

だ、理論は実際とことなり、無限空間に一樣な完全に系統的な運動をする理想的な星流を仮定しているの、実際では定量的にどれくらい効果があるものがいまだ明らかでない。

### 9. 銀河の渦巻

最後に星間気体の最も大局的な特徴である渦巻構造について付言する。これについては、これまでに磁場の影響を主にして考える立場などいくつかの説が出されているが、最近、重力波説が提唱されて注目をひいている。

銀河系の重力ポテンシャルは銀河円盤と中心核部の星が大部分を背負っているが、これに渦巻き腕を摂動としておいて、それからくる重力ポテンシャルの摂動に対し、星間気体などがどのように反応するかを調べる。その結果、仮定した腕と同型のものでレスポンスとしてあらわれれば、その腕は自己保存的である。実際の計算の

結果はこの自己保存的な渦巻き腕の存在が示された。これは定常的な重力波と解することができる。この理論的結果は観測的な種々の特徴をよくあらわすので、現在のところ渦巻腕の説明として定説となりつつある。

### 10. むすび

以上、星間気体のモデルに関連して、多種多様な研究分野があることを簡単に紹介した。また、ここでは流体モデルとしての面を強調したので、とり上げなかった問題もかなりある。元来、天文学は極めてオープンな学問であるが、星間気体の問題に限っても、多くの分野の人に興味と関心をもってもらい、また自由に研究面にも入り込んで新しい面を研究するようになることが学問自体の性格として強く望まれている。また、このことが宇宙科学発展のエネルギー源でもあると信じている。

## 銀河系および銀河系外星雲の光とガス量

横 尾 武 夫\*

### はじめに

銀河系および銀河系外星雲の中では、星間ガスから絶えず新しい星が生まれ出て、その星々は各々の進化の道をたどっている。これらの星雲の寿命の大部分を通じて、その体積が変わるといような、大規模な物質の分布変化がない場合を考えると、恒星とガスの大集団としての銀河系および銀河系外星雲の進化の様子が、恒星の進化理論を応用して、ある程度、追跡できるのではないだろうか。

銀河系および銀河系外星雲が、前に述べたように、力学的に定常であるかどうかは、依然、大きな問題であるが、現在までに、パーピッジ夫妻等の努力によって集積

された、多くの銀河系外星雲 (galaxy—以下単に星雲といっておく) の内部運動の観測的研究から、一応、ほとんどの星雲が力学的に定常であると考えてもよいことがわかっている。われわれの銀河系についても、同様である。特に、エッゲン達 (1962) の準矮星の運動学的研究にもとづいた推定によれば、われわれの銀河系が現在のよな質量分布をとったのは、その誕生から  $10^8$  年以内、すなわち銀河系の年齢の最初の 100 分の 1 においてであろうとされている。

そのような立場から、ガスと星の集合として特徴づけられるこれら星雲の総合的な物理量を見ると、そこには進化の様子をさぐる手だてがあるように思える。第 1 表

第 1 表 銀河系外星雲の形態分類と物理量 (ホルムベルク, 1964)

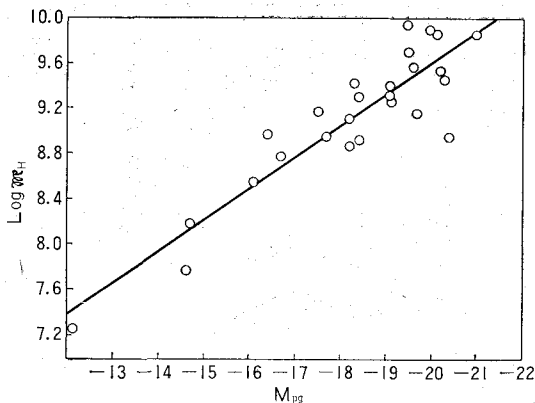
型	絶対写真等級 $M_{pg}$	色指数 $B-V$	質量 $\log M$	中性水素量 $M_H/M$
Irr I	-17.3	0.12	9.0	37 %
S <sub>c</sub>	-19.8	0.22	10.2	20
S <sub>b</sub>	-21.0	0.41	11.1	3.2
S <sub>a</sub>	-20.6	0.53	11.2	1.3
S <sub>0</sub> , E	-19.6	0.77	11.3	(0.2)

\* 大阪教育大学

T. Yokoo: The Lights and Gas Masses of Galaxies.

絶対写真等級および色指数は星間吸収を補正したもの。

質量は太陽質量単位。



第1図 銀河系外星雲の絶対写真等級と中性水素量の関係。直線は  $\log M_H = 4.06 - 0.28 M_H$  をあらわす。ハン (1966) による。

