

月食観測による月までの距離測定

大西浩次（長野工業高等専門学校）

月までの距離測定は、距離測定教材の一番初めになる基本的な事項である。特に、三角測量や星食を使って、あるいは月の見かけの視直径の変化を使って、自らの観測から測定できる対象でもある。2007年8月の皆既月食を使った観測のために、準備した原稿を基に、月食を使った月までの距離の測定法を紹介する。



1 はじめに

皆さんは、地球が球形だということを知っていると思います。でも、どのようにしてこのことを自分の目で確かめる事が出来るでしょうか。そのひとつの方法は月食の様子の観測から確認できます。これから、月食で地球が球形であることを確かめてみようと思います。上の図は、月食時のスケッチの様子です。この月食の時の太陽、地球、月の位置関係を図1で示します。

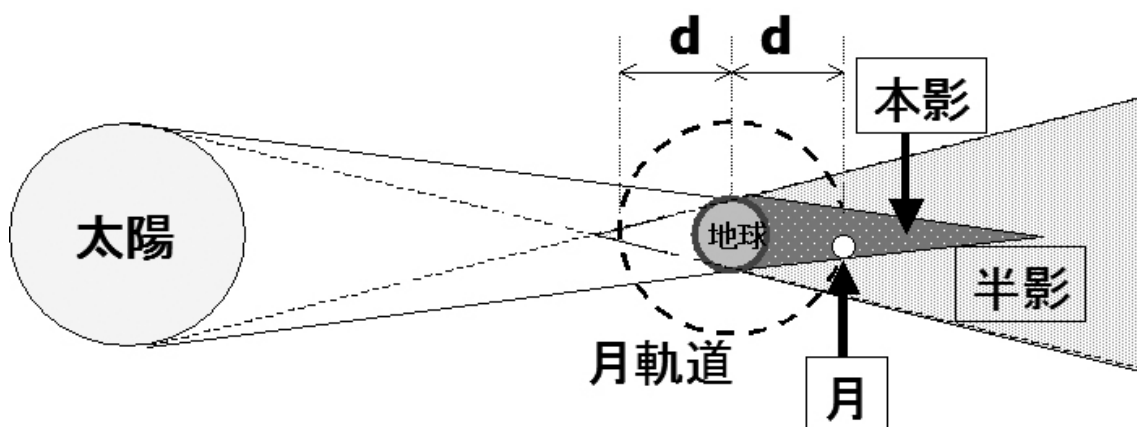


図1 月食時の太陽、地球、月の位置関係。(スケールが実際と異なっていることに注意)

