

論文内容の要旨

論文題目 The Stellar Populations in Nearby Field Elliptical Galaxies

(近傍フィールド楕円銀河の星の種族構成の解明)

氏名 中村 理

本論文はフィールドの楕円銀河の星の種族構成を解明し、楕円銀河の星生成史の描像を構築することを目的とする。また、そのために用いられる手法の精度を確立する。

楕円銀河の星がいつ、どのようにして形成されたのかについては主に二つの仮説が提唱されており、いまだに議論が分かれている。一つの仮説は宇宙の初期に巨大なガス雲がエネルギー散逸を伴う収縮をして爆発的星生成を行い、以降は受動的進化を行って現在にいたる (Larson 1974、他) というものである (散逸収縮説)。もう一つの仮説は、ガスを豊富に持った銀河同士が宇宙の初期から最近にいたるまで星生成を伴う衝突合体を繰り返して楕円銀河に成長したというものである。これはコールドダークマター (CDM) モデル (Kauffmann et al. 1993、他) に基づく階層的衝突過程に沿って理解される (階層的衝突説)。散逸収縮説が楕円銀河の星の種族は一様に古いことを予言するのに対して、階層的衝突説は楕円銀河の星の種族に広い年齢幅があることを予言するため、楕円銀河の星の種族の年齢を知ることが両仮説の是非を知る手がかりとなる。しかし、近年の階層的衝突説は、銀河団においては、その密度の高さにより宇宙の早い時期に活発な衝突がおきて大半の星が生成されることを予言するようになった (Kauffmann & Charlot 1998)。これは同説が、銀河団の楕円銀河は年齢差のあまりない古い星の種族によって構成されることを示唆しており、散逸収縮説の予言に非常に近づいている。実際この予言は、遠方から近傍までの銀河団の楕円銀河の持つ色と等級の関係を良く説明することができる。こうしたことから、銀河団の楕円銀河の星の種族によって両仮説の検証を行うことは難しくなっている。これに対し、階

層的衝突説の予言するフィールドの楕円銀河の星の種族は、質量の大きな銀河のものほど若いという傾向を持つ。これは同説では、フィールドの密度の低さのために衝突頻度が下がり、大きな楕円銀河に成長するためにはより最近まで衝突を行う必要があるためである。これは散逸収縮説の予言とは異なる特徴である。したがって、フィールドの楕円銀河の星の種族の年齢が、楕円銀河の形成史を解く鍵を握る。

しかし、従来、楕円銀河の星の種族の年齢を測定することは不可能であった。これは楕円銀河においては年齢をもたらす効果と金属量をもたらす効果とそのスペクトルにおいて縮退しているためである (Worthey 1994、他)。この縮退を破って初めて年齢の導出を可能にしたのが、楕円銀河のスペクトルに見られるバルマー吸収線を用いる手法である。これは比較的年齢に敏感であるバルマー吸収線を、吸収の強さを定量化したモデルを介して光度平均年齢に変換するもので、Worthey (1994) によって最初のモデルが開発されて以降、急速に広まっている。当時、使用されていたバルマー吸収線指数は単独で縮退を解くものではなく、別の金属吸収線指数と組み合わせることが必要であった。そのため、組み合わせられる吸収線の金属の存在比率が算出される年齢に大きな系統的誤差を与えていた。これに対し、Vazdekis & Arimoto (1999) と Vazdekis et al. (2000) は単独で縮退を解く指数定義を $H\gamma$ において Vazdekis (1999) のモデルをもとに開発した ($H\gamma_\sigma$ 指数)。これにより、他の金属吸収線に影響されない、絶対年齢の測定が初めて可能になったのである。本研究では、この指数を用いて楕円銀河の星の種族の絶対年齢を解明する。ところが、吸収線を用いた年齢算出法の信頼度に疑問を投げ掛ける問題が Gibson et al. (1999) により報告された。彼らはこの手法を用いて我々の銀河系の球状星団の一つである 47 Tuc の年齢を算出し、200 億年を大きく越えるという結果を得たのである。球状星団の年齢測定法のなかでは最も精度の高い転向点を用いた結果からは 100 億年から 140 億年程度の年齢が同星団に示唆されている。そのため、この大きな年齢の差はバルマー吸収線を用いた年齢測定法の欠陥によるものとして認識されたのである。我々はこの手法を応用する以前に、この問題を解決しておかねばならない。