には、そのような観測を、形態分類にしたがって平均したもの示してある。ここにあげた諸物理量は、たとえば、質量—光度関係 (ブスコウスキイ, 1965) や、色指数—質量光度比関係 (ホルムベルク, 1964) のような、統計的な相関が、形態とは関係なく、なりたつことがわかっている。特にガス量に関する情報は、電波観測による、星雲の中性水素の量の測定から、最近、非常に増えつつある。ここでは、その中性水素量を中心に、これらの、総含量の統計的な相関が、星雲の進化に関して、ど

の程度の知識を与えてくれるか考えてみることにする。

### 光度とガス量

特に、S型や I<sub>rr</sub>型の星雲では、新しい星の誕生が顕著である。実際に、これらの星雲に含まれる星の計数を行なってみると、星雲の総光度は、ほとんど、そうした生まれたばかりの新しい星だけに依っていることがわかる。すなわち、S型、I<sub>rr</sub>型星雲の総光度は、まさに、その星雲における、星の生成率 (単位時間に生まれる星の個数) に比例しているわけである。では、これらの星雲に含まれるガス量と、星の生成率の間に何らかの関係が見い出せないだろうか。そのような考えをもとに、ハン (1966) は、25個の星雲について、絶対写真等級  $M_{pg}$  と、中性水素量  $M_H$  とに、良い相関があることを指摘した。それが、第1図に示されている。この図は、星雲の光度  $L$  と、中性水素量  $M_H$  の間に、 $L \propto M_H^{1.48}$  という関係があることを示している。すなわち、星雲での星の生成は、全ガス量の約1.4乗に比例している。実際には、赤色巨星の明るさも、いくらかきいているから、1.4という値は、もう少し小さくなるだろうけれども。

このように、星の生成率とガス量を直接関係させる考え方は、最初、シュミット (1959) によってなされた。彼は、星が生成するときの質量函数 (質量毎の星の頻度分布、星団の原始光度函数に相当するもの) が常に一

## 西村製の反射望遠鏡

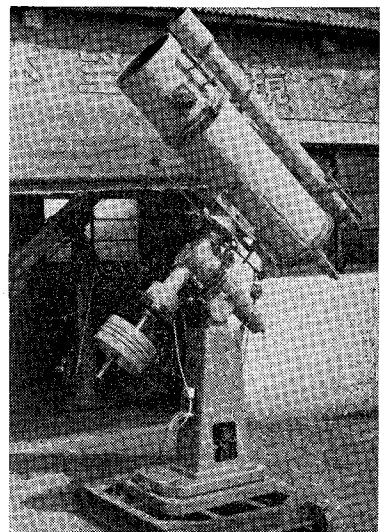
- |          |                   |
|----------|-------------------|
| 30cm “A” | カセグレン・ニュートン兼用     |
|          | 10cm 屈折望遠鏡 (f/15) |
| “B”      | カセグレン焦点           |
|          | 15cm 屈折望遠鏡 (f/12) |
| 40cm “A” | カセグレン・ニュートン兼用     |
|          | 15cm 屈折望遠鏡 (f/15) |
| “B”      | カセグレン焦点           |
|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

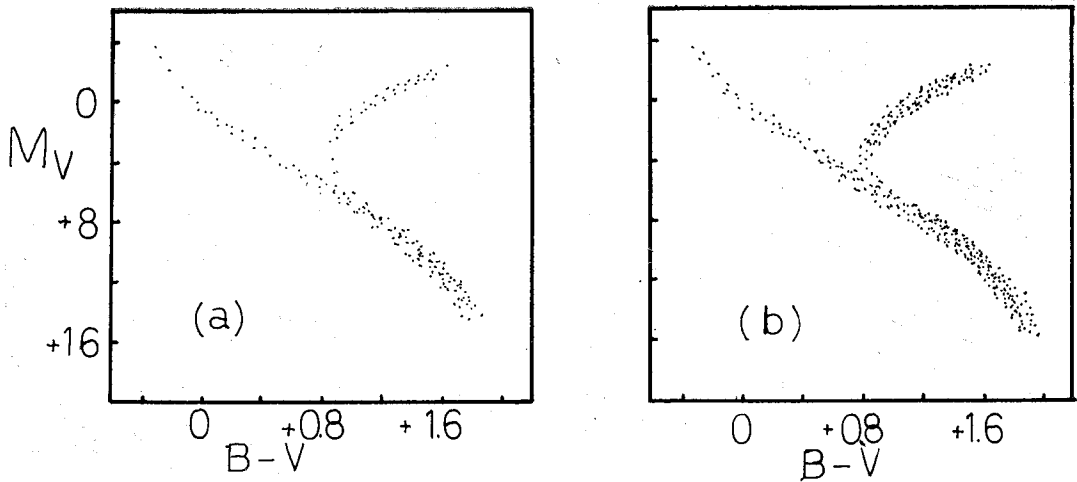
電話 (771) 1570, (691) 9589

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



第2図 模式的に表わした銀河外星雲内の星の H-R 図。(a), (b) は同年令の星雲で, (b) の方が質量が大きい。

定だとして, 生成率がガス密度の  $n$  乗に比例するとした。これが, シュミットの「星の生成の密度法則」といわれるものである。実際に彼は, 太陽近傍における光度函数の統計的調査から,  $n=2$  の値を得ており, もっと直観的には, 中性水素の銀河面への集中度と, 早期型星のそれとの比較からも, 同様な値が推定できるとしている。

