

南の「すばる」 —銀河中心の五つ子星星団—

奥田 治之

〈〒193-0943 東京都八王子市寺田町 432〉

二十数年前に、銀河中心に偶然発見された奇妙な星（五つ子星）の正体が最近になってやっと明らかになった。

1. 発端、銀河中心部の怪しげな天体

1960年代中ごろ、カルテクの Neugebauer らは、波長2ミクロンで全天をサーベイして、赤外線強度が異常に強い天体（赤外線星）を数多く発見した。その多くは、その後の研究で、温度の低いいわゆる晩期型の星であることがわかったが、それらの星の周りには濃密な塵（ダスト）の雲が覆っていることが明らかになり、星の周辺環境の研究に新しい展開をもたらした。サーベイ観測に続いて、彼らは、いくつかの個別の天体に狙いを定めて、より深くより精細な観測を行った。その結果、オリオン星雲の中に原始星と思しき天体、BN (Becklin-Neugebauer) 天体を発見したが、これが星形成過程の初期段階の典型例として広く知られることになった。1974年、彼らは、さらに、可視光線観測では星間吸収のため観測不可能であった銀河中心部の観測に挑戦し、強い赤外線放射の存在を明らかにした。当初の観測は、角分解能の低い（およそ1分角）ものであったため、放射源を同定することは難しかった。観測された放射強度があまりにも強いことから、非熱的放射でないかという疑いもあったが、観測されたH-バンド（1.6ミクロン）とK-バンド（2.2ミクロン）の強度に適切な星間吸収の補正を施すと、色温度が3,000度程度になり、晩期型の星の集団として一応説明はついた。

当時、京都大学のグループは、その放射機構の手がかりを得ようと、偏光観測に挑戦していた。高感度の赤外線検出器の入手の困難であった当初の観測では、銀河中心部の広い領域の平均的な偏光量の観測が精一杯であったが、H-バンドで、16%、K-バンドで5%という大きな偏光の初検出に成功した。そして、偏光面がほぼ銀河面に平行であること、偏光量が波長とともに急激に減少するということから、偏光はシンクロトロン放射によるものでなく、星間吸収によるものとして説明でき、発光源は星（熱的天体）と考えてよいことを確認した。

その後（1978）、Becklin らはパロマーの5m望遠鏡を使って角分解能2秒の観測を行い、中心核部分を除き、個別天体に分解されることに成功し、その多くは、予想どおりM型の巨星、超巨星であることがわかった。1980年代に入り、小林行泰らは、1/2波長板を使った高性能の偏光計を開発し、ハワイ大学の2.2m望遠鏡に取り付け、銀河中心部を拡散成分と個別天体とに分解して観測することに成功した（図1）。

観測された結果を見て、不思議なことに気がついた。それは、銀河中心から左上に12分離れた位置(E)にある天体が二つの源に分解され、各々が明るさの点でも偏光の点でも瓜二つの双子天体であることであった。理由はわからないが、これは怪しいと直感し、さまざまな機会を通して追観測

