

最近の技術から

軽量ハニカム鏡の製作技術

西村 史朗

東京大学東京天文台 〒181 三鷹市大沢 2-21-1

より遠い、より暗い天体をより精密に観測したいという天文学者の欲求は、大集光力と高解像力を兼ね備えた望遠鏡を実現する駆動力である。1948年パロマー山天文台5m鏡の完成は一つの里程碑であったが、このような技術の枠組のなかでは、飛躍的な口径の増大は望めないことが確定的となった。1970年代に古典的な4m級望遠鏡が次々と作られるなかで、新しい方向が模索された。1978年にホプキンス山に建設された多重鏡望遠鏡(multiple mirror telescope)は、新技術望遠鏡への第一歩であった。MMTに採用された軽量鏡は、熔融石英の薄板を融着したものでegg crateとよばれている。この型式はspace telescopeにも用いられたが、大口径鏡を作るには価格が高すぎる。1980年ごろからアリゾナ大学シュワード天文台でエンジェルらによって、ガラス铸造によって軽量鏡を作る可能性が探られ、8m級の鏡を目ざして現在も開発実験が続けられている。

ハニカム铸造法とは、ガラス材を再熔融して铸型に流し込み成形する技法である。そのためには、比較的低温度で粘性が低くなることが望ましい。この点で熔融石英やいわゆる超低膨張ガラス(ULEなど)は不適当である。一方では天体望遠鏡として安定した解像度を保つには、熱膨張係数が小さいことが必要である。ポロシリケート低膨張ガラスは、上の温度-粘性の条件をみたしている。パロマー山天文台の5m鏡に用いられたCorning 7160は現在製造中止になっているが、Corning 7740, Schott Tempax, 小原光学硝子E6などを用いて実験が行なわれている。E6は熱膨張係数がやや小さく、大型鏡材を作るのに必要な品質の均一性もよい。ほかにアルミシリケートガラスも検討されているが、铸造時の化学的安定性に問題がある。

ハニカム鏡の铸造は空隙比率の大きい形状を作ることである。铸型として、外周および底面は磁器タイル、内部の空隙はセラミックファイバーの板を接着して必要な形を作る。铸型間の隙間はハニカム構造のリップになるので、シリコンカーバイドのボルト・ナットなどで正確に固定される(図1)。铸造時には铸型の上面にガラスの

細片を乗せ、加熱すると熔融したガラスは隙間を埋める。その際ガラスの浮力が問題となる。初期には铸型の中にジルコンサンド(比重~3)を充たしていたが、冷却時の熱容量の点で不利になるので廃止され、上記のようにボルトで止められる。出来上がった鏡の背面には孔ができるが、この孔から高圧の水を注ぎ、铸型を壊して抜き取るのにも使われる。

铸型の上面は研磨後の鏡面と平行になるように形づけられているが、鏡材の表面は自由表面となる。大口径鏡でF値の明るい鏡を作るには、研磨時に削りとるべきガラス量が膨大になる。口径7.5m, F/2の鏡では、中心の凹みが25cm, 削るべき量は約10tと完成重量と同程度になる。一時は上下を逆にタイルの底面を凸状にして、铸型のセットを上から押し込むことも計画されたが、浮力の大きさのために放棄された。現在3.5m以上の鏡に対して計画されている方法は、炉全体を回転させ表面を放物面とすることである。必要な回転速度は、上と同じ例で毎分5.4回転となる。回転部の総重量は50t, 熔融に要するピーク電力は1MWと見積もられているが、技術的には解決の見込がある。

