

日食・月食を使った物理量の測定

Kouji Ohnishi 大西浩次 (長野工業高等専門学校)

1. 2012年の金環日食

2012年5月21日月曜日の早朝、金環日食帯は、九州南部・四国の大部分・紀伊半島から本州の関東付近にかけての地域などを通る。図1で判るように、神戸・大阪・京都・名古屋・横浜・東京などの大都市を含み、日本の全人口の約7割が金環日食を観察することが出来る。東京では、早朝6時19分に食が始まり、金環日食は7時32分から7時37分まで、食の終了は9時03分である。東京での食分の最大は、0.969、一方、金環日食にならない領域でも、非常に大きな食分となる(福岡での食分の最大は0.93、仙台では0.929、札幌では0.840)。この金環日食は天文教育や科学教育の絶好の機会になる。

図2は、5月21日午前7時30分の主要都市での部分日食の様子である。この時刻には神戸ではちょうど金環日食となる。福岡、東京などでは弓形の太陽が見えている。図3は、日食の観測できる領域を示している。図2、図3から判るように、モンゴル・中国・台湾をはじめ北アメリカに至る広い地域で同時刻に部分日食が見られる。



図1 2012年5月21日の金環日食 (国立天文台 天文情報センター提供の図)

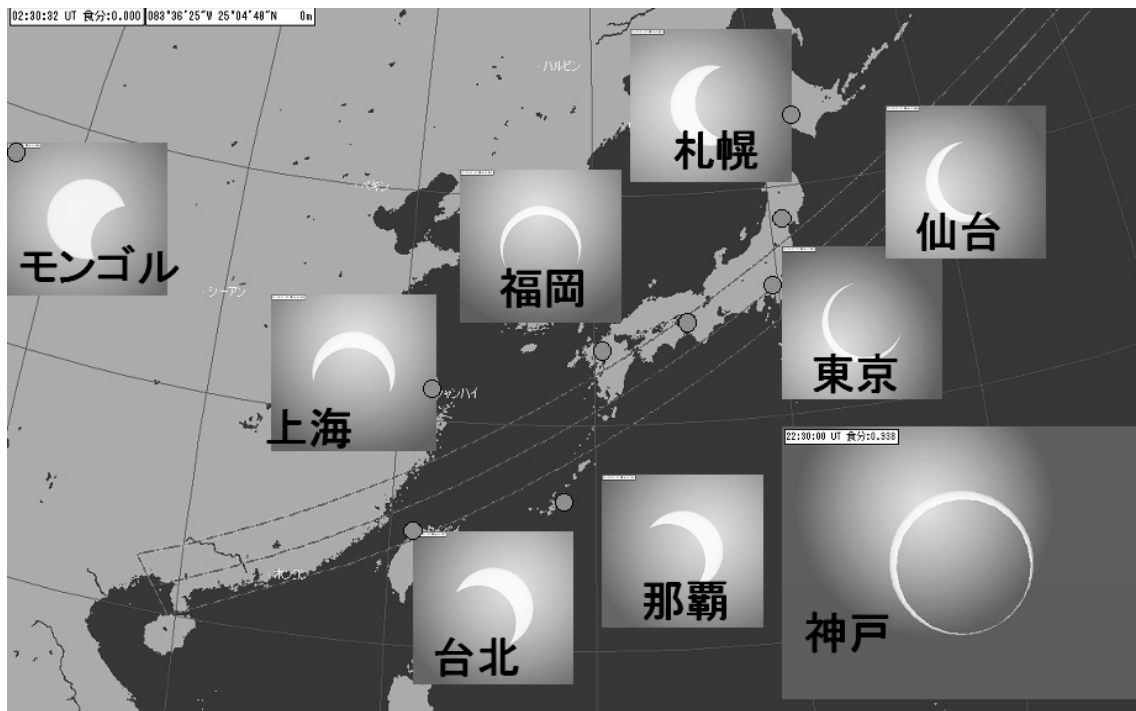


図2 2012年5月21日7時30分の金環日食（神戸で金環日食の同時刻での食分の様子）

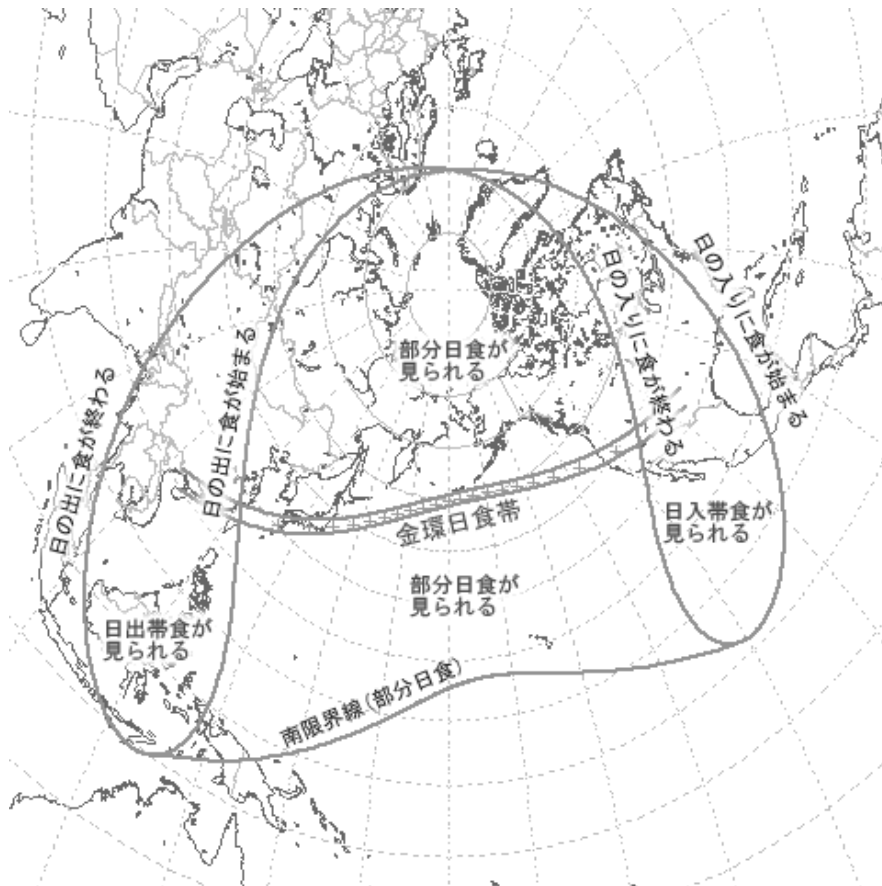


図3 2012年5月21日の金環日食（国立天文台 天文情報センター制作の図）

2. 2012年の奇跡の「天文週間」

この金環日食の起きる2012年5月21日から6月6日までの約2週間の間に、めずらしい天体現象が次々起きる。

天体現象	日時	参考