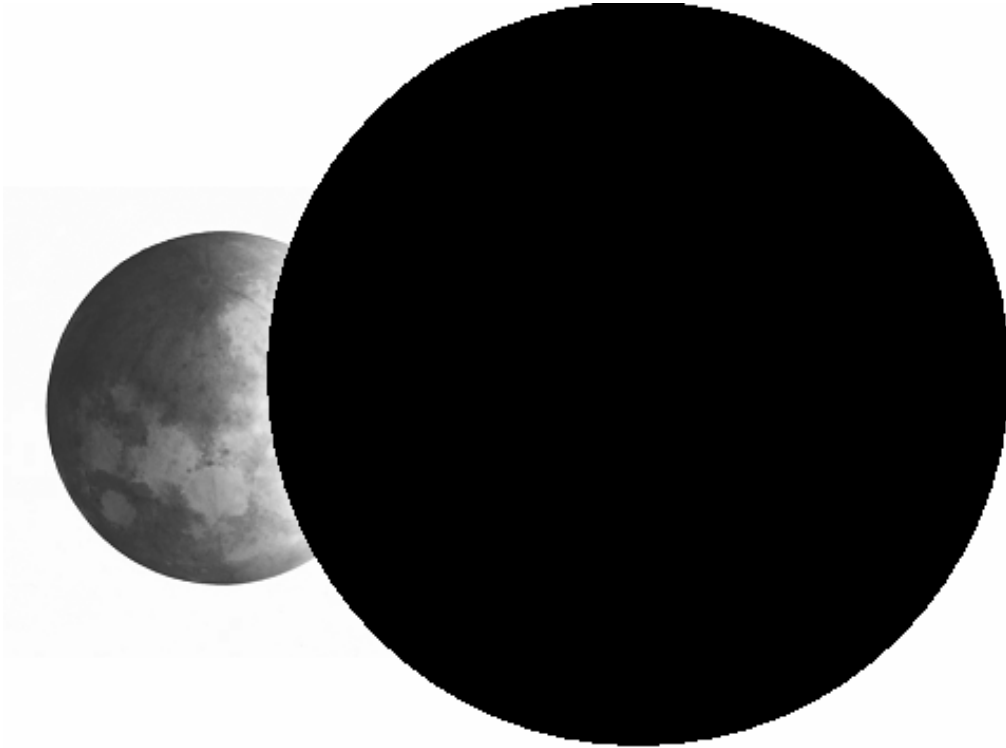


図2 月食の欠け際と地球の影。

このように、月食時の「円弧に欠けた部分」は、地球の本影の影が月面に映っている様子です。350B.C.のころ、アリストテレスは月食の時の月面に映る地球の影が「いつでも」円弧を描いているのを見て、「地球は球形である」と考えました。皆さんも、月食を見たとき、この影の形から地球が球形であることを「体感してほしい」と考えます。

2 月食による距離測定

ところで、図1を見ると地球の影が平行ではありません。通常、「太陽光線はほぼ平行と考えて良い」と考えられますが、太陽の見かけの大きさを無視することは出来ません。そのため、図1のように、太陽の上のほうからの光線と下のほうからの光線で傾きがあり、地球の影は、収束するコーン状の影（本影）と拡散するコーン状の影（半影）が出来ます。ここで、この収束する割合を日食の状況から確認してみます。

日食とは、月に太陽が隠される現象です。ところで、太陽と月の見かけの大きさは偶然ほぼ同じ大きさです。このため、地球と月の間の距離 d で、月の影の収束点がちょうど地球（の表面）に落ちている事になります。このことに注意すると、地球の本影がどのように収束しているかわかります。すなわち、月-地球間の距離 d で、月直径分縮小している事が判ります。

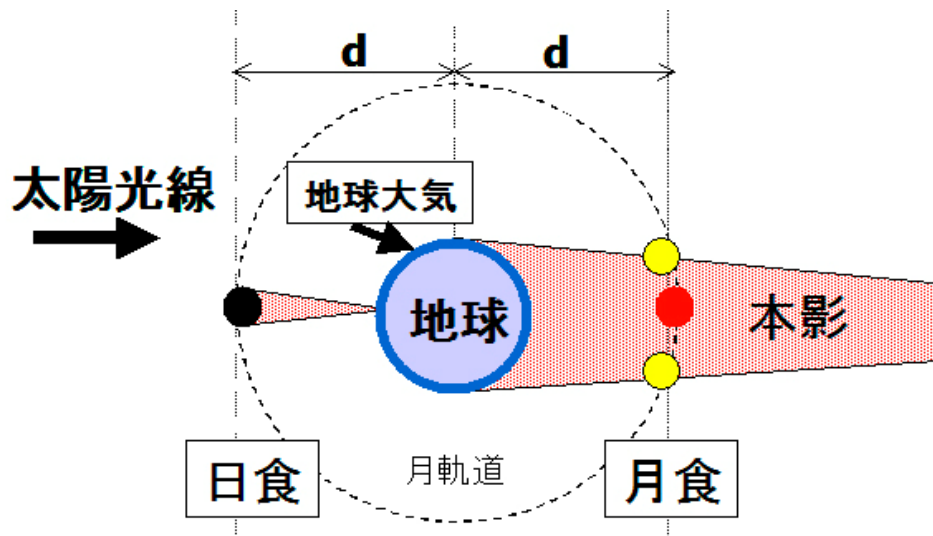


図3 日食と月食の位置関係

このことを考慮すると、月面に写る地球の本影の大きさから、月のサイズがわかります。ギリシャ時代、280B. C. のころ、アリストアルコスは、月食のときに映る地球の影の大きさを測って、月の直径が地球の約 1/3 の天体であると推定しました。今日では、より正確な測定から、月の直径が地球の約 1/4 の天体であることがわかっています。

