１２　月までの距離を測る

１．天体までの距離を測る

天体までの距離は、当然のことながら巻き尺では測れない。天体までの距離を測る基本的な方法は三角測量である。相互の距離が測定されている地球上の２地点から、その天体の視方向を測定し、その角度の差（視差）から計算して求める方法である（図１）。

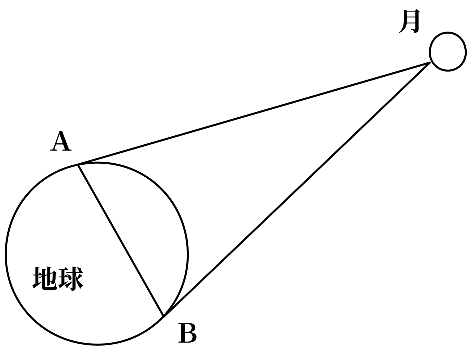

図１

しかし天体までの距離はあまりに遠いため、月以外の天体については地上での視差はごく僅かで、ほとんど測定できない。月の次に地球に近い、金星までの距離でさえ、ある程度正確に測定されるのは１９世紀になってからである。天体までの距離がどのようにして測定されていったかをたどると、そこには人類が生み出した、多くの知恵と工夫があり、たいへん興味深い科学の発達の歴史がある。

現在では月のほか、金星や火星などの近くの惑星までの距離は、地上から直接レーザーや電波を発射して、それが往復する時間を測定することで求められている。その他の惑星と太陽については、それら惑星の天球上での見かけの運動を観測すれば、その惑星の公転軌道の形、方向、大きさがわかり、太陽系のモデルが作れるので、測定された一つの惑星までの距離を元にして、計算で求められている。

太陽系外の恒星までの距離は、地球が太陽のまわりを１年かかってまわることで起こる年周視差（図２）を用いて測られている。

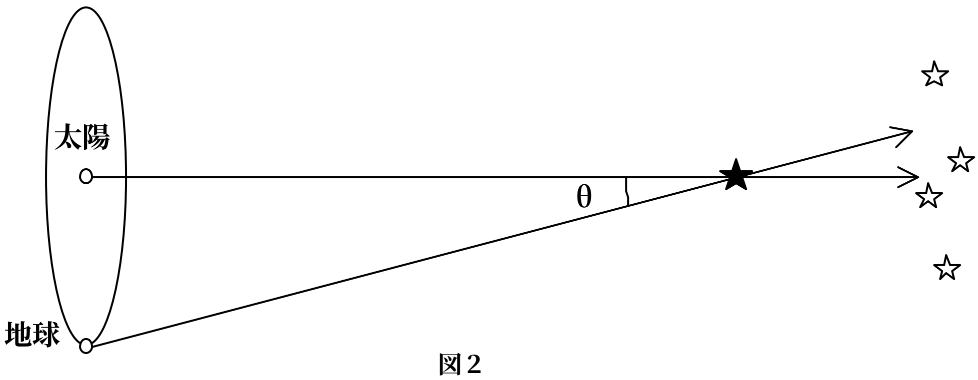

図２

ところがこの値は、太陽に一番近い恒星（ケンタウルス座α星）に対しても驚くほど小さく、0.75秒（１秒は角１°の3600分の１）しかない。これはおよそ6km先にある10円玉を見た角であり、この角を測定することはたいへん難しい。さらに遠い恒星については、年周視差はもっと小さくなってしまう。昔は角度測定の精度を上げることと、比較的距離の近いと思われる恒星を探すのがたいへん難しく、はじめて恒星への距離が測られたのは1838年で、対象は見た目はたいへん暗く目立たない白鳥座61番星、測定された距離は約10光年であった。

われわれが属している銀河系の外の島宇宙（星雲）までの距離については、さらに遠くなり三角測量ができない。現在でも正確に言えば、測定されているわけではなく、推定されているだけである。宇宙望遠鏡の名前にもなっているハッブルによって、変光星の観測により、1924年にアンドロメダ大星雲までの距離が約２００万光年と測定されている。

２．三角測量

直接行くことのできない遠い地点までの距離は、三角測量で測る。相互の距離が分かっているこちら側の異なった２地点A、Bから目標Ｐを見て、この２地点を結ぶ直線ＡＢ（基線）と目標とを結ぶ直線の角度を測定する。

