

銀河系の中心核円盤と中心核星団

西山正吾

〈宮城教育大学 〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 149〉

e-mail: shogo-n@staff.miyakyo-u.ac.jp

銀河系の中心には、バルジとよばれる構造があります。近年の研究ではその中に、中心核円盤、中心核星団といった複数の構造が重なり、またさらに中心には巨大ブラックホールも存在することがわかってきました。本稿では銀河系中心領域、特に中心核円盤と中心核星団の、近年の研究結果を紹介します。これらの構造の成り立ちを理解することで、銀河系の形成や成長、その過程で生じた天体同士の合体などの歴史を明らかにすることができそうです。本稿の後半では、日本の将来計画である ULTIMATE-Subaru 計画や JASMINE 衛星を用いた、中心核星団や中心核円盤の観測計画を紹介します。

1. 銀河系中心領域の構造

銀河系はどのような構造をしているのでしょうか。天文学の本には、銀河系円盤、中心のバルジ、それらを取り囲むハロー、と大きく3つの構造があると書かれています。この稿では、銀河系のバルジの、より中心に隠されている構造を紹介します。

銀河系のバルジは、直径数千パーセクの構造です。望遠鏡と観測装置、特に赤外線観測が進んだことにより、私たちの目には黒い帯としかみえないバルジの中心に、様々な構造が発見されました。そのような構造に関する近年の研究成果について述べ、より深く理解するための観測計画を紹介します。

まず銀河系の中心、数100パーセクの領域の構造を見てみましょう。図1の上図は、南アフリカにある1.4 m望遠鏡IRSFと近赤外線カメラSIRIUSによって得られた、星の個数密度分布です。銀河系の中心の約1000パーセクの範囲が示されています。バルジはこの外側に広がっています。

この図を見ると、半径200パーセクくらいの円

盤状の構造があることがわかります。この構造は、銀河系の「中心核円盤」と呼ばれています。さらに中心には、急激な個数密度の上昇があります。「中心核星団」とよばれる星の集団です(図1下)。さらにその中心には、巨大ブラックホールである「いて座Aスター (Sgr A*)」があります。

1.1 中心核円盤

中心核円盤は、中心核バルジとよばれることもあります。また中心核円盤は、電波で観測される中心分子雲帯 (central molecular zone, CMZ) とほぼ同じ大きさであり、この場所に星とガスが共存していることもわかっています。

中心核円盤/CMZの物理状態は、銀河系の他の領域と比べて高いガス密度、高い温度、高い圧力、強い磁場などで特徴づけられます。そして興味深いことに、この領域の星間物質の特徴は、赤方偏移が2-3の銀河にある分子雲の性質とよく似ていると言われています(図2)。つまり銀河系の中心核円盤/CMZで起きている星形成を調べると、赤方偏移が2-3の銀河で起きている星形成の理解につながる可能性があります。さらに赤方偏移2-3という時代は、宇宙全体の星形成のピー

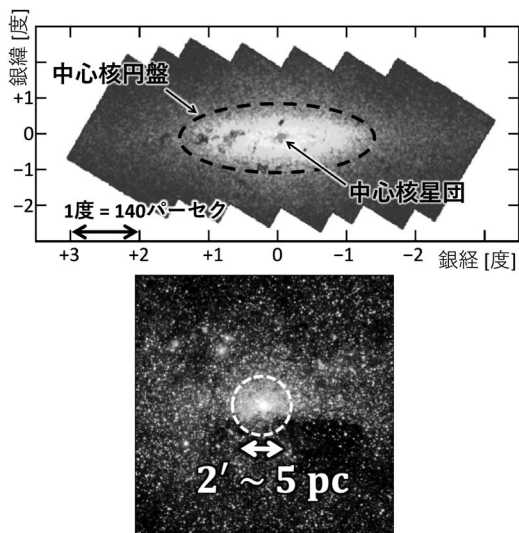


図1. (上図) 銀河系の中心領域の構造. 図の濃淡は、IRSF/SIRIUSで得られた星の個数密度分布をあらかず. 中心に行くほど、密度は高くなる. 中心の高密度領域に、中心核星団がある. その周囲に、円盤状の中心核円盤がある. (下図) スピッツァー望遠鏡で得られた中心核星団の中間赤外線画像 (4.5 μm). [1] より一部改変.

クでもあります. このように銀河系の中心核円盤を詳しく研究することで、昔の宇宙の星形成や銀河の進化の様子を理解できる可能性があります.

