

# 大型光学赤外線望遠鏡が拓く天文学

## —第一部 銀河・宇宙論—

家 正 則\*・岡 村 定 矩\*

### 1. はじめに

日本の次期大型光学赤外線望遠鏡 (JNLT) の活躍が期待されている 1990 年代には、観測の最前線はどこまで進み、どのような新発見がもたらされるだろうか。観測天文学の歴史が証明するように、画期的な新発見の多くは、新しい観測手段により従来の観測限界が乗り越えられたときにもたらされる。その多くは事前に予想されなかったような事実であり、だからこそ画期的なのである。JNLT は可視域から赤外域に至る情報密度の高いスペクトル域をカバーし、その全域、特に赤外域で、現存の世界一級の望遠鏡をはるかに上まわる性能をもつことになる。従って、JNLT も我々の予測を越えた画期的な新発見をもたらす可能性を十分に秘めている。ここでは、銀河・宇宙論の分野における JNLT の使命と期待される成果について、話題を現在の世界の観測天文学の動向から予測される範囲内のものいくつかに絞ってまとめてみることにする。

### 2. 宇宙の果てを探る

「宇宙の果ては？」とか「宇宙の始まりと終わりとは？」という素朴な疑問は、天文学の基盤をなすものであろう。ハッブルの膨張則や 3°K 黒体輻射の発見などで裏付けられ、現在最も一般的に受け入れられているビッグバン (大爆発) 膨張宇宙論では、これらの疑問は実は表裏一体の関係にある。

さて、膨張宇宙論では、宇宙の果てがどうなっているかは、減速パラメータ  $q_0$  という量で記述される。これは宇宙の質量密度  $\rho_0$  が、宇宙膨張をストップさせるのに必要な臨界質量密度  $\rho_{\text{crit}}$  より大きいかどうかを示す量で、 $q_0 = \rho_0 / 2\rho_{\text{crit}}$  と定義されている。 $q_0 > 1/2$  ならば宇宙は有限で時空は閉じており、 $q_0 \leq 1/2$  ならば無限の開いた宇宙である。

$q_0$  の値を観測で求める方法はいくつか考えられている。例えば、極めて遠方にある暗い銀河の数密度を調べればよい。但し、遠方の銀河は昔の銀河なので、銀河の進化による明るさの変化が大きいと話が複雑になる。可視域の赤色 R-バンドでは、27 等級より暗い銀河の計数が鍵となる。従来の写真乾板を用いる方法では 23 等級が検出限界である。近年発達した固体撮像素子 (CCD) のおかげで、今では R=26 等級の銀河の検出が可能と

なってきた (図 1)。26 等級というと、人工光も月もない真暗な夜空の微かな明るさのそのまた 100 分の 1 以下という程の暗さである。これほどまでに暗い天体となると銀河系内の星は殆んどなくて、遠方の銀河ばかりとなる。JNLT では CCD カメラの性能向上や赤色感度の高い二次元像光子計数装置の開発により、27-28 等級の銀河の検出が可能になるだろう。この種の観測は、地球大気外に出ても夜空の明るさがせいぜい半分にしかならないこともあり、宇宙望遠鏡 (ST) に比べ 100 倍もの視野をもつ JNLT が活躍する舞台の一つであろう。宇宙の果てでの銀河計数は、超銀河団や銀河のほとんど存在しない超空洞の研究にも極めて重要である。