この現状を踏まえ、本研究は以下の二つの取り組みを行った。一つ目の取り組みは、バルマー吸収線を用いた年齢測定法の精度の確立である。この目的のため、本研究では我々の銀河系にある球状星団を複数個分光観測し、47 Tuc に報告された問題が他の球状星団においても共通して見られるかを調べた。絶対年齢を解析するため、指数には $H\gamma_\sigma$ を用い、年齢への変換に Vazdekis のモデルを介した。その結果、得られた星団の年齢は、転向点より求められた年齢 (80 億年から 120 億年) と十分良く一致することを明らかにした (図 1)。この結果は $H\gamma_\sigma$ 指数と Vazdekis モデルの精度を保証するものである。いずれの星団においても Gibson et al. の報じたような極端に大きな年齢が見られなかったことから、彼らの報じた問題の原因は 47 Tuc 自身か、彼らの用いた指数にあることが強く示唆される。本研究はまた、 $H\delta$ においては CN 分子の吸収線が大きな不定性を与えることを確認した。 $H\beta$ では輝線の影響をより強く受けやすい (González 1993)。したがって、 $H\gamma_\sigma$ 指数の利用は絶対年齢を知るための唯一安全で強力な手法である。

次に、二つ目の取り組みとして、本研究は近傍フィールドの楕円銀河について、精度の保証された $H\gamma_\sigma$ 指数と Vazdekis のモデルを用いて、星の種族の絶対年齢を解析した。フィールドの楕円銀河の星の種族年齢については、Worthey のモデルを用いて $H\beta$ 吸収を調べた González (1993) 以外に観測的研究がなされていない。彼の結果は、フィールドの楕円銀河の年齢は 30 億年から 150 億年までという大きな幅を持つものであった。しかし、 $H\beta$ には輝線の影響が不定性を与える上、組み合わせる金属吸収線の系統的誤差によって相対的な年齢しか分からない。そこで本研究は、これらのフィールドの楕円銀河が実際に大きな年齢幅を持つものであるのか、 $H\gamma_\sigma$ 指数を利用した絶対年齢の測定によって明らかにし、それぞれの星の種族の他の特徴からフィールドの楕円銀河の星生成史の描像を構築することを試みた。対象とするフィールドの楕円銀河は González のサンプルの中から年齢の広がりによって 6 つを選びだし、それらの $H\gamma$ の分光データを処理し、 $H\gamma_\sigma$ 指数を求めて光度平均での絶対年齢を導いた。その結果、絶対年齢においてフィールドの楕円銀河には大きな年齢差があることを明らかにした (図 2)。楕円銀河の絶対年齢の測定は世界で初めてである。

年齢差の存在は、散逸収縮説を否定し、階層的衝突説に沿う。しかし、階層的衝突説が予想するような、大きな楕円銀河ほど若いという傾向は見られなかった。これは González の結果においても同様であり、階層的衝突説をも否定する。ここで本研究はマグネシウムと鉄の相対存在比に注目した。鉄とマグネシウムのそれぞれの吸収量からモデルを介してマグネシウムの鉄に対する存在比を算出すると、光度平均での種族年齢が古いほど高く、若いほど低い。これはマグネシウムを多く放出する II 型超新星と、鉄を多く放出する Ia 型超新星の影響の違いによるものと考えられる。II 型超新星が星生成とほぼ同時期から現れるのに対して、Ia 型超新星は星生成が起きてから 10 億年以上を経てから現れると考えられているため、この比の高い楕円銀河では星生成がたかだか 10 億年以内に終わったことを示し、逆にこの比の低い楕円銀河では星生成がより長い時間に渡って行われたことを示している。González のサンプルと合わせて見ると、この比の低い楕円銀河は少数であり、代表的な存在ではないことが示唆される。これらの事象は次のような描像を考えれば矛盾なく説明することが可能である。即ち、多くのフィールドの楕円銀河は宇宙の初期に形成されて以後、受動的な進化をたどったが、一部は最近に質量のたかだか 10 % 程度が二次的な星生成を行った、というものである。なぜならば、後から生まれた二次的な種族は Ia 型超新星の影響を受けているためにマグネシウムの鉄に対する比が低くなるはずであり、こうした若い星の種族は古い種族に比べて圧倒的に明るいために、ごくわずかにでもそうした種族が含まれていれば観測される光度平均年齢を支配するからである。

以上、本研究は $H\gamma_\sigma$ 指数を用いた絶対年齢の測定法の精度を確立し、これを用いて初めて楕円銀河の絶対年齢をフィールドのものについて求めた。そして、フィールドの楕円銀河の星生成史として、多くの楕円銀河は宇宙の初期に星生成を終え、ごく一部の楕円銀河は二次的に少量の質量の星生成を行った、という描像を得た。

