

セファイド変光星で探る銀河系バルジの 星形成と進化



松 永 典 之

〈東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター木曾観測所 〒397-0101 長野県木曾郡木曾町三岳 10762-30〉
e-mail: matsunaga@ioa.s.u-tokyo.ac.jp

われわれは、8年間にわたる近赤外線反復観測の結果、世界で初めて銀河系中心領域に古典的セファイド変光星（3個）を発見することに成功した。いずれの星も約20日の周期をもち、恒星進化のモデルから2-3千万年という年齢が推定できる。一方、それよりも古い3-7千万年前に生まれたセファイド変光星は見つからず、今から2-3千万年前に突如星形成が活発となる「ベビーブーム」の起こったことが示唆される。今回の発見は、銀河の中心で起こる星形成に新たな視点で迫ると同時に、なぜ星形成のペースが変化するのか、星の材料となるガスがどのように銀河系中心に供給されるのか、など多くの謎を投げかけるものである。

1. はじめに

セファイド変光星（以下、単にセファイドと呼ぶ）がきれいな周期光度関係を示すという研究結果が発表されたのは、今からちょうど100年前の1912年のことである¹⁾。この関係は、それらの変光星や銀河までの距離の推定を可能にする画期的なもので、エドウィン・ハッブルが宇宙膨張を発見した際にも使われたことで有名である。その後、今日に至るまで宇宙における距離指標の重要な1ステップとして利用され続けている。

セファイドの特長は距離がわかるという点にとどまらず、周期からその星の年齢を推定することもできる。そもそもセファイドは、太陽の約4-12倍程度の質量をもつ星が進化した姿である。それらの星は、中心核で水素ではなくヘリウムが核融合を起こす進化段階の前後約10万年という短い期間にセファイドとなる。重い星ほど明るいセファイドになり、星の進化も重い星ほど短い時間で進む。よって、若いセファイドほど明るく、周期光度関係からは周期の長いことがわかる。た

とえば、周期3日のセファイドは約1億年、周期20日のセファイドは約2,500万年の年齢をもつ²⁾。したがって、セファイドを見つければ、数千万年前に星が生まれていたかどうかという情報が得られる。

さて、距離がわかったり年齢がわかったりと便利な天体であるが、銀河系にあるセファイドの多くはいまだに発見されていない。図1は、銀河系の想像図に、これまでに発見されていたセファイド³⁾の位置を重ねたものである。既知の天体は太陽系の近傍か銀河系の外側に多く分布していて、銀河系円盤の多くの領域ではまだセファイドが見つからない。この主な原因は円盤領域の強い星間減光である。星の光をさえぎる暗黒星雲のため、可視光では円盤領域の星を十分に見ることができない。ところが、過去のセファイド探査のほぼ全ては可視光で行われていた。本稿では、銀河系の中で最も星間減光の強い領域の一つである銀河系中心領域でセファイドを見つけたという研究成果⁴⁾を紹介する。