1.2 中心核星団

中心核星団も興味深い研究対象です. 銀河系の中心核星団は、有効半径が約5パーセク、質量は太陽質量の約3,000万倍、ほぼ球形の構造をしています. その後、他の銀河の中心にも中心核星団が発見されました. 今では中心核星団は巨大ブラックホールのように、普遍的な存在であることがわかっています. なぜ中心核星団が興味深い天体なのか. それを説明する前に、巨大ブラックホールと銀河の関係を説明します.

巨大ブラックホールの質量と銀河の楕円成分の性質との間に相関関係がある、ということが知られています. これは巨大ブラックホールという非常に小さな天体と、巨大ブラックホールと比べてずっと大きな銀河の形成や成長との間に何か関係

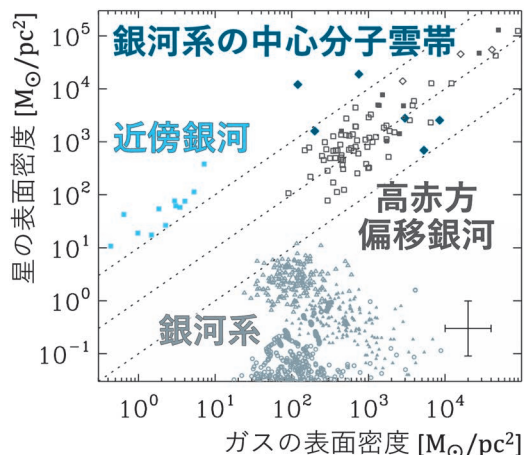


図2. ガスの表面密度と星の表面密度の相関図. 銀河系円盤部の分子雲は図の下半分に、近傍銀河の分子雲は左端に分布する. 高赤方偏移 ($z=2-3$) の銀河 (白抜き四角) は右上に分布する. 銀河系の中心核円盤/CMZの分子雲 (青ひし形) は、高赤方偏移の銀河と同じ領域に分布する. [2] より一部改変.

があるのではないかと、ということを意味します. これを「共進化」の関係にある、といえます.

中心核星団も、銀河の進化と何らかの関係があるようです. 中心核星団と銀河の性質 (質量など) の間に、相関関係が見つかっています. 図3は、中心核星団の質量と、銀河全体の質量との関係を示しています. この図から、中心核星団の質量と、銀河全体の質量の間に、銀河が大きくなるほど中心核星団も大きくなる、という相関関係が見て取れます. 早期型銀河と晩期型銀河では、異なる相関関係にあるかもしれませんが、巨大ブラックホールと同様に中心核星団も、銀河と共進化の関係にあるようです.

中心核星団の形成や進化は、巨大ブラックホールと比較して、理解するための材料がはるかに豊富です. 巨大ブラックホールの場合、測定できる性質が質量やスピン (回転) に限られているため、巨大ブラックホール自身の形成や成長の理解が困難です. 一方中心核星団は星でできています. 中心核星団の星を調べれば、中心核星団の形

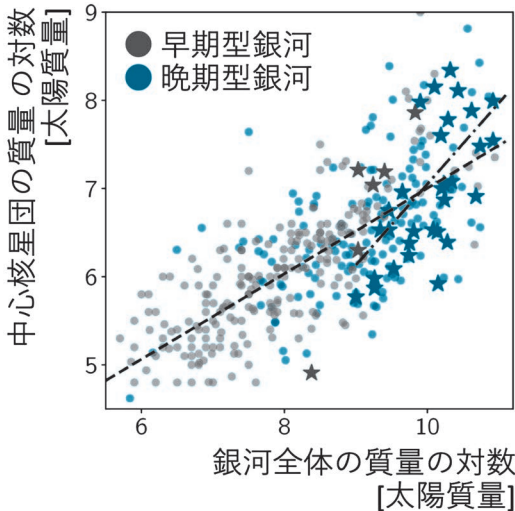


図3. 中心核星団のある銀河全体の質量と、中心核星団自身の質量との相関。黒い点は早期型銀河、青い点は晚期型銀河をあらわす。分光観測と運動学的なモデルを用いて測定された中心核星団は星印で示されている。それ以外の中心核星団の質量は、撮像観測で得られる色を用いて推定されている。中心核星団の質量と銀河の質量の間に相関関係があることがわかる。破線は早期型銀河の相関関係、一点鎖線は晚期型銀河の相関関係を示す。[3] より一部改変。

成・進化過程がわかります。例えば銀河系の中心核星団には、金属量の高い星と低い星の2種類が存在します。これは、異なる金属量をもつ星団の合体による中心核星団の形成を示唆します。また中心核星団の中心付近ではO型星やウォルフ・ライエ星が見つかっており、今でも星がつくられていることがわかります。このように形成・進化の過程を詳しく調べられる中心核星団は、「共進化」を理解する上で重要な研究対象であることがわかります。