従来のガラス鏡材の製造は、ガラス原料を高温のつ

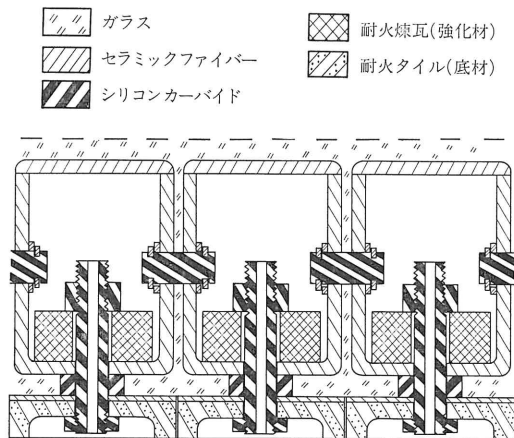


図1 铸型の配列の断面図

ほど熔解混和して鋳型に流し込み、アニールしながら冷却した。通常はるつぼ熔解と鋳込みアニールは別の場所で行なわれる。これに対してハニカム鏡鋳造では、既成のガラスの小片を用い、鋳型の中に十分行きわたるだけの温度まで上げるだけでよい。そのために電気炉の中で熔解とアニールを続けて行なうことができる。熔解は約1,200°Cで行なわれ、アニール中にガラスが再結晶化するのを防ぐために、500°C程度までは約1日と急速に冷却される。そのあと500°C前後でアニールしたあと約1カ月で冷却する。ハニカム鏡は熱容量が小さいので、冷却時間が短く、パロマー山の5m鏡が約半年かかったことを思い合わせると大きな差に驚く。

大口径鏡のハニカム構造については、姿勢変化も含めた重力、風の衝撃、熱の不均衡、あるいは研磨時の圧力などに対して、必要な剛性を保つように設計が進められている。7.5mに対する現在の案は、鏡材の厚み60cm、表面と裏面の厚み2.5cm、ハニカムリブの厚み1cm、6角柱の大きさ37cm程度が考えられている。しかしこれでは研磨圧に対して表面の強度が不足するので、表面から20cmほどにサブリブをつけることが検討されている(図2参照)。この構造では1m<sup>2</sup>当り約215kgとなり、同じ厚みのガラス材に対してほぼ6分の1の重量となる。

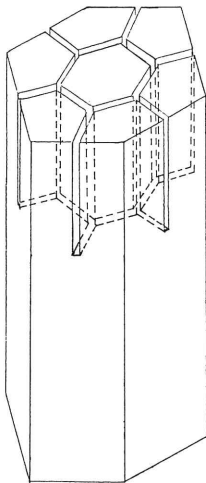


図2 サブリブを作るための鋳型の一つ

現在までに0.6~1m程度の数枚のハニカム鏡が研磨された。検査の結果ではリブの影響は、表面にまったく現われていない。目下E6ガラスの1.8mを研磨中で、完成すればMMTの鏡の1枚と交換して、星像によるテストが行なわれる。アリゾナ大光学センターでは、8mまでの鏡の粗削りを促進するために、大型のダイヤモンドカッターを導入することになっている。当初の精度は5μm、将来は0.5μmまで到達することを目標としている。

上記のような7.5mハニカム鏡は、各支点に要求される支持力の0.1%精度の支持を行なえば、0.2"の解像力を達成できることが示される。0.1%の精度は現在の技術で最善の精度であるが、摩擦力を減らすことなどで不可能なことではない。7.5m鏡では支持点の数は180点になる。

現実の天文観測では、鏡の温度制御も良質の結像を得る重要な要素となる。もし鏡面が周囲の空気よりも温いと、鏡面から発生する乱流によって像が乱される。経験的に、天頂方向に向いた鏡の場合、温度差1°について約0.5"の像の劣化が起こることが見られる。一方で鏡自身に温度の不均一があると変形が起こり像が乱れる。7.5m鏡では1/4°C以下の均一さが要求されている。ハニカム鏡は熱容量が小さいので有利であるが、さらに強制通気を加えることによって十分満足される。

以上ハニカム鏡の鋳造を中心として、簡単ながら鏡面研磨・支持の問題にも触れ、システムとしてのハニカム鏡の現況を概観した。ハニカム鏡は当面のターゲットを7.5m鏡にしている。現在アメリカで進行中のNational New Technology Telescope計画は、有効口径15mを実現する方式として、7.5m鏡4枚のMMTと、約1mの鏡90枚余を組み合わせた単一開口のsegmented mirror telescopeの2方式を検討中で、1984年夏には方式決定にまで到達する予定である。NNTTがいずれの方式を採るにしても、ハニカム鏡技術は、大口径を低価格で実現する有望な選択の一つとなりうるであろう。

(1984年5月26日受理)

(追記: NNTTはMMT方式に決定された。)