

る。)

5. D^* の意味

赤外用デテクターの実用上の性能を表わすには通常 D というものが用いられている。これは検出することのできる最小の入力をワットで表わしたもの（すなわち Noise Equivalent Power, 略して N. E. P. という）の逆数である。

D^* というものは、 D にデテクターの面積 A と周波数帯域 Δf との積の $1/2$ 乗をかけたものである。赤外デテクターの N. E. P. が $(A\Delta f)^{1/2}$ に比例するので、

これをノーマライズしたわけである。完成品全体としてではなく材料だけの優劣を比べるためには D よりも D^* の方が便利なのである。

われわれがこれから天文用の赤外測光器を作ろうと思えば、第3図の中から適当なスペクトル感度を持つ材料を選んでその D^* を知り、完成品の A と増幅器の Δf とから D を出す。この逆数が NEP で、この数値を第1図に当てはめれば、どの望遠鏡で何等星まで何 μ ままで測れるかがわかるというわけである。

堂平山の極望遠鏡完成に際して

関 口 直 甫*

1. はしがき

堂平山観測所に建設中であった極望遠鏡観測室は、昨年春に建物が完成し、その後内部装置の据付と調整を行っていたが、本年初頭より観測が開始され、観測の整約結果も得られるに至った。何しろ世界にあまり類例のない建築物・装置なので、事務的折衝に当られた事務当局の方々、機械・電子装置の設計・製作に当られた東京天文台の松本惇逸氏はじめ、三鷹光機製作所の方々、および建設関係の方々に非常なお骨折りを頂いた。これらの方々の理解と協力がなかったら、とてもこの観測室の完成はおぼつかないところであった。ここに改めて深い感謝をささげたい。

装置・建築物・観測法の詳細は、遠からず東京天文台年報に英文で報告するつもりであるが、ここではこの装置を作るに当たっての基本的な考え方、ねらい、といったものに重点を置いて、この堂平山の極望遠鏡のあらましを紹介してみよう。

2. 温度による装置のゆがみ

私たちは三鷹の天文台構内に極望遠鏡観測室を作り、1954年以來、今日まで観測を続けている。建設以來、ほとんど毎年装置の改良を行なって精度の向上につとめて来たが、その中で、天体の位置観測の精度の向上をばむ壁として、どんなものがあるか、ということが次第に明瞭になってきた。

私たちがぶつかった壁は、結局温度に関係した諸問題であった。観測装置を構成する材質は、大体 $10^{-5}(\text{°C})^{-1}$ くらいの線膨脹係数がある。1メートルの程度のサイズの装置で、もし各部に 0.1°C の温度差があれば、角度にして $10^{-6}\sim 0.2$ のゆがみが生ずる。天体の位置観測

は、あいにく空が晴れた晩に、天空に露出した地表で、地面に固定した観測装置によって行なうことになっているが、これは機械の温度を均一に保つという観点からすれば、最悪の条件である。私が天文台に入った頃、先輩に「観測室の屋根は広くあけろ、風を入れて室内温度を均一にしよ」といわれたものであり、実際その通りにして、観測装置ないし観測機械の温度が均一になったつもりでいた。しかし後に、観測室内外の温度分布を詳細に調査すると、これはとんでもない思いががいであることがわかった。晴夜の地表における温度の空間的・時間的分布は非常に複雑なもので、常識的に考えて温度差がないような条件下でも温度差があらわれることがある。私の経験では、2本の寒暖計を束ねて、ある位置においても、両者で読み取れる程度の温度差を示すのである。これが2本の寒暖計の固有な機械差でないことは、置く位置のコンフィグレーションを取かえても、やはり一つ的位置の方が温度が高いことでわかる。温度とはこういうもので、晴夜に天空に露出した装置の各部を、ある一定の時間間隔だけ、一定の温度分布状態に保つことが出来ると思うのは馬鹿げている。またよく、観測室の南と北とに2本の寒暖計を置いて、それで室内の温度分布を求めようとする人もあるが、私の経験では、たった2本の寒暖計で温度の分布が把握できるとは、とうてい考えられない。温度分布とは、きわめて時間的、空間的に複雑なものなのである。

