

第2章 21世紀の世界及び日本の観測天文学の流れ

2.1 観測天文学研究の見通し

学術研究の発展の方向を正確に予言するのは、学術研究というものの本質から考えて、ほとんど不可能といってもよいが、新しい望遠鏡を計画するに際しては、関連する分野の研究動向や今後の発展の方向をある程度は見透しておくことが必要である。そこで、赤外線天文学の中でも、TAO計画と特に関係が深くなるのが確実な分野について、その展望を、ここで概観することにする。

その中でTAO計画推進メンバーが追究しようと現時点で考えている具体的な研究テーマについては、次章で紹介するので、そちらをご覧いただきたい。

2.1.1 宇宙論

宇宙の起源進化を対象とする学問は宇宙論と呼ばれ、万物の起源に直接関連することから太古から人々の興味を中心であった。宇宙論を直接観測で研究するのは、宇宙背景放射の観測を除けば長らく困難な状況にあったが、20世紀末の観測技術の急速な進歩により、宇宙論パラメータと直接関係する観測データを得ることが可能となった結果、観測的宇宙論は新たな段階を迎えている。

1990年代には議論的であったハッブル定数は、ハッブル宇宙望遠鏡による近傍銀河のセファイド型変光星から得られる $z \sim 0$ での測定値とWMAP衛星による宇宙背景放射のゆらぎに簡単な仮定をすることから得られる $z \sim 1000$ での測定値がほぼ 70 km/s/Mpc で一致したことにより、議論は一段落したと言える。一方、1990年代初めに行なわれた暗い銀河の計数から示唆された正の宇宙項は、Ia型超新星を使った宇宙膨張測定の結果、大半の研究者がその存在を信じるようになった。また、インフレーション宇宙モデルで予言され、WMAP衛星による宇宙背景放射の精密なゆらぎ測定により、宇宙はほぼ平坦であることが高い精度で示された。これと銀河団、あるいは銀河サーベイの銀河分布やライマン α の森の分布、あるいは超新星の測定結果とあわせると、宇宙の曲率をゼロ

(平坦) にしている総エネルギー量の 3 割は物質エネルギーであり、残りの 7 割は宇宙項に起因する「ダークエネルギー」と呼ばれる未知のエネルギーであるという仮説が標準的に受け入れられるようになった。大量の「ダークエネルギー」が宇宙膨張を加速させたことにより、宇宙年齢はほぼ 140 億年となり、球状星団の年齢が宇宙年齢よりも長くなる可能性のあった、いわゆる年齢問題も一応の解決が得られた。

宇宙を天体の容れ物として考え、膨張する宇宙のパラメータを決めることだけが観測的宇宙論であるならば、現在までに得られているモデルは、現象を比較的良く説明する。しかしながら、これらが確定してくると、天体物理学の観点からは、むしろ問題が増えたと思うべきであろう。1930 年代にツビッキーがかみのけ座銀河団で指摘した、見えない質量、つまり「ダークマター」(暗黒物質)は、電磁相互作用はしないが重力相互作用をする仮定の粒子として説明される。この「仮想粒子」を高エネルギー加速器によって発見しようという試みは行われているが、ツビッキーの指摘後 70 年以上たった今でもまだ正体がわかっていない。「ダークエネルギー」はさらに謎が深く、その正体はもとより、宇宙膨張によらず密度が一定で、遠方からの光がちょうどまっすぐ(平坦な曲率で)進む量になるように現在宇宙に満ちている理由は全く見当もつかない状況である。これらは残された些細な問題と見る向きもあるかも知れないが、20 世紀初頭の物理学発展の歴史と同じように、21 世紀の物理学の大発展の糸口となる可能性を秘めていると見るべきであろう。現在の観測的宇宙論の主題は、「ダークマター」および「ダークエネルギー」の正体の解明へと移りつつあると言える。そのためには、むしろ“近くの宇宙”を観測することが重要となる。というのは、赤方偏移が 1000 を越えるような時期には、物質密度が現在の 10^9 倍にもなり、ダークエネルギーが宇宙の曲率に及ぼす影響はごく僅かなものとなるため、精密な宇宙背景放射の測定を行なっても、そこからダークエネルギーの寄与だけを的確に取りだすのは極めて困難だからである。

一方、この見方の前提となっている“標準的な宇宙論”が正しいことを手放しで認めるのは決して科学的な態度とは言えない。その正しさを従来とは異った方法やレベルで検証することは、その説を補強するばかりでなく、時にはその限界を明示することにほかならないからである。宇宙背景放射による検証が高精度になればなるほど、新たな手法で宇宙膨脹率の変遷を捕える観測や宇宙の年齢を直接測定する観測も一層重要性を増すと考えられる。

2.1.2 銀河の起源と進化

天体の容れ物としての宇宙のパラメーターが分ってくると、その中で天体の進化に関心が寄せられるのは当然であろう。この方向での研究は、主に、計算機シミュレーショ

ンに基づいた CDM (cold dark matter = 冷たい暗黒物質) モデルである程度は説明可能であることが分ってきた。宇宙初期に存在した微小な密度揺らぎが成長して、銀河より小さなサイズのダークマターハローが形成され、それらが互いに合体を繰り返し成長していくというのが、その大筋である。これを“階層的銀河形成シナリオ”と呼ぶ。