金環日食	2012年5月21日 (月曜日)	日本では1987年9月23日に沖縄県でのみ見られた。本州で見た金環日食に限ると、前は1883年10月31日で129年ぶりとなる。
部分月食	2012年6月4日 (月曜日)	一部月出帯食
金星の太陽面通過	2012年6月6日 (水曜日)	金星の太陽面通過は非常に稀な現象。 <u>次回は、105.5年後の2117年12月11日(土曜日)、その8年後の2125年12月9日(日曜日)である。(ほぼ、105.5年、8年、121.5年、8年・・・と繰り返す)</u>
(参考) 皆既月食	2011年6月16日 (木曜日早朝) 2011年12月10日 (日曜日)	皆既月食、東日本以西では皆既のままの月没帯食 全国で皆既月食の全経過が見られる

3. 太陽系のスケール (1AU, 月までの距離ほか) をはかる

3.1 金星の太陽面通過と1AUの測定について

金星の太陽面通過や、月食、日食などでは、天体までの距離を測定することが、物理量測定の基本になる。特に、FITS教材として、「距離はしご」の1段目として、金星の太陽面通過時の視差を使った1AU (1天文単位) の測定が重要だ。1677年のE. Halleyによる最初の指摘以降、19世紀までは、1AUを決めることが天文学の最重要課題の1つであった。21世紀に起きた最初の金星の太陽面通過、2004年6月8日の際には、太陽観測衛星SOHOと地上との同時観測などにより、非常に大きなベースラインが得られた結果、比較的簡単な自分の観測データを使っても、比較的良い精度で1AUを求めることが出来た。

さらに、極軌道衛星である太陽観測衛星TRACEの金星の太陽面通過データを使うと、非常に単純に良い比較的良い精度で1AUを求めることが出来た。これらを2012年にどのように結びつけてゆくか、教材製作と同時に、日本の太陽観測衛星Hinodeなどとの連携観測などを検討していく必要がある。