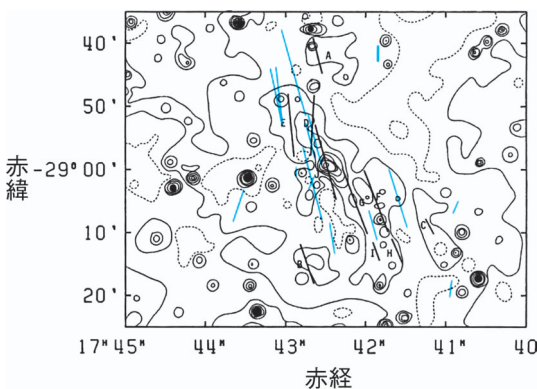


図1 銀河中心部の偏光観測。青線が点源、黒線は拡散成分。図中の左上の点源Eが二つの星に分かれている。

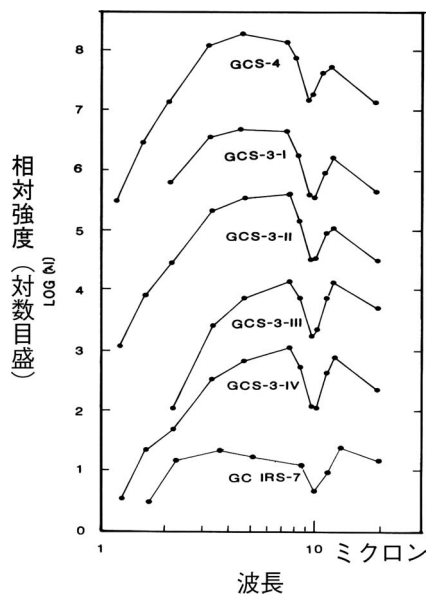


図2 五つ子星のエネルギースペクトル、10ミクロン付近の吸収バンドはシリケートによる。また、最下段は銀河中心にあるM型超巨星のスペクトル。

を試みた。(この位置には、Walker, Price が1974年にロケットで行ったサーベイ観測で中間赤外天体 AFGL2004があることを後で知った。)

当時、1980年代はじめには、マウナケア山上にNASAのIRTF (3 m) やUKIRT (3.8 m) などの大型の赤外望遠鏡が活動を始めた頃であったので、それらの望遠鏡を使った観測の申し込みをしてはみたものの、成果の見通しがいまいだということになって没になることが多かった。それでも、他の観測目的のために与えられた観測時間の一部を使ってもぐりの観測を試みた。その結果、2個であったものが3個に分解され、それらの特性もそっくりであることがわかり、ますます怪しいと思うようになった。

2. 五つ子星 (Quintuplet)

1986年に、ハワイ大学の研究員として滞在していた長田哲也は、ロチェスター大学グループと一緒に、彼らが開発したCCDカメラでこの天体を観測し、その視野に何と4個の天体が群がっていることを発見して驚いた。その後、観測した視野外にさらにもう1個の天体が確認され、結局、その総数は5個にまで増えた¹⁾。ここまでくると、さすが、その特異性を認めないわけにはいかず、

IRTFやUKIRTの観測時間も与えられるようになった。それによって、近赤外から中間赤外にかけて、多波長の測光観測、回転型の干渉フィルター(CVF)を使った粗い分光観測、ファブリ・ペロー分光器による高分散分光、それに偏光観測も加えて、さまざまな角度から、詳しい観測を試みる事ができた。その結果、どの天体も明るさはもちろんのこと、エネルギースペクトル(図2)から偏光(図3)まで全て同じ特徴を示すことがわかった。いずれのスペクトルも酷似しており、10ミクロン付近にはシリケートの強い吸収を示し、その深さも全く同じである。さらに、分光観測をすると、3ミクロン付近に浅い水の吸収バンドがあり、4.6ミクロンにはCO分子の振動回転バンドの吸収が見え、高分解能観測では、それらが重畳する回転線にはっきりと分離されることもわかった(図4)。観測された限りではそれらの特徴は五つの天体で全く区別がつかない。そんなことから、この天体を赤外線五つ子星 (Infrared

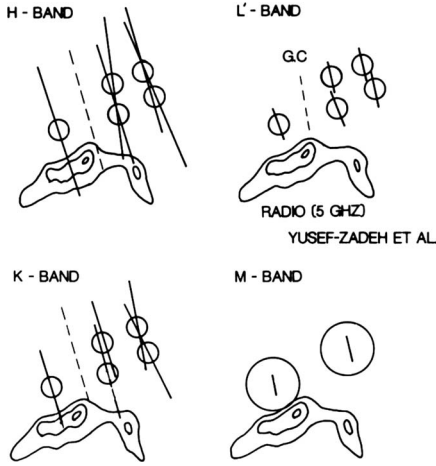


図3 五つ子星の偏光, H (1.6 μ), K (2.2 μ), L' (3.1 μ), M (5 μ). 近くの等高線はピストル星雲.