位置観測の一つの考え方として、機械がいくらゆがんでも、そのゆがみが精確に測定できればよいではないかという考え方がある。しかしこれも結局は同じことで、そのゆがみを測定する装置そのものがゆがんでしまうのである。ことに始末の悪いことは、大ていのゆがみ測定

* 東京天文台

装置は、機械そのもののゆがみよりも、自分自身のゆがみに対して敏感に作用するものなのである。たとえば、天文機械に広く使われている気泡水準器は、温度の不均一によって水準器自身がゆがむ量よりも、中に入っている流体の温度不均一による密度の変化の影響の方が、大きな差をあたえる。三鷹の極望遠鏡も、プリズムと水銀面を使用した傾斜計がついているが、計算してみると、プリズム体の内部の温度の不均質が精度向上の壁となっていることがわかった。これは一つの反射面に光が2回反射するため、ゆがみの角度は4倍となってあらわれるのである。

私たちはそのため、まず機械部分を熱絶縁体でかこむことを考えて、実行してみたが、結果は思わしくなかった。水平振子を使用して観測室内の傾斜を計ってみると、観測室内の温度をいくら均一にしても、観測室周辺の地表が熱によりはげしく変化し、観測室は波に乗った小舟のごとくほんろうされていることがわかった。こうして、観測室を地下深く埋めるというアイデアが生じたのであった。頃は1956年の頃である。

3. 地下観測室の利点

観測室を地下に埋めるという考えが良い結果をもたらし、かつ悪い結果をもたらさないという確信は、その後ますます深くなった。

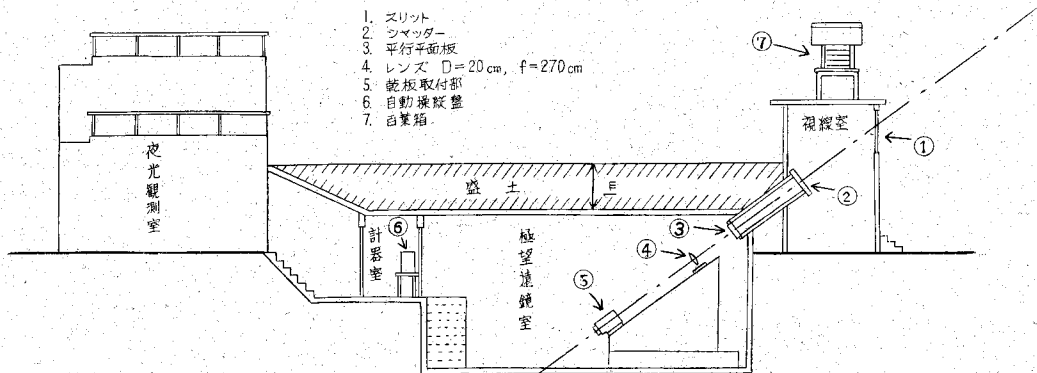
第一に、地球物理屋さんには、天文屋のわれわれから見ると、恐ろしくこまかい角度の測定をやっておられるが、そのような精密観測を可能にする秘けつは、地下深く穴を掘って観測をやるということ。こうすれば輻射が等方で均一の温度状態が得られるだけでなく、地表の大波のような動きも避けられる。

そこで私たちは天文台の中のいろいろな建築物の中で、水平振子による傾斜測定をやってみた。とくに注目すべき結果は、塔望遠鏡地下室での実験で得られた。地上の建築物では見られないような、安定した結果が得られた。これを地球物理屋さんの、深い洞穴での測定と比較すると、地面から深く入れば入るほど良いことがわか

る。塔望遠鏡地下室は半地下の深さなので、温度の日週変化はほとんど検出できないほど小さいが、地表のゆがみが弾性的に伝わってくるものと考えられた。ことに私たちが狂喜させたことは、2台の水平振子を並べて同時に動かすと、全く同じカーブをえがくことだった。一個のコンクリート台の上に2台の水平振子を置いたときに、平行した傾斜カーブが描けるのは常識的だが、別の台の上に置いても、台の上と床の上とに置いても、やはり同じ結果が出るのである。このことから、地下に埋められた観測室は、全体が剛体的に動くと見てよいことがわかる。かくして、傾斜測定装置は、従来の天文機械でかならずそうであったように、鏡筒に密着した位置におかなくても、それから少しはなれた広いスペースの場所に配置してさしつかえないことが立証された。この塔望遠鏡の地下室で得られた水平振子による傾斜カーブは、鉛直線の日週変化や地球潮汐よりは大きいオーダーの量であった。

