

論文内容の要旨

Stellar Population Study of Elliptical Galaxies using Spectroscopic Age and Metallicity

分光学的年齢と金属量を用いた 楕円銀河の星の種族の研究

山田善彦

楕円銀河は宇宙において最も普遍的に存在する天体である。また、楕円銀河は星生成の元となるガスを殆ど持たず、渦状銀河のような特徴的な構造も持たない。その数の多さと構造の単純さ故に、多くの研究がなされてきた。楕円銀河における、明るいものほど色が赤いという色-等級関係や、表面輝度・有効半径・速度分散で定義される基準平面の存在は、楕円銀河の形成が宇宙の初期にあった事の証拠だと思われてきた。遠方の銀河団に於ける楕円銀河の色等級関係の存在も、楕円銀河の形成時期は $z \geq 2$ であり、ここ 100 億年以上星生成を行っていないことの証拠だと思われてきた。しかし、近傍銀河のスペクトルの分光観測に因れば、年齢が数十億年といった若い星を持つ銀河も存在する事がわかってきた。

年齢は、銀河の中でどのような世代の星が支配的か、楕円銀河の星が古いのか新しいのかを直接語る量であり、年齢を求めるために様々な研究が行われてきた。しかし、楕円銀河のスペクトル中では年齢と金属量の効果が縮退しており、測定する事が極めて難しかった。Worthey (1994) は水素のバルマー吸収線 $H\beta$ の吸収線指標が年齢に対する感度が比較的高い事を発見した。しかし、この吸収線指標も依然として年齢と金属量の縮退を完全に解いたとは言えず、さらに輝線の補正にも不安が残る物であった。Vazdekis & Arimoto (1999) は $H\gamma_{\sigma}$ という吸収線指標を定義し、これを用いれば金属量を知らなくても年齢が測定できる事を示した。 $H\gamma$ は $H\beta$ よりも輝線の影響を受けにくく、この点に於いても $H\beta$ の吸収線指標よりも優れている。これを用いて Vazdekis et al. (2001) と Nakamura (2001) はそれぞれ 6 個の乙女座銀河団の楕円銀河と 7 個のフィールド楕円銀河の年齢を測定した。前者は銀河団の色等級関係が主に金属量の違いによるもので、楕円銀河は古いという結論を、後者は楕円銀河の中には二次的な星生成を行ったものがある可能性を示した。

本研究では、上記 2 つの研究と同じ $H\gamma_{\sigma}$ を用いる方法を使うが、銀河数・等級(質量)を従来の研究より大幅に拡張、近傍の楕円銀河 27 個の年齢を測定した。さらにこの指標と金属吸収線の指標を組み合わせる事により、元素ごとの金属量も求めた。重元素は主に星の内部で作られ超新星爆発や恒星風により星間空間に放出されるものである。例えば、鉄は主に星生成が始まってから 10 億年程度経たないと発生しない白色矮星の爆発による Ia 型超新星から、マグネシウムなどの α 元素は大質量

