

大型光学赤外線望遠鏡が拓く天文学

—第二部 恒星—

安藤 裕 康*

1. はじめに

日本の恒星観測は主に岡山天体物理観測所の 1.88m 鏡によって行なわれてきた。JNLT 7.5m は口径で4倍あり、日本の天文学者にとっては、革命的な飛躍と言ってよい。JNLT は完成時に世界一級の望遠鏡となり、天文学の最前線に挑戦することになる。以下に JNLT で期待される恒星観測についていくつかのテーマにしぼって述べてみよう。その前に1例として JNLT の光学分光観測がどのぐらい強力であるかを示そう。図1はある条件下での JNLT 分光器の波長分解能と極限等級を示す。口径 7.5m, 検出器までの鏡は7枚(反射率 0.8), 検出器の量子効率 20%, 暗光子数 0.2 コ/秒, シーイング 0.6", 露出時間 10 時間として計算したものである。破線は信号と雑音が等しくなる線であり, E: エッセル分光器, C: 通常グレーティング分光器を意味する。パロマー 5m 鏡の微光天体分光器では SN=100 として, 波長分解能 10^3 で, CCD を用いて 20 等級ぎりぎりである。JNLT では口径の大きさとシーイングの良さ及び検出器の進歩のため 23 等級までねらえる。20 等級より暗いところでのパフォーマンスの良さは決定的な差をもた

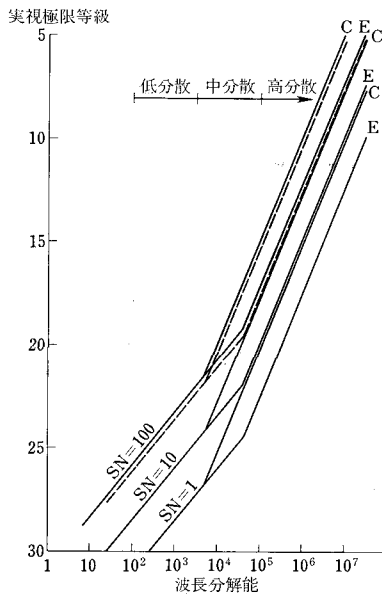


図1 7.5m 鏡分光器による波長分解能 ($R = \Delta\lambda/\lambda$) と極限等級。詳しくはテキストを参照。E: エッセル分光器, C: 通常グレーティング分光器

らすことは多くの人が指摘するところである。

2. 恒星と惑星系の誕生

前に述べられたように、恒星の誕生とそれに伴うと考えられる惑星系の誕生についての我々の認識はやっと緒についたところである。星間雲が収縮を始め、原始星が誕生し、あるものはそのまわりに惑星系を形成しながら中心星は主系列星へ、周辺空間は現在の太陽系空間に似たものに進化していこう。そして生命と呼ばれるものが誕生する場所もあり得るであろう。しかし、まだすべてを目撃し、確認した人は誰もいない。

最近の電波や赤外の観測によれば、星間雲の収縮によって原始星が誕生する過程で、そのまわりにゆっくり回転する円盤があり、極方向に双極流が存在するという。そのような天体の多くが野辺山の大型宇宙電波望遠鏡で発見されている。又、アメリカ、オランダ、イギリスによる赤外軌道望遠鏡 IRAS で、ヴェガ、フォーマルハウト、がかり座ベータ星などに 40~50 a.u. に広がったダストと思われる円盤が見つかった。これらを総合すると、恒星の誕生期には原始星のまわりには、低温、高密度の分子雲が円盤状にいつも形成され、原始星が主系列に達したあとも、その名ごりを残しているらしい。我々は新しい認識を得たが、同時にその何倍もの新たな疑問がわいてくる。分子雲円盤の中心に原始星はいつも1個だけ存在するのか。双極流発生メカニズムと原始星の関係はどうか。原始星自体はどんな恒星活動をしているのか。原始星の質量、半径、明るさ、表面温度はいくらか。分子雲円盤に惑星系誕生のもとになる微候は見られないか。この分子雲に生命誕生の鍵になるアミノ酸のような複雑な分子は存在するのか。等々と疑問だらけである。

