

坪川式全自動アストロラープ

角 田 忠 一*・坪 川 恒 也*

1. はじめに

光を利用し天文観測から地球自転速度変化、自転軸の方向変化など地球回転運動を決定する方法では、観測地点の鉛直線方向（天頂）を基準として恒星位置を観測している。この方法には一定の天頂距離（定高度圏）を通過するとき時刻を測定して経度及び緯度を決定する方法がある。このような観測に用いられる機械がアストロラープ（定高度儀 Astrolabe）と呼ばれる。本誌でもアストロラープ全般について坪川家恒（第 52 巻，第 2 号，1959）及びダンジョン式アストロラープについて横山絃一（第 63 巻，第 3 号，1970）の両氏により紹介されている。現在光学天文観測から得られる各地点の 1 夜の位置決定精度は約 1m である。一方最近の人工衛星および月レーザー、また超長基線電波干渉計（VLBI）などの測距技術の進歩から地表位置を数 cm（地心角距離で約 0.001）で決定できるようになってきた。これらの装置の精度だけ見ると光学天文観測はもう不要に見えるが、それぞれの観測システムの足場である座標系がちがっているのので同一に議論することは出来ない。しかし光学天文観測にとって精度向上は当面の重要な課題であることは事実である。アストロラープは広い赤緯域を観測できるので、星系誤差の少い FK 4 など基本星表の星を観測できる特色がある。

2. 坪川式自動アストロラープ

坪川式自動アストロラープ（坪川家恒—1959），（坪川家恒，大森又吉—1969），（坪川家恒，北郷俊郎—1971），（坪川家恒，柳沢道夫，北郷俊郎，春山仁—1976）の構成の概略は次の通りである。星の光は 2 枚の一定交角の平面鏡の第 1 面鏡（M₁）で反射され、第 2 面鏡（M₂）で、定高度圏通過時に、鉛直下方に導かれる（図 1）。この 2 枚の反射鏡系の交角を変えると、交角の 2 倍の天頂距離の定高度圏を通過する星の光を鉛直下方に導くことができる。鉛直下方に向う光束は接続する望遠鏡の対物レンズ（O₁: 100φ, f=1150 mm）の光軸にほぼ平行に下方に導かれ、光束は鏡筒に吊ってある補償用反射鏡（M₃）で反射される。この鏡面機構の支持系の弾性を考慮に入れて、対物レンズの第 2 節点附近の K₂ に結像するよう M₃ の位置は K₂ から対物レンズの焦点距離のほぼ 1/2 の点