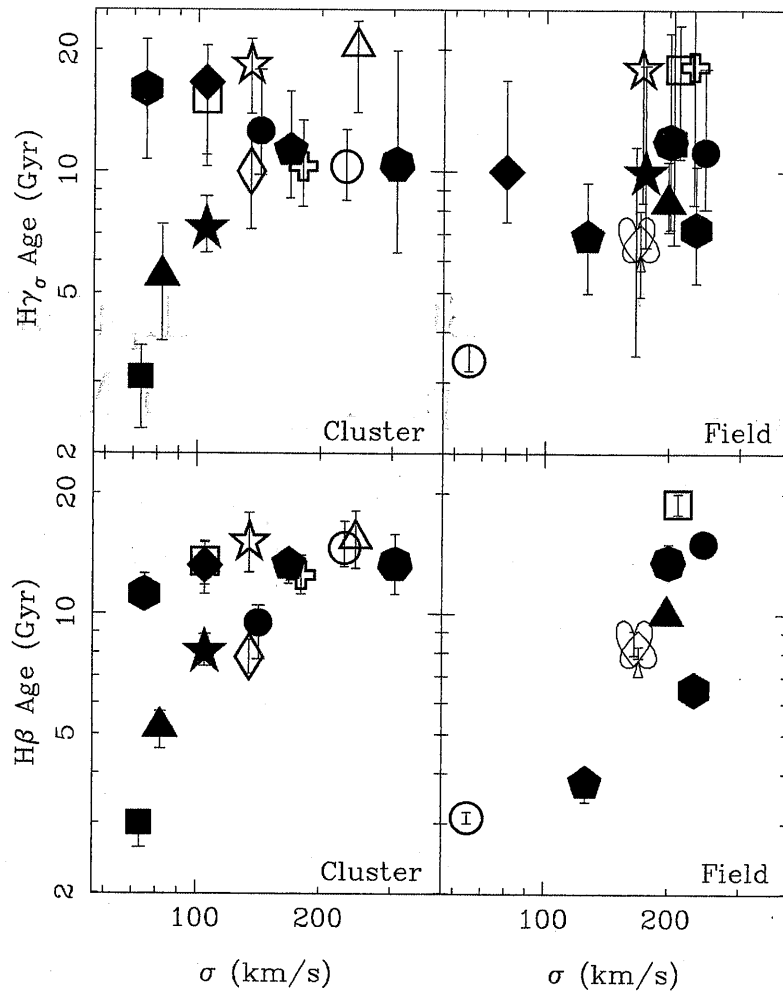


Figure 1: 年齢と速度分散の関係。左がフィールドの楕円銀河、右が乙女座銀河団の楕円銀河。上は $H\gamma_\sigma$ から求めた年齢、下は $H\beta$ からのもの。

星の爆発による II 型超新星爆発から、炭素や窒素は進化が進んだ星から放出される。このことから金属量は様々な星の進化タイムスケールを反映したものであり、銀河に於けるこれらの組成比がわかれば、星生成史を探る事が出来る。

乙女座銀河団にある 14 個の楕円銀河をすばる望遠鏡と WHT で観測し、年齢と金属量を求めた。速度分散の大きな(質量の大きな)銀河は基本的に 100 億年以上といった古い年齢を示すのに対し、速度分散で 120km/s 以下の小さな銀河は 30 億年から 100 億年以上といった大きな年齢の分散を示した(図 1)。この事から、大きな銀河では星生成を宇宙初期に終えているのに対して、小さな銀河では形成過程に差がある事が推測される。また、鉄とマグネシウムの吸収線から求めたそれぞれの金属量の比 $[Z_{\text{Mg}}/Z_{\text{Fe}}]$ は大きな銀河ほど大きいという結果を得た(図 2)。これらは小さな銀河ほど星生成期間が長かったという事を示唆するものである。我々はこれらの年齢・金属量と星の種族合成モデルを用いる事により、色を再現することを試みた。結果として、大凡の色は再現できるものの、幾つかの銀河に於いて若干の食い違いが見られた。これは種族合成モデルが太陽の化学組成のみに限られている事、種族合成モデルが単一の年齢・金属量の星の系であるのに対し実際の銀河は様々な年齢・金属量の星が集まって出来ている事が理由だと考えられる。

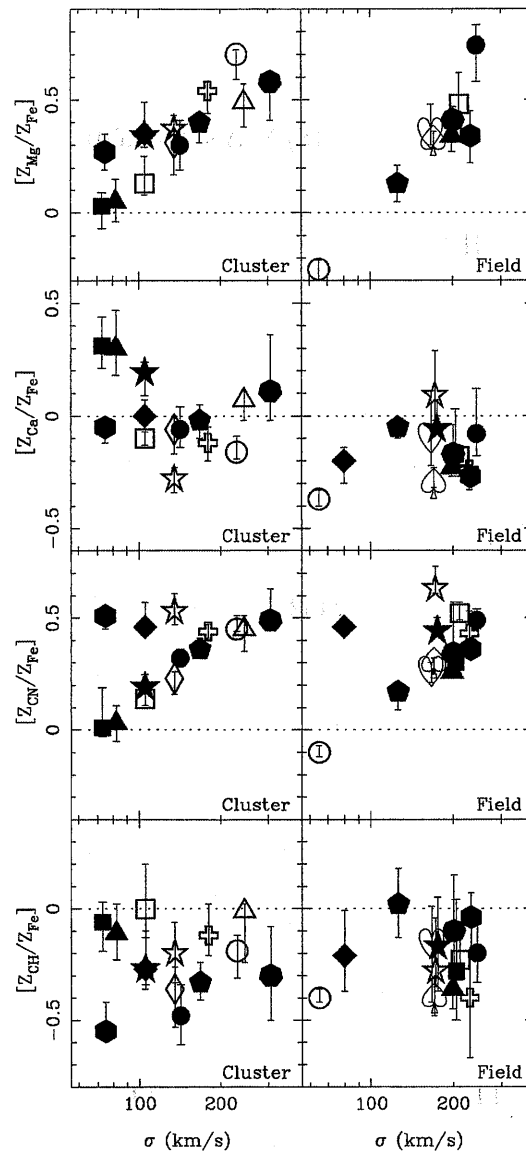


Figure 2: 各種元素の金属量比と速度分散の関係。左がフィールドの楕円銀河、右が乙女座銀河団の楕円銀河。

フィールド・銀河群といった銀河密度の低い環境にある 13 個の楕円銀河の観測は WHT と NTT で行った。小さな銀河に於ける年齢の分散は銀河団の結果と同じであるが、大きな銀河についても 60 億年から 100 億年以上という年齢の幅が見られた (図 1)。金属量の傾向は銀河団と特異な差は見られなかったが、その分散は大きいことを見いだした (図 2)。また、乙女座銀河団の 3 つの若い銀河のうち 2 つも銀河団の端に位置する事から、銀河密度が低い領域では星生成を最近に起こした銀河も多いと言える。