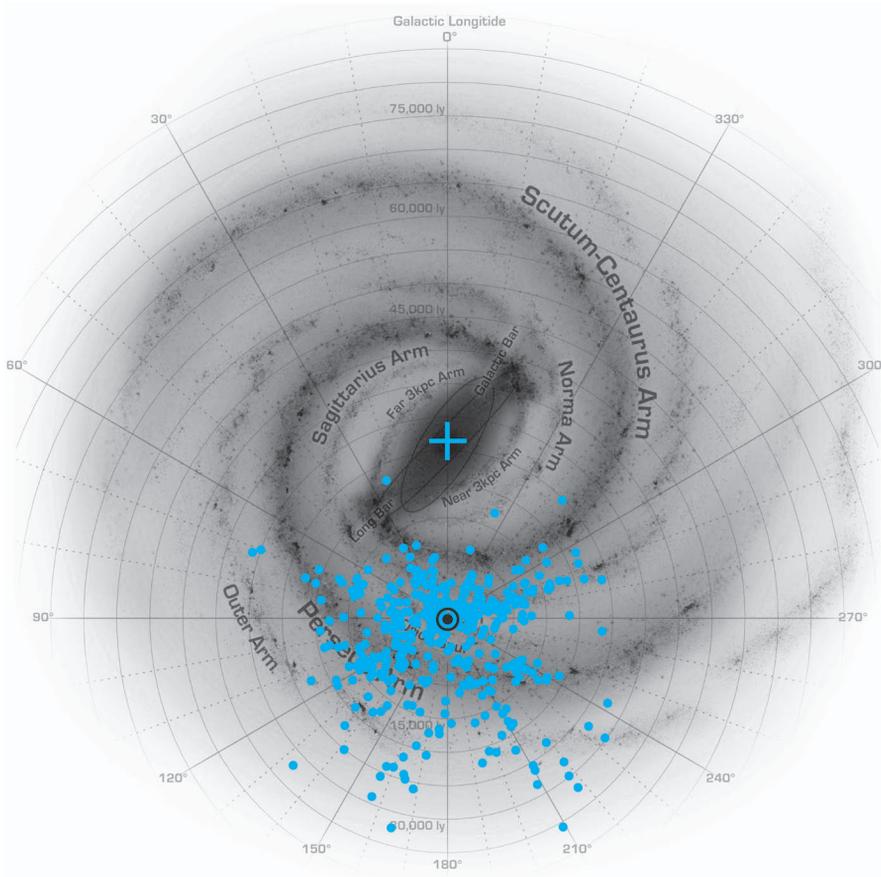


図1 これまで銀河系に見つかっていた古典的セフィド変光星の分布。中央の青い+印が銀河系中心であるが、太陽(●印)に比較的近いところではセフィド変光星が見つかっていなかった。背景は銀河系円盤を上から見た想像図である (Credit: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC-Caltech))。セフィド変光星の分布は、カナダ・デービッドダンラップ天文台のセフィド変光星カタログ³⁾からとった。

2. 研究の目的

銀河系中心の進化について

銀河系は数千億個の星が集まった銀河だが、銀河系中心は其中でも最も星が密集している場所である。また、超大質量ブラックホールや大量のガス、強い磁場なども存在し、天文学上のさまざまな関心を集めている⁵⁾。また、われわれから最も近いところにある銀河の中心であり、一つひとつの星を測光したり分光したりと、詳細な観測が可能である。最近では、地球の3倍の質量をもつガス雲がブラックホールに向かって落ちつつある

という驚くべき報告もなされた⁶⁾。われわれの目標の一つは、このような場所で過去にどのように星が作られたのかを探ることである。

銀河系のバルジにある星の大部分は100億歳程度の古い星であるが⁷⁾、中心の半径数百光年の領域にはそれよりずっと若い星も存在する^{8),9)}。特に、アーチズ、クインタレットと呼ばれる星団は有名で、数十太陽質量をもつ大質量星が多く存在することから数百万年前に生まれたことがわかっている¹⁰⁾。ところが、数千万年前に生まれた星はこれまでに同定されていなかった。それより若い星と比べると特徴も少なく、通常の星を見

ても年齢を見積もるのが難しいためである。赤色超巨星・赤色巨星の明るいものの中には数千万年前に生まれた星があるかもしれないと考えられているが¹¹⁾、質量放出などの複雑な現象を起こす星であるために理論的な進化モデルの不定性が大きい¹²⁾。ここで、周期から年齢を推定できるというセファイドの特長が役に立つ。銀河系中心でセファイドを見つけることができれば、数千万年前にどのように星形成が起こっていたのかを調べることができるはずだ。

新たな赤外線観測の必要性

銀河系中心は、銀河円盤の中でも特に強い星間減光（Vバンドで30等以上）を受けている領域である。そのため、そこにある星を見るためには赤外線での観測が必要となる。Kバンド（約2 μm ）であれば、星間減光は3等程度となって、十分観測が行える。実際、銀河系中心にある星の赤外線観測は盛んに行われていて、Keck望遠鏡、VLT望遠鏡によって銀河系中心のブラックホールの周りを高速で楕円運動している星がとらえられたのは記憶に新しい¹³⁾。それらの研究は、銀河系中心を10年以上にわたって観測し続けたものであるから、そこに変光星があればすでに見つかっているはずである。ところが、補償光学を用いて非常に高い角分解能で観測した代償として、彼らが観測している領域は数十秒角程度（25,000光年先では差し渡し約5光年に相当）の狭いもので、その中にセファイドは見つかっていない¹⁴⁾。

一方、24分角四方という広い領域に対する変光星探査が、南アフリカ天文台のイアン・グラス氏らによって行われた¹⁵⁾。彼らは、三菱電機（株）製のPtSi赤外線アレイ検出器を使ったPANICというカメラ^{*1}で1994年から1997年に