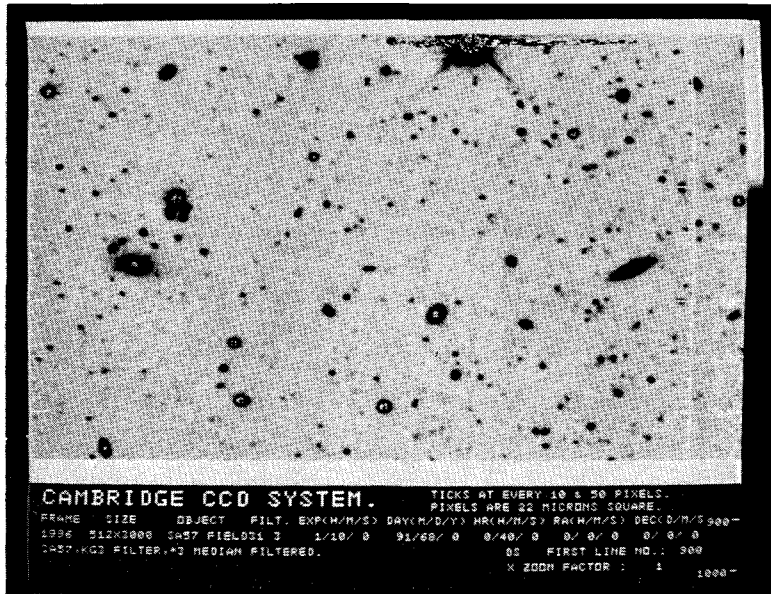
遠方の銀河は赤方偏移  $z$  が大きいので、赤外線での観測が特に有効である。 $q_0$  の値を求める別の方法として、みかけの明るさと赤方偏移の関係を調べるという方法がある。図 2 は赤外 K-バンド (2.2  $\mu\text{m}$ ) での最新の観測データを示すが、現存の 3.8m クラスの赤外線望遠鏡の観測限界は約 17 等級である。今のところ銀河の進化の解明が不十分なこともあって  $q_0$  の値は良く決まっていない。JNLT では、その大集光力と高解像力に加えて赤外線用固体撮像素子の実用化によって  $K=19$  等より暗い遠方の ( $z \geq 1$ ) 銀河を数多く観測することが可能になるであろう。進化による銀河の明るさや色指数の変化の様子が、可視域から赤外域にわたる観測で解明され、 $q_0$  の値がかなりの精度で求められると期待できる。

膨張する宇宙の大きさや宇宙年齢は、ハッブル定数  $H_0$  で表わされる。 $H_0$  の値を決めるには、赤方偏移が求められた遠方の銀河などの距離を、全く別の何らかの方法で正確に求めなければならない。天体の距離を測るためのいろんなものさしが考えられているが、どれも適用範囲が限られているうえ統計的な手法に頼らざるを得ないので、 $H_0$  の現在の推定値は  $75 \pm 40 \text{ km/sec/Mpc}$  とかなりの誤差を残している。JNLT では、現在用いられている推定法に基づくとしても、観測対象をより遠方の多数の天体に広げることができると、宇宙望遠鏡による観測と協力して、 $H_0$  の値をより正確に決めることができるだろう。