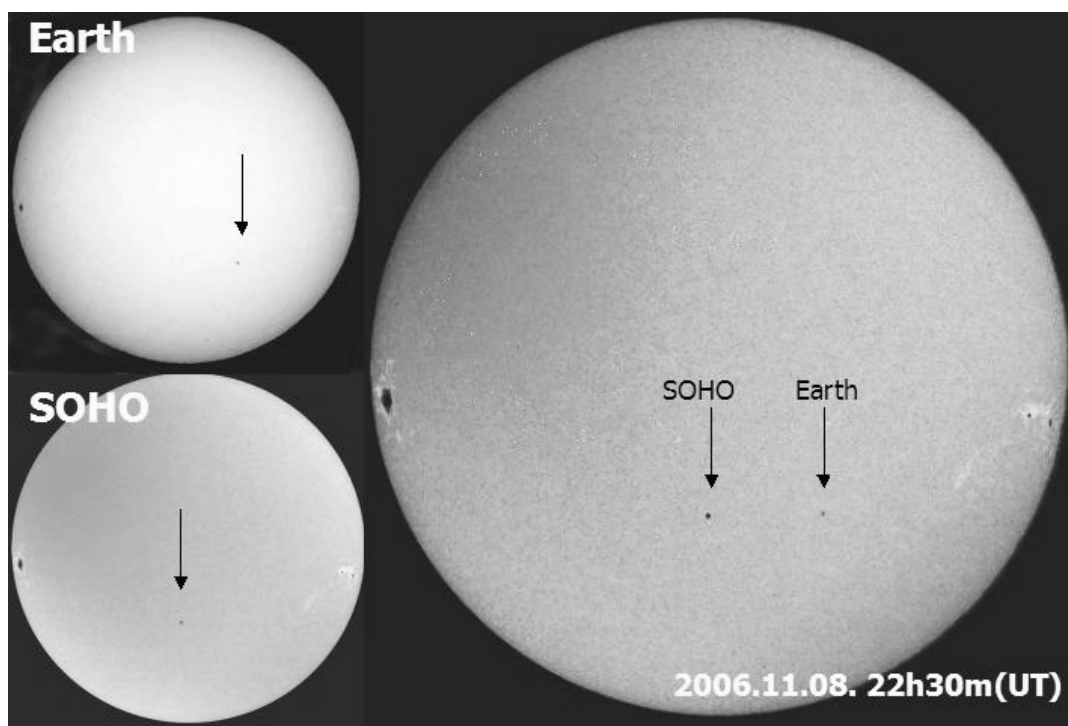


図4 水星の太陽視差、長野(左上)と SOHO (左下)、および、その合成画像 (右)
 2006年11月9日7時30分(JST)
 左上：長野高専天文部撮影 カメラ:Canon EOS 5D 望遠鏡:高橋 FC76(D=76mm,f=600mm)
 左下：SOHO の HP より。 右は、長野と SOHO の画像の回転と大きさを合わせて合成

なお、これらの測定方法や、その実践例は平成 16 年度 FITS 画像教育利用ワークショップ集録に集録されている(大西 2005)。また、この解析手法を 2003 年 5 月 7 日と 2006 年 11 月 9 日の水星の太陽面通過に応用して、ケプラーの第 2 法則を確かめる教材については、平成 18 年度 FITS 画像教育利用ワークショップ集録に集録されている(大西 2007a)。

3.2 月食による月までの距離測定について

図 5 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ある。図 6 は、月食時の太陽、地球、月の位置関係を示す。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」と考えた。この影を測定することで、月までの距離が測定できる。

図 6 を見ると地球の影が平行ではない。通常、「太陽光線はほぼ平行」と近似するが、太陽の見かけの大きさを考慮すると、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)が出来る。この収束する割合は日食から推測できる。太陽と月の見かけの大きさは偶然ほぼ同じきさだ。このため、図 7 のように、地球と月の間の距離 d で、月の影の収束点がちょうど地表面に落ちている事になる。