かけて銀河系中心領域を観測し、400個以上のミラ型変光星を発見した。しかし、限界等級がKバンドで10-11等級と浅かったためか、セファイドは見つからなかった。

3. 観 測

われわれが観測に用いたのは、佐藤修二氏率いる名古屋大学と国立天文台のチームが開発・設置したIRSF望遠鏡とSIRIUS近赤外線カメラ¹⁷⁾である。場所は、PANICカメラが観測を行ったのと同じ南アフリカ天文台サザーランド観測所である。SIRIUSカメラは、3個のHAWAII赤外線アレイ検出器を並べて、Jバンド（1.25 μm ）、Hバンド（1.63 μm ）、Ksバンド（2.14 μm ）での撮像を同時に行える。視野は7.7分角四方で、銀河系中心の広い領域での探査を行うのにうってつけの観測装置といえる。実際、銀河系中心の周囲数平方度をIRSF/SIRIUSでサーベイしたデータを用いて、バルジの構造¹⁸⁾や銀河系中心までの距離¹⁹⁾をレッドクランプ星で調べるといふ研究が西山正吾氏らによって行われた。IRSF/SIRIUSについては、2005年に天文月報（第98巻3,4月号）で特集が組まれているのでそちらも合わせてご覧いただきたい。

われわれが銀河系中心の変光星を探すために観測した領域は、IRSF/SIRIUSの12視野分に相当する20分角×30分角（図2）で、PANICカメラで行われたミラ型変光星探査の領域とおおよそ重なる。この研究計画を当初中心となって進めたのは、当時京都大学の大学院生だった河津飛宏氏である。この研究で使われたデータの多くは、2005年と2006年に河津氏が南アフリカに滞在して集めたものである^{*2}。その後、筆者や他の共

^{*1} PANICカメラが南アフリカ天文台で動き出したいきさつについては、中田好一氏のパニック“PANIC”顛末記¹⁶⁾に詳しい。南アフリカで日本人天文学者グループが赤外線観測装置で観測を始めた様子を生き活きと伝えてくれるので、興味のある方には一読を薦めたい。

