

65 cm 写真天頂筒

佐 藤 弘 一*

1. 序

現在、北緯 39°8′ 線上の国際緯度観測事業 (ILS) 5 カ所の眼視天頂儀 (VZT) 観測所に、写真天頂筒 (PZT) を併設する事業が進行している折から、合衆国海軍天文台の 65 cm PZT による本観測が始まったので、この望遠鏡について紹介しよう。

PZT の歴史は、天文緯度を定めるために、1909 年 F. E. Ross が、Sir George Airy の考案した反射天頂筒 (Reflex Zenith Tube) の改良に着手した時にまでさかのぼる。その後、1923 年に J. E. Willis によって時刻観測の装置が考案された。10 年間の試験観測の後、1934 年 2 月にワシントンにおける緯度および時刻変化の決定のために、PZT による観測が始まった。これが海軍天文台の PZT 第 1 号機で、1955 年まで観測に使用された。ここで、海軍天文台の PZT の歴史を簡単に述べておこう。2 号機は 1949 年に作られ、リッチモンド観測所 (フロリダ) で、現在も観測が続けられている。3 号機は、1954 年に観測を開始し、現在もワシントンで観測が行われている。4 号機、5 号機はそれぞれ、プンタインディオ (アルゼンチン)、オッタワ (カナダ) に送られ、観測に使用されている。6 号機は、1977 年になって完成し、リッチモンド観測所で本観測が始まった。第 7 号機が本稿で述べる 65 cm PZT であり、PZT 7 と呼ばれている。8 号機も現在製作中であり、この望遠鏡が、現在リッチモンド観測所で観測が行われている 2 号機のどちらかが、ユカイア ILS 観測所に設置され、1980 年には 39°8′ 線上の PZT 国際共同観測が開始される予定である。

日本では、1953 年東京天文台に、1956 年には緯度観測所に PZT が設置され、観測が続けられてきた。1971 年に緯度観測所に新しい PZT が設置され、古い PZT は

表 1 65 cm PZT の概要

口 径	650 mm
焦 点 距 離	13 m
乾板のスケール	15"867/mm
口 径 比	f/20
乾板の大きさ	20.3 cm × 25.4 cm (8" × 10")
自動乾板取換機構	1 夜に 6 枚まで可能
シャッター	1 秒 ~ 60 秒 (多重露出可能)
極 限 等 級	11 等

* 緯度観測所 K. Sato

イタリアのカリアリに移し、39°8′ 線上の国際共同観測に使用される。1977 年 12 月末に船積され、イタリアに向けて送り出された。現在では、世界各地で、14 台の PZT による観測が行われており、国際極運動観測事業中央局 (IPMS)、およびパリーの国際報時局 (BIH) に、緯度及び時刻観測のデータが送られている。

2. 65 cm PZT の製作、設置

海軍天文台において、1967 年に 65 cm PZT の製作の計画が始まった。1972 年 3 月にはパーキン・エルマー社と製作の契約が結ばれ、1974 年 5 月にはレンズ以外の部分が、同年 12 月にレンズが完成し、爾来、据付、調整、試験観測が行われて来た。この PZT の概要は表 1 のようなものである。望遠鏡は通常その口径で呼ばれる事が多く、その伝で、この PZT も 65 cm PZT と呼ばれる。

この新 PZT は、現在ワシントンで観測が続けられている PZT のすぐ近くに設置された。そうすれば、現在観測の行われている星は、すぐそのまま観測でき、乾板の測定もワシントンにある自動座標測定器で行え、観測時刻も海軍天文台の時刻保持の親時計にすぐ結ぶ事が出来る。設置場所の緯度は北緯 38°55′ で、水沢の緯度 39°8′ に比べ、約 13′ 南になっている。従来の PZP では、水沢緯度観測所と海軍天文台の観測星は、約半数が共通であった。しかし、現在進行中の、北緯 39°8′ 線上の ILS 観測所に PZT を併設する計画では、ゲイザースバーグに PZT を設置せずに、1 度という広視野を生かして、この PZT が参加する事になっている。

3. 設置場所

65 cm PZT は、アストロラープ観測室の東 8 m、PZT 1 号機の南東 13 m の場所に設置されている (写真 1)。ここは海軍天文台の敷地内では一番高い所にあり、全体の高さ 9 m という大きさから、地面付近の異常屈折をさけられる事が期待されている。観測の行われる好天の時は通常北風が吹くので、空調機、電源、電子計算機等との接続等の機械室は観測室の南側 8 m の場所に、さらにこの建物の西側に空調用のコンプレッサーを設置し、これらの設備から出る熱の影響を少くするようにしている。制御装置はサイモン・ニューカム研究所 (タイムサービス部) に設置されている。制御用電子計算機 (IBM 1800) が、ここで PZT の制御を行い、手動の遠隔操作盤も同じ所にある。別の部屋にある時刻コード発生器が、PZT