1.3 巨大ブラックホールとS星

中心核星団のさらに中心には、巨大ブラックホール候補のSgr A*と、その周囲を公転する「S星」と呼ばれる星があります。図4は、Sgr A*を約16年で公転するS0-2、もしくはS2と呼ばれ

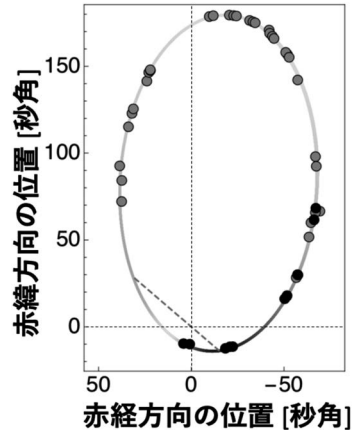


図4. Sgr A*を16年で周回する星S0-2の軌道 ([5] より、一部改変)。原点にSgr A*が位置する。図中の丸は、1995年から2018年までのKeck望遠鏡による測定結果。丸の色は観測時期の違いを表す。原点を通る破線より上ではS0-2がSgr A*の手前側に、下ではSgr A*より奥側に位置する。誤差は小さすぎて見えない。この測定から、S0-2の軌道内に太陽の約400万倍の質量の存在が確認できる。

る星の、位置天文観測の結果を示しています。位置天文観測で得られる結果に、分光観測で測定できる視線速度を組み合わせると、Sgr A*を周回する星の軌道を決めることができます。そして軌道が決まれば、軌道の焦点に位置する何かの質量を推定できます。このような過程を経てS0-2の軌道の焦点付近には、太陽の約400万倍の質量が集中している、ということがわかりました ([4, 5] など)。これは、銀河系の中心に巨大ブラックホールが存在するという強い証拠です。S星とSgr A*の研究について解説した天文月報の記事 [6] がありますので、よければそちらもご参照ください。

2. 中心核円盤、中心核星団の特徴

2.1 金属量

それでは中心核円盤や中心核星団の性質をみていきましょう。まずは金属量分布を紹介します。図5は中心核円盤、中心核星団の星の金属量 ([Fe/

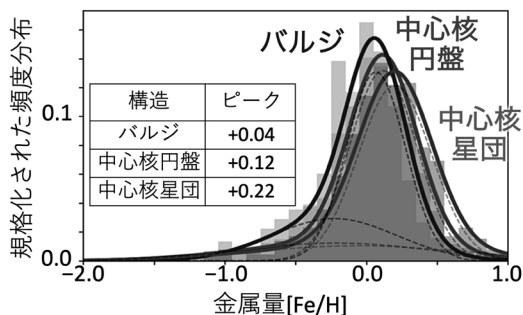


図5. 銀河系のバルジ，中心核円盤，中心核星団の星の金属量分布. 分布の大部分は重なっているが，それぞれの分布をフィットした曲線を見ると，バルジ，中心核円盤，中心核星団の順で金属量が大きくなる. [7] より一部改変.

H]) の分布です. 比較対象としてバルジのデータも表示されています. 図からわかるように，金属量分布には広がりがあり，大部分が重なっています. しかしそれぞれの構造の傾向を見ると，分布をフィットして得られた曲線が示すように，ピークの値が異なります. バルジ，中心核円盤，中心核星団と銀河系の中心に近づくほど，金属量が高くなります. ピークの値は+0.04 (バルジ)，+0.12 (中心核円盤)，+0.22 (中心核星団) です. このような研究から，星の分布 (図1) に加えて金属量でも，バルジと中心核円盤，中心核星団は異なる構造であるということがわかります.

2.2 星形成史

次に，それぞれの構造での星形成の歴史 (星形成史) を調べてみましょう. 長らくの間，銀河系中心部では星はずっと (連続的に) 作られ続けている，と考えられていました. 2000年代はじめのハッブル望遠鏡を用いた研究 [8] の影響です. その後，不連続な星形成，つまりあるときにはたくさんの星が形成され (星形成バースト)，あるときにはあまり作られない，という経過をたどったのではないかと，という研究結果が出始めまし

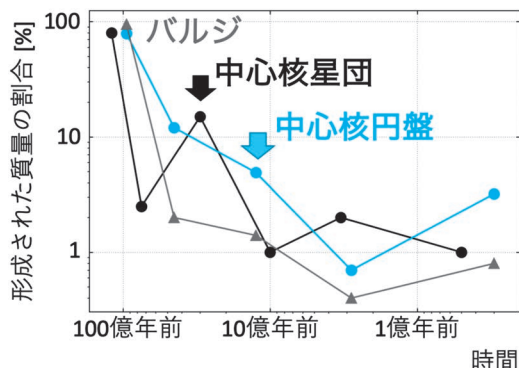


図6. 銀河系のバルジ (灰色三角)，中心核円盤 (黒丸)，中心核星団 (青丸) の星形成史. 横軸は時間，縦軸はその時期に作られた星の質量の割合である. どの構造も，大部分の星は約100億年以上前にできた古い星である，という点は共通している. 中心核星団では約30億年前に，中心核円盤では10-20億年前に，星形成バーストが生じたようだ (矢印). [10-13] の研究を参考に作成.

