

クーデ室の挽歌

谷口 義明*

1. 特別な場所

銀河中心核は特別な場所である。超大質量ブラックホール（モンスター）が存在していると考えられているからである。そのため理論・観測を問わず多くの天文学者の関心を引き続けてきている。実は私もモンスター信者の一人である。しかし、銀河中心核が特別な場所であると考え理由は少し異なっている。それは私が銀河を「星を作る機械」と捉えているからだ。我々の認識する銀河は一千億個以上の星からなる巨大な恒星系である。従って銀河の骨格構造や化学進化の基本的性質を決めているのは星である。しかし唯一、星がその性質を決めない場所がある。それが銀河中心核なのである。

最近になってこの特別な場所、銀河中心核近傍で発生するスターバースト（爆発的な星生成）現象が少しずつ注目されるようになってきた。スターバースト現象自身は 70 年代の初めから観測的に認識されていたが、銀河中心核の活動性とは全く無縁だと考えられていた。“たかが星生成”だからである。そのような状況の中で、81 年に D. W. Weedman は「スターバースト銀河核」という明確なカテゴリーを提唱した。スターバースト銀河核では銀河中心核近傍の数百パーセクの領域に 10^{4-5} 個もの OB 型星が電離源として存在している。

現在、この銀河中心核の近傍で発生するスターバーストとモンスターの絡みがふたつの視点で議論されてきている。一つは非常に過激な“モンスター不要説”で、スターバーストで生成された大質量星の進化の末期段階にセーフな現象がモンスター無しに実現されるという考え方である。もう一つは“スターバースト/モンスター互助説”で、両者の共生的な関連を主張する考え方である。

ここではこれらの話題に触れながら、スターバーストとモンスターのリンクを探するためにアジアの片隅にある小さな望遠鏡でスターバーストの銀河の光学分光観測に挑んだ J BOY の物語を紹介する。

2. I の奇跡

私が「スターバースト」と「銀河中心核」という二つのキーワードに漠然とした興味を持ったのは東北大学大学院修士 2 年の時だった。まだ Weedman の論文も出て

いない頃で、どう研究を進めていけば良いか皆目見当もつかなかった。

ちょうどその頃、高窪啓弥・田村真一両先生の尽力により半導体アレイを利用した検出器が東北大学天文学教室に入ってきた。当時の（というより、ほんの少し前まで）日本の光学観測天文学が写真乾板に頼っていたことを考えると画期的な出来事だった。その装置は Diode Array Rapid Scan Spectrometer（通称 DARSS）で、心臓部は Reticon と呼ばれる半導体アレイが使われていた。翌年には本命のイメージ・インテンシファイアー付き半導体アレイ（IDARSS）が導入され、色々な基礎実験を行うことになった。しかし、なにしろ東北大学天文学教室始まって以来の最先端エレキ装置であり、田村先生いわく“群盲象をなでる”という状況だった。一癖も二癖もある人間が多かったので、喧々譁々の議論しながらの基礎実験が続いた。それでも少しずつ実用化に近づき、岡山天体物理観測所での観測へとなだれ込んでいった。しかし、この時にまだ IDARSS にサイエンスの奥いを感じとれなかった。

東北大学の IDARSS は基本的にはトラベラーズ・システムであり、観測のたびに岡山へ搬入していた。そのせいか今一つの安定性に欠け、調整に苦勞した。その内に東京天文台（現国立天文台）でも CCD カメラ導入迄の「つなぎ」ということで IDARSS を購入した。この IDARSS は器械の安定性も考慮されて岡山 188 cm 鏡のクーデ焦点に取付けられることになった。西村史朗先生や岡山天体物理観測所の渡辺悦二・湯谷正美両氏のご努

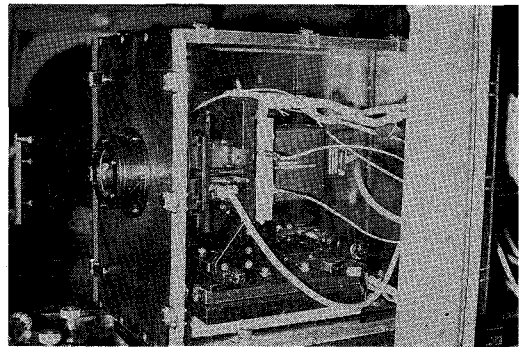


図 1 岡山天体物理観測所の 188 cm 望遠鏡のクーデ焦点に取付けられた IDARSS。汚くみすぼらしく見えるかもしれないが使い込まれて活躍している装置は皆こんなものである。