しかしながら、“真の”原始銀河、すなわち、原始的なガスから形成中の銀河として明確にそうだと言える天体は未だに発見されていない。また、それが見つかったとしても、その後、どのような進化を経て、現在見られるような銀河になるのか、階層的銀河形成シナリオはどこまで(あるいは、どれが)正しいのかについては、観測結果があまりに不足しているために、ほとんど未解明である。宇宙の大規模構造を従来にない広い領域に渡って描き出すことや、種々の銀河の特徴と分布との関係を明らかにするなど、従来から研究が進められて来たテーマについても、量的に画期的な進歩をもたらすことで新たな展開が期待できよう。

2.1.3 星間物質

星間物質は恒星とならぶ宇宙の主要構成物質であり、主に電波から赤外線領域および X 線領域で観測するのが有効である。このうち、赤外線では固体成分であるダストの観測に適している。これに関連した研究テーマとしては、今後、ダストの形成に関する研究および系外惑星の探査と形成に関する研究が注目すべき分野であると考えられる。

2.1.4 ALMA との連携

これらと別の観点として、ALMA によるミリ波・サブミリ波観測の展開も十分に考慮する必要がある。これは、ALMA が 21 世紀初頭の天文学に於いて画期的な成果を期待されている装置であることのみならず、そのターゲットとする研究テーマに関連して重要となる赤外線観測が多数想定されることと、設置場所が地理的に隣接していることなどが大きな要素となる。そこで、ALMA との連携については改めて項を立てて検討する必要がある。

2.2 世界の大型計画

新しい望遠鏡を建設するに際しては、国家的規模の計画ではなくとも、その完成想定時に、世界の天文観測施設の水準がどのようになっているはずなのかを知っておく必要がある。そこで、可視および赤外線天文学における現在の大型望遠鏡の状況と、TAO

完成想定時における状況がどのようになっているのかを推測を交えてまとめてみた。

受光装置が写真乾板や単画素検出器から CCD などの固体撮像素子へと改良が進む間、可視・赤外線望遠鏡の主鏡口径は長らくヘール 5m 鏡、ゼレンツクスカヤ 6m 鏡が限界であるとされ、その最大サイズは長らく進歩が見られなかった。しかしながら、20 世紀末に、口径 10m のケック望遠鏡ができ、ハッブル宇宙望遠鏡が運用を始めると、この限界は一気に破られ、2005 年現在、口径 8m 超の望遠鏡だけで、10 基以上が運用を行っている。そして、より巨大な地上の望遠鏡や軌道上の望遠鏡も多数計画されている。今や、すばる望遠鏡もこれら巨大望遠鏡群の 1 つに過ぎず、日本の可視赤外線天文学は、少なくとも観測装置の面では安閑としていられない状況にある。

この状況を具体的に認識するために、ここでは、可視赤外線域で現在運用中および計画中の主な大型望遠鏡、宇宙望遠鏡についてまとめる。

8-10m 級が可能となった技術的背景としては、主鏡の軽量化と経緯台の実用化、および短焦点主鏡によるドームの小型化の 3 点が挙げられる。

主鏡の軽量化は、構造強度をガラス材とは独立することによって達成された。ガラス材の形状によって薄メニスカス、ハニカム、分割鏡の 3 方式が実用化されたが、主鏡面形状を保持する構造強度をガラス材とは独立とし、そこからの能動支持によって保つという基本的な考え方は共通している。薄メニスカス鏡はガラス材単独時の取り扱い、ハニカム鏡はガラス材鋳造工程の複雑化、分割鏡は要素鏡境界線による星像や赤外線放射率の悪化という問題点をそれぞれ持つが、互いに他にはない長所もあり、8-10m 級では甲乙つけがたい。とはいえ、30m 超級ではいずれも分割鏡を採用している。このサイズでは一体のガラスを製造することが不可能であるためと考えられる。

可視赤外線望遠鏡は高い角分解能で撮像素子を用いた観測を行うため、非等速回転と像回転が発生する経緯台式望遠鏡を可視赤外線用で実用化するためには、高度な精密制御が必要であったが、コンピュータ制御技術の発展により、1980 年頃には充分実用の域に達した。経緯台式の場合、重力に対する大型構造物支持が自然な形状となる。また、ドーム形状も最小限のクリアランスを確保すればよいので、同じサイズの望遠鏡に対して赤道儀よりも若干小型化することが可能となる。

短焦点主鏡を製造するには、曲率半径が小さな深い主鏡が必要であり、平板ガラス材から製造するには、多くの切削量と十分な精度が必要となる。ガラス鋳造技術とコンピュータを利用した光学設計技術の進歩、およびレーザー干渉測定による高精度測定技術が実用化したことで、主鏡の比焦点 (口径に対する焦点距離) を非常に小さくすることが可能となった。その結果、主焦点または副鏡位置を主鏡面に近くして、鏡筒長を口径に比べて短くすることが可能となった。これにより望遠鏡の回転モーメントを小さくして、望遠鏡駆動装置への負担を軽減することができた。また、望遠鏡を収容するドーム径も小さくすることができるようになった。