実際の観測では、月の表面に映る本影の円弧の影を測定して、本影の大きさが月のサイズの何倍か求めます。この大きさは月の大きさのほぼ 3 倍になるでしょう。ここで、月面での本影のサイズが、月の直径分縮小していることを考慮すれば、月のサイズが約 1/4 地球サイズと測定できます。一方、月の見かけの大きさは、(月の実際の大きさ) ÷ (月までの距離 d) で、この角度が約 0.5 度なので、月までの距離 $d = (1/4 \text{ 地球直径}) \div 0.5 \text{ 度} = (1/4 \text{ 地球直径}) / ((\pi/180) * 0.5) =$ 約 30 倍地球直径となります。ここで、地球半径を 6400km とすれば、月までの距離は約 38 万 km と求まります。

皆さん、上記のように、実際の観測 (たった 1 枚のスケッチや写真からでも) で、月のサイズや、月までの距離をある程度の精度で推定する事ができます。

もし、月までの距離を、もうすこし精度良く測定したいときは、(i) 「太陽の見かけの大きさによる本影の収束率をどのように推定するか?」、(ii) 月面に映っている「本影のサイズ」を正確にはかる、(iii) 月食時の「月の見かけの大きさ」を正確にはかる、の以上の 3 点に注目すると良いでしょう。これまでの話をアウトラインとして、具体的に距離測定の公式を作り、必要な観測量とその精度などを考えてみることをお勧めします。ひとまず、月食時の (1) 太陽の見かけ大きさ、(2) 月の見かけの大きさ、(3) 月面上の本影の大きさを測定すれば、より正確な月のサイズや月の距離が求められるはずです。

(補足1) 皆既中の赤い月

皆既中の月の色や明るさは大変興味深いものです。月が本影の中に完全に入っている皆既中でも、月がぼんやりと赤っぽく見えています。これは、地球の大気による散乱・屈折のためです。ところが、時々、皆既中に月の輪郭もわからないくらい真っ暗になる時もあります。昔、ダンジョンは、皆既中の月の明るさと太陽活動の間に相関があると主張しましたが、この説は今では否定されています。一方、火山噴火直後など、地球大気の上空に塵が多いと、大気中を通過して本影に屈折する光量が減ることがわかっています。すなわち、**皆既中の月の明るさは地球の上層大気の広域リモートセンシングである**と言えます。ところで、もし、皆既月食中に地球を眺められたらどのように見えるでしょうか。皆既中は、真っ黒な地球の周囲がぼんやりとした赤い色のリングになっているでしょう。さらに詳しく見ると、上空の大気にいっぱい塵がある領域は非常に赤く、塵の少ない領域はちょっと黄色っぽいでしょう。月から見た地球の見かけのサイズは太陽より大きいので、本影に隠されている領域が太陽に近いか遠いかでそのリングの明るさも変化します。さらに、赤いリングの外に真珠色の太陽コロナが見えているはずです。月周回衛星「かぐや」から、月食中の地球を見ることが出来たら面白いでしょうね。

(補足2) ニュージーランドでの皆既月食



上の写真は、ニュージーランド、マウント・ジョン天文台で撮影した2007年8月28日の皆既月食です。皆既中の周りの星は、日本から見た星とずいぶん異なっています。この視差を使うと月までの距離が測定できます。このデータは、<http://www2.nagano-nct.ac.jp/~ohnishi/Lunar/>に置いておきます。Paofits 教材開発での使用を許可しますので、ぜひ Try していただきたい。