た*1. 不連続な星形成に関する特に重要な研究が，東京大学の松永典之さんと京都大学の河津飛宏さんらによって進められました [9].

中心核円盤，中心核星団の星形成史の研究は近年，さらに大きく進みました. ヨーロッパ南天文台の Very Large Telescope (VLT) による広い領域の，高い空間解像度の近赤外線観測が行われました [10-13]. またスペックル-ホログラフィー法とよばれる特殊な解析手法 [14] により，多数の星の，精度の高い光度関数が得られたからです.

この手法で得られた星形成史をみていきましょう (図6). まずはバルジ. バルジの星の約95%は，年齢約100億年もしくはそれよりも古い星である，という結果が得られました. それ以降，星形成は低調です*2.

次に中心核円盤をみてみましょう. 中心核円盤

*1 ハッブル望遠鏡の観測は狭い領域に限られており，十分な数の星を観測できなかったため，連続・不連続な星形成の違いがうまく見えていなかったのかもしれませんが.

*2 同じような結果を示す研究もあれば，若い星や中間年齢の星の割合はもっと高い，という研究もあります [15].

の大部分も、約100億年もしくはそれよりも古い星です(図6)。しかしその後も、星は作られ続けているようです。数10億年前の星形成は誤差が大きく不確定なのですが、少なくとも約10-20億年前に、大きな星形成バーストがあったようです。このときに、中心核円盤の約5%にあたる星が作られました。これは太陽質量の5,000万倍に相当します。その後しばらくあまり星のできない時期が続きますが、最近の数100万年間で再び星が作られるようになりました。

最後に中心核星団です。大部分が古い星である、という点はバルジや中心核星団とあまり変わりません。一方中心核星団では、約30億年前に星形成バーストがあったように見えます。その後の星形成は低調ですが、中心核星団の中心では、今も若い大質量星がつくられていると確認されています。

2.3 研究目的

これまで、バルジ、中心核円盤、中心核星団のそれぞれの性質を空間分布、金属量分布、星形成史、という3つの観点からみてきました。紹介した研究結果を合わせて考えると、それぞれが異なる性質の星をもち、おそらく異なる星形成史を経てできた構造であることがわかります。

これらを前提にして、私たちはさらに以下のようなことを知りたいと考えています。

- ・中心核円盤、中心核星団の大部分の古い星はどのようなようにしてできたのか。
- ・星形成バーストはなぜ起きたのか。どのようなきっかけがあったのか。
- ・中心核円盤や中心核星団に含まれる星は、すべて今の場所でできたのか。星団や矮小銀河の落下や吸収による寄与はあるのか。もしあるのだとしたら、その星はどこにあるのか。

これらの謎にせまるため、すばる望遠鏡(すばる2)やJASMINE衛星などを用いた観測を計画しています。この中で特に、狭帯域フィルターを用いたすばる望遠鏡の撮像観測、JASMINE衛星

による位置天文観測を重点的に計画しています。これらの計画について説明します。

3. 観測計画

3.1 狭帯域フィルターを用いた古くない星の選別

これまでに述べてきたように中心核円盤や中心核星団は、バルジと同様に、大多数の古い星(≥ 100 億歳)と、少数のそれより若い星からなることがわかりました。ただしこれまでの議論は、統計的な研究に基づいており、個別の天体の年齢を決められたわけではありません。これからの研究では少数の、数10億歳より若い星を個別に特定し、それらの運動、年齢、金属量などを決め、その起源を探る段階に進みます。またバルジ、中心核円盤、中心核星団の3つの構造は視線方向に重なっています。これらを分離するためには、位置天文観測で得られる情報が必要です。

若い星を選別する、星の性質を決める、といっても、すべての星を分光観測することはできません。中心核円盤では数100万個の星が検出されています。こんなにたくさんの星を分光観測できる可能性はありません。そこで効率よく若い星を探し出し、分光観測を実施する星を決めるために、狭帯域フィルターを用いた広域撮像サーベイ観測を計画しています。