^{*2} 河津氏は、その後データ解析を行って見つかったセファイドの候補天体を修士論文²⁰⁾にまとめ、現在はNECに勤務されている。

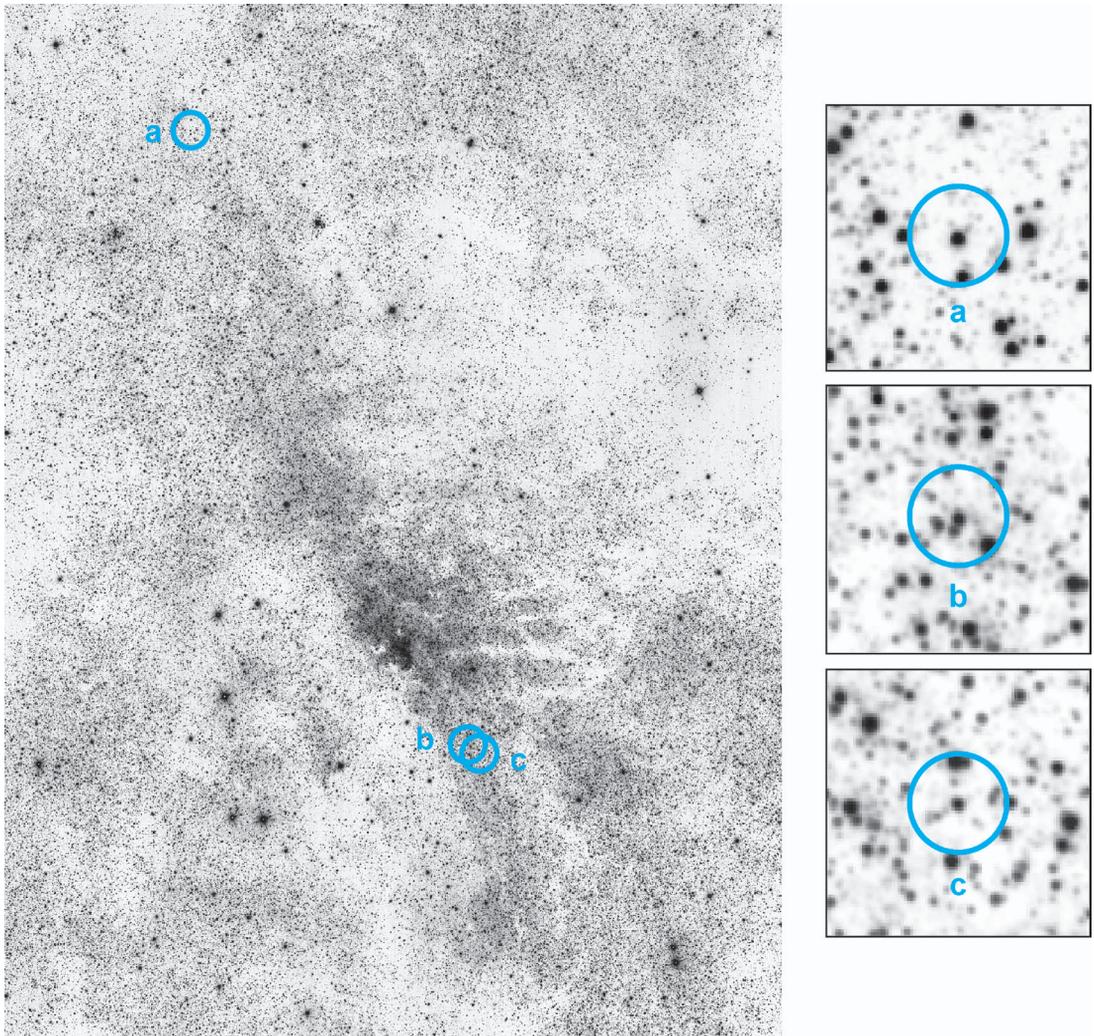


図2 IRSF望遠鏡で変光星探査を行った銀河系中心領域（20分角×30分角）と、その中に発見した3個の古典的セファイド変光星.

同研究者によって継続的なデータ収集が行われた。また、観測装置の設置当時から銀河系中心領域に興味をもたれていた長田哲也氏やグラス氏らによって2005年以前にも何回か銀河系中心領域を観測したデータがあり、それらも合わせて解析に用いた。結局、2001–2008年の間に約90回の反復観測データが集められた。限界等級は、Jバンドで16.4等級、Hバンドで14.5等級、Ksバンドで13.1等級であった。これは、PANICカメラでの探査よりもKsバンドで2等級程度深い。

4. セファイドの発見

セファイド候補天体

さて、十分良いデータが集まったら、あとは解析を頑張るだけだ。銀河系中心のように星が混んだ場所の測光はなかなかたいへんなのであるが、そこは何とかこなし、観測領域中に検出された約8万個の星の中から変光星を選び出していった。測光処理については、河津氏と筆者が独立に行い、変光星の選定条件の細かな違いを除いては

両者の結果は一致していた。

周期60日以下の変光星に注目すると、検出した変光星の数は45個であった。あるものは脈動変光星らしい変光の様子を示しているし、またあるものは明らかに食連星の変光曲線をもつ。あとは、一つひとつ分類をしてやればよいのだが、これはそう簡単なことではなかった。この時点ではまだセファイド「候補」天体である。

変光星分類の悩ましい問題

セファイドには大きく分けて二つのグループが存在する。一つは、これまでの話が登場していたもので、古典的セファイドと呼ばれる。もう一つのグループは、II型セファイドと呼ばれ、100億年程度という高齢の星が進化した変光星である。後者は、太陽と同じくらいの質量をもつ星が進化した姿で、古典的セファイドよりも全体的に暗いがやはり周期光度関係を示す²¹⁾。同じ周期で比べると1.5-2等ほど暗いので、距離さえわかれば簡単に2種類のセファイドの区別がつかうのだが、距離がわかっていないセファイドが見つかったときにその区別を行うのは容易ではない。銀河系中心方向で見つけたセファイド候補天体が、二つのグループのうちのどちらであるかという区別は、なかなかの曲者であった。河津氏が修士論文をまとめるにあたってこの区別が問題となり、筆者もいろいろと相談されたのだが、うまい判定法にたどりつくことができなかった。

2種類のセファイドは、どちらもセファイド脈動不安定帯と呼ばれる温度領域に入っているので、単に星のカラーなどを見るだけでは区別することができない。もっとも信頼できる方法は、そのセファイドがどれだけ銀河面から離れた場所にあるかを見ることであった²²⁾。しかし、古典的セファイドが銀河面から離れた場所がない（あるいは少ない）という理由はあっても^{*3}、II型セ

ファイドが銀河面領域にないという理由はない。一部の文献では、II型セファイドは水素原子の輝線（バルマー系列）が見えると報告されているが、どうもすべての星で見えるわけではないようだ²³⁾、いつも見るとは限らないので観測的に調べてみるのもたいへんである。また、2種類のセファイドが示す変光曲線の形が異なっているという報告²⁴⁾もあったが、それらは可視光での観測結果であり、手元にある近赤外線の変光曲線とはだいぶ形が異なるように見える。