写真 1 65 cm PZT (左). 中央, 右の建物が, PZT
1 号機アストロラープの観測室

の光電タイミング装置から出されるパルスの時刻を記録し, そのデータをデータ収録装置と制御装置に送るようになっている。これらの装置は地下埋の暗渠で結ばれている。

4. 観測室

観測室は, 建屋, 鏡筒, 水銀皿の各々が, それぞれ別々の同心円の土台の上に乗っている。観測室は, 市街地の一般道路からは約 300 m 離れており, 自動車等による振動は地下の深い所を通してか影響しない。水銀皿は共振周波数が 1/7 Hz であり, 土台は別になっている事から低周波の振動の影響は小さくなるであろう。建屋は 10 枚の鋼鉄板をつなぎ合わせてある。それぞれの板は, 1.14 m × 7.62 m の大きさで, 3.2 mm 厚の鋼鉄板 2 枚を 4.4 cm 離して溶接し, その間にウレタンの断熱材が入れている。それぞれの板は白のウレタン樹脂塗料が塗られている。屋根は空気圧で操作される 2 個のとびらから成り, 1 m の高さがある。鏡筒は 9.5 mm 厚の鋼鉄製の円筒で, 外径は 1.1 m, 長さは 6.15 m, 重さは 2,727 kg あり, 内側に 2.5 cm の厚さのポリウレタンフォームの断熱材が張られている。

精密な色消しレンズにとって, レンズの各要素間に温度差がない事が肝要なので, 観測室の空調が行われる。昼間はその夜期待される温度に調節し, 夜間は観測室の屋根の間からゆっくりと空気を換気扇で引いてやり, 機械室で外に出す。夜間は鏡筒の中は空気を循環させない。望遠鏡の機械部に悪影響を与えないように, 特に大きな水銀面の掃除を最小限にするため, 空調用空気は除湿, 除塵をするようになっている。又, レンズの結露を防ぐための乾燥空気を吹きつける装置, プレートキャリッジを動かすステッピングモーターの周囲の空気を引くための小さな換気扇も設けられている。空調監視のために, 建屋の中, 鏡筒の中には, それぞれ 4 個, 2 個の温度及び湿度計が設置されている。観測室の空調については, 多少問題が残っているようである。

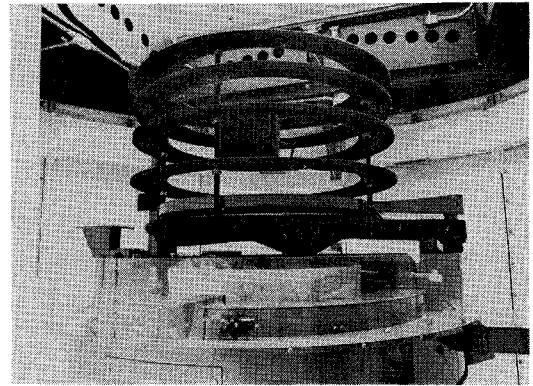


写真 2 65 cm PZT 頭部

5. カメラ機構部及び水銀皿

望遠鏡の頭部には, カメラ, 光電タイミング装置, 乾板交換装置, 及び回転部が取り付けられている (写真 2)。

プレートキャリッジは, 精密ボールスクリュー上をステッピングモーターで送られる。ステッピングモーターは, 24 ステップ/1 回転, 710.8 パルス/秒であり, プレートの速さは 1.04 μ /パルス, 0.7375 mm/秒となる。この速さは, 乾板のスケール 157867/mm に対して, 11 \times 7016/秒の移動となり, ワシントン在天頂での日周運動に相当する。乾板移動の一様性はレーザー干渉計で測る事が出来, 全移動の間で, 偏差は 3 μ 以下である。ステッピングモーターの周波数は, 電子計算機制御のフリケンシー・シンセサイザーで制御するようになっている。乾板がキャリッジの上を移動中, 観測を行っている時刻を得る時刻信号は, 光電検出装置で得られる。この装置は, カメラ機構部に固定された 4 mm の長さの間に 10 本ずつの組を 10 組刻んだ格子と, 乾板キャリッジに取り付けた 10 本の格子から成る。キャリッジが移動するにつれて, 10 組の時刻信号が 5 秒間隔で発生する。この装置によって, ワシントンで現在観測の行われている PZT 3 号機 (機械接点による時刻信号) に比べ数倍の改良がなされた。