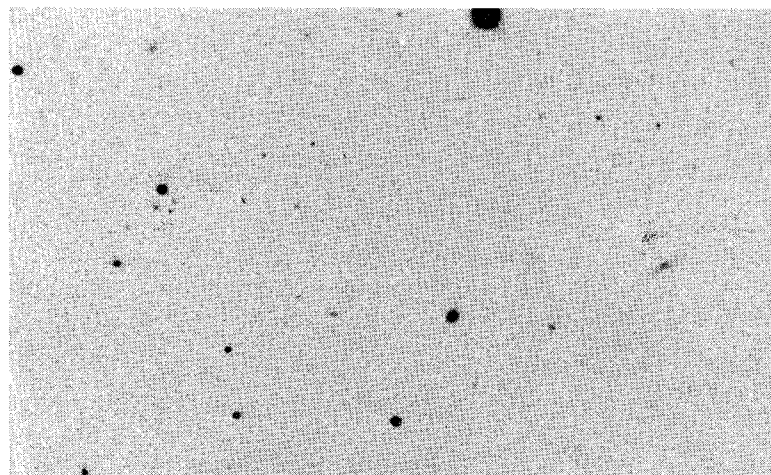
### 3. 赤方偏移 $z > 4$ の天体の探査

クエーサーは宇宙のかたにある謎の天体で、X線から電波に至る広範なスペクトル領域で強力な輻射を放出している。今までに見つかったクエーサーのうち赤方偏

\* 東京天文台 Masanori Iye and Sadanori Okamura



◀ 図1 (上) CCDで撮影した銀河北極方向の宇宙。限界等級はR等級で26等。写っている天体のほとんどが遠方の銀河である。

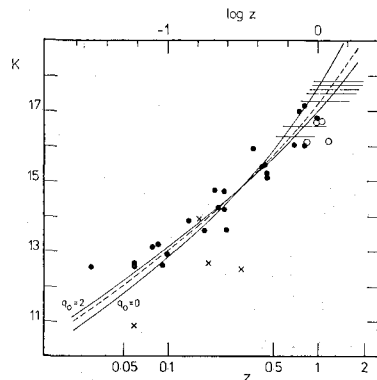


◀ (下) IIIa-J写真乾板で撮影した同じ写野。(両図ともC. Mackay氏の御厚意による)

▼ 図2 赤外域K-バンド(2.2μm)でのハッブル図。現在の観測限界(K~17等)では、銀河進化の効果やq<sub>0</sub>の値を精度よく決められない。K~19等級またはそれより暗い天体の観測が鍵になる。Lilly & Longair (1982) より。

移が最大のものは  $z=3.7$  である。 $z \geq 4$  のクェーサーは、現存の4m級の望遠鏡による懸命の探査にも拘らず、今のところ見つかっていない。 $z > 4$  の天体がないのか、それとも存在はするが何らかの理由で見えないのか、という疑問は、宇宙進化論上極めて重要な問題である。

膨張宇宙論では、超高温の火の玉宇宙 ( $z \sim \infty$ ) が、膨張とともに冷えてゆき、 $z \sim 10^3$  の昔になってやっと物質と輻射場とが分離し、その後密度ゆらぎが成長して原始天体が誕生したとされている。初代の天体の誕生の時期は、密度ゆらぎが等温的なものであれば  $z \sim 10^2$  の頃にまで遡ることが可能だが、密度ゆらぎが断熱的なものであれば誕生は  $z \leq 4$  の時期まで遅れることになってしまう。そこで  $4 \leq z \leq 10^3$  の天体があるかどうかは、ど



らの密度ゆらぎから出発したかを観測から決める上で、決定的に重要なのである。

1983年に打ち上げられた赤外線天文衛星 (IRAS) は、約2万個に及ぶ銀河系外赤外線源を発見したが、これらの多くは遠赤外域 ( $100\mu\text{m}$ ) での輻射の強い天体である。これらの天体の光学的同定や近赤外域での解像力  $0.71$  の観測は、JNLT の一つの大きな使命となろう。 $z > 4$  の原始天体は遠方であっても、宇宙膨張の影響で、みかけの大きさはさほど小さくならない。現在の標準的な銀河のサイズの天体が  $z > 4$  の距離にあるとすると、みかけの大きさは  $5''$  程度かそれ以上となる。赤外線用 CCD 等の実用化で、赤外二次元測光 (撮像) が可能になれば、このような天体の観測にうってつけである。

JNLT は、 $30'$  以上の広い視野をもつことと、赤外域 ( $2.2\mu\text{m}$ ) で  $0.71$  の高い解像力をもつという点で、宇宙望遠鏡 (視野  $2.6'$ , 赤外解像力  $0.725$ ) を上まわる性能もっている。JNLT は、宇宙の歴史において初めて出現した天体の探査研究に、世界で最も強力な望遠鏡として活躍するであろう。

#### 4. 原始銀河間雲の化学組成

輝線の赤方偏移  $z_{em} \geq 1.8$  のクェーサーの高分散スペクトルを調べると、ライマン  $\alpha$  輝線の短波長側に数多くの鋭い吸収線が存在することが分る (図3)。この吸収線群は「ライマン  $\alpha$  線の林」と呼ばれるが、それぞれがクェーサーと我々との間の銀河間空間に漂う原始銀河間雲であると考えられている。いわば、銀河になりそこねた原始銀河間雲である。これらの原始銀河間雲の構造と化学組成の解析は、一般の銀河の生い立ちの解明にとっても非常に重要である。図3では特に顕著なライマン  $\alpha$  線2つについて、対応する炭素線の吸収線 CIV が同定されている。原始銀河間雲ごとに炭素線の強さが著

