

次世代超大型光赤外望遠鏡 (ELTs) を巡る状況 について

家 正 則

〈国立天文台 ELT プロジェクト室長 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: iye@optik.mtk.nao.ac.jp

2005年11月14-18日の5日間、ケープタウンでIAUシンポジウム232 “The Scientific requirements for Extremely Large Telescopes” が開催された。本稿では、このシンポジウムで報告された次世代の主要プロジェクトの状況と、日本の活動状況について、その後の展開も含め、私見を交えて紹介する。

1. はじめに

開催されたシンポジウムの参加者は約120名、日本からは筆者と南アフリカ天文台での研究歴がある関口和寛氏が参加した。このシンポジウムはALMAに続く次世代超大型光赤外望遠鏡として検討が進められている北米の30 m TMT (The Thirty-Meter Telescope) 計画と24 m GMT (Giant Magellan Telescope) 計画、欧州の100 m OWL 構想などの状況と、他波長の大型計画の動向を把握し、次世代の観測天文学の目指すサイエンスとそのため観測機能を検討する場として、IAUの肝入りで企画されたものである。組織委員長はMichel Dennefeld (仏)。筆者も組織委員として企画に参加した。南アフリカで建設が進んでいる10 m SALT (Southern African Large Telescope) の開所式が11月初旬に挙行されるのに合わせて、その翌週にケープタウンで開催することとなった。

日本では光赤外天文学連絡会のもとに結成した光赤外天文学将来計画検討ワーキンググループで30 m 次世代望遠鏡 JELT (Japan Extremely Large Telescope) とスペースミッションの構想を練り、

「2010年代の光赤外天文学—将来計画検討報告書」をとりまとめた。IAU232では、日本の将来構想と技術開発状況、及びすばるの最新成果からガンマ線バースターとライマン α 銀河について筆者が報告し、関口氏はすばる望遠鏡のSXDS (Subaru XMM Deep Survey) サーベイを軸とした遠宇宙探査の成果報告を行った。すばる望遠鏡の成果については、再三引用され賞賛を得たことを関係者にはうれしいニュースとしてご報告したい。

次世代超大型望遠鏡が目指すサイエンスについては、ダークエネルギー、暗黒物質、宇宙再電離、物理定数変化、銀河形成、元素合成史、銀河進化、活動銀河中心核、近傍銀河恒星種族、原始惑星系円盤、系外惑星探査、アストロメトリーなどの主要テーマについて、最新成果のレビューと将来の展望がなされた。

会議のうちの2日間は宇宙論、近傍銀河、星形成の三つの分科会に分かれてサイエンスの検討の報告がなされた。いろいろと面白いアイデアも紹介されたが、最近の成果として注目されたのは、VLT干渉計で直径3ミリ秒角のセファイド型変光星の直径の脈動を直接検出した成果 (Kervella



図1 南アフリカ天文台大望遠鏡 (SALT) のセグメント主鏡 ©SAAO 2005.

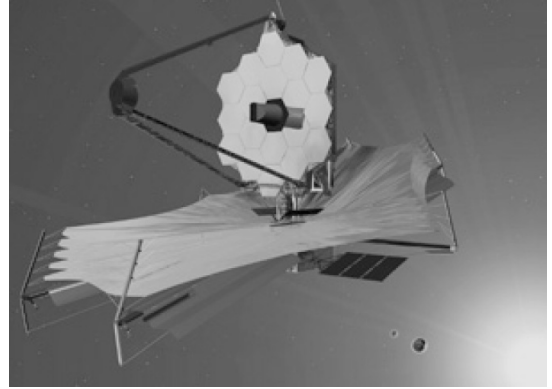


図2 日除けパネル、太陽電池パネル、望遠鏡を展開した JWST の予想図。

Credit: Courtesy of Brush Wellman & NASA.

et al.) や、球状星団 ω Cen の主系列が二重系列となっている事実の発見 (Bedin et al.) などであった。詳細は集録に掲載される予定なので、参照していただきたい。

2.1 南アフリカ大望遠鏡 SALT (David Buckley)