カメラのシャッターは空気圧で動かし, 露出時間は 1 ~ 60 秒まで変えられる。乾板の交換は自動的に行われ, 一夜に 6 枚まで交換が可能である。観測星の中には 2 ~ 3 等星 (FK 4 カタログに含まれる) が数個あるが, 明るくて星像が大きすぎるので, 減光装置を取り付ける必要があるとの事である。カメラ機構部の回転はクランクで行われ, 停止位置が近づくとモーターを止め, ダッシュポットでゆっくりと止まる。停止位置では, スプリングで回転部を保持する。頭部の回転が正しく 180 度回転したかどうか検出するために, オートコリメーション望遠鏡が使われ, 正しく 180 度回転するまで調整が行われる。オートコリメーション望遠鏡の使用を少くするため, 圧力検出装置が取り付けられており, そのダイヤルの 1

目盛は 1" に相当する。

水銀皿は、その大きさ (直径 58.4 cm) や、レンズの焦点距離が相当に変る (年間の温度変化 50°C に対して 24mm) 等の理由で、当初からの問題点であった。自動水準面検出器の上に平面鏡を乗せる案も検討されたが、問題点が多く、従来と同じような水銀皿を使用する事になった。水銀皿は銅製で、中心で深さ 3mm、外側に行くにつれて度の角度で深くなっている。外周には、外にこぼれる水銀を受けるための 2.5 cm 幅の樋がついている。水銀皿は、3本の調節可能な支持脚の上に乗せられており、焦点距離の変化に応じて、シンクロナスモーターで移動させる。水銀皿の全移動距離は 3.8 cm で、移動の速度は 13mm/分である。水銀皿には位置検出のトランスジューサーが取り付けられており、焦点の位置を読み出すようになっている。焦点の位置は、マイクロメーターでも測れるようになっている。

6. 光学系

レンズは直径 688 mm あり、有効口径 650 mm である。従来の PZT の口径 20 cm~25 cm に比べ、10 倍程度の集光力を持ち、観測可能な等級は 11 等まで広げられる。レンズは、5000 Å~6750 Å の波長に対して、色収差が最小になるように設計されている。そのため KZFSN 4 と呼ばれるガラス材が使われているが、この材質の厚いレンズの製作が困難なため、3枚に分けて作られ、結局 4 枚構成のレンズになっている (表 2)。このレンズの材質は水に弱いので、常時窒素ガスをレンズの間に送り込むようにしている。PZT のレンズは、その機構上、節点に焦点が来るように設計されているが、この PZT では、一番下のレンズの 43 mm 下に来るようになっている。フィルターは乾板の直前に挿入される。乾板は数種のもの (コグック社 IIG, IIF, 103 G, 103 F 等) が使用可能であるが、通常の観測には IIG が使われる。

縦向き色収差は、表 3 に示したような値である。これから見ると、5200 Å~6400 Å の範囲では、1 mm 程になるが、f/20 のレンズの焦点深度と同程度になっている。横向き色収差は光軸から 0.6 度離れたところで最大 1.2 μ 程である (表 4 a, b)。通常の星像は、100 μ~250 μ の広がりを持ち、又星像間の距離を 1 μ (0.0158) の精度で測るとすれば、この収差は無視出来る程度である。他

表 2 レンズ (直径 688 mm)

要素	材質	厚さ (mm)
1	LF 5	84
2	KZFSN 4	73
3	KZFSN 4	50
4	BK 7	70

のレンズの収差 (球面, コマ, 非点) もこの波長域で最小になっている。

焦点距離は 13 m あり、したがって乾板のスケールは 15.7867/mm となる。従来の PZT の乾板のスケール、45"/mm~60"/mm、に比べて約 3 倍のスケールである。乾板の大きさは 20.3 cm×25.4 cm あり、南北の写野角は 1 度である。観測結果の乾板は、写真 3 のようなものである。

7. 観測計画

次に、観測計画について簡単に述べておこう。この望遠鏡では、その大口径を生かして、1 度幅の中にある 11 等星までの約 1800 個の星の相対位置、固有運動の精密なカタログを作る事が出来る。この 1 度幅の中には、基本星表 FK 4 の星が 14 個 (現在の PZT では 4 個) 含まれており、このカタログを FK 4 の基準系に結ぶ事が可能となる。さらに、その大口径によって銀河系星雲の観測が可能である。1 度幅の視野の中には、観測可能な約 16 個の星雲があるが、観測は相当に困難のようである。しかし、PZT による観測を、遠い所にある銀河系外

表 3 色収差

λ (Å)	Δλ	ΔBFL (mm)
4880	-996	+3.30
5000	-876	+2.20
5461	-415	-0.10
5876	0	0
6471	+595	+1.40
6563	+687	+1.80
6750	+874	+2.60

表 4 レンズの収差

a) 横向き変位 (μ)