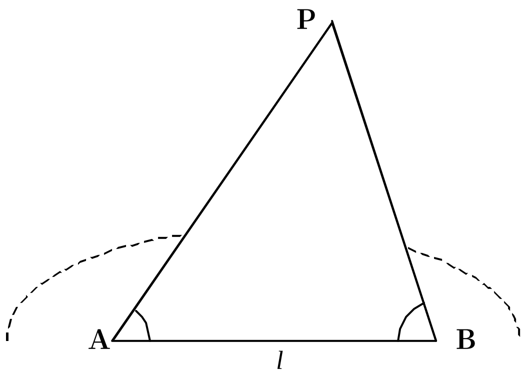

図３

そうすると△ＡＢＰは１辺と両端の角が分かるので、ノートの上にこれと相似な三角形△A' B' P'がかける。この２つの三角形の相似比A' B'：ＡＢを求めて、A' P'の長さをこの比率倍することによりＡＰの距離を計算する。

原理と計算法、そして角の測り方を知るために、まず、近郊の山の頂上などを対象にして、実験をしてみよう。

３．＜実験＞学校から近くの山の頂上までの距離を測る。

月までの距離を測定する場合、基線を地球上の２地点にとる。この２地点間の距離は、地球から月までの距離に比べるとたいへん小さいものである。このことを想定して、グランド上の100mほど離れた２地点から、近郊の山の頂上を測ることにする。

ここで修得しておきたいのは角度の測り方である。天体を対象とするとき、角度の測定は１度の下の単位の"１分"（１分は１度の６０分の１）の精度がほしい。この角度は分度器では測れない。巻き尺と棒を用いて、目標が「10m先で５cm右によっている」など、長さの比の形(正接、tangent)で角度を測っておくようにする。

天体までの距離の測定では、角度をいかにして正確に測るかが正確な距離を出すポイントになる。長さや角度は何度か測定を行い、最大値と最小値を切り捨てて、残りのデータの平均値で求められれば理想的である。

〔実験例〕

次のページに、実際に測定した例を示す。基線としてグランドに90mの直線をとった。グランドで基線がとりやすい方向から垂直に見ると、目的の山の頂上は、いずれも垂直方向より右にあった。なお、鉛直方向はひもに錘をさげてとり、垂直方向は辺の比が３：４：５の大きな直角三角形を巻尺で作ってとった。