古い星のスペクトルには、たくさんの分子の吸収線があります(図7)。中心核円盤や中心核星団で観測できる古い星は低温の巨星であり、表面温度が低いため、多種類の分子が壊されることなく存在しているからです。近赤外線波長域にみられる特に顕著な特徴は、2.3-2.5 μm 付近にみられる一酸化炭素(CO)の吸収線です。多数の吸収線が重なっているので、吸収帯とも呼ばれます。星の温度が高くなると、COによる吸収は小さくなります(図7)。同じ巨星でも、古く低温の巨星は大きなCOの吸収を示し、それより若く温度の高い巨星の吸収は小さくなります。この性質を利用して、大多数の古い星(≥ 100 億歳)と、10

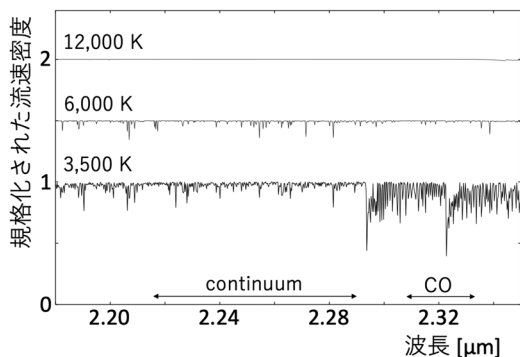


図7. 近赤外線2 μm 帯の星のモデルスペクトル。上から12000 K, 6000 K, 3500 Kの星のスペクトルである。図の下の両矢印は、観測で使用したMOIRCSの狭帯域フィルター (continuum, CO) の波長域を示している。星の温度が下がるほど、2.29 μm より長い波長域でCOの吸収線が顕著になる。

億歳くらいより若い星を分離できそうです。

私たちはこのような試みを、すばる望遠鏡と近赤外線広視野カメラMOIRCSを用いて行いました。MOIRCSに用意されている2つの狭帯域フィルターを使い、中心核星団と中心核円盤の一部の領域を観測しました。狭帯域フィルターの波長域を図7に示しています。ひとつは吸収線の比較的少ないスペクトル連続成分の波長域の (continuum)、もうひとつはCO吸収帯 (CO) の光を透過させます。この二つのフィルターで観測した星の明るさを比較します。

図8は星の分離に用いた、星の等級と色の相関図です。縦軸は連続成分での星の等級 ([continuum]) を、横軸は、連続成分とCO吸収帯の波長域との等級差 ([continuum]-[CO]) を表しています。

図8にあるほとんどの星が、古い巨星です。このような星は [continuum]-[CO]=0の付近に、縦に伸びて分布します。これは色等級図の巨星枝に対応します。図の横軸はCO吸収の強度を表します。[continuum]-[CO] が大きいほど、CO吸収が弱い、つまり温度の高く若い星であること

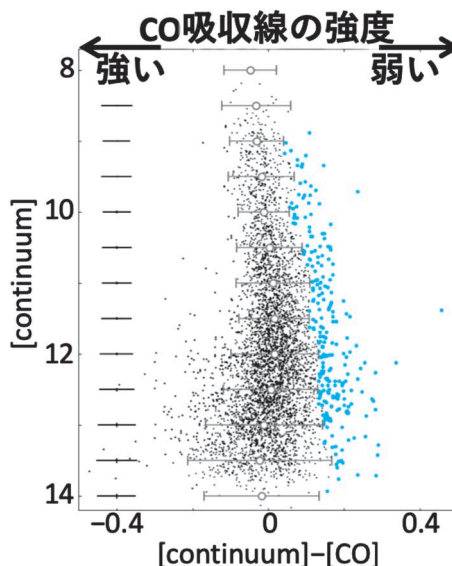


図8. すばる望遠鏡とMOIRCSで得られた、等級と色の相関図。縦軸はスペクトルの連続成分の等級 ([continuum])、横軸は連続成分とCO吸収帯の等級差 ([continuum]-[CO])。横軸の値が大きいほど、CO吸収帯で吸収が弱い、つまり温度が高いことをあらわす。横軸の値がゼロのあたりで縦にのびているのが、古い星 (巨星枝) に相当する。図中の白抜き丸と横棒は、各等級での巨星枝の平均の色と、広がり (2σ) をあらわす。平均から 2σ 以上、色の大きな星を、若い星の候補とする。図の左端の十字は、各等級での典型的な誤差を示す。

を示します。私たちは各等級での、古い巨星の平均的な [continuum]-[CO] とその分散を測定し、平均値から 2σ 以上、[continuum]-[CO] の値の大きい星を若い星の候補星としました (図8, 巨星枝より右側の色のついた点)。