写野角 (度)	波長 (Å)			
	5000	5461	5875	6750
0	0	0	0	0
0.4	-0.8	-0.3	-0.1	-0.2
0.6	-1.5	-0.3	-0.1	-0.3

b) 像のゆがみ

写野角 (度)	ゆがみ (μ)
0.1	0.10
0.2	0.18
0.3	0.23
0.4	0.26
0.5	0.10
0.6	0.20

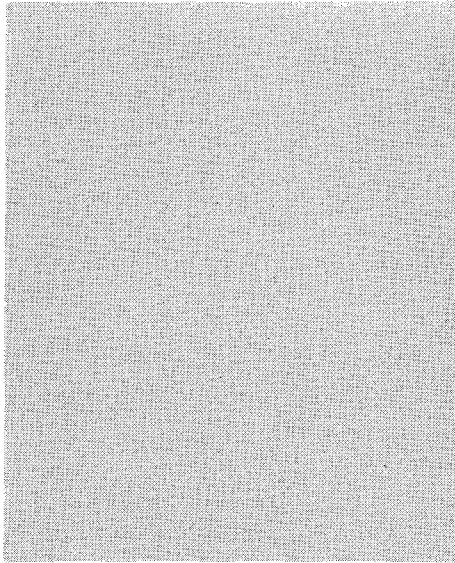


写真 3 65 cm PZT 乾板. 使用乾板は IIG, 露出時間は 15 秒, 露出の間隔は 30 秒

星雲の基準系に直接結びつける事が可能となり, 大いに期待されている所である.

観測プログラムは, 図 1 に示したような関係になる. 通常の経緯度観測には約 200 個のプログラム星 (図 1: 65 cm PZT 星: Regular) があり, 39°8' 線上の ILS 国際共同観測星 (図 1: ILS PZT 星: Regular) も含まれている. 海軍天文台のマッカーシー氏は, ILS 国際共同観測では, 通常の観測星の他に, 数 10 個の補助的な星 (図 1: ILS PZT 星: Supplemental) も観測し, PZT 星の位置改良も提案している.

観測精度の向上から, 章動定数, 光行差定数等の基本定数の改良に有効であろう. 回転地球の力学的性質の研究への寄与が大きい事はもちろんである. 多数の星の観測が可能である事から, 一夜に 4~6 回の緯度, 経度の決定が可能となり, 短周期の経緯度変化の研究に威力を発揮する事が期待されている. 特に, 北緯 39°8' 線上での PZT による国際共同観測に対して, その威力を発揮するであろう事は, 我々の最も期待する所である.

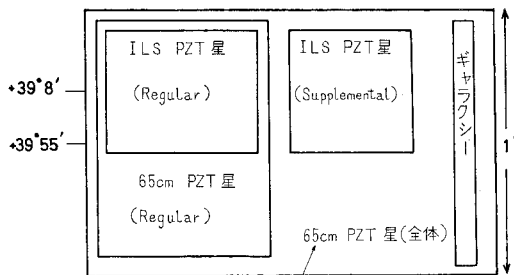


図 1

8. おわりに

先に述べたように, 乾板スケールの増大, 光電タイミング装置, 空調等によって, 従来の PZT に比べて相当の精度向上が期待されている. 願わくば, VLBI, 月, 衛星のレーザー測距による観測の精度に近づいてくれればと言うところであろう. しかし, 通常の光学観測に与える地球大気の影響 (シーイング, 異常大気屈折) が, その精度の限界を決める事になると思われる. 実際, 予備観測の結果では, 25% 程度の精度向上に止まっている. すなわち, 一夜の 30~40 星のの観測の標準偏差が 0°10~0°12 程度の精度が得られている.

大気の異常屈折については, 星の位置観測に与える影響を, 星を使って観測する計画が, メリーランド大学の D. G. Currier らによって始められた (Two-Color Refractometer). 海軍天文台でも, ワシントンにある 24 インチ反射望遠鏡を使って, 1978 年 8 月に, テスト観測を行うことになっている. 特に, 天頂付近 (±30') で観測が行われる PZT では, 異常大気屈折が特に問題になるので, ワシントンにおける PZT 観測と, 異常大気屈折観測の結果が比較検討される. ランダムな誤差については, 多数の星を観測できるので, 経緯度の観測値が $1/\sqrt{n}$ になってくれれば, 相当に良い精度となるであろう.

乾板に写された多数の星の測定には, 自動座標測定器が必要であろう. 現在海軍天文台では, 三角視差観測の乾板用に製作され, その測定に使われている自動座標測定器で, PZT 乾板の測定も行っているが, その精度は, 一回の測定の平均誤差が 0.8 μ 程度まで行くそうである. 多数の星の測定が可能となり, 個人差がなく, 精度の向上が得られている自動座標測定器は, 望遠鏡の改良と同時に考えるべきものようである. 海軍天文台の三角視差観測プログラムでは, 61 インチアストロメトリー用反射望遠鏡の開発と同時に, 高精度の自動座標測定器も製作され, 高精度の三角視差観測が続々と行われている.