しく異なる様子が分る。現存の  $4\text{m}$  級望遠鏡では、 $17$  等級の限られた明るいクェーサーでしか、このような高分散分光観測はできない。JNLT では、その大集光力により約  $18.5$  等の天体まで観測が可能となる。このあたりでの  $1.5$  等級の差は大きく、調べられるクェーサーの数は大幅に増える。 $17$  等級よりも暗いクェーサーで「ライマン  $\alpha$  線の林」を高分散分光観測 ( $\lambda/\Delta\lambda \geq 10^4$ ) することは、JNLT のような大望遠鏡をもってのみ実現可能なテーマである。

#### 5. クェーサーの謎解き

前節で述べたようにクェーサーは銀河誕生の謎解きに重要な役割を果たす。一方、クェーサー自体の謎解きも  $1990$  年代の天文学の一大テーマである。 $z \leq 1$  のクェーサーのまわりには、最近の CCD を用いた観測で、母銀河を思わせる広がった天体があることが分かってきた。図4は全天一明るいクェーサー 3C273 のまわりに広がる楕円銀河と思われる天体を示している。また様々な共通点から、クェーサーとの関連が議論されているセイファート銀河中心核の研究も近年急速に進んでいる。中心核からのガスの放出によると考えられる幅の広い吸収線をもつクェーサーや、全く線スペクトルの同定できない BL Lac 天体など、活動的銀河にもいろんな変わり種がある。

これらの天体の正体を明らかにし、銀河中心核やクェーサーの活動現象の機構を解明するためにも、JNLT で可能となる高分散分光観測と赤外線観測は大きな力となることは疑いない。クェーサーの謎解きは ST の重要なテーマでもあるが、JNLT での観測は ST での可視域での高解像力と補いあって、クェーサーの正体をあばいて

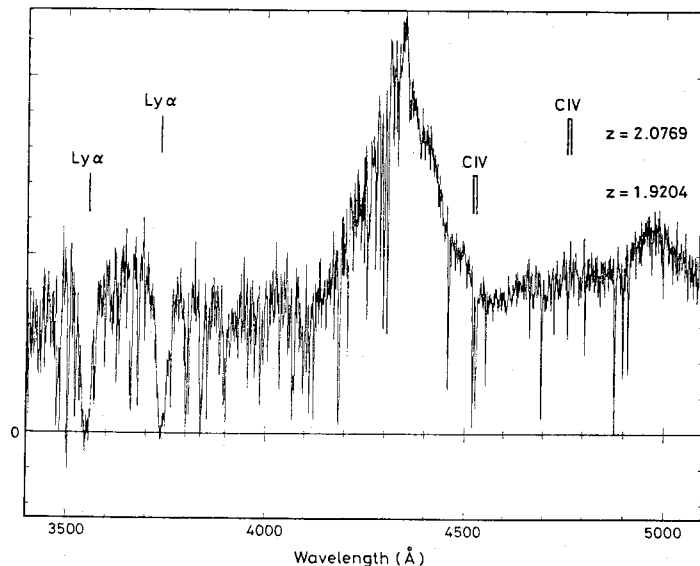


図3 クェーサー 2206-199N のライマン  $\alpha$  線の林。特に著しい2つの吸収雲については対応する CIV 吸収線の同定を示している。Robertson et al. (1983) より。

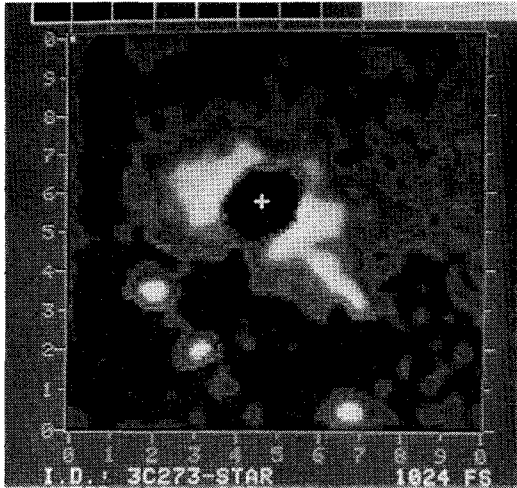


図 4 一番明るいクェーサー 3C 273 のまわりのコロナ。クェーサーの部分隠して CCD で観測したもの。Tyson et al. (1982)