このような問題を解決していくには、電波だけでなく、赤外や光による高長波分解能、高空間分解能を発揮できる観測装置が不可欠となる。JNLT が待望される所以である。

現在 AAT 3.9m 鏡を用いて、望遠鏡スキャンによる近赤外域のマッピングが行なわれており、約 $1''$ の空間分解能が得られている。図2は銀河中心領域の赤外天体のマッピングであり、従来の赤外線源に微細構造が見え出しているのがわかる。一方 JNLT 計画では近赤外領域で $0.2''$ の空間分解能を目指しており、例えば太陽系の大きさを 40 a.u. とすると 200 pc の距離にある惑星系が確認できるほど強力なものである。JNLT が稼働を開始すると予想される 1990 年代初め頃には画素数の大きい

* 東京天文台 Hiroyasu Ando

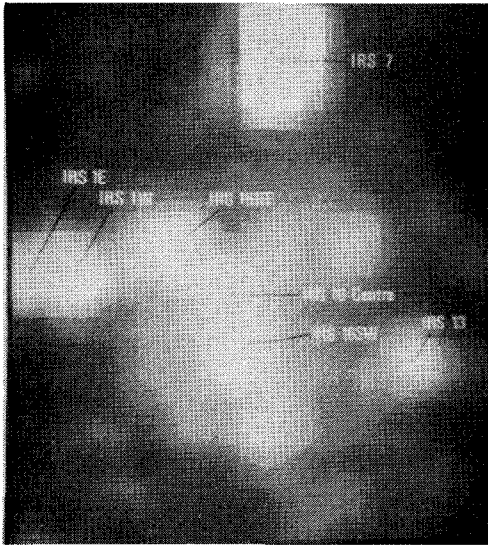


図 2 AAT 3.6 m の赤外測光器による望遠鏡スキャン方式で得られた銀河中心の赤外二次元像。空間分解能 1". MN の好意による。(Storey & Allen, MN, 204, 1153, 1983)

2次元赤外 CCD も実現されていると考えられ、分子雲円盤の微細構造、原始星近傍の複雑な構造が解明されるだろう。

原始星近傍は濃密な分子雲にさえぎられており、赤外域の分光観測は原始星近傍の双極流の運動や加速メカニズムなど複雑な運動の解明に重要である。現在すでに赤外フーリエ分光器 (FTS) による分光観測 (分解能 $\sim 10^4$)

が行なわれている。図 3 に示すのはキットピーク 4m 鏡に付けられた FTS による、比較的明るい BN 天体の近赤外域スペクトルである。CO や H₂ の簡単な分子が同定され、視線速度から天体の運動学的構造が明らかにされている。JNLT では近赤外の他、中間赤外、遠赤外の FTS、さらに冷却赤外グレーティング等で波長分解能 10⁵ を達成する赤外分光器が考えられており、この高波長分解能を生かし、赤外域で測定し易いゼーマン効果を観測することにより恒星誕生領域での磁場の役割も明らかにされよう。星生成メカニズムの解明へ向けて大きな前進が期待できる。JNLT は口径において従来の望遠鏡の約 2 倍であるので 1.5 等級暗い天体が観測できるが、光量損失、検出器の改良、シーイングの良さの要因を入れると、はじめに述べたように、従来のものより 3 等級ほど暗い天体が分光観測可能である。

分子雲円盤から分裂して形成されると考えられる惑星系の発見について、先にも述べたように IRAS はその手がかりになるものを示したが、地上観測のはたす役割も大きい。最近新聞で報じられたように、ラスカンパナスの光学望遠鏡で CCD を使って、がく座ベータ星を詳細に観測したところ星のまわりにダストによると思われる円盤を認めたという。JNLT は大口径、高空間分解能 (近赤外で 0.7") という点でこれらの観測を一歩も二歩も進めうるだろう。