* 東大理・木曾 Yoshiaki Taniguchi: The coude room elegy

方で 1983 年ぐらいから本格的な観測が出来るようになった (図 1)。IDARSS の性能は従来の写真乾板を用いた観測装置に比べて桁外れに良い。どうしても銀河の分光観測に使ってみたい。しかし、岡山の望遠鏡の口径は僅か 188 cm である。4 m クラスの望遠鏡ですら系外銀河の分光観測はほとんどがカセグレン焦点で行なわれているのが現状だ。明るい星ならいざ知らず、暗い系外銀河の観測するにはクーデ焦点はなじまない。少なくとも最初はそう思い込んでいた。

「しかし」である。セイファート銀河のような活動銀河核 (AGN) の輝線は非常に幅が広く、broad line region のつくる輝線幅は 1 万から 2 万 km/s にも及ぶことがある。つまり AGN の分光であれば中・低分散分光観測でもかなりのことが調べられることになる。ところがスターバースト銀河核の輝線は「幅が約 250 km/s 以下でプロファイルはガウスの対称性を示す」というのが通説であった。スターバースト銀河核の分光観測は AGN の観測のついでにリファレンス的に行われるケースが多かったので電離ガスの運動状態すら良く分かっていないというのが実状だった。これは狙い目である。スペクトル分解能を上げて詳しい観測を行えばスターバーストに隠された弱い AGN 現象が見えてくるかもしれないという期待も持った。

とにかく、カセグレンで中途半端な観測をしているよりましである。何事も挑戦。どうせやるなら思い切って一番高分解能のモードでいこうと決意した。結局、銀河分光業界ではクレージーな 5 Å/mm の分散を選んだ。速度に換算して H α の波長域のあたりで約 20 km/s の分解能になり、これは従来の銀河分光より一桁近く良い分解能である。幅の狭いスターバースト銀河核の輝線でも十分分解できる。とりあえず、Weedman がスターバースト銀河核のプロトタイプとして選んだ NGC 7714 から始めることにした。積分を始めて 5 分後、思わず唖った。しびれるようなスペクトルがディスプレイに現われたからだ。H α 輝線はどう見ても幾つかのガス成分からなり、僅かではあるが青く騒ぐウイング成分も存在する。「スターバースト銀河の輝線プロファイルは対称的である」という通説はこの時脆くも崩れ去った。

スターバースト領域には 10^{4-5} 個もの OB 型星が存在し、超新星現象も少なからず発生しているはずである (約 1 個/年と評価されている)。考えて見れば、そのスターバースト領域が何故穏やかなスペクトルを示すのか不思議であった。幅が広く非対称な AGN の輝線に騙されていたというわけではないが、スターバースト領域のカオティックな現象を捉えるには従来の分光観測のスペクトル分解能は不足していたのである。とにかく「これはいけるぞ」と直感した。1985 年、秋のことである。

3. スターバースト・シンドローム作戦

この NGC 7714 の観測の成功に味をしめ、密かに「スターバースト・シンドローム作戦」という計画を思いついた。可能な限り多くのスターバースト銀河核を IDARSS で観測し、まずスターバースト銀河核の電離ガスの運動状態を系統的に調べる。そして活動銀河核や普通の銀河核との関連を吟味し、スターバーストとモンスターのリングを探る計画である。この目的のためにはまず観測である。翌 86 年からは IDARSS を使うメンテナンスの確保に奔走した。

5 月に早速幸運が訪れた。この時は限りなく怪しいスターバースト銀河核マルカリアン 52 に的を絞った。これが大当たりだった。輝線が完璧なブルー・ウイングを持っていたのである。(図 2)。図に示したように幅の狭いコア成分と幅の広いウイング成分にガウス分解してみたところ非常に興味深い事実が分かった。このウイング成分の電離ガスは OB 型星の輻射ではなく衝撃波加熱による励起の性質を持っていた。スターバースト風である。スターバーストで生成された OB 型星は 10^{6-7} 年で超新星爆発を起こす。つまりスターバースト領域から風が吹くのは自然な現象として理解される。しかし、今迄の光学分光観測ではこの“風”すらなかなか捉えられなかったのである。高分解能観測の威力をあらためて認識せざるをえなかった。