SALT は、南アフリカ、米国、ドイツ、ポーランド、英国、ニュージーランドの共同による計画で、本シンポジウムの前週に完成式典を迎えたところである。91 枚の球面セグメントからなる口径 9.2 m の主鏡の高度角は斜めに固定されているが、副鏡と観測装置を載せたトラッカーが移動して、像を追いかけることができる。いわばアレシボの電波望遠鏡の光版である。この方式の先鞭を切ったホビー・エバリー望遠鏡 (HET) に続く 2 番手のため、種々の改良が施されている。開所式のようにすは関口氏の記事を参照されたい。筆者は現物を見る機会がなかったが、コストは 30 億円レベルで、シーイングサイズ 1.2 秒角。なかなかのさばえのようだ。ただし、補償光学については、主鏡セグメントの位相合わせが必要なうえ、瞳移動などがあり、まだまだたいへんそうだ。次世代超大型望遠鏡を極めて安価に建設する可能性を開くものだが、機能が限定されるため本流とはみなされていない。

2.2 ジェームス・ウェッブ宇宙望遠鏡 JWST (Jonathan Gardner)

NASA, ESA, CSA (カナダ) の共同プロジェクトである JWST については、当初予定より大幅に建設が遅れているものの、すでに軽量化ベリリウム主鏡セグメントの製作などが始まっているとの報告があった。各セグメントには能動光学アクチュエーターが装備される。打ち上げ時には 18 枚のセグメント鏡を 3 群に折りたたみ、宇宙空間で展開して 6.6 m 鏡を実現する。別途展開する太陽遮蔽板で受動的に 50 K まで冷却して赤外線観測の感度を確保する方式だ。展開手順を示す CGムービーが上映されたが、複雑な手順に予期外の事態が発生した場合の対応が気になり、バックアップシステムの有無やリスク管理について質問してみた。実際の半分のサイズのプロトタイプ模型で展開操作の各ステップを十分に事前実証するので、個々のバックアップシステムは考えていないとの答えだった。当初ハッブル宇宙望遠鏡より安いミッションにするという話だったように思うが、JWST 計画はすでに総額 6,000 億円に及ぶ超大型計画となっている。失敗が許されないだけに気がかりだ。2006 年度に開催予定のオーランドの SPIE (The International Society for Optical Engi-



図3 7枚の8.4 m鏡からなる GMT 計画完成予想図。

Credit Line—Giant Magellan Telescope—Carnegie Observatories. Artwork by Todd Mason, Mason Productions.

neering)には実物大模型を展示すること。現時点ではL2ポイントへの打ち上げは2013年6月以降の予定となっているようだ。

2.3 大マゼラン望遠鏡 GMT (Patrick McCarthy)

アリゾナ大学など米国内の8大学・研究所の共同計画である。7枚の8.4 m軸外し主鏡を同一架台に載せて、有効口径22 m級の望遠鏡を建設する構想だ。2006年2月下旬にはこの計画の国際評価委員会が開催され、筆者も出席した。アリゾナ大学のミラーラボですでに最初の主鏡の鋳込みが完成し、研磨に入ろうとしている。NSF (National Science Foundation 全米科学財団)と私的寄付による実現を期している。7枚の主鏡に対応した7枚の可変副鏡を用いる。1,000枚規模のセグメント鏡に比べて風には強く、鏡材製作も研磨もほぼ自作するので安上がり。確保済みのサイトであるラス・カンパナスに設置し、補償光学を段階的に高度にしていく構想だ。予算面以外は計画としては一番リスクが少ないかもしれない。

2.4 30 m 望遠鏡 TMT (David Crampton)