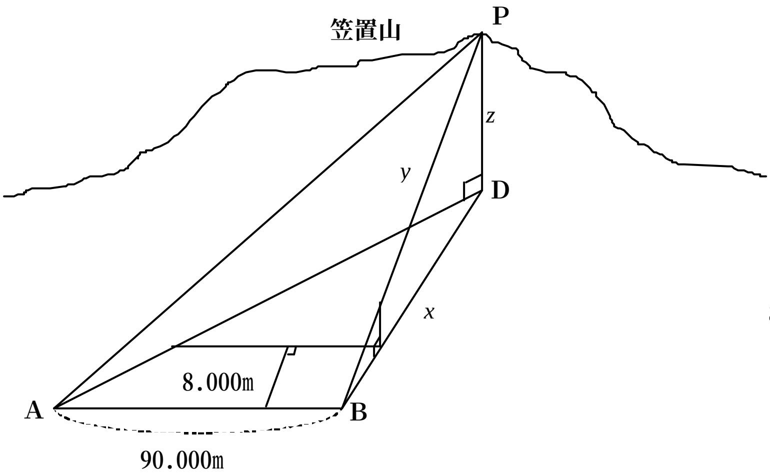

図４

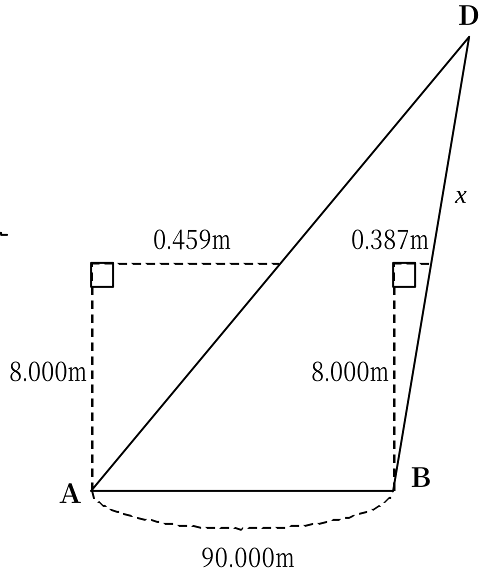

図５

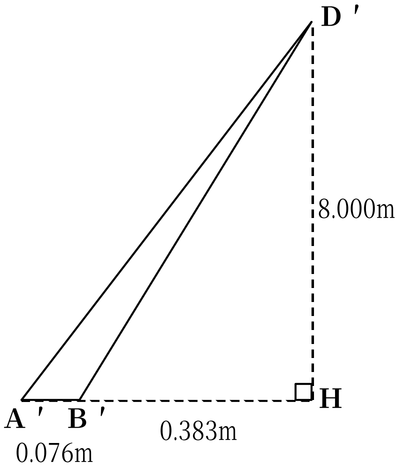

図６

図4､図５より図６を作図する。

B´H＝0.459－0.383＝0.076

三平方の定理より

B´D´＝$\sqrt{8.000^2+0.383^2}$ ＝8.009

A´B´：AB＝B´D´：BD

0.076：90.000＝8.009：x

この比例式より

x＝90.000×8.009÷0.076

＝9484

水平距離は　9484**m**　**有効数字を考えて** 9.5×10^3**mとなる。**

＊地図の上では 9.0×10^3**m**

頂上のグランドからの高さ z **は**

z＝9484×0.750÷8.000＝889**m**

＊地図の上では 833m

したがって、学校から山の頂上までの空間距離 y **は三平方の定理より**

y＝$\sqrt{9484^2+889^2}$ ＝9526

有効数字を考えて　距離は　約9500**m**　＝9.5×10^3**mと測定された。**

グランド内を移動するだけで､遠い山までの距離が測定できた｡三角測量の原理はわかっていても、手に入る機材でいったいどの程度のことまでができるのかは、やってみてはじめて理解できることである。

この測定でも、かなりの測定精度が必要である。数百mの距離にある近くの建物などの目標で、まず一度練習してからはじめると良いと思う。

４．月までの距離の測定

地球上の２地点から同時に月の三角測量をして月までの距離を測定する。２つの地点の距離はできる限り離れた方がよいので、たとえば以下のような方法をとる。

方法１）岐阜から遠く離れた北海道や海外の高校生、または天文家に協力してもらい、共同で測量する。

方法２）修学旅行など遠くへ出かける機会に、学校と旅行先で同時に測定する。

○経度が同じ場所でちょうど月が南中したときに、その地点での月の天頂からの角度を測ると、計算がしやすい。しかし、経度の同じ観測地点は選びにくいし、南中時刻に空が曇ることもある。そこで正確な観測時間を記録しておいて、経度や観測時間の違いを後で計算で補正するのが現実的である。

方法３）地球の自転による、自分の位置の移動を利用し、同じ日に何時間かの時間をおいて２回観測をする。

○いずれの場合も正確な方位と仰角の測定が必要になる。実際は天頂からの距離角を測らなくても、地球上の十分離れた２つの地点から月を見て、スケッチや写真を撮ると、そばにある恒星に対する月の位置が少しずれているのが分かる。恒星は無限遠にあると考えてよいので、月の見かけの直径が、何度（何分）であるかを別に測定しておけば、月の直径の何倍ずれているかで、視差が計算できる。こちらの方が正確な角の測定がしやすいと思う。

方法４）月食の時に、月にうつった地球の影の大きさが、見かけの角度で何度にあたるかを測る。地球の大きさはわかっているとして、影の大きさが観測した角度になる距離を計算で求める。

○厳密にいうと、月は地球の周りを楕円に近い軌道を描いてまわっており、距離は測定時期によって１割程度違ってくる。公表されている平均距離は　約３８万ｋｍである。

〔実験例〕　一番手軽な　方法３）の実施例

最初に月の視直径(角度)を測る。地上に近い時が測りやすいと思う。図７のように10m先で何cmにあたるかを測定し、正接（tan θ）の表を用いて視直径を求める。
月は10m先で9cm（0.09m）であった。よって

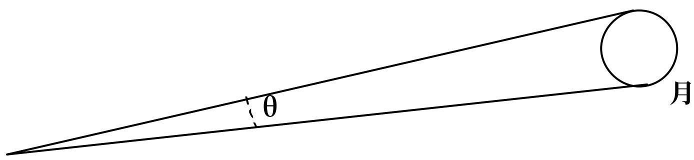

図７

tan θ＝0.009　　　θ＝0.5°　**視直径は**0.5°**である。**

月と背景の星との位置関係が分かりやすいのは、明るい恒星が月のすぐ近くにあるときである。今回は1999**年**10**月**16**日の、いて座**121**Ｂ星（**5.9**等）が月齢**7.0**の月に隠される現象を利用した。こういった現象がいつ起こるかは、天文雑誌などによって知ることができる。**