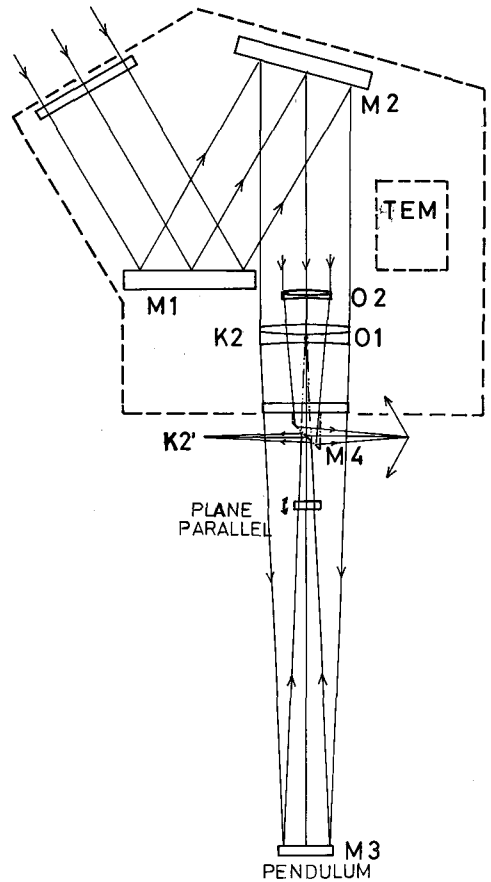


図 1 構成図

に設置されている。この結像方式によれば望遠鏡（O₁）の光軸が鉛直線に対し傾斜しても鉛直線上の光束は常に K₂ 附近の点に結像するから、水準誤差は現れない（自動補償）。水銀皿を用いた PZT の原理を修正したものと言える。個人誤差を避け光電バイセクション（ETD Electric Transit Detector）を行うため、レンズ O₁ のすぐ下にある直角プリズム（M₄）を使って光束をほぼ 90° 偏向させる。この反射面に対する K₂ の鏡像点 K₂' の像面上にナイフエッジを置き、星像光束を 2 分割しそれらの光量を光電子増倍管で測光し、バイセクションを行う。実際の観測では、M₄K₂' は紙面に垂直である。更に観測に当ってナイフエッジを、たとえば、定高度圏より少し低い高度圏（Δh）に合せておく。このようにして反射鏡系（M₁ 及び M₂）を観測方向に固定したまま、下部の望遠鏡全体を反射鏡（M₃）と一緒に 180° 反転して、定高

* 緯度観測所 Chuichi Kakuta and Tsuneya Tsubokawa: Tsubokawa's Automatic Astrolabe

度圏より Δh だけ高い高度圏で再びナイフエッジでバイセクションできる。星像ゆらぎを平均するのに十分な時間ナイフエッジ上でバイセクションを継続させるため、直角プリズム (M_4) の下方で平行平板を光軸に直交する軸のまわりに星の日周運動の高度成分の運動に合わせて回転させ、10~20秒間追尾し、星像をナイフエッジ上に保持する。平行平板の回転軸に垂直に扇形目盛板 (スリット) が固定され、平行平板と直結して回転し、通過時刻を測定する。この測定値がアストロラープの定高度圏通過時刻観測データである。ナイフエッジ上の星像の移動量は平行平板の回転角に $(n-1)/n$ の因子がかかって縮小されている。ここで n はガラスの屈折率である。高度角の追尾中シンチレーションのためナイフエッジは星像の光束を常に2分割している保証はないが、2光電管の受光量は追尾時間中記録され、観測終了後星像バイセクション修正、星像ゆらぎ及びシンチレーション解析に使用される。副対物レンズ O_2 (56ϕ , $f=250$ mm) は方位角追尾に用いられる。

このアストロラープの第1号機は国土地理院鹿野山測地観測所に設置された。緯度観測所においては昭和53・54年度に定常的な天文経緯度観測装置として構内に第2号機を設置した (写真1)。第2号機と第1号機の差の大部分はそれぞれの製作時期の電子機器の開発を反映し