寄り道？

2007年に河津氏からデータを引き継ぎ、いろいろと解析を行っていた筆者であるが、どのように分類を行えばよいのか結論の出ないまま時間が過ぎてしまった。同じデータからミラ型変光星を検出し、論文²⁵⁾にまとめるだけ時間もたっぷり経過した。ミラ型変光星については、PANICカメラによるカタログにないものも数多く発見した。さらに、KバンドだけでなくJバンド・Hバンドのデータも使うことで各ミラ型変光星の受ける星間減光を見積もることができた。それを補正して距離を得た146個のミラ型変光星のほとんどは銀河系中心の周囲（バルジ領域）にあり、その平均距離は27,000光年であった。銀河系中心のブラックホールの周囲にある星の公転運動から導き出された距離²⁶⁾とも一致した。

さて、ミラ型変光星の論文も出版し、いよいよセファイドについて成果をまとめていかななくてはならない。実は、筆者がまごまごしている間に、変光星研究に関してブレイクスルーがあった。ポーランド・ワルシャワ大学が中心となって行っているマイクロ重力レンズ探査（OGLE=Optical Gravitational Lensing Experiment）によって、大小マゼラン銀河にある多くの種類の変光星が発見され、しかも10年以上にわたる長期間の観測

*3 古典的セファイドは数千万年の年齢をもつ若い星なので、ほとんどが銀河系円盤領域（銀河面から500光年程度まで）に存在するのに対し、II型セファイドはそれより離れた位置にも多く存在する。

に基づく非常にきれいなデータが利用できるようになったのである²⁷⁾。古典的セファイド、II型セファイド、ミラ型変光星、RRライリ型変光星などのカタログが公表され、それらの性質を均一なデータで比較することが可能になった。同じ種類の変光星でも周期によって変光曲線の形が変わるのだが、その傾向が2種類のセファイドで異なることがはっきりと示された。さらに、OGLEによって得られたデータは可視光の中でも波長の長いIバンド(0.8 μm)のものであって、近赤外線での変光曲線とも形が似てきている。これについては、少数ながら出版されている近赤外線でのセファイドの変光曲線²⁸⁾を調べてみて、一番波長の短いJバンドでは、Iバンドのおおよそ同じ傾向となることが確かめられた。これによって、変光曲線の形を調べれば、2種類のセファイドを区別できるという自信がついてきた。

セファイド変光星、発見!

そこで、解析で得られていた変光曲線から変光星の分類を行った。ただし、一部の周期範囲では2種類のセファイドの変光曲線が区別しにくくなってしまっているので、距離と星間減光による制限も考慮に入れた。すなわち、古典的セファイドと仮定した場合とII型セファイドと仮定した場合では推測される距離が大きく異なる(距離指数にして1.5-2等)。一方、2種類のセファイドは同じような色をもつので星間減光の推定値はそれほど変わらない。そこで、ある強さの星間減光を受けるセファイドがどれくらい遠くにあるはずかを考えて、分類をチェックすることができる。

結局、45個の短周期変光星のうち、古典的セファイドと分類されたのは3個であった。そして、それらの距離(約25,000光年)はいずれも誤差の範囲で銀河系中心の距離と一致した。ほかには、II型セファイドが17個、食連星が23個、1個はもっと周期の短いRRライリ型変光星かδスクーティ型変光星であった。残る一つは周期が約2日の脈動変光星であるのだが、その種類を判