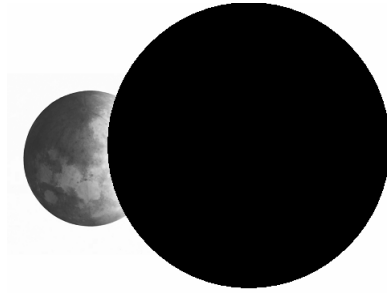


図5 月食の欠け際と地球の影。

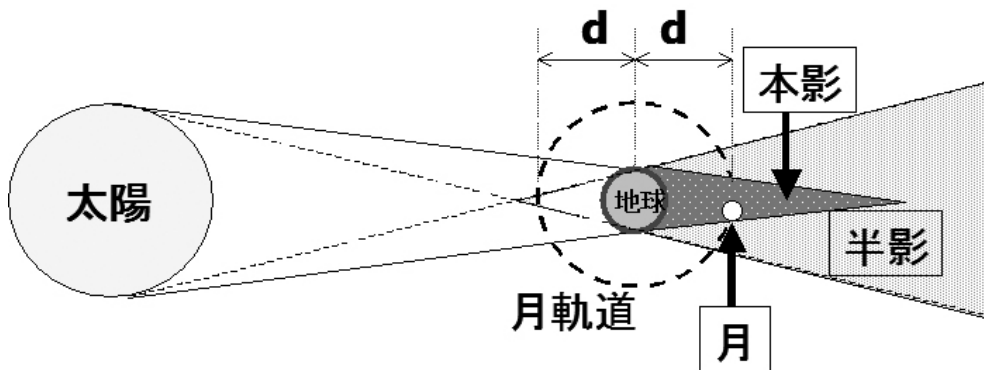


図6 月食時の太陽、地球、月の位置関係。(スケールが実際と異なっていることに注意)

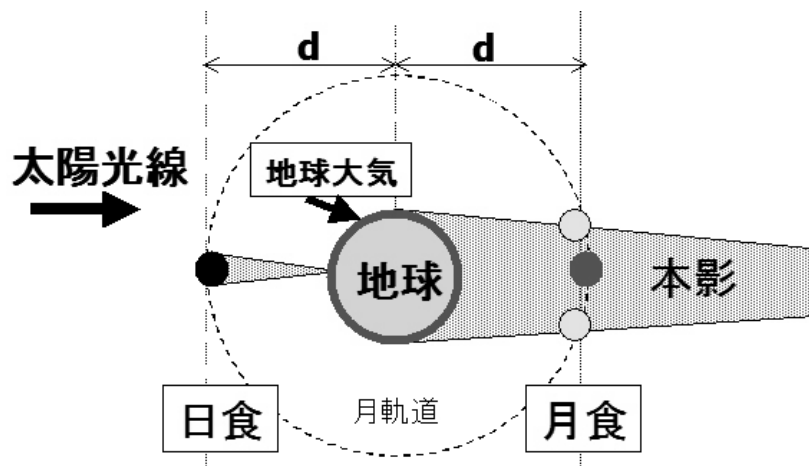


図7 日食と月食の位置関係

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る。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、月のサイズが測定出来る。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から、月の直径が地球の約 $1/3$ の天体であると推定した。今日では、月の直径が地球の約 $1/4$ の天体であることが判っている。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る。この大きさは月の大きさの約3倍になる。

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る。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 $d = (1/4 \text{ 地球直径}) \div 0.5 \text{ 度} = (1/4 \text{ 地球直径}) / ((\pi/180) * 0.5) = \text{約 } 30 \text{ 倍地球直径}$ となる。ここで、地球半径を 6400km とすれば、月までの距離は約 38 万 km と求まる。月までの距離を、さらに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推定、(ii) 測心距離を地心距離に変換する、(iii) 「本影のサイズ」を正確に決める、などに注目すると良い。これらは、平成 19 年度 FITS 画像教育利用ワークショップ集録に集録されている(大西 2007)。

3.3 日食による月までの距離測定について

月は地球のまわりを約 30 日で 1 周している (月の公転)。これを 1 日あたりにすると約 12 度、1 時間あたり約 0.5 度になる。月の見かけの大きさが約 0.5 度なので、月は 1 時間程度でほぼ自分自身の視直径と同じくらいの角度を移動することになる。すなわち、0.5 度の太陽視直径を月が横切る時間 (日食の継続時間) は約 2 時間になるはずだ。しかし、実際には日食の継続時間は 3 時間弱である。この違いはなぜ起きるのだろうか? 図 8 のように宇宙から見ると月の影が地表に投影されて動いている速さは、月の公転速度と同じ秒速約 1km である。しかし、観測者 (日本列島) も時間とともに自転している (秒速約 400m)。

