた。さらに、鉄の直径 0.6 μ の球だとすると、Blackwell その他の人々が行なった偏光度の観測値を説明できると述べている。Johnson はアランド・ロランド彗星を B, V カラー

* 東京天文台

Keiji Saito: Dust Tail of the Comets

および H_{β} 線の波長域で測定した。B, V カラーは輝線をも含むのに対し、 H_{β} 域では連続光だけが測れるのが特徴である。約1月間の観測を分析して、彗星が太陽から離れるとともに輝線の強度の減じるようすを明らかにできた。

これらのように、彗星の測光では、フィルターの選択が面倒な問題になる。また、恒星と異なり、相当に広い観測視野(1'以上)をとることも必要になる。堂平観測所では、36インチで彗星や星雲などの拡がった天体の測光をするため、広視野の光電測光器を2つ準備しているので、ここに述べておきたい。その第1は、カセグレン焦点で使うもので、ダイヤフラムは最大10'まで連続的に変えられ、この視野をとおして天体をアイピースで見ながら観測できる。これには、偏光装置が付属している。第2は主焦点で使うもので、ダイヤフラムの範囲3'~30'リモコン装置つきで、ガイドは6インチファイダーによる。どちらもフィルターはU, B, Vしか準備されていないが、直径20mmで、さしかえが可能である。

4. 彗星の光が偏光していることは、偏光子をとおして望遠鏡で見るとわかる。いっぽんに、偏光子の光の振動方向を尾に直角に向けたときの明るさ I_{\perp} の方が、尾に平行に向けたときの明るさ I_{\parallel} より大きい。

$$(I_{\perp} - I_{\parallel}) / (I_{\perp} + I_{\parallel})$$

を偏光度という。この定義によると、彗星の光の偏光度は正である。これは、偏光の方向が、太陽・彗星・地球をとおる平面、つまり光の散乱面、と直交していることをあらわす。散乱面上で、彗星からみて反太陽方向(すなわち太陽光の進んでいく方向)、と地球方向(すなわち散乱光の進む方向)とのなす角を散乱角と呼ぶことにする。偏光度は、入射光の波長、散乱角、ダストの種類、大きさで変わる。後に述べるが、イケヤ・セキ彗星では負の偏光度が観測された。その場合は、尾に平行な偏光の明るさの方が強かったわけである。

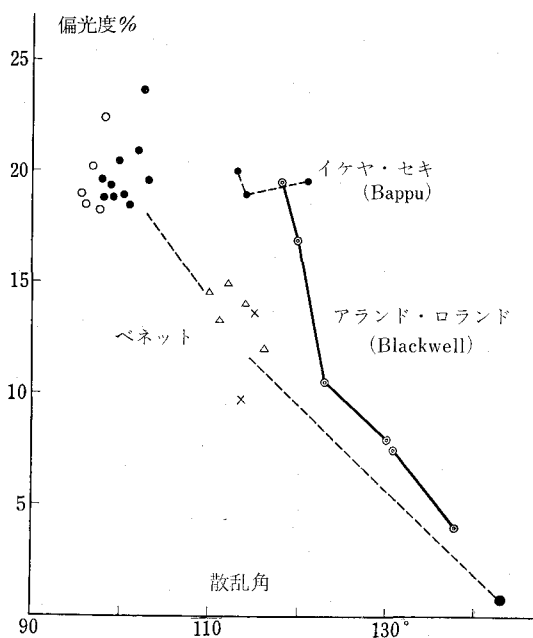
偏光の測定でも波長の選択が必要で、連続光のみを観測してダストの散乱についての情報が得られ、輝線を観測してガスの励起過程についての情報が得られるが、広い波長域にわたれば、それらが混ざりあって、解析が困難である。彗星の偏光観測の例は少なくないが、後者にあたる場合が多く、彗星の物理の研究に使いにくいものが含まれる。

Blackwell は、アランド・ロランド彗星の頭の写真を、偏光子とフィルターの組合わせで、4530Å付近の連続光を使って撮り、種々の散乱角で偏光度を測定した。その結果を、以前に Lyot が実験室でもとめた無機結晶、堆積岩、火成岩などの反射光の偏光度と比較したが、彗星と似たものはなかった。つぎに、Kloverstrom, Rense の