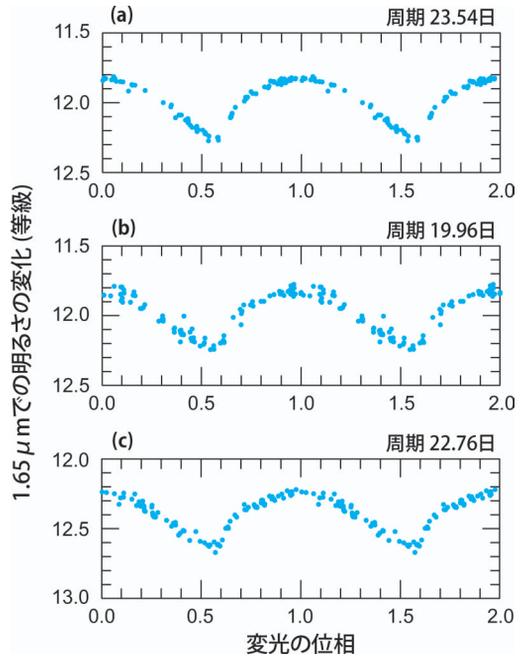


図3 銀河系中心領域に発見した三つのセファイド変光星のライトカーブ。それぞれの変光星の周期で折りたたんだ変光を2周期分プロットした。

定することはできなかった。ただし、その色と明るさなどから銀河系中心にある古典的セファイドでないことはわかった。ということで、今回の探査では銀河系中心領域に3個の古典的セファイドを発見することに成功した。図3にそれらの変光曲線を示す。

5. 星形成史への示唆

驚きの結果

さて、めでたく発見された3個の古典的セファイドは、どんなことを教えてくれるであろうか。すでに述べたとおり、周期光度関係から見積もった距離から、銀河系中心付近にあることがわかる。また、図3の変光曲線を見ると、三つが互いによく似ていることがわかる。それもそのはず、どのセファイドも約20日の周期をもっている。これはたいへんな驚きであった。一般的に系外銀河や広い領域を探したときに見つかるセファイド

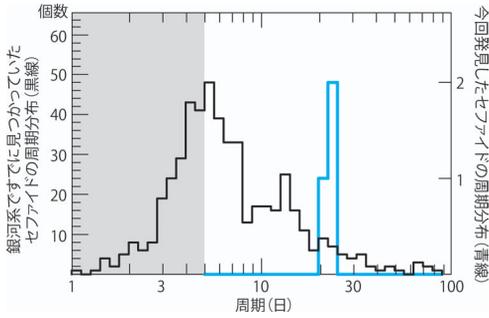


図4 セファイド変光星の周期分布. 過去に銀河系中で見つけていたセファイド変光星³⁾(黒色)は広い範囲の周期をもつが、銀河系中心領域で見つかった3個のセファイド変光星(青色)は周期20日のところに集中している. なお、短周期側の灰色部分は、セファイド変光星が暗くなってしまうので今回の探査では調べることができなかった範囲である.

の周期はいろいろな周期をもっているものだし、20日という長めの周期をもつセファイドは比較的少ない. 図4は、これまでに銀河系で見つけている約500個³⁾のセファイドの周期分布(黒色)と、周期約20日の3個の分布(青色)を比較したものである. これまでに見つけているセファイドでは周期5日くらいのが最も多くなっているのに対して、今回発見したセファイドの周期は20日のところに集中していることがわかる.

星のベビーブーム

すでに紹介したように、セファイドの周期はその星の年齢と関係している. 20日くらいの周期をもつセファイドは、2-3千万年前に生まれた星であることがわかる²⁾. 銀河系のバルジの中で、若い星は銀河系中心の周囲約数百光年という比較的狭い範囲に集中している. したがって、セファイドもその領域で生まれたと考えられる. これまで、年齢の確認されていた若い星は数百万歳のものばかりだったので、数千万年前に生まれた天体を初めて同定できたことになる. ある星がセファイドとして変光を起こすのは、星の一生の中では一瞬といえるくらい短い期間(10万年程度)で

ある. そのため、2-3千万年前には多くの星が生まれていて、その中で質量が8-10太陽質量であり、さらに運よく現在セファイドの状態にある星が3個観測されたと考えるのが妥当である. 初期質量関数や進化のタイムスケールを考えると、2-3千万年前の間に生まれた星が10万個あれば、3個のセファイド変光星を説明できることがわかった. 今回は銀河系中心領域の一部しか観測できなかったのを考えると、数百光年の大きさをもつ領域全体では、平均して10年に1個の割合で星が生まれていたという計算結果が得られた. この値は、これまで行われた見積もり⁹⁾ともおおよそ一致している.

一方、今回の観測で見つからなかった周期の短いセファイドは、もし見つかっていれば3-7千万年に生まれた星の存在を示すはずであった. このため、その時期に生まれた星の個数は少なかったものと考えられる. 短周期のセファイドの初期質量などを考えて同様の見積もりを行うと、星の作られるペースが2-3千万年前に比べて4分の1以下であったという結果が得られた. したがって、銀河系中心領域では星が生まれやすい時期と生まれにくい時期があるということがわかる. すなわち、2-3千万年前に星の「ベビーブーム」が起こっていたと言える.