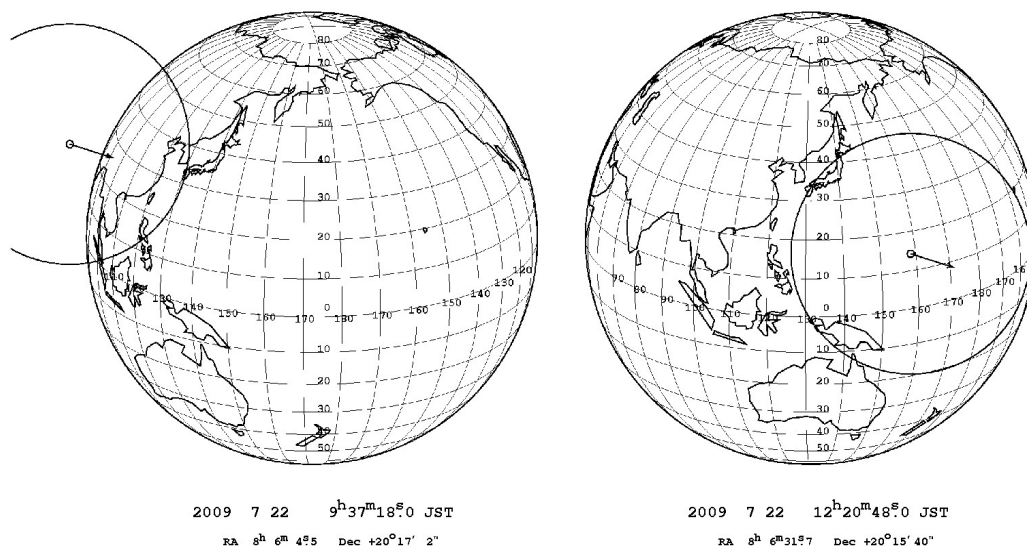


図 8 2009 年 7 月 22 日の皆既日食時、月の影の動きと地球の動きの様子

(左 9h37m, 右 12h20m) 相馬充作成の図 (Astro-HS 2009 観測ガイド P17, 図 6 より引用)

すなわち、**観測者は月の影を常に追いかけて観測していることになる** (ただし、日の出時、南中時、日没時などの時間帯により影との相対速度は常に変化している)。これが、月が太陽を横切る継続時間を長くしている原因である。

太陽までの距離は十分に遠いので、月の影の動く様子は、実際の月の運動が「地球表面というスクリーン」に平行投影されて見えている。この月の影が動いていく様子を地上から捉えてみることで、**地球表面に対する月の移動速度が決定できる**。地表の速度を補正すれば、日食から月の実公転速度が求まり、ニュートンの万有引力法則から月までの距離が測定出来る。これらを含む3通りの測定法については、平成21年度 FITS 画像教育利用ワークショップ集録に集録されている(大西 2010)。

4. 2012年「天文週間」での観測準備に向けて教材整備を！

2012年の金環日食は、この現象の前後での適切な教材と、日食の観測法、日食当日の観測、その後のデータの集約とアーカイブを合わせると、児童や生徒だけでなく、国民を巻き込む大きな教育イベントにすることが出来るチャンスになる。

このためにも、まず、学校教育の現場に受け入れられてもらうためにも、2012年金環日食を用いた新教育課程の新単元に対応した教材の開発が重要である。たとえば、小学校第6学年で「月と太陽」、中学校第3学年で「太陽系と恒星」の新単元に対応した日食教材の開発を目指す事が考えられる。安全な観察教材の開発と普及によって、1つの天体現象を、児童・生徒に留まらず、ほぼ全国民が同時に観測(感動)を共有できる史上初の大規模な教育実験が行える。また、日食の事後に、それぞれ生徒・学生の持ち寄ったデータを Web 等で公開し、これらのデータを使って、児童・生徒が自らサイエンスを行う事で、科学的手法を実感し、自然や科学への興味関心の向上を図るなど、同時刻での体験を共有する大規模な観察による科学教育カリキュラムという分野が期待できる。是非とも、皆さんも感心を持っていただき、日食や金星の太陽面通過に向けた教材開発を進めていただきたい。

参考文献

大西浩次(2005)「1AU教材開発」平成16年度 FITS 画像教育利用 WS 集録 pp. 1-8 (2005)。

大西浩次(2007a)「太陽系のスケールをはかる」

平成18年度 FITS 画像教育利用 WS 集録 pp. 13-22 (2007a)。

大西浩次(2007b)「月食観測による月までの距離測定」

平成19年度 FITS 画像教育利用 WS 集録 pp. 57-60(2007b)。

大西浩次(2010)「日食による月と太陽の距離測定」

平成21年度 FITS 画像教育利用 WS 集録 pp. 5-10(2010)。