行なった隕石の偏光の測定と較べたところ、隕鉄の資料に、彗星とよく一致するものがあつた。

Bappu 等は、イケヤ・セキ彗星の頭の連続光の偏光を波長4310Åで測定した。11月4, 5, 16日に観測できたが、偏光度は19.8%, 17.6%, 18.9%でアランド・ロランド彗星と似ていた。つぎに17日に頭から3'離れた尾の偏光を測定して、9.5%を得た。彼らによれば、このように尾の偏光度が頭より小さくなる傾向は、アランド・ロランド彗星についての Johnson の測定、ムルコス彗星についての Hoag の測定でも認められるから、一般的なもので、頭と尾とでは、粒の散乱の性質が異なるかも知れない。すなわち、Whipple の彗星モデルを用すれば、散乱物質は、氷の粒、金属や石質の埋りまいた氷粒、屈折率1.5付近の石質の粒、種々の屈折率の金属粒などが考えられるわけで、それらの割合で偏光度も変わるはずだとしている。また彼らは、Liller の論文にでている表を検討し、彼らの得た尾の偏光度は、直径0.6 μ の鉄の球粒のそれに相当し、Liller が推定した尾の物質と一致すると述べている。

Weinberg は、10月29日に、イケヤ・セキ彗星の尾の偏光を観測した。彼の機械は黄道光の掃天機で、彗星をふくむ方位角105~114°(東を90°とする)の範囲を、高度0°~20°にわたって、1°おきに水平方向にスイープした。観測波長は5300Å、視野3°、彗星の頭は地平線下5°3'にあった。観測の結果、高度6, 7°の間(核から11°)で、尾の偏光度は0になり、それから先では負の値が得られた。そのようすを第3図に示す。バック

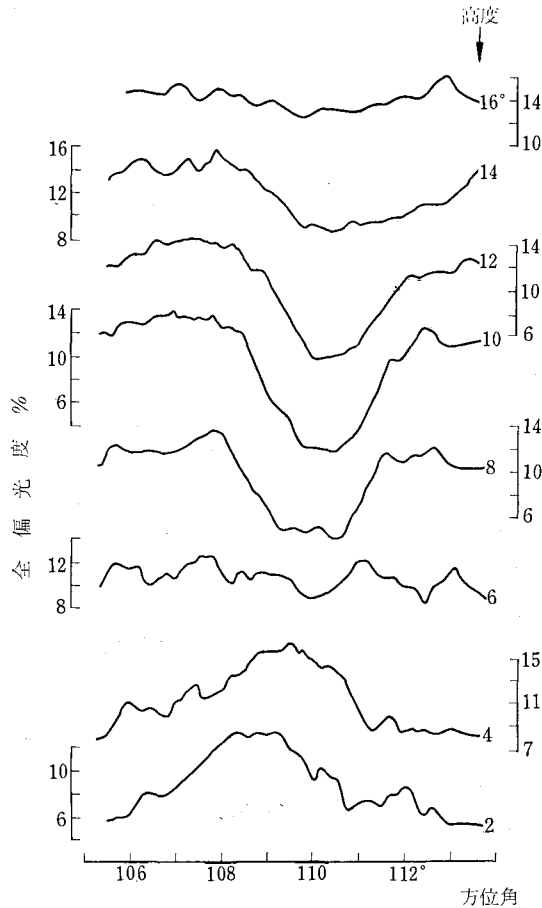


第2図 彗星の偏光

グラウンドに黄道光が重なっていて、その偏光度は正でかなり大きい。そのため全体としての偏光度は正になるが、彗星の尾の部分(図では、方位角 110° 付近)で、大きく減少している。黄道光の研究で知られていることだが、負の偏光度が現われるためには、誘電体のダストの存在が必要である。Weinberg によれば、別の波長や異なる時期の観測データを考慮すると、尾のダストの大きさの分布、化学組成について、かなり絞った推定ができそうだという。また彼は、彗星からまき散らされたダストの影響が黄道光のなかに現われるか見るため、彗星の近日点通過(1965年10月21日)の前後2週間の黄道光の観測を調べたが、大きな変化は認められなかった。

イケヤ・セキ彗星が分裂したとき、核の内部の物質が尾のなかに出てきたとすれば、その尾は、アランド・ロランド彗星のような核の表層物質からなる物と、性質が異なっていたという事実ももっともらしく、興味深い。