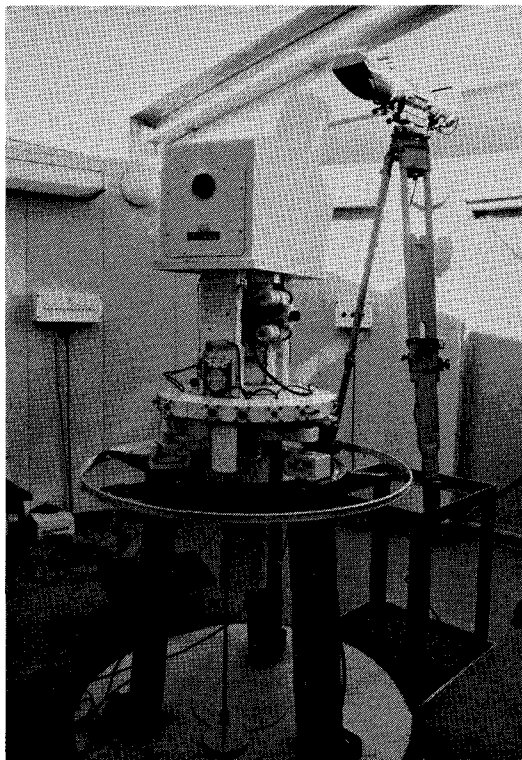


写真1 坪川式全自動アストロラープ本体

て、電子制御システムにあるが、器械部分にもかなり改良を加えている。

3. 観測室

自動観測装置の特徴の1つとして観測者の熱源を除去できることがある。熱源には、また駆動用モーターもある。これらの熱源からの熱輻射または熱伝導などにより、観測機本体に影響を及ぼすので、なるべくこれらを避ける方法をとっている。天文観測が行われる夜間は、地表ほど気温が低くなり、輻射冷却のため垂直方向に大きな温度勾配をつくることが多い。この影響は地表から離れるに従って小さくなる。特に風の弱いときは、地表附近の大気の混合が少ないため、高さによる変化が顕著に現われる。このような接地気層の影響を避けるため、定高度反射鏡の光取入口を地表約5mとした。位置観測望遠鏡を地表から持ち上げるときの問題点は、基台の熱伝導で地中の熱量を運び上げて来ること、また基台のたわみ振動の影響である。水沢の年平均地中温度は約11°Cであり、夏季を除いて夜間は地中温度が気温より高いので、基台や観測室からの熱流が大気中に対流不安定を起す心

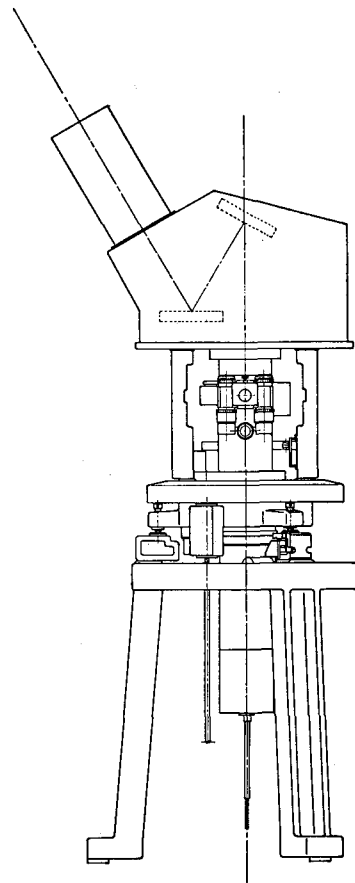


図2 坪川式全自動アストロラープ2号機全体図

配がある。一方基台は安定な地層に接続するため大きな躯体であることが望ましい。これらの点を考慮し、観測室には2階構造とし観測室床と1階天井を切離しなどの考慮を払い、基台は地下13m 直径 2.5m の鉄筋コンクリートとなっている(写真 2=表紙, 図 3)。

4. 電子計測部

実際にアストロラープで自動観測及びデータ処理を行わせるのが、ミニコンピュータを中心とする電子計測部である。装置は観測室の1階と、ケーブル長にして約170m 離れた機械室(記録室)に分かれて設置されている。システムは、通常コンピュータでコントロールされるが、マニュアル操作に切り換えることにより、コンピュータを介さずに作動させることも可能である。1号機では、望遠鏡本体駆動用モータから、最終的に必要な回転数を得るのに、主にギヤの組合せで行っていた。しかし、この方法はギヤボックスが大きく、複雑になる欠点がある。そこで今回は駆動源としてパルスモータを採用することにした。これにより、直接デジタル信号で速度制御が容易に行え、変速ギヤ、クラッチ等が大幅に省略できる利点がある反面、モータの回転が段階的になるため、振動、騒音が問題になることが多い。この対策として、1パルス入力ごとのステップ角の小さいものを選択し、可能な

限り低電流で作動させ、さらにギヤ材の選定やモータの取付方法等に留意した。

本体駆動用のパルスモータは合計7台で、次にその内訳は次のようである。先ず、あらかじめ入射光が定高度反射鏡の中心を通る様に、経緯儀台を所定方向にセットさせる方位角プリセット用モータがある。さらに、日周運動の方位角方向への星像の移動を追尾させる方位角追尾用モータがあり、この2台は、観測室1階のギヤボックス内に取付けられ、差動ギヤ、マグネットクラッチで切り換えられて、同一軸を回転させている。次に、日周運動の高度角方向への星像の移動を追尾するため、高度角追尾用モータがある。対物レンズ以後の光学系の入った鏡筒を180° 回転させるのが反転モータであり、0° 又は180° の点で、鏡筒を固定させるのが、180° クランプモータである。定高度反射鏡部の TEM レベルの出力をモニターして、望遠鏡本体のレベル調整を行わせるのが、経緯儀台の足に取付けた2台の自動整準用モータである。以上7台のパルスモータは、2台のデジタルシンセサイザーを駆動周波数源としている。高度角追尾に使用される平行平板の回転軸には、直結して円周上を等間隔(0.5°)に刻んだガラススケール板(扇形板)が付いていることは前に述べた。星像の高度方向成分を追尾中に、扇形板から得られるパルス信号で、次々に太陽時時