直接撮像以外に惑星系を見つけることも考えられている。高分散分光器によって恒星の視線速度のふらつきから惑星系の存在と質量を推定するのである。例えば木星

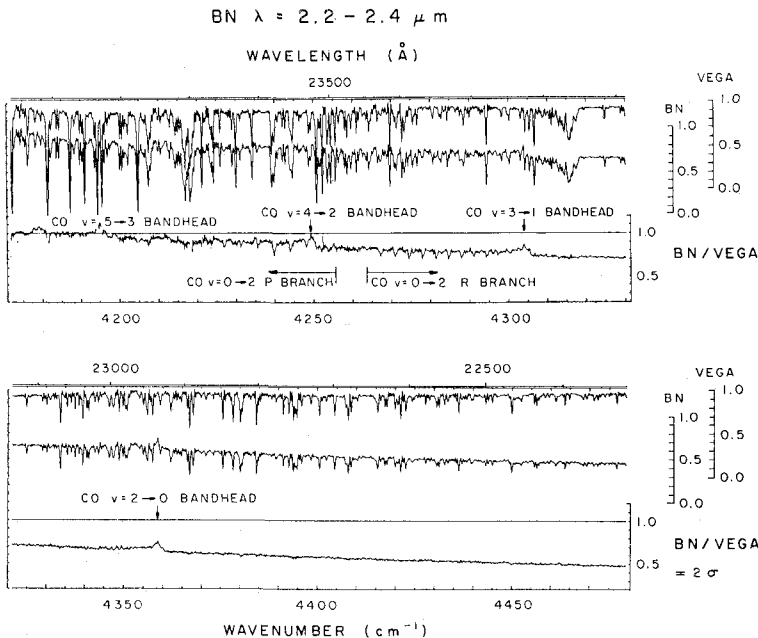


図 3 BN 天体の赤外 FTS によるスペクトル。Scoville et al. の好意による。(Ap. J. 275, 201, 1983)

による太陽への視線速度のふらつき大きさは 12m/s であり、1m/s の視線速度決定精度が要求されるが、JNLT ではこれが可能となろう。又、恒星の固有運動の観測から、惑星を見つけることも考えられている。

我々生物の生命の起源については、地上なのか、外部からやってきたものか等、諸説がある。太陽系天体でも彗星はしばしば太陽に近づき、化学組成について分光学的に推定できる機会が多い天体である。このようなものの中に生命に結びつき得る分子を見つける試みもなされているが、高性能分光器を持つ JNLT はそれに答えてくれるだろう。例えば FTS などによる赤外高分散分光器によって、CH, NH, C₂H₂ 等の簡単な分子の固有スペクトル線のわずかなずれを観測し、それらのとりついている母体分子を推定することが可能になる。もし生命活動の種が地球外にあるならば、このような形でその種が発見される可能性はある。同様のことが恒星誕生領域についても言えるわけである。この領域のどの部分に生命活動のもとになる種が作られているのか探索の夢はふくらむ。

3. 極限状態にある恒星

パルサー、X線連星、激変星、超新星、活動星、ブラックホール等の天体は、光学観測というより電波、赤外、紫外、X線などの全波長域にわたる共同観測によって極限状態の物理や、それらの天体の起源や進化が調べられてきた。高エネルギー現象自体（フレア、バースト、ジェットなど）は電波、X線のような他波長域で直接観測されているが、それをとりまく環境はそのような現象のエネルギー源や入れ物と考えられ、極限状態を理解する重要な鍵となっている。近紫外・光学・赤外域の観測は、まさにこのような役割をになっている。しかし、これら対応光学天体は 15 等級より暗いものがほとんどである。20 等級より暗い天体の分光をみざす JNLT にとって格好の天体となろう。

X線連星、激変星などでは、通常の進化段階にある星がロッシュ・ローブを満たし、あふれ出たガスが相手のコンパクトな星（白色矮星、中性子星、ブラックホール）に降着して、激しい現象を引き起す。あるものは降着円盤をコンパクト星のまわりに作ったりする。これらのガス流や円盤はそれぞれ特有の輝線を出しており、ハワイでとくに有力な近紫外や赤外を含めた分光観測によって円盤の構造や進化が解明できる。例えば、パロマー 5m 鏡を用いて新星 DQ Her の降着円盤の構造が、短い時間間隔で全軌道周期について得られたスペクトルによって解明された。図 4 は DQ Her の青い波長領域のスペクトルの軌道周期の各位相についての様子である。輝線は降着円盤からのものと考えられ、位相 0.0（又は 1.0）近くの弱化は赤色矮星による円盤の食と理解されている。