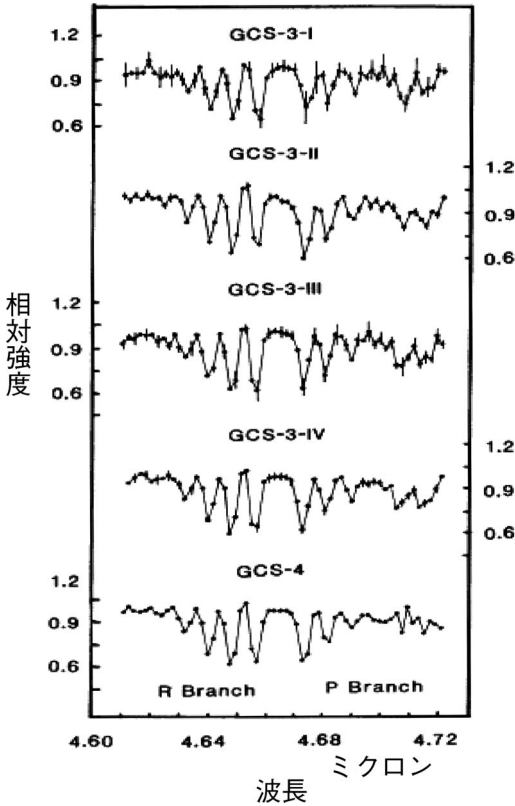


図4 五つ子星のCO分子振動回転線.

Quintuplet) という名前で呼ぶことにした.

3. 謎 (塵) に包まれた星

このように、はじめどこか胡散臭いと思っただけであったものが、結局、たいへん奇妙な天体の発見につながったわけであるが、調べれば調べるほど、不思議な天体であることがわかっていった。観測された特徴があまりにも酷似していることを考えると、それが各々の天体の個性を表しているとは考えにくく、共通の起源をもっているのが自然である。結局、3ミクロンと、10ミクロンの吸収バンドは、銀河中心のもつ $A_V = 30$ 等級の星間吸収量に対応した、水の氷とシリケートによる吸収として説明できることがわかった。このことから、この天体は、見かけ上銀河中心近くにあるのではなく、物理的にも銀河中心近くに位置していることがわかる。もしそうだとすると、逆に星間吸収を補正して本来のスペクトルを見積もることができる。その結果、温度は700-900 K、エネルギー放出量はおおよそ太陽数十万個分に相当する巨星、あるいは超巨星並みの星であることがわかった。星間吸収を補正されたエネルギースペクトルには、何の特徴もなくのっぺらぼうで、輝線、吸収線ともに存在が確認できない。これでは、この天体の素性を知る情報は皆無で、生まれてまもない若い星なのか、あるいは、進化の進んだ晩期型の星なのかさえ判断できない。ただ、総エネルギー放出量の大きさからは、それが星だとすれば、いずれにしても、年齢的にはせいぜい数百万年以下の若い天体でなければならないことだけは確かである。それに、これらの天体は角度にして20秒以内の狭い領域に分布している。これは、銀河中心付近に存在すると考えても、その広がりを実距離にして1pc以下に対応することになる。平均的な星の固有運動を仮定すると、これらの天体がこの領域に閉じ込められている時間は、やはり、数百万年以下ということになる。こうして、筆者らはこれらの天体が、銀河

中心付近に存在する若い星の集まりではないかとして発表することになった²⁾。しかしながら、あまりにも濃密な星周塵（ダスト）に覆われているためか、中心星のスペクトルの特徴が完全に消し去られているため、それがいかなる天体であるかは謎として残った。

4. 取り巻く大質量星の群れ

その後、この天体は電波観測で見つかったアークと呼ばれる筋状の電波源の中に位置し、図5に示すように、ピストルと呼ばれる電波源に近接していることがわかった。筆者らも、野辺山電波観測所の45mアンテナで、種々の分子線による観測を試みたもののとくに変わった天体も見つからず、何の手がかりも得られぬまま打ちすぎでいった。

1990年代にはいると、大型望遠鏡による分光観測が行われるようになり、銀河中心部の赤外天体の中に大光度の若い天体が存在することが次々と明らかにされていった。マックスプランク研究所のKrabbe, GenzelらはSgrA近傍にHe I (2.06 μ) や Br α (4.05 μ), Br γ (2.17 μ) 輝線をもった巨星、超巨星の存在を明らかにし、銀河中心に明る