つぎに、われわれが長野県藪原の夜天光観測所で行なった、ベネット彗星の頭、尾の偏光観測について述べる。使用機械は、数年前から夜天光の偏光の研究に使って



第3図 イケヤ・セキ彗星の偏光

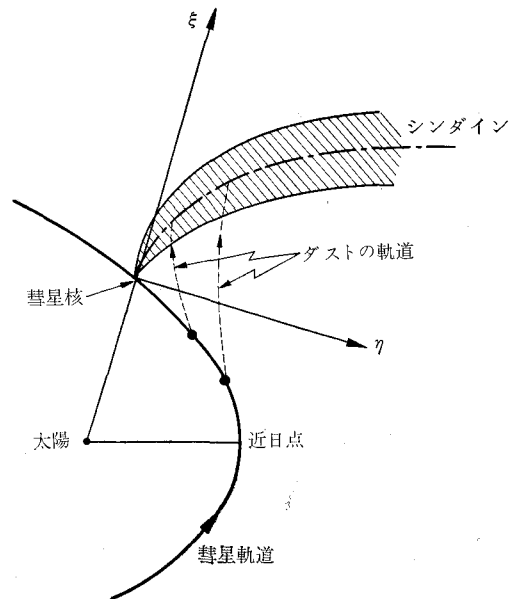
るもので、視野は 30' である。観測した波長は 5000 Å で、ねらいは連続光だが、CO⁺ イオンの輝線 (5048 Å) が多少含まれている。得られた偏光度と散乱角との関係は、第2図に示すように、まえに記した種々の観測例とかなりよく一致する。尾の物質がたがいに似ているなら、当然の結果といえよう。ただ、われわれの観測では尾に沿って、偏光度がなめらかに変化せず、上下に変動している。変動が測定誤差を超えていることは確かであるが、原因はまだわからない。

5. 尾の見かけの形は、古くから Bessel・Bredikhin の理論で説明できることがわかっている。この理論ではダストにはたらく斥力の重力に対する比 $(1-\mu)$ が重要なパラメーターとして現われる。斥力は太陽の光圧で、ダストの半径を d ミクロン、密度(比重)を ρ g/cm³ とすると、つぎの式で表わされる。

$$1-\mu = \frac{C}{\rho d}, \quad C = 1.19 \times 10^{-4} Q \text{ g/cm}^2$$

Q は光の散乱係数で、光の波長、物質の種類によるが、1/2~2の程度である。この式は、大きさのきまったダストは、 $1-\mu$ が一定で、きまった光圧をうけることを意味する。

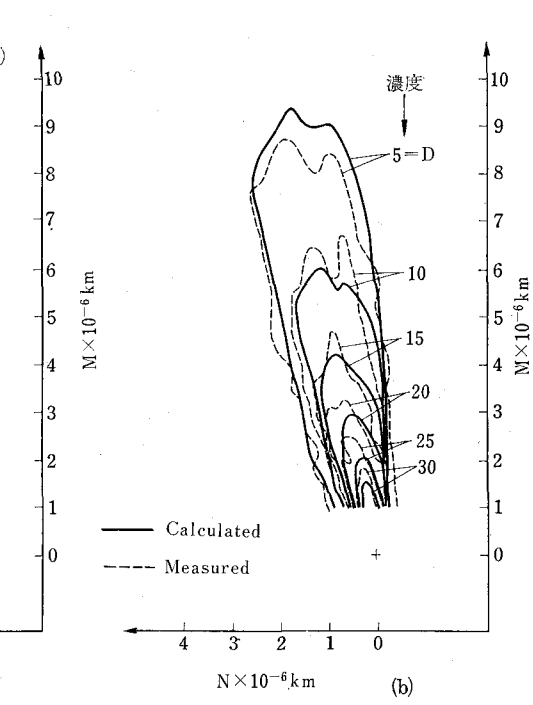
尾を解析的に表わすには、彗星とともに動く座標系 $\xi\eta$ を使う(第4図)、これは彗星の軌道面上にあり、 ξ 軸は動径方向、 η 軸はそれに直交して、速度と反対向きにとる。尾は、核から放出されたダストが、光圧でふきとばされ、 $\xi\eta$ 面上に配列してできる。いま $1-\mu = \text{一定}$ のダストだけに注目しよう。それらが各瞬間に連続的に