星の生成率とガス密度との関係は, 星の生成理論に関係して重要な, そして興味深い問題である。現在では, 星の生成に関して, 2つの両極端の考え方がある。1つは, 大きなガス雲の中で, より小さなガス塊への分裂がおこり, それぞれが凝縮して星となるという考え方(ファウラーとホイル, 1963)と, もう1つは, 多くの小さなガス雲が, 互いに非弾性的に衝突して雪ダルマ式に大きな質量を得て星になる(オールト, 1954)というものである。前者の場合は, 密度法則は  $n=1$  となり, 後者では, ちょうど化学の反応速度論に類似な考え方ができて,  $n=2$  となるだろう(フィールドとサスロウ, 1965)あるいは, 大きなガス雲が衝突して, その衝突面で星が生まれるようなことを考えに入れると,  $n$  は 1 と 2 の間の値をとる(ハン, 1966)。

星雲全体の星の生成率も, 全ガス量の  $\alpha$  乗に比例すると考えると, ガスの中心集中度の効果がかいて, 密度法則をそのまま用いることはできず,  $\alpha$  は  $n$  に等しくはない。密度法則において  $n=2$  であってとしても  $\alpha$  は 2 より小さい値をとるだろう。

第1図は, その観測的結果をあらわしているわけであるが, これからは,  $\alpha$  は 2 より小さいが, 1 よりは大きいであろうことを示している。しかも, 星の生成率は, 星雲の渦状腕の形そのものとは, 直接関係ないらしいことは興味深い。

このように, 星の生成率がガス量と関係づけられれば, 最初ガスばかりであった星雲から, 徐々に星が形成されていくと共に, ガス量が減少していく様子が量的に追跡できる。たとえば,  $\alpha=1$  としたとき, 星雲で星が生まれ始めてから時間  $t$  を経たときの生成率は指数函数的に減少し, 同時にガス量も指数函数的に減少する。また  $\alpha=2$  のときは, 生成率は  $(1+t)^{-2}$  の形で減少し, ガス量は  $(1+t)^{-1}$  で減少していく。この場合, 星雲の全質量が大きいほど, 減少は急激であり, 小さい場合は, ゆるやかである。

#### 色指数とガス量比

銀河系外星雲の色は, それに含まれる星の構成によてきまる。星雲にどのような星が, どれだけ存在するかは, われわれの銀河系においては, 直接に星の計数によってもとめられるが, 銀河系外のものについては, 多色測光(ティフト, 1963)や, スペクトル観測(ロバート, 1956)等によるエネルギー曲線にもとづいて, あるいは吸収線の強度比(スピンドラド, 1966)から, いろいろな星の組み合わせをあてはめるという観測的研究が試みられている。しかし, 原理的には, 星雲における星の生成率の時間的変化と, 恒星の進化を同時に考えあわせれば, ある年令の星雲の星の構成を知ることができる。恒星は, その進化の中で, 主系列と巨星列に停滞点があることを考えて, 星雲に含まれている星の H-R 図を模式的に表わすと第2図のようになるだろう。

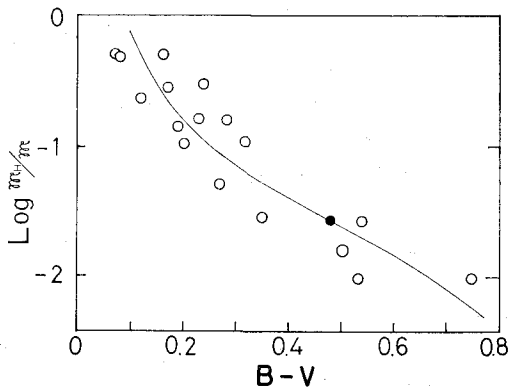
ここで, 質量の大きい星雲は, 主系列星に比べて, 赤色巨星をより多く含んでいるが, これは, 赤色巨星および晩期型の矮星の総数が, 星の生成率を星雲の年令にわたって積分したものにほぼ等しいと考えられることによ