これらの技術は、実際に 8–10m 級望遠鏡を運用した結果のフィードバック及びコンピュータ制御技術・精密測定技術のさらなる進歩によって発展を続けており、今後、10 年程度で、国家プロジェクトあるいは国際共同プロジェクト規模で建設可能な可視赤外線望遠鏡の口径は 30–100m 級に達することが予想される。

目を宇宙に向けると、ハッブル宇宙望遠鏡 (HST) の次世代として計画されている NASA の J. Webb 宇宙望遠鏡 (JWST) がある。2002 年まで、次世代宇宙望遠鏡 (NGST) として検討されていたものである。JWST は、口径 6m だが、観測条件が地上とは比較にならない宇宙空間に設置されるため、カタログ仕様では他の望遠鏡計画の追随を許さない。HST に比べて赤外線性能の向上を優先課題としたため、HST のような機器更新の可能性を捨て、地球からの放射を避け、地球–太陽が作る L2 点に設置することになっている。国家プロジェクト以上の規模として検討されている地上望遠鏡の口径が 30–100m 級となっているのは、JWST の撮像能力に対応する分光能力を目標としているためでもある。

JWST の観測能力が落ちてくる遠赤外線に的を絞ったのが宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 (JAXA-ISAS) で検討している SPICA である。口径 8m の主鏡冷却望遠鏡を JWST と同じく L2 に設置することを予定している。遠赤外線観測を狙った天文衛星は、これに先駆けて進んでいるハーシェル宇宙望遠鏡 (旧称 FIRST) や 2005 年度冬期に打ち上げ予定の JAXA の ASTRO-F、2003 年に運用を開始した Spitzer Space Telescope (旧称 SIRTF) がある。宇宙望遠鏡は、衛星寿命や搭載できる観測装置が限られることから、勢い、特定の研究テーマに的を絞ったものが多くなる。地上から観測困難な遠赤外線域での主要研究テーマとして現在世界的に注目されているのは宇宙背景放射と太陽系外惑星である。

したがって、共同利用を行い汎用の観測を目的とした地上望遠鏡を新規に建設するとすると、口径 10m を大きく上回らないと世界の観測天文学の水準から大きく後れをとることとなる。これより口径が小さな望遠鏡を建設するには観測条件が格段により場所に、最低 6m 以上、できれば 10m 級の口径を持つ望遠鏡を建設し、観測テーマを絞り、望遠鏡の仕様や観測時間を戦略的に集中させるなどの対策を立てる必要がある。

主な望遠鏡計画についての具体的な仕様などをまとめて Appendix D に付録に掲載した。また、計画の実現想定時期の概略を図 2.1 に掲載した。

2.3 日本の大型観測施設の中での TAO 計画の位置づけ

日本の大口径光赤外望遠鏡としては、国立天文台が建設し 2000 年より共同利用観測を行なっている「すばる」望遠鏡がある。これは北半球に建設されており、我々の TAO 望

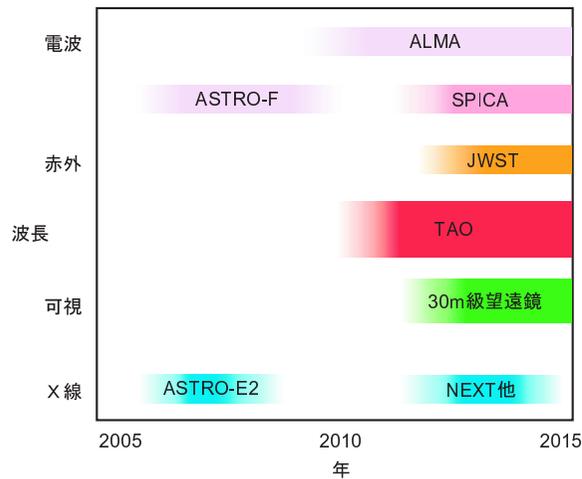


図 2.1: 世界の主要望遠鏡計画の実現時期と TAO

望遠鏡と合わせると、宇宙論及び銀河形成・星形成の研究分野での最重要な 5 つの天域 [2 つの銀極、大小マゼラン銀河、銀河中心、オリオン星雲] がカバーできる。さらに、国立天文台は北米連合、ヨーロッパと共同で ALMA (大規模ミリ波干渉計) をアタカマに建設しており、この ALMA で検出された未知の天体の同定、詳細な観測が TAO 望遠鏡を用いて日本独自に行える。さらに、日本の X 線、赤外線観測衛星の打ち上げが 2005-2006 年にかけて予定されており、これらとの共同観測がすばるでの観測が可能な北天に限られることなく、全天にわたって行える。また、以上の大望遠鏡、衛星天文台はすべて国立共同利用機関 (国立天文台と宇宙科学研究所) が建設・運用し、国際共同利用が行われているが、さらなる 21 世紀の日本の大型計画を科学的にも技術的にも推進していく若手の育成のためには、TAO のような大学固有の望遠鏡が大きな役割を果たすのは疑う余地がない。