く若い星の集団があることを明らかにした。これに続いて、1995年頃には、カリフォルニア大学ロサンゼルス校(UCLA)のFigerらは、Quintuplet領域の周辺に同様の天体を数多く発見して、大光度で高温の星が五つ子星を取り巻くように群がり、若い星の集団を形成していることを明らかにした。そして、これをQuintuplet星団と命名した。

一方、長田らは、1984年に、銀河中心の $l = + / - 1^\circ$, $b = + / - 0.25^\circ$ の領域にわたる赤外線源のサーベイ観測を行った。そこで見つかった天体の中の#17と名づけられた天体を、1990年、NASAのIRTF 3m望遠鏡を使って丹念に調べたところ、それが星の集団であることを発見した。さらに、分光観測によって、その中に Br α, Br γ や He II (3.09 μ) の輝線を含んだ高温の星が含まれていることを明らかにした。この星団は、五つ子星の近く(約5分角西)銀河中心からほぼ30pcほど離れ、アーク電波源に付随したアーチ状の電波源の中に位置していることから、Arches(アーチ)星団と呼ばれている(図6)。このようにして、銀

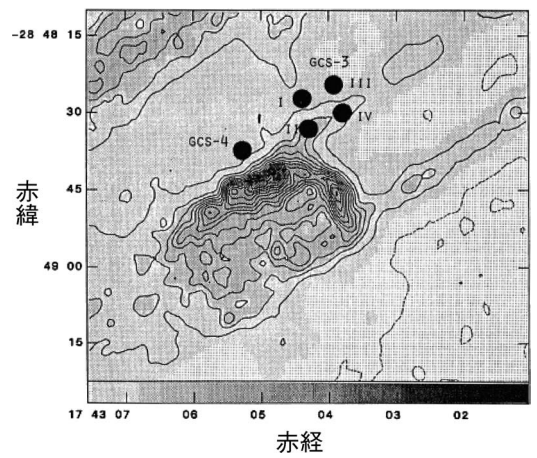


図5 Quintuplet 星団, 周囲には、電波アーク(左上)、ピストル星雲(中央)などが見える。

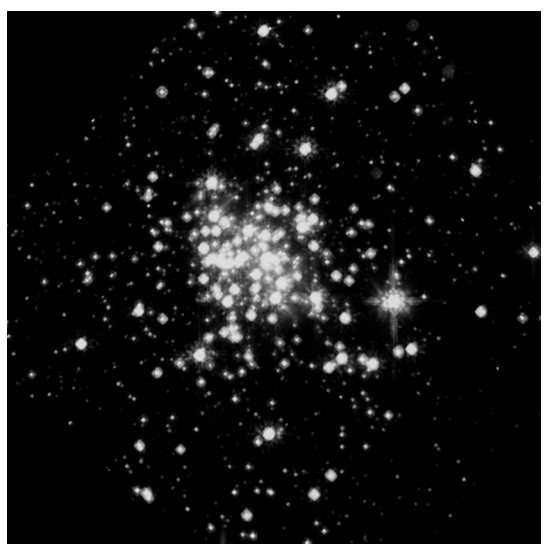


図6 Arches 星団(ハッブル望遠鏡/NICMOS, NASA)。

河中心付近に若くて明るい星の集団がいくつも見つかった。

スタンフォード大の Coterer や UCL の Figer らは、これらの星団に強い関心を示し大望遠鏡による分光観測を精力的に行い、これらの星団内に多数の高温で大光度の星を次々に見つけていった。観測されたスペクトルには、ヘリウムの He I, He II や、水素の Br α , Br γ などの輝線が認められ、それらが大質量の後期主系列星である W-R (ワルフ・ライエ) の特徴をもった星であることがわかった。星の温度は 30,000 度程度と見積もられ、エネルギー放出量も $10^6 L_{\odot}$ (太陽放射量) に達することから、初期質量にして 30-100 M_{\odot} (太陽質量) もあるとびきり大質量の星であることもわかった³⁾。さまざまな観測の結果、Quintuplet 星団, Arches 星団, SgrA 星団には総計 50 個近い W-R 型星が見ついている。これまで、銀河系全体では、およそ、150 個の W-R 星が見ついているが、その総数の 30% にあたる W-R 星が銀河中心の直径 50 pc の範囲に集中して分布しているというのは、実に不思議なことである。

