

今後への期待

中野武宣*・観山正見*・内田豊**
池内了*・田原博人***

4人の方々に書いていただいた。宇宙論に関すること、初期銀河、特異銀河から、星間ガス、星・惑星形成領域に至るまで多岐に渡っており、幅広い期待が寄せられている。JNLTの次には是非ともLMAを実現させたいものである。企画者によるこの項の執筆者の選択が適切だったためか、私には追加すべきことは特に思い浮かばない。各々個性的な文章なので、私が編集して1つにまとめるような野暮なことはせず、そのまま掲載することにした。(中野武宣)

野辺山ミリ波干渉計の今後への期待

星形成を理論的に研究している立場から、野辺山ミリ波干渉計に対する今後の期待を述べたい。(1) T Tauri星回りの惑星形成課程の解明、(2) 星間雲のコアの最小単位決定について焦点を当てる。

1. T Tauri 星回りの惑星形成課程の解明

現在、星形成の研究は今までにない重要な局面を迎えている。特に、惑星形成に関しての重要な観測が赤外線を中心を得られて、T Tauri 星回りに存在するディスクに関する情報が契機を与えている。T Tauri 星は H_{α} の等価幅の大小から classical T Tauri 星 (CTTS) と nakid T Tauri 星 (NCTS) に分類されていて、CTTS ではダストの輻射で輝くアクリンションディスクが観測されているが、一方 NCTS ではダストは観測されていない。さらに興味深いことには、HR 図から星の年齢を推定すると、CTTS は NCTS より若い段階と考えられる。このことは、ダストが観測されない NCTS では、それまで存在していたダストが微惑星やまたは数 cm 以上のダストボールになっていると予想されるのである。これは理論的に予想した惑星形成のシナリオにうまく合致する。しかし、CTTS のディスクの温度分布や、なぜ NCTS ではディスク内のアクリンションが止まったのか、などいまだ解決されていない謎が多い。とにかく惑星形成に関する重要な情報を与える天体が 140 pc の距離のタウラス分子雲に多数存在する。

この惑星形成ディスクは直径数百 AU、すなわち数秒角の広がり対象といわれる。従って、まず連続波の観測からダストディスクの大きさをなんとか解明することを期待したい。さらに非常に重要な点としては、このディスクのガスの情報がある。適当な輝線を選び干渉計の分解能を生かして、惑星形成ディスク内のガスの存在について、CTTS および NCTS について調べる必要がある。このことで惑星形成問題で重要なキーポイントである惑星形成最終状態のガスの状態、つまりディスク進化のどの時点からガス成分が消失するのかが明らかにされるはずである。そして、さらに興味深い点は、CTTS のダストディスクの外側である。これを分子輝線によって観測することで、惑星形成ディスクへの質量供給の源があるのかないのか、そして、NCTS の場合はどうかという点である。考えただけでもワクワクするような観測が期待される。

そして、将来的に鏡の数が増えればタウラス領域に存在する T Tauri 星が短時間で多数観測可能になる。そ

うなれば、統計的に有意な惑星形成ディスクの観測の全体像と進化の形態がわかることとなり、惑星形成の研究に飛躍的成果をもたらす。そしてこれは野辺山のミリ波干渉計がもっとも適切な観測手段と考えられる。

2. 星間雲のコアの最小単位決定

星間雲は多くの場合フィラメント状の大局構造をしている。そしてそのフィラメント構造の内部には密度の濃いコア部分が多数存在し複雑な構造を形成している。このような雲の質量分布は今までに調べられているが、その構造の最小単位はいまだ決定されていない。この最小単位決定は、重力分裂過程における理論の未決定パラメーターとして残っている分裂の最小単位を決めることとなる。これが決定されれば、理論と観測データの結合によって、コアの質量分布(質量関数)を導出できる。これから、星の形成理論を使って、質量関数も導出可能である。またコア部分の速度情報についての詳細な観測から、密度構造と併せて雲の内部における乱流状態の相関距離を決定することになり、雲の中の物理状態が明らかとなる。これらの目的のため、活動的な星形成領域について例えば1分角四方か30秒角四方の領域を1秒角の分解能でマッピングすることができるとすばらしい。これも多数の鏡が有効となってくる。

以上にあげた例を通じて、野辺山ミリ波干渉計が、星形成及び惑星形成領域の研究の新しい突破口となることを期待したい。(観山正見)