私たちの観測領域には、分光観測が行われ、温度が測定されている星が存在します。このような星が図8の上でどのように分布するのか調べました。その結果、分光観測で古く低温だと確認された星のうち、約90%の星が、図8の巨星枝の上に分布しました。分光観測で若く高温だと確認された星のうち、約80%の星が、平均値から 2σ 以上、巨星枝より右に分布しました。また図8の、巨星

枝の左右にある星の数の比較から、古い巨星による若い星の候補への混入は約26%と見積もりました。つまりMORICSと狭帯域フィルターを用いた撮像観測で、古い星は約90%の確率で古い星と、若い星は約74%以上の確率で若い星と、確認できたこととなります。

このように狭帯域フィルターを用いれば、効率よく若い星を選別できそうだとわかりました。しかし中心核円盤全体にわたってこのような観測をするためには、広い視野の近赤外線カメラが必要です。また星のたくさんある領域なので、高い空間解像度が必要です。そこで私たちは、すばる望遠鏡を用いた「ULTIMATE-Subaru」という計画の中で、中心核円盤領域を広域観測しようと考えています。

ULTIMATE-Subaruは、「広視野・高感度・高解像度」の3拍子の揃った広域観測を目指しており、

- ・広視野（約14分角四方）の赤外線観測装置
- ・地表層補償光学（GLAO）装置

という二つの装置開発が計画されています。またGLAO装置には、

- 1) 形を変えられる（可変）副鏡
- 2) レーザーガイド星生成装置
- 3) 波面センサー

という3つの開発要素があります。レーザーガイド星生成装置が4本のレーザーを上空に射出し、4つの人工の星をつくります。自然の星と人工の星を合わせて観測し、地球大気の揺らぎをリアルタイムで、波面センサーを用いて測定します。GLAOでは特に地表近くの気流ゆらぎの影響を打ち消すように、可変副鏡の形を変えながら観測します。これにより、広い視野にわたって高い空間解像度を実現します。これらの装置と狭帯域フィルターを組み合わせると中心核星団と中心核円盤を観測し、比較的若い星を選別し、それらの性質を詳しく調べたいと考えています。

3.2 位置天文観測と隠れた星団、星形成史

星形成史の節で述べたように、中心核円盤や中

心核星団にあるのは、約100億年以上前にできた古い星だけではありません。ここでは特に、数1000万年より若い星に着目してみましょう。中心核円盤では過去数1000万年の間に、10年に1個程度の星が作られている、という研究結果があります [9]。また、星の大部分は星団として形成されると言われています。これらを合わせて考えると、中心核円盤では過去数1000万年の間に数10個、もしくはそれ以上の星団がつくられていてもおかしくありません。しかしこれまでのところ、中心核円盤領域で発見されている若い星団はふたつだけです（Arches星団とQuintuplet星団）。

たくさんできたはずの星団はどこにいったのでしょうか。実はこのような星団は、中心核円盤に「隠れている」と考えられます。背景に埋もれてしまう、という言い方が正確かもしれません。図1に示したように、銀河系の中心に近づくほど、星の個数密度は高くなります。その結果、あまり個数密度の高くない星団があるとしても、それは星団と見分けられないかもしれません。

星団を見えにくくする効果も存在します。星団はたくさんの星が密集しているので、星の間で相互作用が生じます。時間がたつにつれ、重い星が星団の中心に、軽い星が星団の外側に、多く分布するようになる傾向があります。この現象をmass segregationと呼びます。この結果、外側にある低質量の星が星団から飛び出す、という現象も生じます（evaporation／蒸発）。

中心核円盤領域の星の個数密度が高いため、星団は周囲の星とも相互作用します。外側に比較的軽い星が分布するようになった星団が、星の個数密度の高い中心核円盤のような領域の中を移動すると、星団中の軽い星が、星団の周囲の星と相互作用し、より高い頻度で星団から蒸発していきます。その結果、星団の個数密度は徐々に低下します。そうすると、星団形成初期には周囲より個数密度が高く、画像で星団だと認識できたような場

合でも、時間の経過とともに背景に埋もれてしまいます。ある研究によると、銀河系の中心50パーセク程度の距離では約2000万年、20パーセクだと1000万年もかからない短期間で、星団がみえなくなってしまうとされています [16]。

中心核円盤では過去数1000万年の間に、数10個を超えるような数の星団が作られているようです。星団は2000万年程度で、背景に埋もれて見えなくなる可能性があります。これらの二つを合わせて考えると、中心核円盤の領域には、まだ見つからない星団、もしくは星団の残骸が数多く隠されていると考えられます。このように隠された星団は、画像が得られるだけの撮像観測では認識できません。星団を探す手法は二つ考えられます。ひとつは、前項で紹介した狭帯域フィルターを用いた観測です。狭帯域フィルターを用いて若い星を選びだし、もし若い星が集中しているところがあれば、それは隠された星団である可能性があります。