なお、五つ子星の近くには、ピストルの形をした電波源ピストル星雲があるが、その中に発見された星は、総エネルギー放出量が $10^7 L_{\odot}$ にも達し、全銀河系で最も明るい星であることもわかった。これは、りゅうこつ座のエータ星や大マゼラン銀河の中の 30 Dor (かじき座) などに匹敵するものである。そのほか、これらの星団のなかには各々 100 個を超える O 型の星が集まっており、いずれも大質量の若い星の大集団であることが明らかになった。星団の年齢は Quintuplet 星団が 400 万年, Arches 星団が 200 万年と推定され、各々の星団の総質量は 6,000 M_{\odot} , 10,000 M_{\odot} , 大きさは 1 pc, 0.2 pc と見積もられており、極めて大型の若い星の集団である。

このような星から放出される紫外線は莫大な量 (10^{51} 個/秒) になり周辺のガスを電離してピストル星雲やアーチ星雲を形成していると考えられて

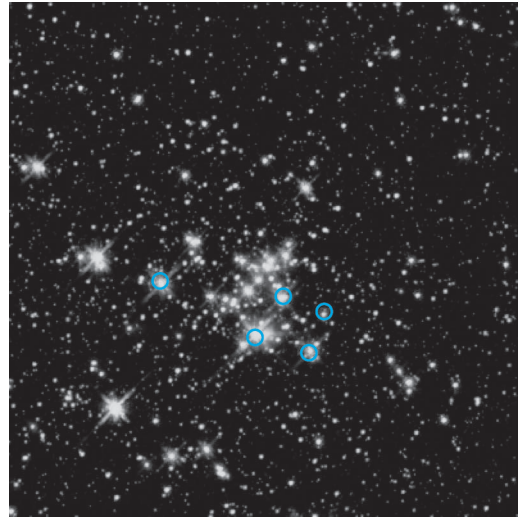


図7 Quintuplet 星団 (ハッブル望遠鏡/NIICMOS, NASA) 青○印が五つ子星の位置。

いる。身近な若い星の星団には、有名なオリオン星雲があるが、その星団の総質量、数十 M_{\odot} , 大きさ、0.05 pc と比べて見れば、いかにスケールの大きな星団であるかがわかるであろう。まさに、銀河系内で最も大型で星密度も大きい若い星の超集団 (スーパークラスター) である。このように大型の星団は、銀河系内では NGC3603, 大マゼラン銀河ではタランチュラ星雲 R136 などにしか見ることができない。Figer らはハッブル宇宙望遠鏡によってこれらの領域を観測し、図 6, 図 7 に示すように多数の星の密集する星団として見事に分解して見せた⁴⁾。Quintuplet 星団では、五つ子星が異様に赤く、明るく輝いているのが印象的である。しかも、その形が「すばる」そっくりである。

最近になり、ノースウェスタン大学の Law や Yusef-Zadeh らは Chandra X 線衛星などを使った観測を行い、これらの星団の中にいくつもの X 線源を見つけている。これらの中には、W-R 星や O 型星に対応するものもあり、単独星あるいは連星からの高速ガスによる衝撃波加速によって放出されているものと説明されている。また、アイオワ大学の Lang らは VLA (大型電波干渉計) によ

る電波観測を行い、コンパクトな電波源を数多く見つけている。X線源に対応するもの、ないものさまざまであるが、やはり、若い高温星の星風からの電波放射と考えられている。

このように、周辺の星々の素性はよくわかるようになったものの、肝心の五つ子星に関しては、何の手がかりもなく謎のまま取り残された。FigerらはW-R型の星ではあるが、周囲を厚いダスト雲に取り囲まれて内部の特徴の見えない繭のような星 (Cocoon star) であろうと推定していた。

5. 暴かれた正体

長田を中心にしたわが国のISOチームや、パリの天体物理研究所のMonetiらは、ESAの上げた赤外線宇宙望遠鏡 (ISO) を使ってさまざまな赤外線観測を行って五つ子星の特性を調べたが、分光観測から、星間起源のCO, CO₂, NH₃などの氷の吸収を見つかったりしたもの、いずれも星間吸