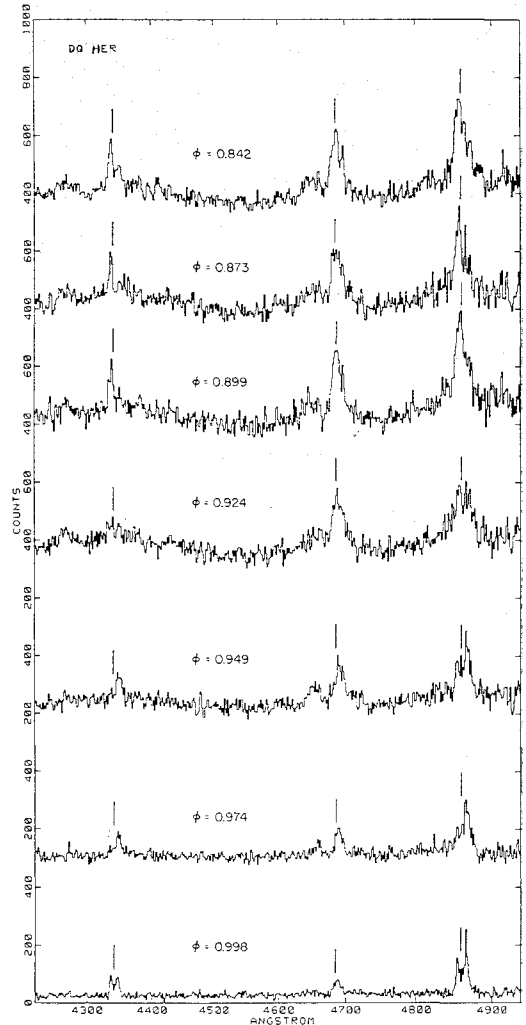


図 4 新星 DQ Her の“スペクトル光度曲線”。Schneider & Young の好意による。(Ap. J. 238, 955, 1980)

これは光度によって較正されて、光度曲線ならぬ“スペクトル曲線”というべきはじめての試みである。DQ Her はこのような天体の中でも比較的明るいものである。JNLT ではパロマー 5m 鏡分光器よりも 3 等級暗い天体の観測が可能であり、大きな成果が期待されている。

今日まで降着円盤に観測者の目が奪われ、ロッシュをみたしている星についての研究はむしろわきへ押しやられてきた。しかしこれらの連星系の活動の起源や進化を考えると、大切な研究対象であることは言うまでもない。X線連星では低質量連星の赤色矮星についてはほとんど不明だし、激変星でも多くは正体不明のままである。“日陰者”だった理由として上記の事実もあるが、最大の理由は“暗くて見えにくい”ことであろう。図 4 のスペクトルでも赤色矮星の連続スペクトルや吸収線は

見えていない。JNLT の大口径を生かして高 SN のスペクトルを得たり、赤外のスペクトルを得ることによってこれらのわき役を舞台の中央にひき出すことが可能となり、激しい動きの主役を裏であやっているのがこれだったということになるかもしれない。

フレア星や RS CVn 型星は激しい恒星活動を示し、太陽の黒点と活動域との類似のものが存在していると考えられている。X線光度、光学光度、自転速度、スペクトル型等について相関関係が調べられ、特に活動度と自転速度については良い相関が認められている。黒点の存在についても一般に認められており、今日ではその黒点分布が明るい星について求められはじめている。図 5 は RS CVn 型星 HR 1099 についてその予備的な結果を示したものである。これは吸収線輪郭への黒点によるわずかな影響から推定するものでドップラー画像法といわれている。レティコンや CCD 等の検出器の登場によって初めて可能となったことを指摘しておこう。JNLT では SN=100 のスペクトルが 15 等級の天体についても得られ、フレア星についても黒点分布が得られるし、多くのサンプル、長年月の経年変化を調べることによりこれらの活動自体の物理的なメカニズムも理解されよう。

