

球状星団のヘリウム量

有本 信雄*

球状星団は一般に我々の銀河の初期の様子を現在に残していると思われている。恒星の内部構造進化論や分光観測技術の進展に伴い、球状星団の年齢・金属量は或る程度の定量的な評価が成され、両者の相関と銀河の収縮との関連も議論されている。これに対して球状星団のヘリウム量の評価は定性的な範囲でさえも多くの曖昧さを含んでいるが、それが銀河の化学進化論や元素合成理論・宇宙論等と緊密な関係にある事から、この分野での現状報告を兼ねて球状星団のヘリウム量を評価する幾つかの方法を紹介する。

良く知られる様に理論的な光度関数と観測より得られる球状星団の光度関数とを直接比較する事により、球状星団の年齢や化学組成の情報が得られる。球状星団のヘリウム量の議論では取り分け転向点よりも明るい準巨星の光度関数が重要視される。それはこの領域の星は主系列上ではほぼ同一の箇所に在ったと予想され、従って主系列時での個々の星の質量差・光度差が微小で進化理論上の比較に好都合であるからであり、加えて光度関数のこの部分は理論計算の示す所に拠れば、年齢・金属量の違いが殆んど現われず、ヘリウム量の差のみが明瞭に光度関数の違いとなって出て来るからである。下田等(1972, 1976)は球状星団 M3, M5, M13, M92 について観測的な光度関数を算出し、それに基づいて M3, M92 についてはヘリウム量 $Y \sim 0.2$ を見積り、M5, M13 に対してはやや高いヘリウム量 ~ 0.3 を結論している。更にまだ断定的なものではないが、M15 について同様の手法を適用した結果では ~ 0.2 が得られている。但しこれらの値は量的な面で厳密なものではなく、むしろ傾向としてこの様な値に近いという程度のものである。星の進化に伴う理論的な不確かさは準巨星域の光度関数の比較では十分に無視できるから、観測的に光度関数が更に改良されるのであれば、得られるヘリウム量がより信頼できるものとなる事が期待できる。

ヘリウム量の推定に有力なもう一つの方法はいわゆる R 値法である。 R 値とはイベン(1968)によって $R = N_{HB}/N_{RG} = t_{HB}/t_{RG}$ と定義された量で、観測的に水平分枝星の個数と琴座 RR 型星変光星の平均光度よりも明るい巨星分枝星の個数の相対比 N_{HB}/N_{RG} が計数でき、進化論から観測に対応する水平分枝進化、巨星分枝進化の寿命の相対比 t_{HB}/t_{RG} が決まるから、 R 値を通して直接理論と観測の比較が可能である。 R 値法が特に有力であ

るのは、理論的な R 値が星の質量や金属量にまったく依存せず、ヘリウム量にのみ強く影響される事情に因っている。膨大な進化計算の結果から次の様なヘリウム量と R 値との簡単な相関式が得られる。

$$Y = 0.28 + 0.41 \log R \quad (1)$$

$$Y = 0.16 + 0.44 \log R \quad (2)$$

この様に二通りの相関式の表現が与えられるが、これは水平分枝進化において、ヘリウム対流核からの対流要素の射込みとそれに続くセミコンベクションによる対流核とその周辺領域との間での物質混合を考慮するか否かに因っている。物質混合を考慮した進化計算では水平分枝進化の寿命が約2倍となり、相関式より得られるヘリウム量の値はほぼ半減する。イベン達(1969)は球状星団 M2, M3, M5, M10, M13, M15, M92 の観測値を平均して $\langle R \rangle \sim 0.9$ を得ている。この値を与えると、(1) 及び (2) 式は球状星団のヘリウム量の平均値として、各々、0.26, 0.14 を与える。ピック・パン理論の予測する銀河初期のヘリウム量が0.2以上である事から判断するとこの結果は対流核とその周辺領域との間の物質混合の存在を否定している様に思われ、イベン(1974)がセミコンベクションの取扱い法の妥当性に異議を唱えたのはこの理由によっている。一方、レンツィーニ(1977)は乾板の限界等級よりも暗くて観測に掛からない青い水平分枝星の存在を推定して、観測資料に対して補正を施し、他の球状星団 (M4, 47Tuc, NGC4147, NGC6752, NGC7099) や楕円銀河 (Draco dwarf spheroidal) の観測資料も採用しそれらの平均として $\langle R \rangle \sim 1.6$ を導いている。レンツィーニの補正が正しいとすればヘリウム量は、各々、0.36 及び 0.25 と得られる。即ち対流核からの対流要素の射込み、セミコンベクションを考慮すべき事を示唆するという全く逆の結論が得られる事になる。しかしながらレンツィーニの補正は個々の星団について見ると明らかに過大評価と思われるものもあり問題は残る。私見では、ヘリウム量の議論はその平均値よりもむしろ個々の球状星団について成されて然るべきであると思われる。現時点で最も信頼され得る下田・谷川(1972)の M5 及び M13 の観測資料から R 値を評価すると、1.05 (M5), 1.41 (M13) である。M5 の結果に対してその標準偏差を 3σ 迄考慮しても R 値の上限値は 1.28 に過ぎず、二つの星団 M5 と M13 の R 値の差は明らかに統計的にも有意である。この R 値の相異が星団間のヘリウム量の違いに帰因するものであるのか、或いは対流核と周辺領域との間の物質混合作用の度合の違いによるものなのか