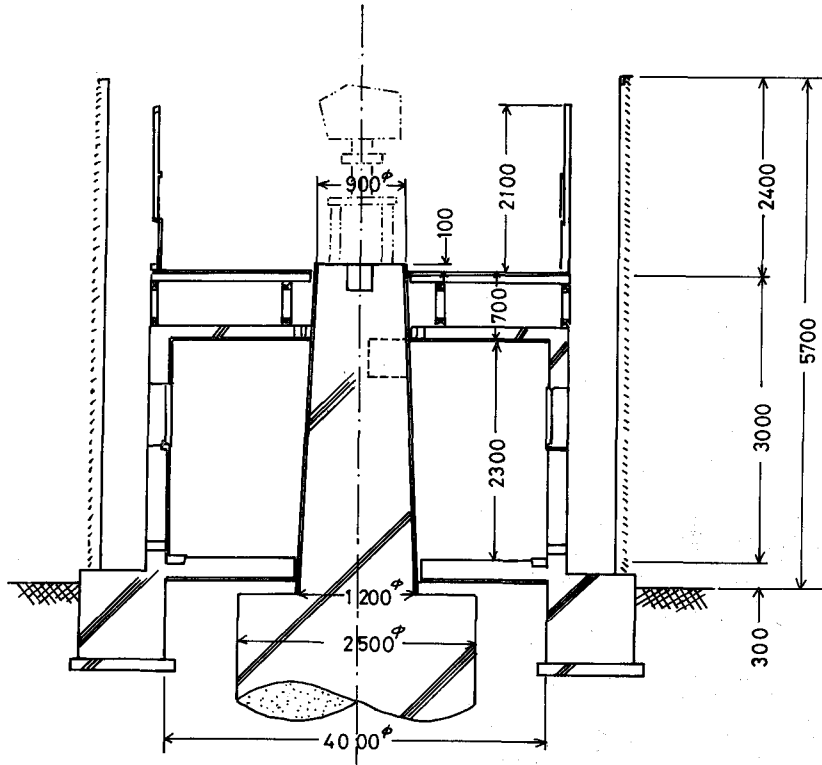


図 3 観測室断面図

計をラッチし、時刻信号とする。刻線は、平行平板の水平の位置を中心に、 $\pm 12^\circ$ まで設けられている。実際に時計のラッチ信号となるのは、中央からそれぞれ16本(計32本)である。ただし、北又は南の星は、高度方向の変化が遅いため、中央付近の各6本を使用する。