収で説明でき、これといった五つ子星自身の特性を見つけることができなかった。Monettiらは、シーイングの特別よいときをねらって行った5m望遠鏡を使った観測で、五つ子星のうち3個は波長11.7μで見える像が、かすかではあるが広がりをもっていることを見つけた。広がりから推定すると、ダスト層の直径はおよそ20,000 AU (0.08 pc) と見積もられ、どうやら繭玉仮説でよさそうであることがわかった。

そうこうしているうちに、面白いニュースが飛び込んできた。カリフォルニア大学、バークレイ校のTuthill, Monnierらは、副鏡の前に複数の穴をあけたマスクを置き、穴を通った光の間で干渉を起こさせ、マイケルソン型の新しい干渉計を開発した。これをKeck望遠鏡に取り付けてスペックル手法を使った超高分解能観測を試みたところ、驚いたことに、その中の明るい二つの星が、図8に示すように、渦巻き構造をもっていることを発見した⁵⁾。この渦巻きはアルキメデスらせん

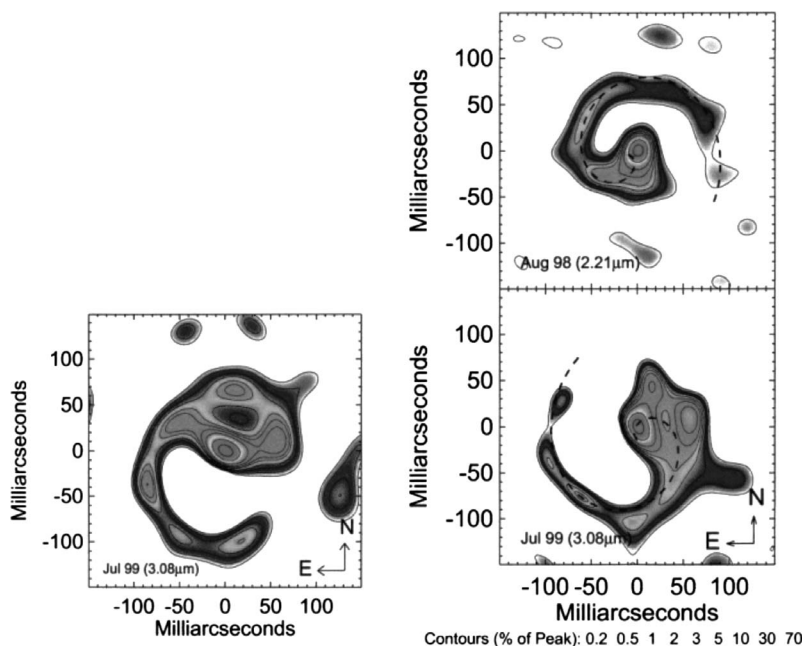


図8 遂に分解された五つ子星の正体、渦巻きダスト雲。右の2枚は約1年間に起きた変化。縦軸、横軸の単位はミリ秒角。

と呼ばれる特徴をもっており、芝生の散水器の回転するノズルから出る水の軌跡に似たパターンを示す。彼らはこれを Pinwheel (鼠花火) 星雲と呼んでいる。

時を変えて観測を行ってみると、その中の一つは渦巻きの巻具合が変わっていくことがわかった。これから、回転の周期が 850 日であることもわかり、この周期と巻き込み角度から推定するとガスの吹き出し速度は、何と 1,800 km/s となる。どうしてこんな渦巻き構造ができるかであるが、問題の天体が近接連星で、一方の星から吹き出した大量のガス流がもう一方の星の引力によって加速され、流れが絞込まれて高速流になり、それが、連星の回転によって振り回されてアルキメデスらせんを描くと考えられている。1990 年代中頃、南アフリカ天文台の Glass らによって、五つ子星のいくつかに周期的な明るさの変化が観測されていたが、それは、まさしくこのような回転運動に起因していたのである。