月の近くにある星は、それがよほど明るくないと月の明るさに消されて見ることができない。天体望遠鏡を使うと、この時のような暗い星が月のすぐ近くにある場合でも、その星を見ることができる。記録の方法は、低倍率の望遠鏡でのぞいた月といて座121**Ｂ星の位置関係を、時間をおいてスケッチすることにした。望遠鏡でなくても双眼鏡でも見ることは可能である。また星が極めて明るい場合は肉眼でもスケッチが可能である。写真が撮れればなおよいと思われるが、技術が必要なのでここはスケッチとしておく。**

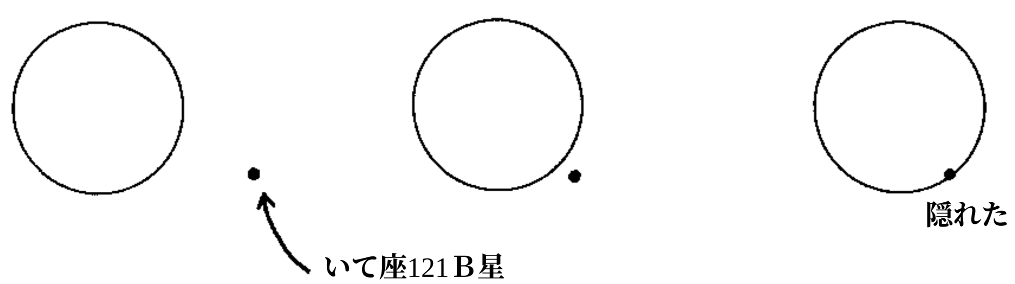

図８　観測記録　観測地は恵那高等学校グランド　　　北緯　３５°２６′５８″
１８：００の月の位置は真南から西へ１５°であった。

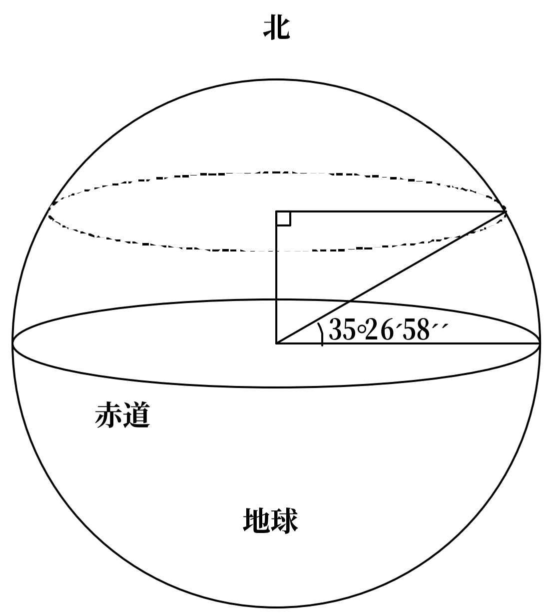

図９

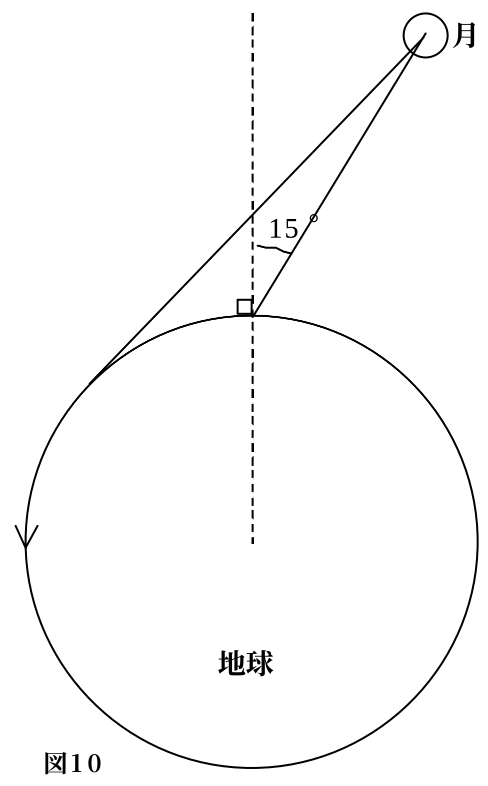

図10

図８のスケッチより、月は背景の恒星に対し、55分間で月の視直径の約60%の0.3°移動している。

月の公転速度は、公転周期が27.5日であることから１時間には

360°÷27.5÷24＝0.545°

移動している。55分間には

0.545°×55÷60＝0.500°　　　0.5°移動している。

月の公転の方向は、地球の自転と同じ方向なので両方の差をとって

0.5°－0.3°=0.2°が視差となる。

観測地点の北緯 35°26′における55分間の、地球の自転による観測者の移動距離は図９と図10から求める。地球の赤道半径は6400kmである。地球は１時間で15°自転するので55分間では15°×55÷60＝13.75°自転している。