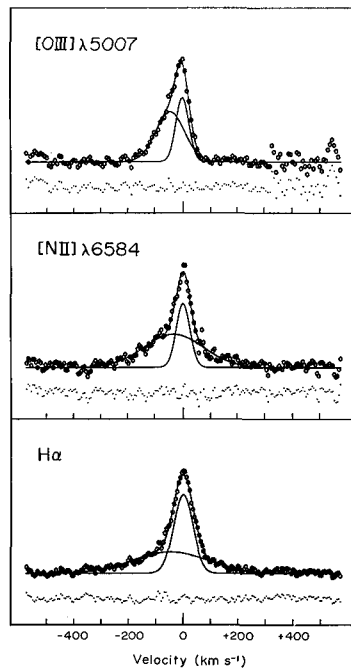


図 2 スターバースト銀河核マルカリアン 52 で検出された顕著なブルー・ウイング成分。

ところで、ウイング成分の電離ガスの励起は衝撃波加熱以外の励起源でも説明できる。それはモンスターである。つまり、モンスターから輻射される非熱的連続光による励起でも説明できるのである。但し、セイファート銀河やクエーサーのそれに比べて非常に希釈された放射場である必要がある。この解釈を採用すれば、マルカリアン 52 にはスターバーストに隠れて弱いモンスターが存在することになる。現段階では作業仮説の域を出ないが、もし本当であればマルカリアン 52 はスターバーストとモンスターのリンクを調べる格好の銀河核になる。

スターバースト風の性質を調べるのは必ずしも本来の目的ではなかったが、事の成り行き上もう少し追求してみることにした。ターゲットは先にも紹介したスターバースト銀河核 NGC 7714 にした。スターバースト風の様子を捉えるためには電離ガスの速度場がどうなっているかを調べればよい。クーデ IDARSS では空間的な情報を得ることができないので、この観測のため一時古巣のカセグレン分光に帰った。分光器のスリットを 30° 刻みに回してスペクトルを撮り、注意深く [N II] ガスの速度場を調べてみると図 3 のような双極風が現われた。

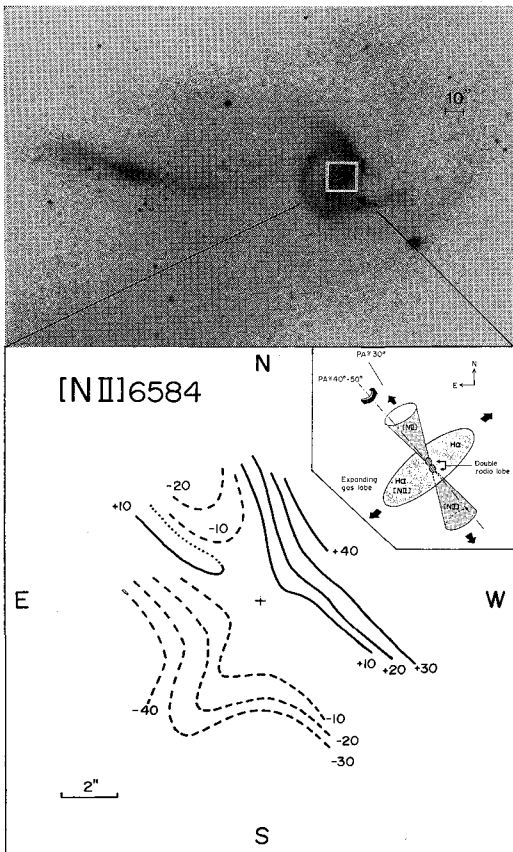


図 3 スターバースト銀河核 NGC 7714 で捉えられた大規模双極風の様子。

銀河系内の星生成領域ではすっかりお馴染みになった双極風が数キロパーセクのスケールに及ぶ規模でスターバースト銀河核にも存在することが分かったのである。今のところ観測例が少ないので双極風が一般的かどうかは分からないが、スターバースト銀河核のエネルギーギッシュな現場が見えてきたことは事実である。