この頃から、自動計算機が使えるようになったので、コンクリート柱の熱や弾性によるゆがみを数値的に計算してみた。その結果によると、温度の日週変化によるコンクリート・ブロックのゆがみは、天文観測者の立場から見れば、非常に大きいものであることがわかった。それまでのわれわれの常識によれば、コンクリートは熱伝導率が悪くて、外から暖めても熱が急に中に伝わらず、全体として熱膨脹によるゆがみは小さいと思っていた。これは、短い週期でわずかの温度変化が加わる場合は正しい。しかしコンクリート・ブロックの大きさは1メートルの程度、時間は数時間の尺度、温度変化は地上気温の日週変化の程度にとると、コンクリート・ブロックは実に大きく変形することが計算で出て来た。よく、観測装置を載せる台を、地下何メートルも深く掘って、基礎工事をやるむきがあるが、観測精度を高める目的としては、大神宮のお礼と効果はかわりないことが、計算上でできた。

以上のべたように、観測室を地下に埋めると良い点



第 1 図

は、機械そのものの変形がなくなると同時に、変形の測定装置も精度の良いものが使用できて、精度は自乗的に向上するというのである。

ところが、私だちのアイデアに反対する人がかならずいうことは、空気による光の屈折の問題である。今まで地下観測室が実現しなかった原因は、ここにある。なるほど、光の屈折による星の観測位置の補正量は、あらゆる補正量のうち最大のものであって、これが天体位置観測の精度の向上の壁になっていることは疑いない。しかし、観測室のごく近傍、または内部で、光の進行方向を系統的に一方に曲げるような、幾何学的に規則正しい空気の密度分布があるとは、私だちには考えられないのである。観測室内の各部での温度差は、扇風機で空気をかきまぜてもなくならないものであるが、これは各部での測定温度は、空気温度と輻射温度とのかねあいであられるもので、その場所の空気の屈折率とは関係ないものである。今まで数多くなされた室内屈折に関する研究も、まず室内温度分布なるものが、空気そのものの密度や屈折率の表現とは考えられないし、また観測上あらわれた星の位置の偏差についても、機械ないし水準器のゆがみや誤差と、空気の屈折による変位とを分離したと認められる例にお目にかかったことはない。結局、室内屈折とは、空中楼閣のようなもので、私だちは存在しないと考える。

先年、私がプルコポ天文台に行った時、天体の位置観測では長い伝統をもつこの天文台の観測者すら、室内屈折の問題のために、地下観測室のアイデアに強く反対していた。地下観測室が成功すれば、長い間の伝統的な迷信に挑戦することになるだろう。

4. 自動観測

もう一つ、この極望遠鏡観測室で、私達が意慾を燃やしていることは、自動観測の問題である。今までの三鷹においても、後半の観測は自動観測であって、観測者は宵のうちに手動で観測をし、あとは機械にまかせておけばよい。観測者は夜半に雨が降り出すかどうかだけを注意しておればよいのである。

一般にオートメーションということは、人間の労力をへらすということばかりでなく、製品の質を均質にするという作用がある。天文観測において、データの均質化ということが、いかに重要なことか、多言を要しない。ところが手動の観測では、1人の観測者の観測でも、均質なデータを得ることは難しいのに、複数の観測者が観測すれば、なおさら不均質なデータとなる。われわれが自動観測にのぞみをかけるのは、労力の経済という面の他に観測データの均質化というねらいがある。

労力の経済という面も、ただサボることをねらっているのではない。およそ測定を向上させるもつとも

有効な方法は、測定回数をふやすことである。ところが精度は測定回数の平方根に比例して増えるから、ただせつと観測をするだけだったら、はなはだ野ばんなことになる。労力をふやさずに回数さえふやすことができれば、精度向上の目的にかなうことになるのはいうまでもない。