野辺山干渉計の今後への期待

先ず、着実に困難を克服して、短ミリ波域の宇宙電波干渉計が野辺山で動き始めて二年近く、さまざまな成果が得られて来ていることに祝意を表したい。今後の問題としては、緊急に受信機の高性能化、離れた所にアンテナを増設することによる高分解能化等があり、さらに将来にはアンテナを30基に増設して行う高速化、その他、たゆまぬ努力が継続的に行われて、わが国の電波天文学が本当に素晴らしいものになっていくことに大きな期待をかけている。

さて、今も含めた今後への私自身の期待としては、先ずは形成中の星の降着円盤の様子、どこから双極流が出ているかという問題、等を調べることがあげられる。我々はCO双極流は中心から 10^{14-16} cm の冷たい円盤内縁から、光学ジェットは 10^{12} cm あたりの所で中心星に出来はじめている磁気圏から、各々、生じていると考えており、これらについてなんらかの手がかりを得たい。我々の描像が正しければ、光学ジェットも回転しており、これはもしHSTが正常に働いていれば検出出来た筈だが、残念であった。しかし、これは我々が光学ジェットの延長と考えているHH天体のスピンの検出という形で、光で地上から出来始めている。我々のモデルではこのまわりに、同時に回転噴出している冷たいガス流もある筈で、それが干渉計で検出出来る可能性があることにふれておきたい。干渉計に遠く離れた新しいエレメントを加えて、分解能を上げることが出来れば、これらは更にはつきりする。

さらに、もし将来、干渉計を30エレメントに拡張出来れば、我々が拡張適用した同系統の描像からの発想で

* 国立天文台, ** 東大理, *** 宇都宮大

あるが、活動銀河の電波ジェットについても、これを調べる事が可能となって来るだろう。これは普通、非熱電波源だから線スペクトルはないだろうと考えられているが、磁場の入った天体現象では温度の違いも、非熱的なもの、などがフィラメント状に混在出来るので、混り込んだ冷たいガスの運動を通じてジェットの運動が検出出来る可能性がある。私の考えでは活動銀河核からの電波ジェットは、原始銀河中心の「形成中のブラックホールからの双極流」という位置づけとなるので、再びジェットはスピニングしていることが予想され、これはほかのモデルでは考えにくいので、これが検出可能になると非常に面白くなる。JNLT 後には 30 エLEMENT 干渉計計画ができるだけ早く進むことを期待したい。(内田 豊)

星形成から宇宙論まで

せいぜい「水平思考」でしか物理を考えられない私にとって、星間物質からの星生成過程と宇宙始原物質からの銀河形成過程を、同じ組板上で料理する蛮勇は持ち合せていることになる。それも具体的に何がどのように運動しているかをイメージする仕事は、観測と多くの接点を持っている。簡単に化けの皮がはがれる安直な「理論」でも、観測計画や観測対象に何らかの刺激が与えられれば本来の役割を果たすことになる。NMA は、この両者について直接モデルのチェックを可能にしてくれる、頼もしくかつ恐ろしい装置である。

銀河や宇宙の大規模構造の形成から、現在の銀河の姿に到るまでの進化を明らかにすることが私の目標だから、上の 2 つのテーマは決して別物ではないのだけれど、一方はごく近傍の姿を論じ、他方はまだ姿をしかと捕えられない遙か彼方の間接情報で論ずる現段階では、別々のテーマとして進めてゆくことになる。NMA は、この両者について直接モデルのチェックを可能にしてくれる、頼もしくかつ恐ろしい装置である。

星間物質のモデルは観測情報と一体化して、二相モデル(68)、三相モデル(77)、煙突モデル(89)とほぼ十年毎に変化してきた。最後のモデルは、星形成と星間物質のフィードバック、ディスクとハローの結合を考えて提案したモデルだが、いくつかの状況証拠が揃いつつある。おそらく NMA は、このモデルへの決定的な証拠をもたらし、十年先には新たなモデルへの橋渡しを提供してくれるだろう。それは、スターバースト銀河や遠方の大ハローを持つ銀河へも適用され、銀河進化を観測的に跡づけてゆく指標となるに違いない。近くの銀河から遠方の銀河へと星間物質の在り様を通じての銀河進化の解明は、NMA の大きな目標であろう。