4. スターバーストの光と影

再び、スターバースト・シンドローム作戦本来の話に戻ろう。クーデ IDARSS の観測の方は幸い色々な共同観測者に恵まれて順調に進んだ。不思議なもので、一旦スペクトルが撮れたすとどろんどろデータがたまっていった。図 4 にそのスペクトル例を示そう。輝線プロファイルはそれぞれ特徴的な形をしている。青く靡くもの、赤く靡くもの、或いはダブル・ピークを示すものといった具合である。Weedman は単一の電離ガス雲系がスターバースト銀河核にあるとイメージしていた。しかし、我々の観測事実はスターバースト銀河核の電離ガス領域は少なくとも幾つかの成分に分かれて運動していることを示唆している。ダブル・ピークのプロファイルを示すものはこの顕著な例だろう。スターバースト銀河の輝線は AGN の狭線領域のそれに比べれば非常に狭い。銀河回転の寄与を考慮すると、スターバースト銀河核の電離ガス領域の速度分散は僅か 40-50 km/s しかないことになる。スターバースト銀河核は晩期型の渦巻銀河に多く見

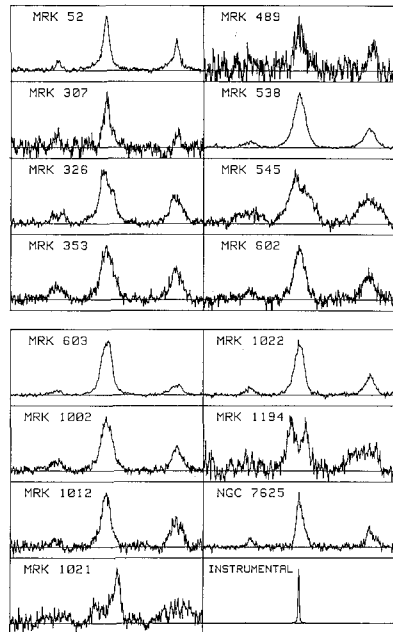


図 4 IDARSS で撮られたスターバースト銀河核の高分散スペクトルの例。右下に器械的なプロファイルを示した。いかに分解能がよいか分かる。

られるが、これらの銀河のバルジ部の速度分散は少なくとも 100 km/s 以上あることが知られている。つまり、スターバースト銀河核の電離ガス領域は銀河の重力ポテンシャルからは独立した自己重力的な系として存在している可能性が高い。実は、この“自己重力的”な性質が銀河中心核の活動性の誘起に本質的に重要なのである。

銀河中心核近傍でスターバーストが発生したり、モンスターへ燃料を補給するためには、まず中心核領域にガスが溜ってくる必要がある。ガスの質量がガスが含まれる領域の力学的質量の 1 割を越えてくるぐらいからガス雲系は自己重力的になる。こうなるとダイナミカルな不安定性（例えばバー不安定性）が起りガス雲同志の衝突が更に促進されて中心部へと落ち込むことができる。モンスターへの燃料補給が先に起こるか、或いはモンスターへ辿り着く前にスターバースト現象が発生してしまうかで銀河核の運命が決まる。仮にスターバーストが最初に起こっても、中心核近傍で生成された大質量星からのガス放出がモンスターへ燃料を供給しているとする考え方がある。また、一度モンスターに火が付くとそこから放出される銀河風により周りのガスが圧縮されてスターバーストが誘起されるという考え方もある。つまり、スターバーストとモンスターの共生関係である。現在は、どのようにして効率よくガスを中心領域に落とし込むかが議論的になっている段階で、まだこの共生関係を詳しく調べるところまで来ていない。今後の問題として残されている。

ここで少し“モンスター不要説”に付いて触れておこう。基本的な考え方は 3 つある。そのいずれもが大質量星の進化の問題に絡んでいる。

①小ブラックホール集団説: Weedman (1983) はスターバーストで生成される大質量星 (約 10 M_{\odot} 以上) の最終状態に着目した。これらの星は超新星爆発を経て最終的にはブラックホールとして残ることになる。つまりスターバーストの末期には多数の小質量ブラックホールができていくことになる。これらが中心核付近まで落ちこんでいきアクリーターの集団として働き、あたかも超大質量ブラックホールがあるように観測されるというものである。

