

星 団 の 距 離

今 川 文 彦

1. 運動星団の視差

有名な牡牛座のヒヤデス星団や、北斗七星の5つの星を含む大熊座の星団などは、その中の星は、宇宙空間ですべて同じ方向に平行運動をしている。このような星団を運動星団という。その結果一種の透視現象として、地球上では、それらの固有運動の方向は一点に収束して見える。この収束点を利用して、近い星団ではかなり正確に距離を求めることができる。

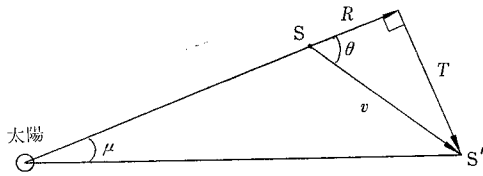
第1図(a)において、☉を太陽(実は地球)、Sを恒星S'をその1年後の位置とする。SS'が星の空間速度v、その視線方向の分値Rが視線速度、それに直角方向の分値Tが切線速度である。またμ(秒)が固有運動である。空間速度の方向と視線方向とのなす角をθとすれば、図より明らかに、

$$R = v \cos \theta, \quad T = v \sin \theta \quad (1)$$

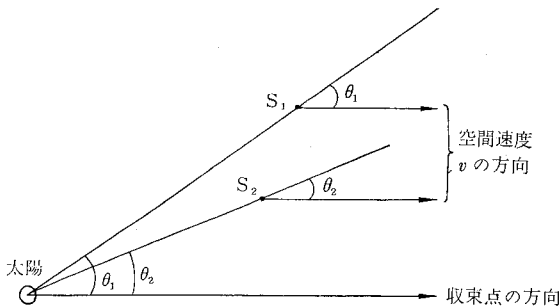
また、星の年周視差をp(秒)、距離をr(パーセック)とすれば、μは小さい値なので、

$$T = \mu r = \mu / p$$

こう書くとv, R, Tは天文単位/年で表わされている



(a) 星の空間運動



(b) 運動星団の空間運動

第1図

ことになるが、普通 秒/秒 で表わすので単位の変換を行なうと、

$$T = 4.74 \mu / p \quad (2)$$

となる。そこで分光観測から、ドップラー効果によるスペクトル線の偏位を測ってRを求めれば、(1)式により、vついてTがわかり、さらに(2)式により、μを別に観測すれば視差pが計算できる。

この方法を運動星団に適用するのである。第1図(b)において、S₁, S₂, …… は星団中の星である。これらの空間運動の方向は、みな収束点の方向に平行である。したがってθ₁, θ₂, …… は地球上で、収束点と各星との角距離を測定すればよい。n個の星について観測を行なえば、(1), (2)式をまとめて、

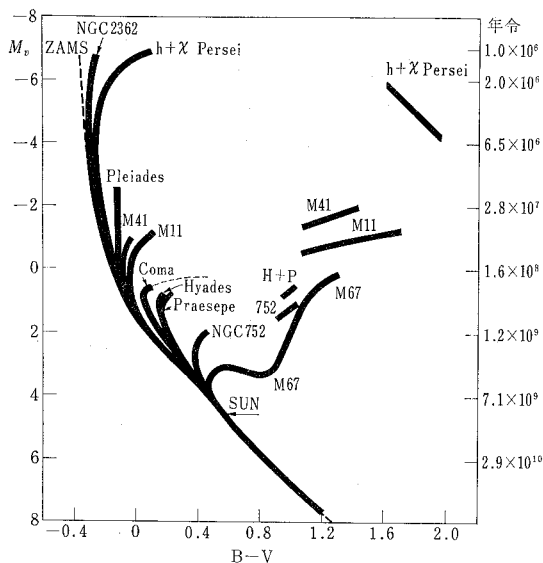
$$p_i = 4.74 \mu_i / \bar{v} \sin \theta_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

ただし \bar{v} は各星のv平均、すなわち星団全体としての空間速度である。(3)式を用いてn個の星から最小二乗法により、pの最確値 \bar{p} を求めれば、それが運動星団の視差である。

2. 測光視差(散開星団)

原始主系列の話から始めよう。現在の星の進化論によれば、熱核反応を始めた星は、すべて最初は主系列上に在り、水素を消耗するにしたがって主系列から離れていく。この最初の主系列が原始主系列(ZAMS)である。ZAMSを観測的に決定するには、視差のわかっている太陽近傍の星や散開星団の星などを用いて、それらのH-R図を順次下から上へつなぎ合せながら、一つの絶対等級M(V)~色指数B-V図を作る。この試みはジョンソン・モルガン(1953)の標準主系列から始まって、多くの人によってなされている。第2図のZAMSはサンデージ(1957)のものである。