ETD については、すでに何回か報告されているのでここではその機能を簡単に述べる。図4は、ETDを模式的に書いたものである。ここで、KEは対物レンズ焦点面上に設置されたナイフエッジ、 P_L 、 P_R はホトマル等の光電変換素子である。今、図の様に星像が矢印方向に移動すると、まずナイフエッジの左の鏡面で反射された星像が左の光電変換素子 P_L に入射する。このため、 P_L の光電流は、星像の移動と共に徐々に増加する。しかし、星像がナイフエッジの斜面に対し小さい場合は、すぐに光電流は一定となる。さらに星像が移動してナイフエッジの稜線にかかると、光電流は徐々に減少するが、今度は右側の鏡面で反射された星像が、右側の光電変換素子 P_R に入射するため、 P_R の光電流は徐々に増加する。 P_R が一定レベルに達した時点で、 P_L の出力はゼロになる。図で(a)、(b)は各々、 P_L 、 P_R の光電流の変化、(c)は $P_L - P_R$ 、(d)は $P_L + P_R$ をそれぞれ表わしている。今、両光電変換素子の光電流の差の信号を注目すると、これは星像のナイフエッジ上での位置に対応している。つまり、差の信号レベルがプラスからマイナス、あるいはマイナスからプラスへ変化する際に、ゼロレベルをよぎる瞬間が、星像の中心がナイフエッジの稜線を通じたときに相当する。この時点では、星像の光量変化は相殺され、シンチレーションの影響が直接表われない。一方、和の信号は、星像ゆらぎ、及びシンチレーションによる光量の変化を表わしている。2つの光電変換素子を使用することにより、その差の信号は1つの光電変換素子に比べて信号の変化分が2倍となり、 S/N が改善される。使用したナイフエッジは、稜角 120° 、厚さ1mm、長さ16mmで、エッジの部分は光学研磨されている。光電変換素子は、浜松テレビ製の1P21である。高度角方向の星像追尾は、ETDの差の信号があるレベル内に入った時点で、あらかじめ計算された周波数で、パルスモータを駆動させ、ナイフエッジ上に星像を固定させる。2号機では、ホトマル信号を誤差信号とするサーボループ内で、モータをコントロールする方式は取っていない。モータ駆動による追尾と、実際の星像の動きとのズレは、差の信号の時間的変化から、計算で補正する。同様な方法を、方位角方向の星像追尾にも用いている。ホトマルの印加電圧は、観測星の実視等級、スペクトルタイプ、ホトマル波長感度、光学素子の反射率、透過率等からホトマル等級をあらかじめ計算し、各観測星で一定の光電流が得られる様に、可変して

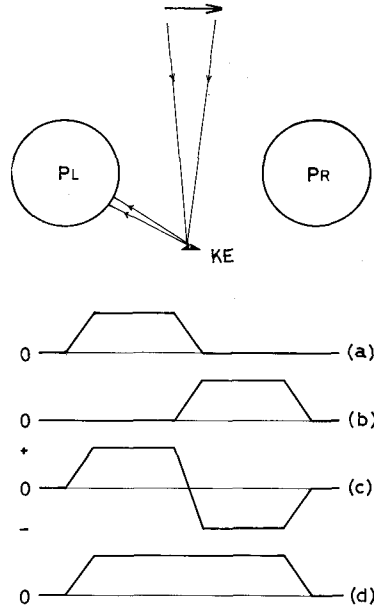


図4 ETD 模式図

いる。曇天等で予想される光電流が得られない場合は、自動的に、あるレベルまで印加電圧を上げることも可能である。

5. 観測シーケンス

観測前にあらかじめ計算すべき項目は次の通りである。

- (1) 前半観測開始時刻: 定高度を通過する前に、ナイフエッジ上で星像の捕捉を開始する時刻。
- (2) 後半観測開始時刻: 鏡筒を 180° 反転後、星像の再捕捉を開始する時刻。
- (3) 方位角設定値: 前半観測開始時刻における方位角。
- (4) 方位角追尾パルスモータ駆動周波数。
- (5) 平行平板のプリセット角。
- (6) 高度角追尾パルスモータ駆動周波数。
- (7) ホトマル供給電圧。

次に、観測シーケンスの概要を、順を追って述べる。

- (1) 方位角の設定: シャフトエンコーダをモニターしながら、設定方位角まで経緯儀台を回転させる。回転速度は、 $1/10$ r.p.s. である。
- (2) 平行平板の傾き設定: 観測星ごとの追尾時間をほぼ同じにするため、方位角に応じた平行平板の傾きと、前半観測状態に設定する。
- (3) 180° 反転円筒の位置決定: 方位角に応じて、前半観測状態に 180° 反転円筒を 0° 又は 180° のいずれかに固定する。なお、(2)、(3)は同時に行われる。
- (4) ホトマル電圧印加。
- (5) 前半観測開始: 前半観測開始時刻になったら、方位角および高度角の追尾用パルスモータをソフトスタートさせ、ナイフエッジの稜線で星像が等分割された時点で、モータを正規の周波数で駆動し、追尾動作に入る。
- (6) 前半トラッキング: 追尾動作中、扇