5. 観測室ができるまで

以上のような基礎の上に、地下観測室を作る計画を立て、この程やっと完成を見た。はじめのアイデアを思いついてから、今まで足かけ10年、感なきを得ない。1つのアイデアが実現するまでにこの程度の年月がかかることが、適当かどうかの問題はもういうまい。しかし、これだけはいわせていただきたいことが2~3ある。

まず以上述べた事でもわかる通り、私だちは観測装置の研究よりもむしろ観測室の研究に主眼をおいていた。三鷹の極望遠鏡についても種々の研究をやったが、ねらいは「観測室」の研究であった。観測室のゆがみ、傾斜、温度分布、熱の移動、空気の流動状態、湿気や塵埃の問題等々に関心ををらしたし、その中で私だちは今までの天体の位置観測の問題での迷信をいくつか発見してきた。そのため、私だちの当初の構想は、まず私だちの意図するような地下観測室を作り、それについてその性質を充分詳細に研究した上で、その観測室にもっとも適合した観測装置を設計製作し、この観測室にもっとも適合した状態に据えつけるということであった。

しかし、こんなわがままは到底通らないことはすぐわかった。まずどんな観測室ができるか、そんなことはやみくもに観測装置を作ってしまうと、この装置を据えつける場所がありませんから観測室を作ってくださいといわないと、お役人は承知してくれないのである。

そしてその装置を作る予算が本ぎまりになってから、装置を完成して天文台に納める納期までの時間はわずか6カ月間。もうこれだけいばすべてを察して下さい。

こうして装置が完成すると、つぎに観測室を作る段取りだが、これが大気光観測室と抱き合わせとなることになった。なにしろ新営費というものは、件数が単位になっているので、1単位でできるだけ多くの要求を処理しようとする、こういうことになるのである。はじめ抱き合わせの話があったときは、二つの建物を廊下でつなぐという話であったのが、何かある毎にその廊下が次第に短くなり、ついには極観測室の上に大気光観測室が馬乗りになるところまで行った。これはさすがに平に辞退させていただいたが、予算が出てから後も、極の観測室は設計変更のたびごとにますます私だちの理想から遠いものとなってしまった。地下式の予定が、塔望遠鏡と同じ半地下式となった。半地下式が望ましくないことは、塔望遠鏡の実験から明らかだった。また機械室と観測室

は、壁一枚でへだてられるのみとなった。

しかしこのような不十分な観測室でも、作らないよりはましであった。この観測室でも、地下式にすればどうなるかという問題の答を得ることはできそうである。昔小堀遠州が桂離宮を作ったとき、「予算や期限や内容について干渉しないこと」を約束させてから仕事を引き受けたということであるが、現代の天文学者は小堀遠州の半分の自由もない。

6. 完成した観測室

かくして完成した新しい極望遠鏡観測室は、主観測室の広さは東西 3.25 m、南北 7.35 m、床面は周囲の地面より 2.85 m 低い。床面から計った天井の高度は 3.8 m、その上を厚さ 1 m の土層でおおっている。内部にこの場所の緯度だけ傾斜したコンクリートの三角の台を作り、この上に北極にむけて、直径 20 cm、焦点距離 270 cm の対物レンズを置く。乾板の保持装置をその焦点におき、その後に自動乾板取換装置をおく。三角台の周辺に平な椀の部分を作り、ここに水平振子を東西方向と南北方向に 2 台置く。

装置室はこの隣りに接して作られ、床面は東西 3.25 m、南北 1.7 m、地面より 1.1 m 下に作られ、天井の高さは 2.0 m である。ここに装置の操練や、気象要素の記録装置が置かれる。北の方の地面の上には視線室という小屋があり、床面の広さ東西 1.9 m、南北 1.6 m で、ここにはシャッター、晴曇判別機、水銀柱気圧計などがおかれ、光線の取入れ口には鑑戸がついている。この室の屋上には百葉箱がおかれ、気温、湿度の測定素子が納められている。またこの百葉箱のひさしには、デイルイト・スイッチがつけられている。