そこで、目的の星団の測光観測を行なう。一般に視差はわかっていないから、M(V)~B-V図は作れないが、m(V)~B-V図は作れる。星団の年齢により、ZAMSからの離れ方はいろいろ違っているが、m(V)~B-V図の主系列の折れ曲った点より下(普通3等級)の晩期星の部分では、進化が進んでいないと考えられるので、それとZAMSとを、横軸のB-Vの値を両者一致させて重ね合わせる事ができる。そうすると、縦軸からm-M(距離指数)が直ぐ読みとれるから、前号(2)式

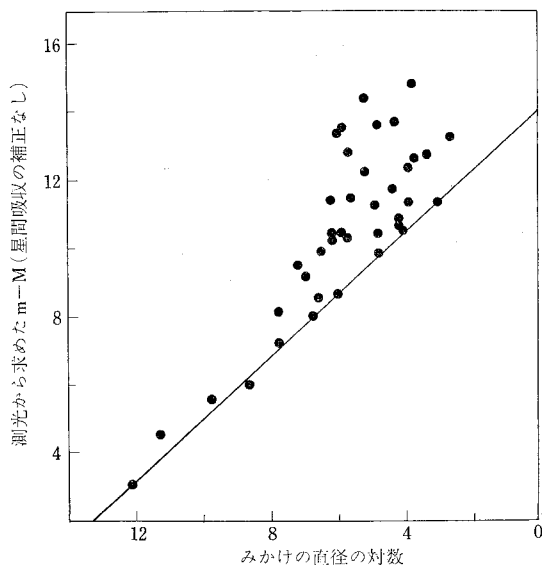


第2図

より視差 p が求められる。このようにして多くの散開星団の距離を知ることができる。第2図は、いろいろ年齢の異なった散開星団の重ね合わせである。

3. トランプラーの方法 (散開星団) と星間吸収

この辺で、前号からいままでわざと避けて通ってきた、星間吸収の問題に触れておかねばなるまい。みかけの等級 m は観測から簡単に求められるようだが、この問題がからむと少々厄介である。星間物質による光の吸収のため、一般に m は実際より暗く観測されるから、この補正を考えないと、星や星団の距離も実際より遠く見積ることになる。トランプラー (1930) は、散開星団の距離を測定するに当たって、始めてこの問題を取り上げた。彼は散開星団を、星の集中度 (I, II, III, IV), 星の数 (p, m, r), 星の明るさ (1, 2, 3) の組み合わせにより合計36種に分類して、同種の星団はその構造が似ており、実直径も大体等しいと考えた。そうするとみかけの直径は、比較的星間吸収の影響なしに観測できるから、単純に距離に逆比例することになり、星団の実際の距離の比較ができることになる。一方分光視差や測光視差から求める距離は、そのままでは星間吸収の影響を受けている。第3図は同種の星団について、トランプラーとワレンキスト (1959) が求めた、星団のみかけの直径と、ジョンソン等 (1961) が測光から求めた、星間吸収の補正をしていない距離との比較図である。遠い星団ほど星間吸収を多く受けている様子がよくわかる。斜の直線から、それぞれの星団の位置までの高さが、星間吸収に比例する量と考えてよい。トランプラーは、このような考え方から星間吸収を推定し、その補正を行なって100個



第3図

の星団の分光 (星団メンバー星の分光視差の平均) ないし測光視差を、その資料のないものについては直径を利用した上述の方法により、合計334個の散開星団の距離を決めた。

星間吸収 (A とする) を求める方法は、この他にもいろいろあり多くの研究があるが、最近の最も手近な方法はUBV三色測光である。星間吸収は、可視領域ではほぼ λ^{-1} に比例するので、星の明るさだけでなく色にも影響を及ぼし、 $B-V$ は本来の値よりも大きくつまり赤くなる。これを色超過 E_{B-V} という。 E_{B-V} は $U-B \sim B-V$ 二色図上で、本来の位置からのずれを測って求められる。このためには星の分光型がわかっている必要があるが、O-B型星では特別な方法で、分光型がわからなくても E_{B-V} を直接求めることができる。(この問題はこれ以上深入りしないことにする)。 A として V の吸収量 A_V を採ると、

$$A_V/E_{B-V} \approx 3.0 \quad (4)$$

が、天球上特別な領域を除いてどこでも、大体成り立つことが統計的にも理論的にも知られているので、これから A_V が求められる。(4)式は星間物質の量は場所によって異なっても、質は変わらないことを示している。

3. 特殊な変光星を利用する方法 (散開・球状星団)