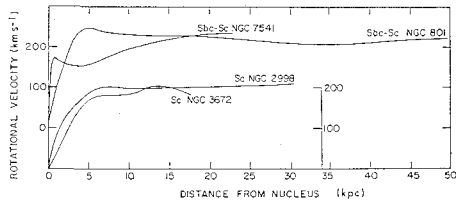


図 5 ミッシング・マスの存在を示唆する「平坦な回転曲線」。Rubin et al. (1978)

くれるものと期待される。

### 6. ミッシング・マス

最近の観測によると渦巻銀河の回転速度は、中心から離れたところでも、ケプラーの法則が予測する程には減少せず、ほとんど一定である(図 5)。このいわゆる「平坦な回転曲線」の観測によって、従来太陽近傍及び銀河団でその存在が推測されていたミッシング・マスは、個々の銀河にも付随している、すなわち宇宙にあまねく存在しているらしいことが分ってきた。実はこのミッシング・マスは超銀河団や超空洞の存在、つまり宇宙における銀河分布の大局構造の形成とも深く関わっているようなのである。

ミッシング・マスがどのような物質からできているのか、進化を終えたブラックホールか、暗い小さな星々か、それともニュートリノなど核子物質以外の素粒子子なのか、光っている物質とミッシング・マスの割合は、どのような階層の天体でも一定なのか、等々。ミッシング・マスに関する疑問は現在まだ殆んど何も解明されていないと言える。このミッシング・マスの謎解きは、JNLT に期待がかけられている役割の最大のものの一つである。

では一体どんな観測がこの謎に答えてくれるのだろうか。まず第一には、銀河系の球状星団や局部銀河群中の矮銀河にもミッシング・マスが付随しているかどうかを調べることである。これらの比較的規模の小さい恒星系にミッシング・マスがあるかないかが分かれば、ミッシング・マスの正体はかなりつきとめられる。そのためには可視域で約 25 等星までの微光星の測光観測や精密な視線速度の決定により、星の種族や運動状態を決めることが必要となる。このような微光星の観測は ST が得意とするところでもあるが、JNLT は ST の 100 倍以上の視野を有する点で有利であり、ST との連れ合いプレーが期待される。

第 2 には、宇宙の中のさまざまな環境下にある銀河の構造を体系的に調べることである。今日、詳細な表面測光によって構造が調べられている銀河は、特別な例を除くと、ほぼ乙女座銀河団まで、すなわち約 20 Mpc 以内のものに限られている。JNLT の高解像力と大口径を持ってすれば、この 10 倍以上遠方の銀河の構造を詳しく解析することができるであろう。超銀河団の最も密な領域と超空洞の近くの粗な領域に存在する銀河について、その銀河の構造や性質に系統的な差があるかないか、またあるとすればどのようなものか。これらの疑問に答えることは、宇宙の大局構造及び銀河の形成に、ミッシング・マスがどのように関わってきたかを解明する上で決定的に重要である。

### 7. おわりに

紙面と筆者の見通し能力の制約上、以上 5 つの言わば花形テーマに話を絞った。しかし 21 世紀になってから JNLT の成果を振り返ってみると、案外本稿で触れなかった話題に関する画期的発見・成果がベストファイブを占めているのかもしれない。観測目的や計画は天文学の発展とともに日々練り直されてゆくものであることを、多少言い訳めくが、つけ加えておきたい。

### お知らせ

#### 第 15 回 彗星会議の開催について

下記の通り第 15 回 彗星会議を開催致します。ふるってご参加下さい。

日 時: 1985 年 3 月 23 日(土)、24 日(日)

会 場: 仙台市市立天文台

問い合わせ先: 仙台市桜ヶ岡公園 1-1

仙台市立天文台内

仙台天文同好会 笠原 紳 宛

1 月末までにお問い合わせ下さい。

(Tel. 0222-22-6694)