このような構造は、同様の手法によって WR 104 や WR 98a などの W-R 星で観測されており、W-R 星特有のものであるらしい。他の 3 個の星は十分分解されていないが、どうやら似たような構造をもっているらしい。とうとう、五つ子星はその正体を現したわけであるが、それは想像をはるかに超えた特異天体であった。それにしても、こんな天体が 5 個も同じ場所、しかも時を一にして生まれたというのはとても不思議なことである。銀河系広しといえども、こんな天体の集団はどこにも見つかっていない。そもそも、Quintuplet 星団、Arches 星団、それに銀河中心核星団という大質量星の集団がなぜ、銀河中心のごく狭い領域 (半径 30 pc 以内) に集中して存在しているのだろうか？ これも大きな謎である。しかも、それらの年齢は数百万年程度と、銀河系全体の寿命に比べれば極めて短く、ごくごく最近の出来事である。こんなに短い期間に、こんなに狭い領域でこれほど大量の星が生まれたということは、こ

れらの星団の星形成活動が、銀河面内の平均的な星形成速度の 1,000 倍にもなるということの意味している。系外銀河の中には、スターバースト銀河と呼ばれて爆発的な星形成を行っているものが数多く見つかっている。ひょっとすると、これは小規模のスターバースト銀河の身近な痕跡を見ているのかもしれない。

最近では、補償光学技術の粋を集めた赤外線観測により、銀河中心核内の恒星の軌道運動がつぶさに観測できるようになり、中心核には 300 万太陽質量のブラックホールが存在することが確認されている。また、京都大学の小山勝二らは、さすが衛星、Chandra 衛星などを使った X 線観測によって、最近の数千年から数万年の間に大量の超新星爆発が起こったという証拠があるとも言っている。W-R 星は超新星爆発の直前の姿であるとも言われていることを考えると興味深い問題である。

6. 瓢箪から駒

銀河中心部分の偏光観測で見つけた奇妙な一対の星が、お互いが酷似した五つの星の集まりであることがわかり、その周りに若くて明るい星の群がる星団の発見にまでつながり、しかも、それらの星が、太陽質量の数十倍から 100 倍を超える大質量の星の集団 (スーパークラスター) の発見というおまけまでついた。そのうえ、五つ子星には高速回転するダストの渦巻きまで発見されるに及んでは、まさに「瓢箪から駒」「ハットから鳩」の連続であった。まるで天文マジックを見ているようである。

さらに、Quintuplet の発見を機に、つづけて Arches 星団が見つかり、以前見つけていた銀河中心核に付随した同種の星団とともに、3 個の類似の星団が銀河中心付近にたむろして存在することにもつながった。それにしても、このような大質量の星の集団が銀河中心に集中して存在しているのも謎である。これは、銀河中心のブラック

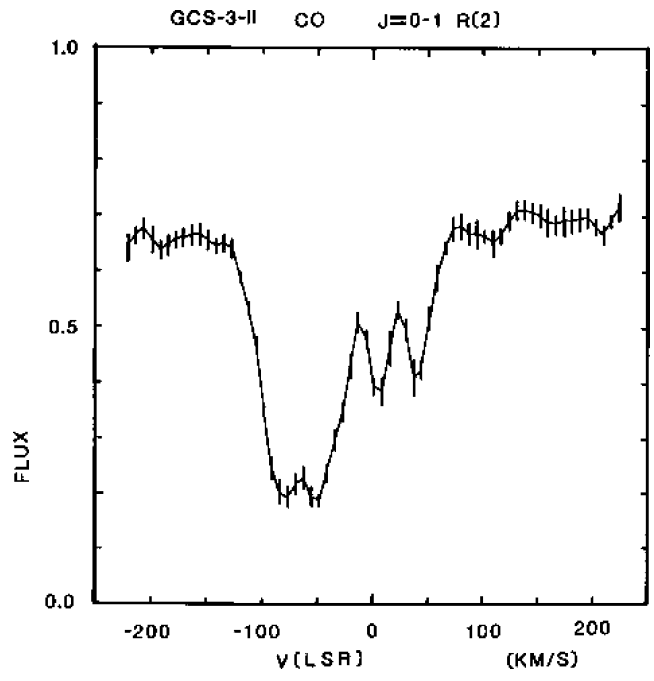


図9 高分散ファブリ・ペロー分光観測によって分解されたCO回転線の数速度分布.