カリフォルニア大学、カルテク、カナダ、それに NOAO (National Optical Astronomy Observa-

tory)の4機関の共同計画として発足したTMTは約4年間の基本設計期にあり、パサディナにTMT本部を開設し、30名弱の専任スタッフが基礎開発と設計検討に取り組んでいる。プロジェクト科学者はケック望遠鏡を実現したJerry Nelson、プロジェクトマネージャーは重力波計画など大計画を切り回してきたGary Sanders。予算規模を望遠鏡本体に約5億ドル、観測装置と補償光学にそれぞれ約1億ドルと見込んで、コストがこの予算に収まるかどうかの詳細検討を2007年までに終える予定。建設予算が順調に確保できれば2009年から建設という目論見だが、望遠鏡本体については予算超過の可能性があり、運用経費の捻出のプランもまだ固まっていない。4者だけでは実現できないとの危機感から、5番目、6番目のパートナーを募る方向を検討しており、非公式ながら日本の参加について打診がある。主に三つのサイトを評価中。基本構想の検討がかなり進展しているため、観測装置や運用への参加はもちろん不可欠だろうが、望遠鏡本体への参加形態など、日本の貢献の役割をどこに置くかが課題だ。



図4 カリフォルニア連合ほかの 30 m 望遠鏡 TMT 計画完成予想図。

Credit: Todd Mason, Mason Productions.

2.5 超巨大望遠鏡 OWL (Guy Monnet)

たいへん野心的な 100 m OWL 構想では、観測装置にも TMT などにはない QuantEYE, CODEX など新しいアイデアの装置が提案されてきた。だが、その予算規模や実現可能性を疑問視する向きも多く、ESO が委嘱した国際評価委員会が 2005 年 11 月初旬に開催された。その結果、今後 2 年間で構想を根本的に見直すことになった。直径は 40–60 m にして、予算規模は 750 M ユーロ以下とすること、OWL 構想に対して挙げられた (1) 主鏡・副鏡ともセグメントで点像関数が複雑、(2) 補正光学系も含めて鏡の枚数が多すぎる、(3) 装置を置く焦点の姿勢が変化する、などの懸念への対応を考えると野心的な OWL を単に縮小するだけでなく、より現実的な構想への方針変更の可能性が出てきた。このことは少し前から予想されていたが、この方針変更の公表は今回のシンポジウムの最も大きな動きであった。日本は野心的な OWL 構想には少し距離を置いてきたが、この見直しは新しい国際協力の可能性を拓くことになるかもしれない。口径を縮小することでできなくなるサイエンスは何かなどの議論があった。

年が明けて、2006 年 1 月には欧州南天天文台長 Catherine Cesarsky が構想見直しのためのワーキ

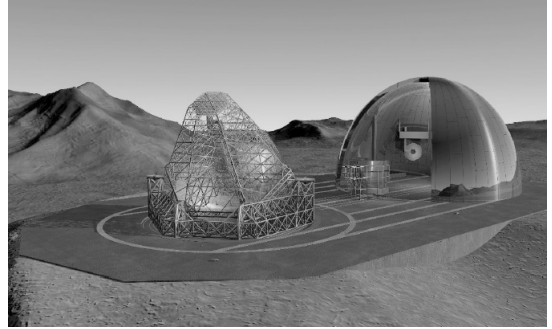


図5 ESO の 100 m OWL 構想完成予想図 (現在構想見直し中)。

Credit: ESO Telescope Systems Division.

ンググループを招集し、10 月を目処に新構想を発表することとなった。新しい構想として、例えば主鏡口径 42 m、副鏡 6 m、直径 2.4 m の第 4 鏡を可変形状鏡として、後述の JELT のように 3 枚の非球面を採用して回折限界の平坦像面をナスミ焦点に実現する案などの検討が始まっている。グレゴリアン光学系の Euro50 との相互比較を軸にした再見直しになるように思われる。望遠鏡に可変鏡を仕込む場合に、最大どれくらいの大きさの可変鏡が実現できそうかの判断が鍵になるかもしれない。

2.6 検出器の展望 (Klaus Hodapp)

CCD の新技術として水平・垂直両方向の電荷転送を可能にし、画像の動きに追従する応用例や、補償光学の波面測定用などに内部増幅機能を組み込んで単光子検出を目指す開発が紹介された。CCD は将来 CMOS Si-PIN アレーに代わるであろうとの見通しや、赤外線 CMOS アレー検出器の普及に伴い、ELT 時代には赤外線画像検出器の大型化・価格低下への期待が述べられた。ロックウェル社が開発している読出回路のワンチップ化の試み (SIDECAR™ ASIC) の紹介があり、質疑が集中した。

3. 日本での活動

国立天文台 ELT プロジェクト室では、平成 17



図6 試作中の 33 cm ZPF 鏡材.