前号分光視差のところ述べたように、絶対等級を知るのに特殊な変光星を用いることがある。

イ. セフェイド

変光星の一種に、周期が1日以上数10日で、脈動により非常に規則正しい変光をしているケフェウス座 δ 型変

光星（典型セフィイド）というのがある。この変光星の変光周期と絶対等級との間には、周期光度関係というきわめて著しい関係があることは、1912年リーヴィットの発見以来多くの人達によって研究されてきた。古くはシャプレー、最近ではクラフト（1960, 1961）、ファーニー（1967, 1968）、サンデー・タンマン（1968）等の仕事がある。また、クラフトやファーニーは、変光周期と星間吸収を補正した色指数との間にも、良い相関があることを示している。次の2式はいずれもファーニーのものである。

$$\left. \begin{aligned} M(V) &= -1.99 - 1.89 \log P - 0.38 (\log P)^2 \\ B - V &= 0.24 + 0.49 \log P \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

P は変光周期、 $M(V)$ 、 $B - V$ はいずれも1周期の間の平均値である。ところで一般にセフィイドというと、種族Iのもの（これを典型あるいは古典セフィイドとよぶ）と、種族IIのものがあることに注意しなければならない。星に二種族あることを始めて発見したバーデ（1952）は、セフィイドについても二種あり、当時知られていたシャプレーの周期光度関係は、実は種族IIに対するものであり、種族Iに対するものは1.5等級明るい方にずらさなければならぬことを指摘した。(5)式の関係は典型セフィイドのものである。種族IIのセフィイドは、光度曲線の形がケフェウス座 δ 型星とは違い、乙女座W型（ときには牡牛座RV型）変光星とよばれるものである。

散開星団には典型セフィイドを、球状星団には種族IIのセフィイドを含むものがあるから、これらの変光周期を観測すれば、周期光度関係から絶対等級がわかり、星団の距離を知ることができる。またセフィイドは巨星ないし超巨星なので、遠い銀河系外の天体中でも観測され、その距離を知る有力な手段となる。

ロ. 琴座RR型変光星

1895年ベイリーは、周期が1日以下の、セフィイドに似た脈動変光星を球状星団中に発見した。これがこの変光星で、当時は球状星団にしか見出されなかったのが、星団型変光星という名前が今でも使われている。この変光星は、球状星団のH-R図上水平分枝の狭い範囲に位置し、その明るさや色やスペクトル型がみなほとんど同じである。多くの星団について、この種の変光星の統計的な調査をしてみると、その絶対等級がほぼ0等級であることがわかった。そこで、琴座RR型変光星の絶対等級はすべて0等級であると仮定すると、それを含む球状星団の距離が直ちに求められる。しかし最近になって、この仮定がほんとうに正しいのかどうか、すこし再検討する必要がでてきている。

5. シャプレーの方法（球状星団）

シャプレーは上記4の方法で19個の球状星団の距離を求めた。つぎに、この19個の星団中の最も明るい星（実際には明るい星から順次30個を採り、最輝星5個を除いて残り25個の平均）の絶対等級はほぼ一定で -1.3 等級であることを見出した。この値がすべての球状星団について同じであると仮定すれば、4の方法で求められない星団の距離を推定することができる。このようにして彼は29個の星団の距離を求めた。さらにシャプレーは以上48個について、距離とみかけの直径との間に一定の相関があることをみつけた。この関係を延長すれば、散開星団のトランプラーの方法と同じような考え方で、さらに多くの星団の距離が推定できる。また彼は、距離と星団全体のみかけの明るさの間にも関係があることを示している。このことも距離推定の手がかりとなる。かくしてシャプレー（1930）は、全部で約100個の球状星団の距離を決定した。ただ彼は星間吸収は全く考慮していない。この補正を行なったのはローマン（1952）である。

× × ×

以上星団の距離測定法について述べたが、実はそれぞれの方法は独立なものではなく、互いに相関連して重要な問題を含んでいる。最後にこの問題について簡単に触れておきたい。

ヒヤデス星団は、われわれに最も近い星団であり、1の方法でその距離が正確に決定できる。ファン・ビューレン（1952）はこの値を 40.4 ± 1.1 パーセック（ $\bar{p} = 0^{\circ}0248$; $m - M = 3.03$ ）と決め、これが一般に採用されてきた。そしてこの値は、わが銀河系内に止まらず、銀河系外の天体に対しても、その距離を決める重要な基準尺度の一つになっている。というのは、ZAMSは当然のことながら2の方法の基準になるもので、サンデーはこれを決定するのにいくつかの散開星団を用いたが、絶対等級の零点はファン・ビューレンのヒヤデスの距離に依っている。さらに、2の方法で決った散開星団の距離を用いて、その中に含まれる典型セフィイドの観測から、周期光度関係が確立される。そしてそれが4の方法の基礎となる。したがって、もしヒヤデスの距離が変わるようなことがあると、つぎつぎと星団の距離決定に影響を及ぼす。そして、かってバーデの種族IIのセフィイドの発見が、アンドロメダ大星雲の距離を一躍倍にしたように、宇宙全体のスケールにも影響を与えることになる。事実このようなショッキングなことが数年前起こったが、このことについては、天文月報61巻11号（1968）の高瀬氏の興味ある解説記事を参照されたい。

（京都大学理学部宇宙物理学教室）