ホールや、さまざまな電波源、X線や高エネルギーガンマ線の存在とともに興味深い問題である。

なお、五つ子星個有の問題ではないが、一方、銀河中心付近にこのような大光度の光源が存在することは、それを背景光源して手前になる星間空間の特性を調べるプローブとして利用することができるという効用もある。実際、Kapteyn天文研究所のTielensらは、分光観測によって、銀河中心部でのダストや分子の組成と物理状態の研究を行っている⁶⁾。それによって、H₂O(水)に、CO₂(炭酸ガス)、CH₄(メタン)、NH₃(アンモニア)、HCOOH(酢酸)の氷の存在、また、高分子炭化水素の固体微粒子の存在、その中に、脂肪族系(Ali-phatic)のもの、芳香族系(Aromatic)のものが混在することなど、さまざまな形態のダストの存在が明らかになっている。

なお、前に述べたCO分子線のファブリ・ペロー分光観測では、さらに分散を上げて観測した

結果、図9に示すように、星間CO分子雲の速度場がはっきりと分解されて見えている。そして、これが銀河中心方向のCO電波の観測で得られている速度成分とよい一致を示す。このことは、銀河中心方向の明るい赤外線源を使えば電波観測と独立に銀河中心部のCOガス雲の運動学が研究できることを意味している。

このように、ほんの気まぐれ仕事として始まった仕事ではあったが、その後の発展ははるかに想像を超えるものであった。五つ子星発見以後20年以上になるが、現在でもさまざまな手法での観測が続けられ、新しい発展を見せてジャーナルの紙面を賑わせている。最近では、2MASSのデータを使った、規模の小さい星団探しなども始まっているようである。ただ、筆者らは、きっかけは作ったものの、本質的な発展は外国勢によって行われたことは少々残念であった。

表題の「南のすばる」は、五つ子星の形(図7参照)がすばる(Pleiades)の形とそっくりであるこ

とから連想したものであるが、これは牽強附会のそしりを免れないかもしれない。前者が太陽の数
十から百倍を超える質量をもった大質量星の星団
であるのに対して、後者は太陽並みかそれ以下の
質量の小質量星の星団である。また、年齢も前者
が 100 万年と極端に若いのに比べて後者は 10 億
年近い年齢の星団である。ただ、進化の進み具合
から言えば、前者は超新星爆発直前の終末期にあ
るのに対して、後者は主系列星にたどりついたば
かりの少壮年期に対応している。その意味で、特
大質量の星と標準的な質量の星の進化の両極の代
表例としての対比の面白さはある。いずれに
しても、銀河中心に発見された五つ子星とそれ
を取り巻く五つ子星星団、並びにアーチ星団、中
心核星団は、銀河系内の特異な星形成領域として
興味ぶかい研究対象であり、今後の展開が楽しみ
である。

なお、W-R 星に関しては、当月報 1 月号から連
載されている木暮智一氏の詳しい解説記事がある
ので参照されたい。

参考文献

- 1) Nagata T., et al., 1990, ApJ 351, 83
- 2) Okuda H., et al., 1990, ApJ 351, 89
- 3) Figer D. F., et al., 1999, ApJ 525, 750
- 4) Figer D. F., et al., 1999, ApJ. 514, 202
- 5) Tuthill P., et al., 2006, astro-ph/0608427
- 6) Chiar J. E., et al., 2000, ApJ. 537, 749

Southern Pleiades

—A Story of the Quintuplet Star Cluster—

Haruyuki OKUDA

482 Terada, Hachioji, Tokyo 193-0943, Japan

Abstract: It was first recognized as a single object in the 2 micron map of the Galactic Center region by Becklin and Neugebauer in 1974. In the infrared polarimetric survey of the Galactic central region in 1978, it was resolved into two twin sources with completely identical polarizations and spectra. Intrigued with the similarities or singularities, we continued observations, and found it to be resolved to triplets and quadruplets and finally quintuplets as the instrument resolutions raised. Its configuration looks very much like the Pleiades cluster and hence can be dubbed as Southern Pleiades. They have been found to be surrounded with many extremely massive young stars as W-R stars and O-stars, composing a super star clusters. But the quintuplet themselves have been left unidentified as extraordinary sources for a long time. Finally, just recently, they have been resolved to pinwheel nebulae with Archimedean dust spirals.