* 東北大学 理学部 N. Arimoto: Helium Abundance in Globular Clusters

は、現状では解釈が一意的でなくいずれの可能性も否定出来ないと言える。

球状星団の赤色巨星の進化計算の示す所に拠れば、巨星分枝の初期の進化において光度の一時的な減光が起こる。これは表面对流層の成長・後退に伴い形成された化学組成の不連続域を水素燃焼殻が通過する際に起こる星の構造の再調整が原因である。この減光の様子は星の化学組成によって大いに異なり、金属量が多くヘリウム量が少ない程減光の度合は大きく、またこの現象の起こる巨星分枝上の位置は明るくなる。赤色巨星の光度が一時的に減少すると云う事はその光度付近での巨星分枝上の進化が見掛け上停滞するという事であり、観測との比較で云えば赤色巨星のクランプ (HR 図上で見掛け上群れを作っている様に見える星の集団) が現れるという事である。この様なクランプは、実際、幾つかの球状星団 (M2, M3, M5, M10, M13, M15, M92, ω Cen, NGC6397) において観測されている。これらのクランプの星が理論の予測する減光期に対応しているとする、その星数の観測値より、傾向として高いヘリウム量 ~ 0.3 を示す星団 M2, M3, M5 と低いヘリウム量 ~ 0.2 を示す星団 M10, M13, M15, M92 とが区別される。この方法では星団の金属量を分光観測に基づいて与えてやる必要があり、その誤差が無視できない程度のものである為にこれ以上の細かいヘリウム量の精度が得られないが、この点が改良され、更にまた詳細な計数観測が個々の星団について成されるのであれば、比較的明るい赤色巨星の観測のみで十分である点から考えて数多くの球状星団に適用できると期待される。またクランプの平均光度を観測と理論とで比較する方法も考えられるが、両者の間に若干の系統的なずれ (観測値が理論に比して一等級以上暗い) が在る為には実用には適さない。

上記の様な内部構造進化論の立場からのヘリウム量の算出法とは別に脈動理論からヘリウム量を評価する試みもある。脈動理論に拠れば理論的な HR 図上での第一調和振動に対する不安定領域の青端の有効温度はヘリウム量に非常に敏感であると同時に金属量には殆んど影響されない。それゆえ観測から最も青い琴座 RR 型変光星の有効温度が判ればその星団のヘリウム量の推定が可能となる。この方法が適用できるのは十分に変光星を含む球状星団に限られ、その様な星団は現在のところ M3, M5, M15, ω Cen の僅かに 4 個である。イベン (1974) は M3 について $Y \sim 0.22$ を得ているが、理論と観測とを星の色を通して比較する事は色指数 ($B-V$) から有効温度 T_e への変換に際して化学組成が大きく影響する事、星間吸収の補正に大きな誤差が付きまとう事を考慮すれば結果の信頼度には疑問が残る。更に最近では表面对流層内でのヘリウムの煮詰め効果や輻射層でのヘリウムと

水素の分離効果が脈動不安定に及ぼす影響は無視できないと見なされており、脈動論から得られるヘリウム量と内部構造論で云うヘリウム量とが星の同一の物理量を表わしているという保証はない。

球状星団のヘリウム量を議論するに際して欠かす事の出来ないものに、もう一つ M15 の中に在る惑星状星雲 K648 のヘリウム量がある。これは球状星団のヘリウム量が直接観測できそうな唯一の対象である。分光観測で得られる輝線スペクトルの強度比から、ヘリウム、窒素、酸素等の存在比が決定できる。得られた惑星状星雲のヘリウム量が球状星団の生まれた当時の母体雲のヘリウム量と同一であるか、或いは星の内部での元素合成の影響を受けているのか否かは恒星進化論の知識を使えば推定できる。即ち、対流による混合作用により恒星内部の核反応生成物が星の表面に迄搬出された後に惑星状星雲が形成されたのであれば、組成変化のうちで顕著なものはヘリウムと窒素の増加である。一方、酸素の変化は殆んど無く、個数比 $N(N)/N(O)$ の観測値と理論とを比較すればどの程度の混合を受けたか推定され、これより逆にヘリウムの増加量が評価される。幾つかの観測結果が、混合は無いと見なして、 $Y \sim 0.23-0.29$ を与えている。

観測される球状星団の数に比べてヘリウム量の評価が試みられている星団の数が極端に少ない事に御気づきと思うが、この事がそのまま球状星団のヘリウム量の推定が如何に困難であるかを如実に物語っている。球状星団のヘリウム量は原始ヘリウム量と一致しているのか、また個々の星団間にはヘリウム量の差が無いのか、この二つの基本的な問いに対し実はまだ誰も満足のゆく解答を与えていないのである。

雑報 II

再帰新星 U Sco の増光

愛媛県の成見博秋氏と大分県の柔野善之氏は、それぞれ独立に 1979年6月23.55日と6月23.628日に眼視と写真により、この星の増光を観測して東京天文台に連絡して来た。観測した光度はそれぞれ 8.7 等、8.8 等であった。東京天文台から IAU 天文電報中央局へ電報で連絡したところ、Cragg 氏による 6月24, 25日の 9.4 等という観測があることがわかった。なを、この星は過去 1863, 1906, 1936 年の 3 回の増光が知られている。

(香西洋樹)