第4図 尾とダストの軌道

核から放出されていた(初速度 0 で)とすると、観測時刻 t_0 には 1 つの曲線上に配列する。この曲線を等斥力線 (Syndyne) という。ダストが核から初速度を持って等方的に放出されていた場合は、シンダインを中心線とする帯ができる。また、ダストが種々の $1-\mu$ からなると、それぞれのシンダインを中心線とする帯の集まりができる。Bessel・Bredikhin によれば、彗星の尾の骨組みは、このようなシンダインの集まりである。また、あるとき爆発などが起こって種々の大きさのダストが一度に放出されると、時刻 t_0 には、それらのダストは、ある 1 曲線上に配列する。これを等時放出線 (Synchrone) という。実際彗星の尾にはこうして生じたと思われるシンクロンのすじが見られる。さらに、尾の全体を過去のすべての時刻に対応するシンクロンの集まりと見ることもできる。

Finson と Probstein とは Bessel・Bredikhin の理論を発展させ、実際に尾のダスト分布や、表面輝度をもとめる方法を示した。その理論を 2 段階にわけて説明しよう。まず第 1 のポイントは、ダストの初速度というものは彗星の頭部の物理量をパラメーターとして、自然にきまっているという点である。彼らの考えでは、ダストは核から、はじめ速度 0 で出てくるのだが、頭部で彗星ガスの膨張に引きずられて外向き速度を持つようになる。ガスの作用が効くのは、核の近く(核半径の 20 倍まで)だけで、そこのガスは連続流体と見なせるほど濃度が高い。そのため、流体力学の理論が適用できて、ダストが獲得する速度(尾に放出されるとき初速度に相当する) v_i は、ダストとガスとの流量、温度、ダストの大きさ $1-\mu$ の関数として表わされる。つまり特定の大きさのダストは、四方に特定の速度 v_i で拡がる 1 つの球面上に分布することになる。これらのダストは尾の中でも、しだいに大きくなる 1 球面上に分布しながら、球の中心が 1 つのシンダインに沿って動いていく。そこで第 2 段として、ある彗星について観測時刻 t_0 以前の各瞬間に対して、毎秒放出されるダストの総数 \dot{N} 、大きさの分布 $f(1-\mu)$ を適当に与えると、 v_i がきまり、上記の球面の集まりとして、時刻 t_0 での尾のダスト分布および尾の輝度分布を計算することができる。また逆に、観測された尾の細部の形に合うように、 \dot{N} 、 v_i 、 $f(1-\mu)$ をえらぶこともできる。選択は実際上一意的だという。

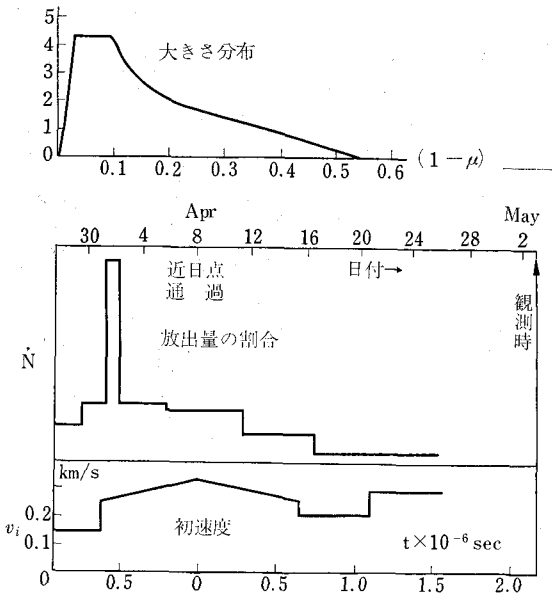


第 5 図 アラント・ロランド彗星の尾の輝度分布

彼らはこの理論をアラント・ロランド彗星に適用して、Cephecha の撮影した数枚の写真の尾の輝度のコントアを説明した(第 5 図)。図は 5 月 3 日のもので、(a) はシンダイン、シンクロンを、(b) はコントアを示す。図の座標軸 MN は、 $\xi\eta$ 面を地球から見た天球上に投影した面で、M 軸は見かけの動径方向、N 軸は M に直交して、彗星の運動と逆方向にとっている。また第 6 図は、 \dot{N} の相対値、 $f(1-\mu)$ 、および $1-\mu=0.08$ に対応する v_i を示す。ダストの大きさの平均値は $f(1-\mu)$ からもとまるが、密度を 1 とすると 5.6 ミクロン、7 とすると 0.8 ミクロンとなる。