形板の刻線パルスで太陽時計をラッチし、時刻信号を取り込む。(7) 180°反転: 必要刻線数を計数した時点で、トラッキングを中止し、180°反転円筒を回転させる。回転時間は、約7秒である。この間に、平行平板はリミット位置まで回転し続け、星は定高度を通過する。(8) 後半観測開始。(9) 後半トラッキング。(10) データ集録: 1星の観測が終了すると、その時点の気象要素(温度、気圧、風向、風速等)や関連データ(ペンジュラム位置変位量、TEM レベル出力等)が集録される。又、ETD 信号のデータ処理を行い、星像バイセクションの補正量を求める。

使用するミニコンピュータシステムは、テキサスインストルメンツ社の DS 990、モデル 4 である。

6. おわりに

この坪川式全自動アストロラープの器械設定誤差は、

$1''/1000$ まで小さくすることができる。2枚の定高度反射鏡の交角を変えた2基の異なる定高度アストロラープを同一地点近傍に配備し、同一星の東西それぞれ2高度通過時刻観測を行えば、経緯度及び観測星の赤緯及び相対赤緯を共に決定することができる。VLBIの光路差を決定する式は天頂方向ベクトルと星の方向ベクトルの交角の余弦を求める式(天文三角形)とは形式的に一致する。VLBIでは同一星の位置を数個観測し、観測地点位置及び星の視位置を同時に決定することができる。上記の方法は原理的に同一の決定方法であり、VLBIの方式にいささか遅れをとったと考えざるを得ない。またこの観測システムをいろいろな緯度帯に配備し基本星系及び電波源の光学視位置の精度向上に貢献することができる。

現在、インターフェイスの改善、プログラムの作製、予備観測を行っている。

日本学術会議第81回総会報告

日本学術会議第12期最初の第81回総会は、1981(昭和56)年1月20, 21, 22日の日3間、本会議講堂で開かれた。

第1日は、定刻9時30分開会。直ちに会長、副会長選挙に入り、会長に伏見康治第4部会員、人文科学部門副会長に岡倉古志郎第3部会員、自然科学部門副会長に塚田裕三第7部会員を選出した。

午後は、第12期の活動を円滑にするための予備的検討委員会の報告が行われた。その後各部会を開き、それぞれ部長、副部長、幹事を選出した。

第2日は、15時すぎまで第11期の経過報告にあてられた。伏見会長は、前期の本会議の活動について所感を述べ、総合的な科学技術振興策樹立の必要を強調した。つづいて運営審議会付置各委員会、各部、各常置委員会、各特別委員会から経過報告が行われた。各報告とも、特に80数名の新会員を念頭において、学術会議全体、各部、各委員会の性格や活動をうきぼりにする配慮の下で行われた。なお、第12期への引継ぎ事項等も報告された。その後各部会を開き、第12期の活動計画等について審議した。

第3日は、まず「第12期活動計画委員会(仮称)の設置並びに各種委員会の当面の措置について(申合せ)」が提案され、運営上の問題等について意見が出されたのち、原案を可決した。

つづいて第12期活動計画に関する自由討議に移った。学術会議の活動の基本的なあり方については、総合的・学際的とりくみ、個々の科学者との連繋、長期的展望をもった継続性の必要等が強調された。さらに学術会議の組織・運営上のたてまえとしての自主・民主・公開の重要性等が指摘された。それとの関連において第12期に具体的にとりあげるべき重点課題として、人文・社会・自然科学の総合的発展の方策、都市問題、平和問題、福祉問題、学問体系の現状の洗い直し、学術情報生産流通問題、発展途上国との学術協力問題、教育問題、学歴社会問題、国公立大学問題、婦人科学者問題、食糧問題、原子力問題、沖繩問題等々が、新会員を含む30数名から提起された。

さらに第12期活動計画をめぐる討議の一環として、第80回総会において採択された「工学技術振興の方策を早急に講ずることについて(要望)」について説明があり、これをめぐって種々の質疑、意見がかかわされた。

総会終了後、各部会をひらき、第12期活動計画委員会の委員の選出などを行った。引きつづいて第1回の第12期活動計画委員会を開いた。

こうして第12期の活動が始まった。会員の出席率は、第1日97.6%、第2日95.7%、第3日93.8%であった。

(日本学術会議広報委員会)