6. 銀河の進化についての議論

セファイドの観測によって示唆された星のベビーブームは何を意味するのであろうか. 言うまでもないことであるが、星はガスから作られる. 電波の観測によれば、銀河系中心領域には数千万太陽質量のガスが存在している. 上で求めたような星形成を繰り返すとすると、そこにあるガスをすべて星形成に利用できるとしても数億年でガスを使い尽すことになる. さらに、超新星爆発などが周囲のガスを吹き飛ばして、実際には一部のガスしか星形成に使われない可能性もある. したがって、今回見つけたようなベビーブーム1回分

ならばともかく、それを何回も繰り返すためには、銀河系中心領域へガスが繰り返し供給される必要がある。ベビーブームの起こる理由を考えることは、銀河の中でどのようにガスが循環し、どのように星を作っているかという進化を探ることにほかならない。

さて、銀河の進化を調べると、「スターバースト」あるいは「爆発的星形成」と呼ばれる現象が見つかることも多い。たとえば、アンテナ銀河と呼ばれるNGC4038/39は、二つの銀河が衝突した結果として大規模な星形成（毎年数太陽質量の割合）が起こっていることで有名である。また、サブミリ波での遠方銀河の探査が国立天文台のASTE望遠鏡などで盛んに行われ、毎年数百～数千太陽質量という非常に活発な星形成を起こしている銀河が多く見つかった^{29),30)}。これらの天体では、2個またはそれより多くの銀河が衝突をして、大量のガスがかき集められることで星形成が活発になる。このようなプロセスは、宇宙の初期から銀河の形成に重要な役割を果たしてきたと考えられている。

それでは、それらの星形成と比べて、銀河系中心でのベビーブームはどのような特徴をもつであろうか。ある時期にガスの密度が高くなることで星形成が活発化するのと同じだと考えられるが、星形成率はアンテナ銀河と比べて数十分の1以下の小さいものである。さらに、銀河系は比較的孤立した銀河である。近傍には有名な大小マゼラン銀河があり、もっと近いところには「いて座矮小銀河」が発見されている。最近の研究では、これらの近傍銀河（さらにそれを取り巻く暗黒物質）が銀河系の構造に影響を与えていることが指摘されている^{31),32)}。しかし、100億太陽質量という重いバルジの中にあるガスや星が周囲にある矮小銀河から受ける影響は小さいと考えてよいだろう。アンテナ銀河やサブミリ波銀河で起こっているのとは異なる銀河の進化のプロセスがそこで起きているはずだ。

一つのありえそうなシナリオは、バルジの非対称性（あるいは棒状構造）によって銀河系円盤からガスが落ちていくことで、星形成の材料が供給されるというものである。観測でも数値計算でも、そのようなガスの運動が見えている^{33),34)}。ベビーブームがあるということは、銀河系中心へ供給されるガスの量が増えることを示唆している。実際、そのようなガスの密度と星形成率の変化が約2,000千万年おきに銀河系中心領域で起こっているかもしれないという理論的な指摘もある³⁵⁾。本研究の結果では、数千万年という年齢をもつセファイドの分布によって、このような変化を観測的に支持することができた。一方、数値的手法の発展を活かして、銀河系中心領域からバルジ、さらに銀河系円盤におけるガスの循環と星形成を探るシミュレーション計算も盛んに行われている^{36),37)}。比較的孤立した銀河の進化として、これらの研究結果から一貫性のあるシナリオを作り上げることができるかどうか、今後の研究が待たれる。

7. 最後 に

本研究では、銀河系中心領域に3個の古典的セファイド変光星を発見することができた。その領域で見つかった初めてのセファイドであると同時に、数千万年前に生まれたことを確認できた初めての星でもある。今後、すばる望遠鏡などを用いて、それらの星の化学組成を探ることで、銀河系の中心部でどのようなガスが使われて星形成が起きたのかという疑問に対して、さらにヒントが得られるものと期待している。

また、図1に示したとおり、銀河系の中にはまだ見つからないセファイドが数多く存在するはずである。東京大学の木曾観測所では、4平方度の視野をもつKiso Wide-Field Camera (KWFC)というモザイクCCDカメラの開発が行われ、筆者もこれに参加している。共同利用観測装置としての本格的な稼働も2012年4月に始まったとこ

ろである。KWFCを用い、銀河系円盤の数百平方度の領域で変光星を探索する大規模プログラム³⁸⁾もスタートした。今後も、セファイドやその他の変光星を利用して、銀河系を探る研究を進めていきたいと考えている。