6. 最後に、Bessel・Bredikhin の理論では説明のつかないとされる現象をあけておこう。Osterbrock は、1954 h, 1954 k 彗星が太陽からそれぞれ 2 A.U., 4 A.U. 以上の処にいたときの尾(タイプ II)をしらべ、その方向が、動径と反速度方向との間の一方向にまっすぐに向いており、考えられるシンダイン上にのらないことを認めた。Osterbrock は、このような現象が生じるためには、尾の物質は光圧と同じ程度の大きさの抵抗力を受けていなければならない、その力は惑星間ガスがおよぼすのでは

6. 最後に、Bessel・Bredikhin の理論では説明のつかないとされる現象をあけておこう。Osterbrock は、1954 h, 1954 k 彗星が太陽からそれぞれ 2 A.U., 4 A.U. 以上の処にいたときの尾(タイプ II)をしらべ、その方向が、動径と反速度方向との間の一方向にまっすぐに向いており、考えられるシンダイン上にのらないことを認めた。Osterbrock は、このような現象が生じるためには、尾の物質は光圧と同じ程度の大きさの抵抗力を受けていなければならない、その力は惑星間ガスがおよぼすのでは



第6図

ないかと考えた。

Vseksviatsky は、今までに知られた数個の大彗星 (1744, 1858IV, 1910 I, ムルコス等) に見られたシンクロンのすじを検討して、持続時間の短いこと、配列に規

則性のあること、方向が理論の示す方向と一致しないこと、すじに2重構造の見られることから、核から不規則に放出されたダストで生じたとは思われず、尾の部分に何か電磁的な力が作用していると考えねばならぬとしている。以上、ダストの尾に関する研究のいくつかを記したが、状況は輪郭が知られた段階で、未知の事が多い。光電測光や写真観測は、精力的に続けられねばならないと考えている。

(210 頁よりつづく)

それでは彗星と小惑星の区別はどういうことになるかというと、この点でも Marsden (Astron. J., 75, 206, 1970) は次のような点から小惑星と木星族彗星との違いを明らかにしている。小惑星は木星と 1.1 天文単位以内まで近づくことはないのである。トロヤ群の小惑星でも、木星に軌道の近いテュール、ヒルダ群の小惑星でも、みなこのような性質を持っている。このことについてはここではあまりくわしくふれない。

一方、木星族彗星は 500 年間位の間には必ず木星に 1 天文単位以内に近づいている。これが大きな違いであり、太陽系内の小天体の起源を解明するための重大な点だが、ここにありそうである。 (古在由秀)

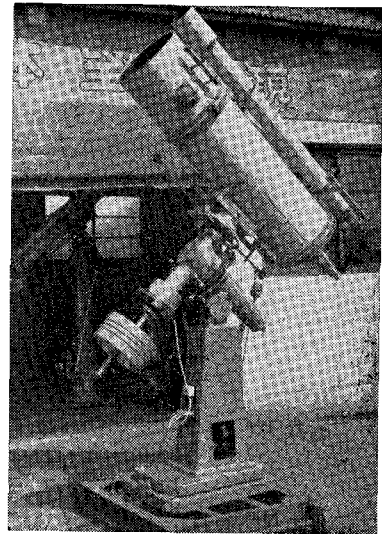
西村製の反射望遠鏡

- 30cm “A” カセグレン・ニュートン兼用
10cm 屈折望遠鏡 (f/15)
- “B” カセグレン焦点
15cm 屈折望遠鏡 (f/12)
- 40cm “A” カセグレン・ニュートン兼用
15cm 屈折望遠鏡 (f/15)
- “B” カセグレン焦点
20cm 屈折望遠鏡 (f/12)

株式会社 西村製作所

京都市左京区吉田二本松町27
電話 (771) 1570, (691) 9589

カタログ実費90円郵券同封



30 cm 反射望遠鏡

ニュートン・カセグレン兼用