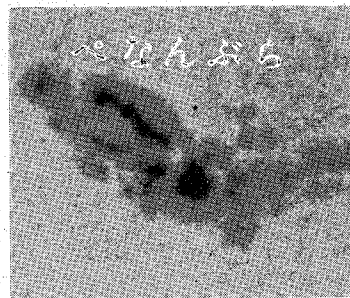
観測はつぎのように行なわれる。まず日没になり、薄明が終るとデイルイト・スイッチが動作する。これは停電等の原因で時計の位相が狂った場合、日中に晴曇判別機が働き出すと、光電管をいためてしまうことを防ぐためである。この装置のおかげで日中には絶対に観測が行なわれない。デイルイト・スイッチの動作で観測準備体制に入り、時計面で指示された時刻になると晴曇判別機が動作する。これは北極星が見えているかどうかを判別する装置で、肉眼で北極星が見える程度であれば、視線室の鑑戸が開き、定刻になると乾板取換装置のスイッチがはたらき、乾板を一枚格納庫から取り出して取枠に装着する。精密な位置観測なので、乾板が熱的・機械的にゆがむのを避けるため、すべて磁石で吸いつける方法で装着する。時計よりの指令で視線室内のシャッターが開き乾板に星をうつす。露出中、乾板は日週運動にあわせて回転させる。この時乾板上に時計面が焼きつけられ、観測時刻を示す。露出時間は 5 分。9 等から 11 等までの 10 個の星が観測に使用される。露出終了後乾板は露

出前の位置までもどされる。それから 6 時間後に再び同様な露出を行ない、乾板は自動的に格納庫にもどる。晴曇判別機は動作を止め、視線室の鑑戸はしまつて、これで一晩の観測は終了する。観測中の室内外の気温、湿度および水平振子による傾斜の記録は観測の有無に関係なく、自動的に記録が行なわれている。

以上は晴天の場合であった。もし指定された観測開始時刻において、北極星に雲がかかっている場合は、観測は行なわない。夜中に晴れた場合も観測をやらない。しかし、観測開始時刻において晴れていたが、後に曇った場合には、視線室の鑑戸は閉じたままで、雨水などが入ってくるのを防ぐが、乾板の操作は 1 サイクルを完全にやり通して乾板格納庫にもどり、翌日の観測準備体制に入るのである。この日の乾板には星はうつらず、無駄をってしまうことになるのはやむを得ない。翌日晴れば、別の乾板が取り出されて同様な観測を行なう。

乾板格納庫には 8 枚まで乾板を内蔵しているので、晴夜 8 晩の観測を行なうまで放置しておいてよい。実際は乾板ホルダーの中に工合の悪いものがあるので、7 枚の乾板を装置し、毎週一回堂平に行って観測ずみの乾板を取ってきている。本年 1 月からの観測の実績によれば、晴曇判別機の性能はすばらしく、晴夜を見送ったり、曇天に空振りをやったことは一度もない。見ていると北極星がちぎれ雲でおおわれるたびに、視線室の鑑戸はガラガラ自動的に開閉を行なっている。事情を知らぬ隣の大気光観測者たちは、深夜の山中にアラザンの魔法のごとく開閉する鑑戸の音に、鬼気迫る思いをさせられた。

観測結果の整約は電子計算機でやっている。現在までに得られた結果は非常によい値を示し、O-C の分散は一晩あたり ± 0.2 程度。これを三鷹の極望遠鏡の ± 0.735 に比較すれば、その精度の向上は全く目ざましい。しかも三鷹では晴天日数が少い上に、手動観測なのでつい観測者の都合で観測もさぼり勝ちだが、堂平では観測回数も飛躍的にふえた。これ等の観測結果から何が飛び出すか、私たちの恒温自動観測法はどこまで発展することができるか、今後のたのしみというところである。



★ベクバルの計

チェッコスロバキヤの星図製作者として知られたスカルナテプレソ天文台の台長ベクバルは、さる 1 月 10 日 63 才で世を去った。彼は流星、

彗星の観測に熱心で、1947 年 彗星を発見した。しかし彼