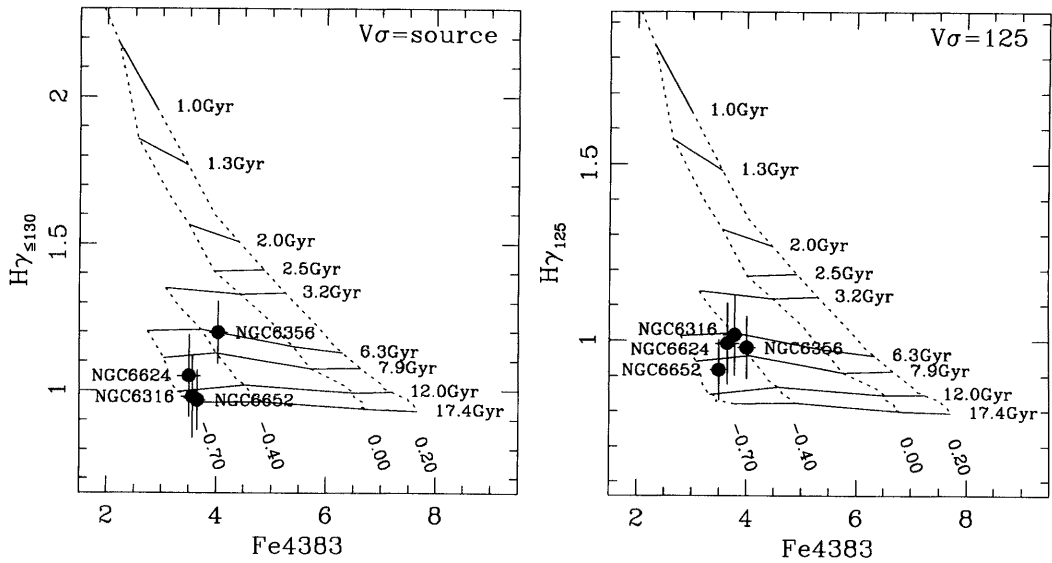


図 1: 測定された球状星団の年齢。 $H\gamma_{\sigma}$ 指数のうち、 $H\gamma_{\leq 130}$ を左図に、 $H\gamma_{125}$ を右図に示す。横軸はともに $Fe4383$ である。実線と点線はそれぞれモデルの年齢が一定の線、 $[Fe/H]$ が一定の線を表す。黒丸が観測した球状星団である。測定を行った際のスペクトルの速度分散は、左図が観測時のもの (60 km/s)、右図が 125 km/s のものである。

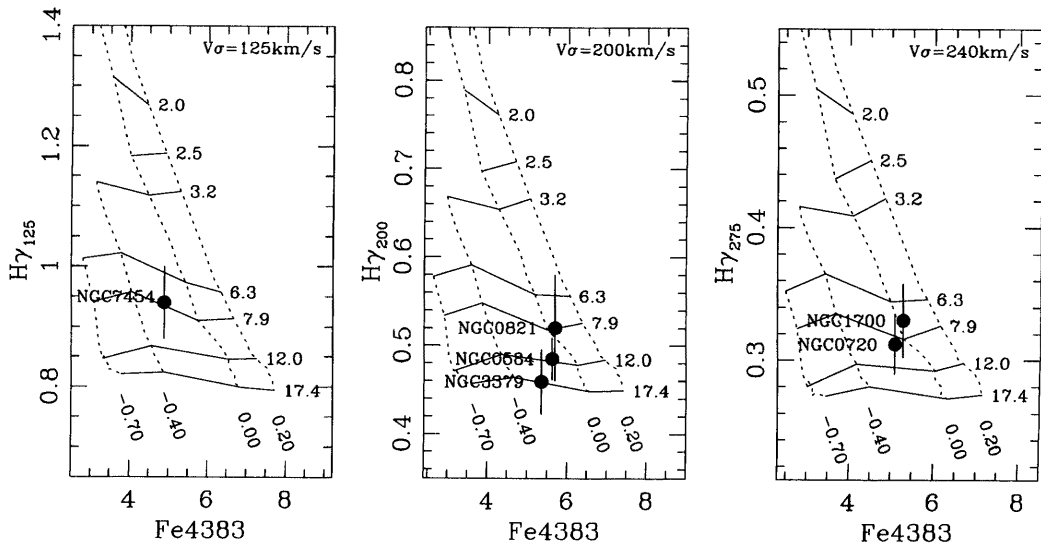


図 2: 測定されたフィールドの楕円銀河の年齢。 $H\gamma_{\sigma}$ 指数のうち、左から順に、 $H\gamma_{125}$ 、 $H\gamma_{200}$ 、 $H\gamma_{275}$ を示す。これらは銀河の速度分散にしたがって使い分けられる。黒丸が観測した楕円銀河である。モデルは図 1 に同じ。