6400ｋｍ×cos35.5°×2×sin（13.75°÷2）＝1247.4km

よって1247.4ｋｍ 移動したことになる。AB＝1247.4km

観測を始めた18：00の月の位置は、真南から西へ15°だったので、図11のようになり、⊿OABは頂角が13.75°の二等辺三角形だから

∠OAB＝（180°－13.75°）÷2＝83.125°

∠BAC ＝83.125°－15°＝68.125°

∠ABP＝68.125°－0.2°＝67.925°

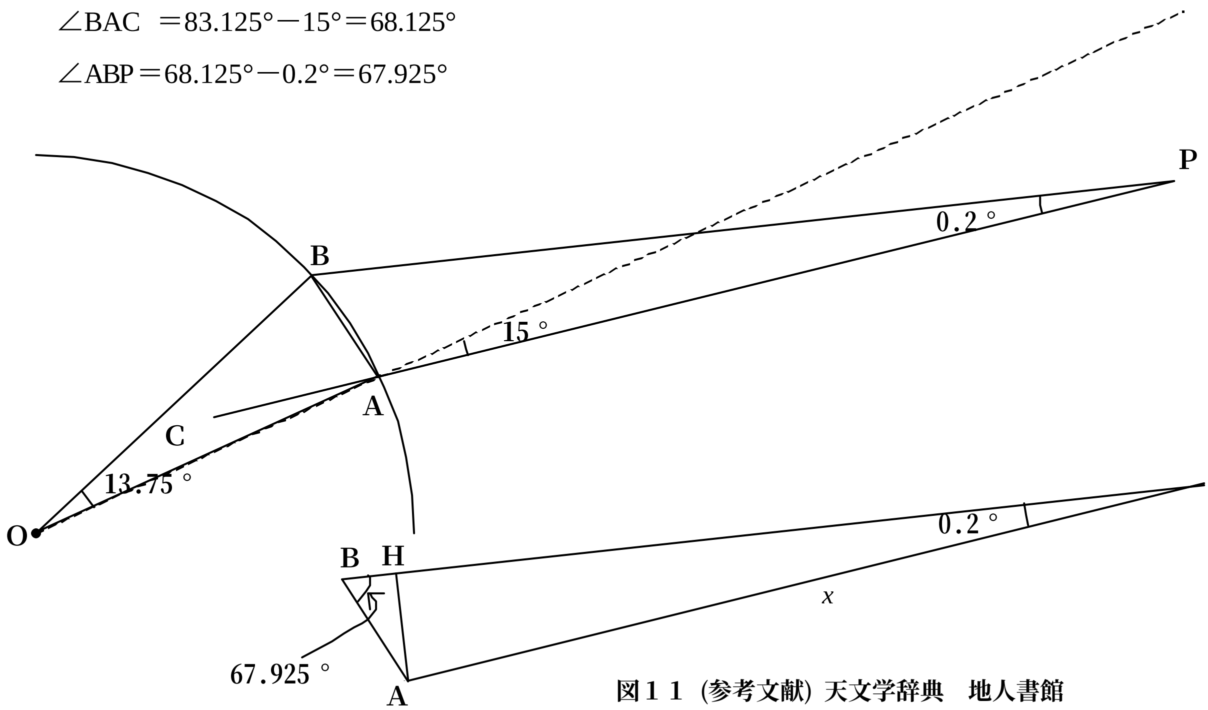

図１１ (参考文献) 天文学辞典　地人書館

月までの距離をｘとおき、図12でAHを二通りに計算して

AB×sin67.925°＝x×sin0.2°これより

x＝ AB×sin67.925°÷ sin0.2°＝1247.4×0.926692÷0.003491

＝331156　　よって　約　３３万ｋｍ

考察　天体を対象とした測定なので、この結果は十分満足できるものでした。他の方法も試みて比較し、より深い探求ができれば良い。