②Warmer 説: Terlevich と Melnick (1985) は AGN のエンジンとして Wolf-Rayet (WR) 型星を考えた。彼らはスターバーストで生成された大質量星が高温 (10-20 万度) の WR 型星に進化し、これらが放出する高エネルギー光子の影響でモンスターなしにセイファート銀河 (特に 2 型) 等のスペクトルを説明できることをモデル計算から示した。彼らはこの高温の WR 型星を Warmer と呼んだ。但し、Warmer が出来るためには、大質量星の主系列時に有効に質量放出現象が起きなけれ

ばならず、そのためには重元素量が少なくとも太陽での値以上に多いことが要求されている。

③超新星説: これは“説”というより、観測からの示唆である。Filippenko (1989) は最近になって俄かには信じられないような事実を発表した。最大光度から 9 ヶ月経過したタイプ II の超新星 SN 1987 F のスペクトルを撮ったところ、それが 1 型セイファート銀河や電波で弱いクエーサーと同じようなスペクトルだったと言うのである。半値幅にして 4000 km/s に及ぶ H α 輝線を持ち、電子数密度も 10^9 cm^{-3} と高い。太陽質量の 5-30 倍程度のガスが放出されていることから、超新星の母体となった星は大質量星であつたらしい。また、別のタイプ II 超新星 SN 1988 I のスペクトルは幅の広い輝線を持つ電波銀河のスペクトルに似ていると言うのである。更に、もう一つだけ面白い観測例を紹介しておこう。典型的な 1 型セイファート銀河でスペクトルの時間変動を示す有名な銀河 NGC 5548 で 84 年にフレアーが発生した。フレアーのスペクトルには幅の広い He II の輝線が検出され、「遂にモンスターのアクリーション・イベントを捉えた」とかなり騒がれた。しかし、このフレアーのスペクトルもやはりタイプ II 超新星 1983 K のスペクトルと非常に似ていることが後になって指摘されたのである。

ここで紹介した大質量星の進化過程の一環として AGN 現象を理解するアイデアはどれも皆興味深い、共通する問題点を抱えている。それはスケールの問題である。スターバーストは銀河核の周辺数百パーセクの領域で起こっている。しかしモンスター起源の AGN 現象は僅か 1 パーセク以下の領域の出来事なのである。スターバーストがどこまで中心核に迫って発生しているかを観測的に見極めてこのギャップを克服する必要がある。もう一つこれらのアイデアの検証に欠かせないのが WR 型星や超新星の詳しい観測と大質量星の進化モデルの検討である。これらの観測及び理論的考察が系統的に行なわれ大質量星の進化過程が詳しく解明された時、初めて筋道だったスターバースト起源の AGN シナリオの整理・統合が行なわれることになるだろう。

我々のクーデ IDARSS の観測では特に Warmer シナリオを意識して 2 型セイファート銀河もかなりの個数についてデータを撮った。まだ完全に解析が済んでいないので、ここで結果を公表することはできないが、非常に面白い結論に到達しつつある。乞う御期待と言っておきたい。果たしてスターバーストはその末期状態に AGN 的な振舞いをするようになるのか? また銀河中心核近傍で発生するスターバーストは AGN 現象を引き起こすトリガーになるのか? 興味つきない問題が 90 年代の宿題として残されることになった。「スターバースト・