4. その他の課題

日本の光学観測で行なってきた CP 星、低温度星、Be 星、連星等の研究も遠方の星団や系外銀河内でのそれら

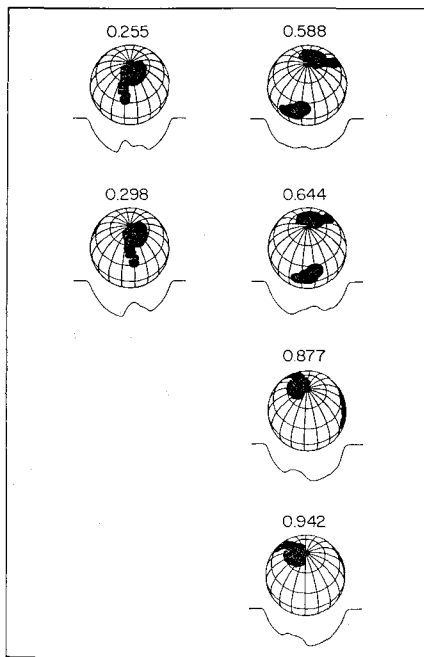


図 5 吸収線輪郭変化から出した HR 1099 の黒点分布。連星軌道の位相に対する見え方を示す。P.A.S.P. の好意による。(Vogt & Penrod 1983, PASP 95, 565)

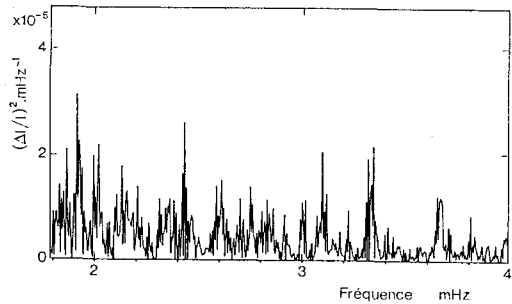


図 6 α Cen の振動のパワースペクトル。まだ光量不足のため、データは雑音が目立つ。Fossat et al. の好意による。(ESO Messenger 1984, 36, 20)

の星の比較研究が可能となり銀河系自体の進化との関係も議論されよう。その他新しい観測も始められようとしている。

恒星の磁場についてもバブコック以来、早期型星に磁場が存在することは確認されており、晩期型星でも存在が信じられている。最近マグネットグラフを用いないで吸収線の幅を精度良く測定できることが晩期型のいくつかの星で示されている。

太陽の 5 分振動の詳細な観測によって太陽内部構造(温度分布、自転角速度など)が解明されつつある。これを恒星にも拡張して恒星内部構造を観測的に決めようという試みが始まった。図 6 に α Cen の恒星振動のスペクトルを示すが、現在のところ光量が不足で多くのことが言えない。しかし JNLT 時代には現在の太陽並みの研究レベルになると期待されている。

JNLT はおそらく多くの天文学者の注目の的となり、申し込みが殺到して天文学者はここぞと思う天体のスナップショットをたよりに現象を解明していかざるを得ない。しかし、天体の中でも時間変動の中に本質を持っているものは、とくに恒星天体に多いであろう(例、X線星、激変星など、長時間観測の蓄積によってわかる時間変動の本質は 1m クラスの小口径で行なわれている)。このようなものは長時間同質のデータを必要とする。JNLT のような大型装置を長時間専有するのは困難であろうから、中小口径望遠鏡をこのような性格の観測に充当することは JNLT による観測を支え、裾野を広げていくことになる。

5. まとめ

JNLT では、パロマー 5m 鏡より 3 等級暗い分光観測が可能であることを述べた。このため、上で述べたように、従来いろいろな状況証拠で推定してきたものを直接観測できるようになるだろう。さらに 20 等級よりも暗い天体が観測できるので、新しい現象や天体の発見の期待は大きい。もちろん、ST との相補的な役割をになっていくことは言うまでもない。