謝 辞

本稿は、東京大学、京都大学、国立天文台、名古屋大学、イタリア・ローマ大学と南アフリカ・ケープタウン大学の研究者で行った共同研究⁴⁾に基づく。これまで研究を行ったことのなかった星形成や銀河の進化などのテーマ視点を広げるアドバイスを与えてくれた東京大学天文学教育研究センターの小林尚人氏をはじめとして、共同研究者の方々にこの場を借りてお礼申し上げたい。

また、本研究に必要な不可欠であった長期間の観測データが集められたのは、IRSF望遠鏡を支える関係者の努力に負うところが大きい。特に、SIRIUSカメラ開発者の一人で、現在もIRSF/SIRIUSの運用の中心的な役割を担う永山貴宏氏は、365日24時間体制で（つまりトラブルがあればいつでも）南アからのメールや国際電話に対応して、観測を支えている。長年にわたるその功績に心から敬意を表したい。

参考文献

- 1) Leavitt H. S., Pickering E. C., 1912, Harvard College Observatory Circ. 173, 1
- 2) Bono G., et al., 2005, ApJ 621, 966
- 3) Fernie J. D., et al., 1995, Inform. Bull. Variable Stars 4148, 1
- 4) Matsunaga N., et al., 2011, Nature 477, 188
- 5) Genzel R., et al., 2010, Rev. Mod. Phys. 82, 3121
- 6) Gillessen S., et al., 2011, Nature 481, 51
- 7) Zoccali M., et al., 2003, A&A 399, 931
- 8) Serabyn E., Morris M., 1996, Nature 382, 602
- 9) Yusef-Zadeh F., et al., 2009, ApJ 702, 178
- 10) Figer D.F., et al., 1999, ApJ 525, 750
- 11) van Loon J. Th., et al., 2003, MNRAS 338, 857
- 12) Gallart C., et al., 2005, ARA&A 43, 387

- 13) Schödel R., et al., 2003, Nature 419, 694
- 14) Rafelski M., et al., 2007, ApJ 659, 1241
- 15) Glass I. S., et al., 2001, MNRAS 321, 77
- 16) 中田好一, 1996, 天文月報 89, 111
- 17) 永山貴宏, 2004, 博士論文(名古屋大学)
- 18) Nishiyama S., et al., 2005, ApJ 621, L105
- 19) Nishiyama S., et al., 2006, ApJ 647, 1093
- 20) 河津飛宏, 2007, 修士論文(京都大学)
- 21) 松永典之, 2010, 天文月報 103, 124
- 22) Harris H. C., 1985, AJ 90, 756
- 23) Harris H. C., Wallerstein G., 1984, AJ 89, 379
- 24) Fernie J. D., Ehlers P., 1999, AJ 117, 1563
- 25) Matsunaga N., et al., 2009, MNRAS 399, 1709
- 26) Gillessen S., et al., 2009, ApJ 692, 1075
- 27) Soszyński I., et al., 2008, Acta Astronomica 58, 293
- 28) Laney C. D., Stobie R. S., 1993, MNRAS 260, 408
- 29) Tamura Y., et al., 2009, Nature 459, 61
- 30) Hatsukade B., et al., 2011, MNRAS 411, 102
- 31) Weinberg M. D., Blitz L., 2006, ApJ 641, L33
- 32) Purcell C. W., et al., 2011, Nature 477, 301
- 33) Binney J., et al., 1991, MNRAS 252, 210
- 34) Kim S. S., et al., 2011, ApJ 735, L11
- 35) Stark A. A., et al., 2004, ApJ 614, L41
- 36) Baba J., et al., 2010, PASJ 62, 1413
- 37) Wada K., et al., 2011, ApJ 735, 1
- 38) 板 由房, 他(編集), 2012, 研究会集録「日本の新たな広視野カメラを用いた銀河系探索の展望」

Star Formation and Evolution of the Galactic Nuclear Bulge Revealed with Cepheid Variable Stars

Noriyuki MATSUNAGA

Kiso Observatory, Institute of Astronomy, School of Science, The University of Tokyo, 10762-30 Mitake, Kiso-machi, Kiso-gun, Nagano 397-0101, Japan

Abstract: After the eight year monitoring survey using the IRSF/SIRIUS, we discovered three classical Cepheid variable stars around the Galactic Center. Based on the relation between the pulsation period and age, all of them are ~25 Myr old. On the other hand, we found none whose age falls between 30 and 70 Myr old. This indicates the variation in star formation rate around the Galactic Center. We discuss its impact on the evolution of the Galaxy.