「シンδροーム作戦」は90年代いよいよフェーズⅡに突入する。

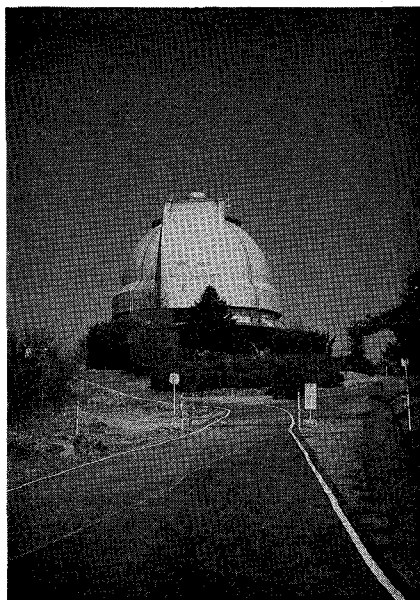
5. クーデ室の挽歌

「スターバースト・シンδροーム作戦」と銘打ったクーデ IDARSS の観測では結構楽しいことが多かった。明け方奇跡的な晴れ間を縫って撮った僅か10分のデータで1論文出来てしまった「暁の10分事件」。1週間完璧な快晴に恵まれて40個以上の銀河のスペクトルを撮った「40銀河巡礼事件」。星間吸収線を狙った「D線上のスターバースト計画」。とにかく、スターバーストとモンスターのリンクを探するというロマンがあった。そして IDARSS の切れ味鋭いスペクトルにはいつも勇気づけられた。

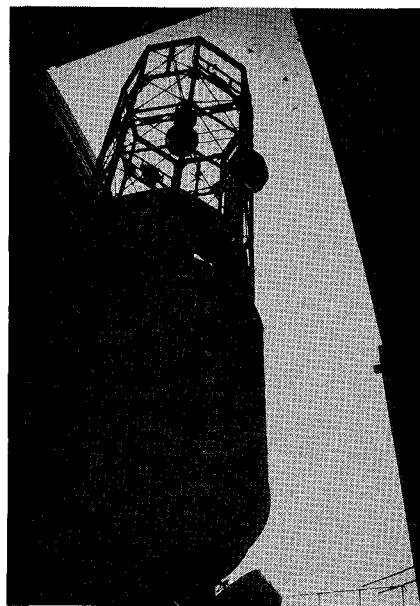
しかし、そのクーデ IDARSS にもたった一つだけ泣き所があった。それはクーデ焦点に良いガイドシステムが無かったことである。15等ぐらいの暗い銀河でも肉眼でガイドしなければならなかった。もちろん色々なノクトビジョンを使ったガイドを試みたが、みなるまくいかなかった。暗い銀河を肉眼で分光器のスリットに入れるのは大変である。というよりアナクロニズムであり、随分悔しい思いもした。しかしそのおかげで、銀河との対話を楽しめたのも事実である。望遠鏡を次の銀河に向ける。するとまた銀河が顔を見せる。「今度は君か。」銀河を変えるたびに話しかけることにしていた。アイピースの中に浮かぶ銀河しか見えない暗いクーデ室にいると、この銀河との対話だけが楽しみになる。そして論文の構想なども話の種になるのである。

我々はこの3、4年の間にほぼ100に近い数の銀河を観測した。しかし、流石のクーデ IDARSS にも、そろそろ岡山の188cmという口径の壁が立ちふさがってきた。もう十分なS/Nでスペクトルが撮れる銀河があまり無いのである。我々はこの観測でスターバースト銀河核の電離ガス領域の研究に新たな突破口を開いたと確信している。そして一つの観測プロジェクトが終わりに近づいたことも確かである。そろそろ、クーデ室の挽歌が聞こえてきた。

天文台とは望遠鏡があれば良いというものではない。また、望遠鏡の口径の大小も時には本質的ではないことがある。だから、私は天文台を「感動できる場所」として定義することとしている。その意味で岡山天体物理観測所は私にとってまさに天文台であった。十分感動できる場所であった。しかし、次の突破口は別の天文台でみつけないかと思っている。熱き心のJ BOYたちにも188cm望遠鏡へのプロムナードを歩いて欲しいからである。そのプロムナードはJNLTにもつながっている。新たな突破口は見つけにくいけどどこにでも転がっ



(a)



(b)

図5 岡山天体物理観測所188cm望遠鏡のドームへ至るプロムナード(a)と188cm望遠鏡の勇姿(b)。青空の彼方にJNLTが見えるはずである。

ているものだと思っている。私自身、しばらく銀河中心核の研究を続けて行くことになると思う。その理由は至って簡単である。銀河中心核は特別な場所だからである。

註：本文中に用いた「J BOY」という名称は浜田省吾氏の名曲のタイトル「J BOY」から借用させていただきました。