年度は大量のセグメント鏡を短期間で比較的安価に制作する方法の一つとして注目してきたセラミック鏡の開発を最重点課題として取り組んだ。太平洋セメント社と日本セラテック社が開発したゼロ膨張セラミック素材 ZPF で、平成 16 年度には軽量化 30 cm 円盤を試作し、ニコンにこれを形状誤差 1/16 波長、表面粗さ 3 nm の球面鏡に研磨していただいた。ZPF 素材は、密度はゼロ膨張ガラスと同一だが、1) 膨張率がゼロ膨張ガラスに匹敵する 10^{-7} /度程度である、2) ガラスより強く耐破壊性に優れている、3) 焼結前に肉抜き軽量化を施すことができる、4) 熱伝導率がガラスより高くミラーシーイング抑止効果がある、5) 研削研磨加工が可能で、表面に欠陥がほとんどなく表面粗さも小さい、6) 蒸着も可能、7) 経年変化や温度サイクル履歴がなく素材として安定、8) 比較的安価、など優れた素材であり、天体望遠鏡の鏡としてたいへん有望な性質を備えている。今年度は国立天文台から広島大学に移設した 1.5 m 赤外線望遠鏡用に新たに 33 cm 径の可視光用非球面副鏡を軽量化 ZPF で試作を進めている（図 6）。完成すれば初の ZPF 実用鏡となり、その観測性能でも問題がないことを実証したい。

同社の現有設備で焼結できる最大の ZPF ブランクは 60 cm 径程度であるが、ELT 用には 120 cm 径程度のブランクの焼結が必要である。ZPF

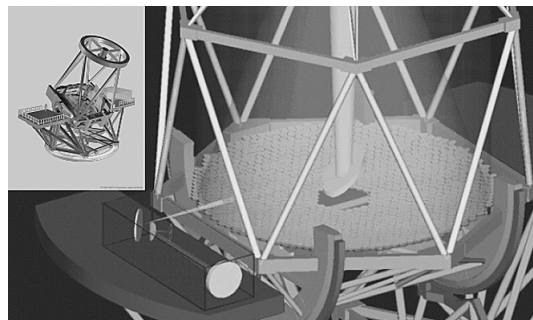


図7 30 m JELT と 8.2 m すばる望遠鏡.

は焼結温度範囲が極めて狭いため、内部まで温度を均一に保ちながら昇温することが肝要となる。

この難しい課題に解決の道を開いたのが核融合科学研究所の佐藤元泰教授の等温炉壁マイクロ波焼結炉のアイデアである。平成 18 年度中にはこの画期的なアイデアに基づく大型炉が完成し、初の 1 m 級 ZPF ブランクを焼結する予定である。

日本の ELT 構想では、米欧の六角セグメントではなく、同心円配置のセグメントを提案している（図 7=表紙）。同じ 30 m 望遠鏡でも、TMT では 123 種類の異なる非球面形状の鏡を合計 738 枚必要とするが、JELT では 798 枚の鏡はわずか 14 種類で済むため、量産効果大きい。鏡面仕上げにはこれまで通常 1-2 年を要したが、これだけ大量の鏡を 5 年程度で完成するには新しい手法の開発が必要である。プロジェクト室では名大、京大のグループと協力し、ナガセインテグレックス社の超高精度研削技術を光計測と融合させて、形状誤差 1 波長以下の非球面を NC 研削加工する手法の開発に取り組んでいる。この開発には山形県工業技術センターの全面的協力もいただいている。

平成 18 年度からは、プロジェクトの体制を強化し、次世代観測装置の構想の具体化や次世代補償光学装置の基礎開発にも取り組んでいきたい。

日本の ELT 構想を実現するには、国際協力の枠組みを確立することが必須であろう。現時点ではあらゆる可能性を排除せず追求しつつ、今後の活動を強化していきたい。