二つ目の方法は、位置天文観測です。画像上で埋もれているとはいえ、星団の星はそろって同じ方向に運動しているはずです。星の位置を正確に、繰り返し測定し、天球面上での運動(固有運動)を測定することで、埋もれた星団を見つけ出すことが可能です。

ひとつの例として、最近みつかった星団候補を紹介します。ヨーロッパの望遠鏡VLTとハッブル望遠鏡のデータを組み合わせて、中心核円盤領域の星の固有運動を調べた結果、同じ方向に移動している星のグループが見つかりました(図9 [17])。周囲の星がランダムな方向に運動しているのに対し、円内の星はすべて左上に向かって移動しているように見えます。またこの中には、大質量星かもしれない星も含まれています。このように位置天文観測を行うことで、隠れた星団を探ることができます。

位置天文観測では、星の位置の正確な測定が最



図9. 中心核円盤のある領域の、星の固有運動。図中央やや右下のあたりに、同じ方向に運動している7つの星が見つかった(円内の矢印)。そのうちひとつの星は、大質量の星である可能性が高い。円の中にある薄い矢印の星は、中心核円盤より手前にある星だと思われる。[17]より、一部改変。

も大切です。位置精度が悪くなると、その分長い時間をかけて(もしくは長い間待って)、同じ場所を観測しなければなりません。中心核円盤や中心核星団の位置天文観測精度を飛躍的に向上させてくれると期待している観測装置が、日本のJASMINE衛星です。

JASMINE衛星は、位置天文観測に特化した観測衛星です*3。その大きな特徴は、近赤外線での観測する、という点です。位置天文観測を目的としたこれまでの天文衛星(ヒッパルコス衛星、ガイア衛星)は、どちらも可視光での観測でした。可視光では、星間塵による減光の強い銀河系の中心方向を見通すことができません。JASMINE衛星は近赤外線で、さらに中心核円盤領域の観測を主眼に置いた衛星です。位置測定精度も、JASMINE衛星で大きく向上します。例えば前記の研究の固有運動の測定精度は、おおよそ500マイクロ秒角/yrです。それに対しJASMINE衛星は、同程度の明るさの星に対して25-125マイクロ秒角/yrの精度を達成できます。銀河系の中心に星

*3 詳しくは本特集の郷田氏記事を参照。

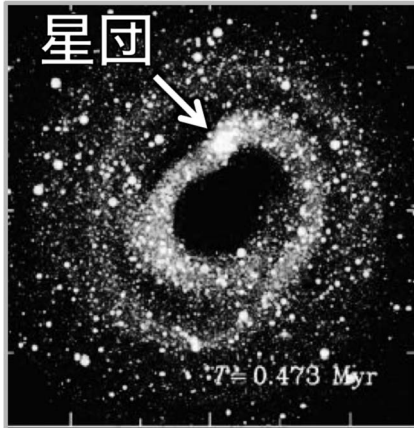


図10. 銀河系の中心領域内で動く星団のシミュレーションで得られたスナップショット. 矢印の位置に星団がある. 星団の軌道上, 前方にも後方にも, 星団から飛び出した星のストリームが見える. [18] より, 一部改変. ©AAS. Reproduced with permission.

があるとすると, これは1から5 km/sの速度に対応します. 望遠鏡が小さいので, 観測できる対象は比較的明るい星に限られているとはいえ, 大きな飛躍が期待できます.

もうひとつ私が研究したいと考えている対象は, 星団のストリームです. 上で述べたように星団が中心核円盤の中を運動すると, 星団から星が蒸発していきます. 星は星団から離れたとはいえ, もともとの星団と同じような運動を続けます. その結果, 星団の前後に, 星団の軌道に沿った星の「ストリーム」が生まれます (図10).

星形成史を考えると, 中心核円盤の中では数10個以上の星団が最近うまれた, と上で述べました. その説が正しいのであれば, 数10個の星団だけではなく, それに付随するストリームも隠されているはずですが. 星団に比べてストリームの星の個数密度はずっと小さいので, 画像上での認識はおそらく不可能です. 位置天文観測でないと発見できません. たくさんの星団とストリームを発見し, 網の目をほぐくようにして中心核円盤の形成・進化を理解する. そんな日を楽しみにして

います.

3.3 Subaru/Prime Focus Spectrograph

最後に, すばる望遠鏡の新たな観測装置として開発中のPrime Focus Spectrograph (PFS) への期待も述べておきたいと思います. PFSは広い視野に広がる2,000以上の天体のスペクトルを一度に取得できる装置です. すばる望遠鏡の集光力と合わせて, 他に類をみないくらいパワフルな装置です.