従来の研究では低波長分解能 (10\AA) で主に $H\beta$ 指標を用いたものが多く、その年齢・金属量はスペクトル上でのそれら効果の縮退の影響を強く受けていた。 $H\gamma_{\sigma}$ を用いる方法は年齢・金属量の縮退の影響を受けないため、従来の方法よりも正確な年齢を導出できる。この年齢は SSP モデルとフィッティングする方法による年齢とも矛盾しない。我々のデータにて $H\beta$ による年齢と比較した所、輝線

がない限りほぼ一致する事が分かった。これは、我々が用いたような比較的高波長分解能 (2-3Å) のデータに於いては、Hβでも完全とは言えないもののほぼ年齢・金属量の効果を分離する事ができることを意味する。今回の観測では、近傍の銀河である事と長時間露出によって、より正確なHγ_σの方法を用いるために必要な非常に高い品質 (S/N/Å ~ 100-400) のデータを得る事ができたが、多く・遠くのサンプルを用いた研究はなかなか困難である。従って、本研究でHβによる年齢をHγ_σで校正したことにより、より多くの又は遠くの銀河については、輝線がない場合には比較的高波長分解能 (2-3Å) のスペクトルデータとHβ指標を用いることで容易に年齢測定ができると言える。

これらは銀河の中心に於ける年齢と金属量であった。我々はさらに、年齢勾配・金属量勾配も測定した。中心部での星生成は年齢・金属量勾配を急にし、銀河の衝突合体はこれらの勾配を緩くすると推測される事から、勾配は銀河の衝突合体史を探る上で重要な鍵となるはずである。前述のサンプルのうち、M32は我々に最も近い楕円銀河であり明るいため、短時間の観測にも拘わらず、非常に高いS/N比のデータが得られた。この銀河を用いて、銀河の色勾配とMg₂勾配に於いて、いかに年齢・金属量が縮退しているかを確認した。我々が求めた年齢・金属量勾配と星の種族合成モデルから色を求めた所、M32の平坦な色勾配を再現する事に成功した。また、M32はかなり急な年齢・金属量勾配を持つにも拘わらず、Mg₂は平坦であった。これらのことから、従来の研究で用いられてきた色勾配やMg₂勾配は銀河の形成を探る上で余り手助けにならないと結論できる。Hγ_σ指標は極めて高いS/N比を必要とするため、残念ながらM32以外の銀河には適用できない。しかし、前述のように銀河が輝線を持たない、かつ比較的高波長分解能のスペクトルを用いるならば、Hβでも比較的正确な年齢を求められるということを示したので、残りの銀河についてはHβ指標を用いた。その結果、殆どの銀河について、中心ほど若くなるような年齢の勾配を持つ事が分かった。これは銀河の星生成は外縁部では早く終わり、最終的には中心部で起こっている事を示すものである。また、金属量の勾配は、中心部ほど金属量が高いものの、それは散逸収縮説が予測するよりも緩く、平坦であった。フィールド・銀河団銀河とも、その質量に関わりなく、勾配にはばらつきがある事がわかった。この大きなばらつきは、銀河の衝突合体史が銀河によってまちまちである事を示している。古来提唱されてきた、大きなガス雲の散逸的収縮から星が爆発的に生成しその後は静的に進化するという散逸収縮説、ガスの多い銀河同士の単純な衝突合体説のどちらも、我々の年齢・金属量・それらの勾配の傾向を説明できるものではなく、楕円銀河の形成はもっと複雑なものであると推測される。近年の、低温暗黒物質が支配的な宇宙の中で、複雑な階層的合体収縮を繰り返す、という描像はある程度我々の本論文の結果と一致する。

本研究では乙女座銀河団14個、フィールド・銀河群13個の楕円銀河について、Hγ_σ法を用いて年齢と金属量を測定した。年齢と金属量の縮退を完全に解く事ができなかったため、或いはサンプルの選択が曖昧だったため従来の研究でははっきりしなかった、銀河団に於ける小さい銀河での大きな年齢の分散や[Z_{Mg}/Z_{Fe}]と速度分散の相関、フィールドに於ける大質量で若い銀河の存在などを、Hγ_σ法による精密な年齢・金属量測定によって明らかにした。これら年齢・金属量の傾向から、楕円銀河の星生成史・衝突合体史は個々の銀河に於いて多少の違いを持つが、基本的には質量の大きなもの程、銀河密度が高い所にあるもの程、早く星生成を終えると言える。