っている。一方ガス量は、全体の質量から、それらの星の質量の合計を差し引いたものに相当している。

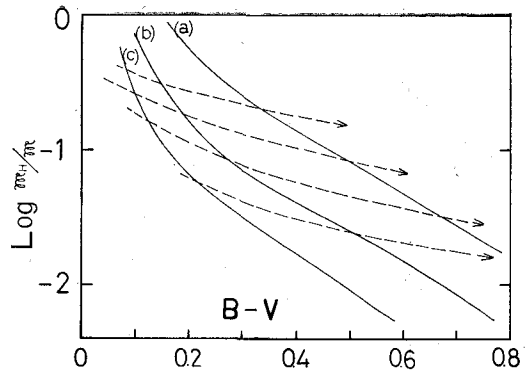
星雲の色について考えてみる。星雲の光度は、H-R 図で上部に位置する、上部主系列および赤色巨星列の星によるものであるから、星雲の持つ本来の色は、生まれたばかりの主系列の星と、進化の進んだ赤色巨星の数の比によってきまる。これらの事情から考えると、星雲の色指数は、中性水素量の総質量に対する比  $M_H/M$  と、一定の年令に対して一意的な関係があるはずである。

実際に、ホルムベルクの論文 (1964) から引用して、18 個の S, Irr 型の星雲の色指数と、 $\log M_H/M$  の関係を第3図にあらわした。この図に見られる、2つの量の相関は、これらの星雲が同じ年令を持っていることを示しているのである。第3図での、各々の星雲の進化の経路をたどってみるため、筆者が先に試みたように(横尾, 1967)、星雲内の星の構成を、星団型の原始光度函数と、球状星団をもとにした種族IIの星の光度函数の組み合わせとした簡単な場合について計算したものを第4図に示した。第3図のプロットは、第3図の等年令線と良い一致がみられる。

E 型星雲については、中性水素が全体の質量に対して、非常に少いため、水素量の観測が、ほとんどなされていない。しかし、E 型星雲の場合は、質量が大きく、したがって星の生成率の減少の仕方が非常に急速であり、すなわち、ほとんどのガスの部分が、進化の初期でいちやく凝縮して星になってしまったと考えられる。このことは、構成する星が同時に生まれたと考えられる球状星団と、E 型星雲が、同等な質量光度関係を持つこと(プスコウスキイ)に対応しているであろう。このような、E 型星雲の光度や色指数は、クラウピンとホイル (1961) が行ったように、既知の質量函数を用いて、恒星の進化理論から直接追跡できる。しかし、現在の電波観測における強度測定をの精度を上げて、E 型星雲



第3図 色指数  $B-V$  と中性水素の量比  $\log M_H/M$  の関係。ホルムベルク (1964) による。黒丸はわれわれの銀河系。曲線は第4図の等年令線 (b)。



第4図 銀河系外星雲の色指数と中性水素量の変化。点線は、 $\alpha=2$  としたときの、進化の方向をあらわす。下のものほど質量が大きい。実線は、等年令線。(a)と(c)で、年令に一桁の違いがある。 $\alpha$ を小さくすると、点線は急勾配になる。しかし、等年令線の形はかわらない。

の中性水素量をも測定する必要がありそうである。

ここでは、星雲の中性水素量を中心に、話をすすめた。最初にはべたように、星雲の間で質量-光度関係があること、また、色指数-質量光度比の相関があることがわかっているが、これらの相関は、ここでの考えから、ガス量の項を消去して、星雲の年令を全てについて一定だと考えたときに、あらわれる関係であることを付記しておきたい。

#### 今後の問題

星雲が力学的に定常なものと考えて、いくつかの、銀河系近傍の星雲の、光度、色指数、質量、中性水素量といった総合量から、これらの星雲が、形態とは関係なく、同一の年令を持つと考えられることを示した。このような方法で、星雲の観測可能な総合量の性質がわかれば、それを、より遠い星雲に適用すれば、宇宙論の検証に役立つであろう。また、星雲における、星の生成率が量的に追跡できれば、シュミット (1963) やトルラン達が試みたように、銀河系の中での星間ガスの化学組成の時間的変化を知ることができる。

しかし、これらの問題は、たとえば、星雲の年令を通じて、質量函数が一定であるかどうか、また、密度法則がどのような形となりつつかといった、星の生成に関する理論の完成を待たねばならないだろう。さらに、銀河系がどの程度の時間尺度で定常であるのか? 星雲の光は、全く星の光のみによるものかどうか。たとえば、中心核における非熱的放射が多くをしめていないか? といった根本的な問題が、この推論には含まれている。

(後記) 最近 B, M ティンズレー (1968) により、星雲の色、光度等の進化について精細な計算結果が出されたので参照されたい。(Ap. J., 151, 547)