PFSは可視光だけでなく, 近赤外線のスペクトルも取得できます. 長波長側の観測限界は $1.26 \mu\text{m}$ であり, 必ずしも中心核円盤や中心核星団の観測にむいているわけではありません. しかしすばる望遠鏡の集光力を使えば, 観測できる天体もあります. また, 同じような波長帯の観測が可能なので, JASMINE衛星との相性はよさそうです.

例えばJASMINE衛星で銀河系の中心, 半径 0.7° の領域を観測するとしましょう. そうすると25-125マイクロ秒角/yrの精度で固有運動を測定でき, なおかつ中心核円盤や中心核星団にありそうな星は, 4万から5万個くらいです. JASMINE衛星で観測可能な星は比較的明るい (例えばJバンドで15等より明るい) 星なので, ひとつひとつの星に必要な観測時間は, あまり長くはありません. 大雑把な見積もりをしてみると, 使えばPFSを使った1週間程度の観測で, 上記4-5万個すべての星のスペクトルを取得できる可能性があります.

JASMINE衛星は固有運動, つまり視線方向に垂直な方向の運動を測定します. PFSで星のスペクトルを得られれば, 視線方向の運動を測定できます. つまりこの二つを組み合わせることで, 星の3次元運動がわかります. さらにスペクトルから, その星の金属量や年齢を推測することも可能です. このような観測を組み合わせることで, 中心核円盤や中心核星団の理解が大きく進むと期待できます.

4. 最後 に

銀河系の中心領域は、多くの天文学者が興味を持つ領域です。上記の日本の計画に限らず、2021年に打ち上げられたJames Webb宇宙望遠鏡での観測も進められています。また、近赤外線での観測ができるNancy Grace Roman望遠鏡での観測も予定されています。もちろん電波やX線など、他波長でも何度も観測され、日本の天文学者もこの分野で活躍しています。今後のさらなる発展を、どうぞご期待ください。

謝 辞

福井暁彦さんをはじめとする天文月報編集委員の皆様、この記事を書く機会をいただきました。MOIRCSと狭帯域フィルターを用いた観測とデータ解析では、ハワイ観測所の田中壺さんにサポートしていただきました。この場を借りてお礼申し上げます。コメントを頂いた長田哲也さん、小山佑世さん、馬場淳一さんにお礼申し上げます。

参 考 文 献

- [1] Schödel, R., et al., 2014, A&A, 566, A47
- [2] Kruijssen, J. M. D., & Longmore, S. N., 2013, MNRAS, 435, 2598
- [3] Neumayer, N., et al., 2020, A&A Rev., 28, 4
- [4] Saida, H., et al., 2019, PASJ, 71, 126
- [5] Do, T., et al., 2019, Science, 365, 664
- [6] 西山正吾, 2021, 天文月報, 114, 12

- [7] Schultheis, M., et al., 2021, A&A, 650, A191
- [8] Figier, D. F., et al., 2004, ApJ, 601, 319
- [9] Matsunaga, N., et al., 2011, Nature, 477, 188
- [10] Nogueras-Lara, F., et al., 2020, Nat. Astron., 4, 377
- [11] Nogueras-Lara, F., et al., 2021, ApJ, 920, 97
- [12] Nogueras-Lara, F., et al., 2022, Nat. Astron., 6, 1178
- [13] Schödel, R., et al., 2020, A&A, 641, A102
- [14] Schödel, R., et al., 2013, MNRAS, 429, 1367
- [15] Bensby, T., et al., 2013, A&A, 549, A147
- [16] Portegies Zwart, S. F., et al., 2001, ApJ, 546, L101
- [17] Shahzamanian, B., et al., 2019, A&A, 632, A116
- [18] Fujii, M., et al., 2008, ApJ, 686, 1082

Nuclear Stellar Disk and Nuclear Star Cluster at the Center of Our Galaxy

Shogo NISHIYAMA

Miyagi University of Education, 149 Aramaki-Aza-Aoba, Aoba-ku, Sendai, 980-0845, Japan

Abstract: There is a structure called “Bulge” at the center of our Galaxy. Recent studies clearly show that structures within Bulge, “Nuclear stellar disk (NSD)” and “Nuclear star cluster (NSC)” exist. In addition, NSC harbors a supermassive black hole Sgr A* at its center. In this article, recent progress in the studies of NSD and NSC is presented. The results, including metal distributions and star formation histories, suggest that they are distinct structures, and they have their own formation and evolution histories. In the second half of this article, we present expected observations of NSD and NSC from upcoming Japanese projects such as ULTIMATE-Subaru, the JASMINE satellite, and the Subaru Prime Focus Spectrograph.