一方、 $z=3$ 以上の電波銀河を使っている銀河の若い頃の姿がトレースされつつある。このような銀河は、中心核に強いエネルギー源を持つ「特異」な銀河であると思われるが、クェーサー・電波銀河・セイファート型銀河など一連の特異な銀河の理解は通常の「銀河」とはやや異なった視点でとらえる必要があるだろう。これらは、活動性は全く異なるものの結合エネルギーはほぼ同じである。エネルギー溜めは共通しその現象の仕方が異なっているとして、何がそれを決めているのかを明らかにしなければならない。遠方の「特異」な銀河探査も NMA の今後の重要なターゲットとなるべきだろう。

その一つのヒントは、いつ分子雲が形成されそこからの星生成が主役となったかを明確にすることであると思われる。私自身は、クェーサーの吸収線系にその鍵があるとして、「特異」「通常」の両銀河モデルを足場に解析しているが、やはり観測的な決め手がないと空論に終わってしまう。クェーサーの吸収線系は今のところ NMA

のターゲットには入らないかもしれないが、将来の大アレーへつながる重要な対象であり何が出来るかをじっくり考えてみたい。

宇宙論の課題としては、むしろ宇宙背景輻射の観測が第一に挙げられるが、これはデータを積み重ねて上限値を下げてゆく観測が主であり、恒常的テーマと言える。私自身は、重力レンズやクェーサーの母体銀河などのような、今 NMA では手を出していないが $z=2\sim 5$ の宇宙の姿を確定してゆく観測へ乗り出して行って欲しいと思う。

多少、「水平思考」の並流テーマばかり並べたが、45 m 鏡の成果を基礎に、次の大アレーへの展望を拓く役割を担う NMA には、かなり思いきって系外銀河に重点を移し、銀河進化と活動性の本質をえぐる仕事を期待している。と言っても問題は、そのような格好の観測プロジェクトをどれくらい多く提案できるかで、私達こそ NMA を真に生かす責任があるのだろう。(池内 了)

今後への期待

野辺山 5 素子干渉計 (NMA) の得意な観測の一つは高い周波数帯で詳しい電波構造を明らかにできることである。特に輝度の高い構造が複雑に分布している場合、各成分の電波強度が精度良く求まり、中心核の爆発に伴う現象の解明に期待がもたれる。

まず高分解のため中心核のみを分離することができ、中心核の活動が周波数の違い、とくに高い周波数帯でどのようにしているか明らかにできる。高い周波数になると中心核の近くを見ると同時に赤外線領域との関連もでき、爆発現象の解明に重要な手がかりを得ることになる。

中心核から放出された粒子はジェットを形成しその先端はホットスポットにつながる。またジェットの途中にはノットと呼ばれる電波輝度の高い領域が幾つもある。ミリ波帯における電波強度の観測から、こうした領域の高エネルギー電子のエネルギースペクトルの折れ曲がりが見えれば、電子の加速や寿命、さらに磁場、エネルギー規模などが明らかとなり、電波ジェットやホットスポットの形成の解明に大きな手がかりを得ることになる。

我々の観測した電波銀河 3C123 にみられるように、通常の電波銀河でも中心核の電波スペクトルは 100 GHz までフラットに伸びて現在も活動していることを示しており電波銀河にみられる広がった電波源の形成と活動的銀河核との関連がより明確になることが期待される。

ミリ波観測へのもう一つの期待は宇宙論に関連したものである。宇宙黒体放射の小さなゆらぎが存在しているかどうかは宇宙構造や銀河の形成と深くかかわっている。あるいは銀河団においてスニヤエフ・ゼルドビッチ (S-Z) 効果が確認できるとハッブル定数の決定に大きな寄与ができる。他の観測所でも精力的に試みられているが、NMA にも期待したい。どこまで可能かわからないが、ぜひ期待したい観測に、宇宙初期の天体の発見がある。宇宙初期の天体が赤外超過していると赤方偏移によりミリ波での観測が可能となるからである。こうして宇宙初期の天体を明らかにしていくことは、JNLT による観測とともに今後の大きな研究課題となるであろう。

いづれの観測も現状の NMA ではかなり厳しいものがある、6 素子化することや受信器の改善も重要であるが、大型ミリ波アレイ (LMA) が早期に実現することを期待したい。(田原博人)