

月食と日食

Rosa M. Ros

*International Astronomical Union
Technical University of Catalonia, Spain*



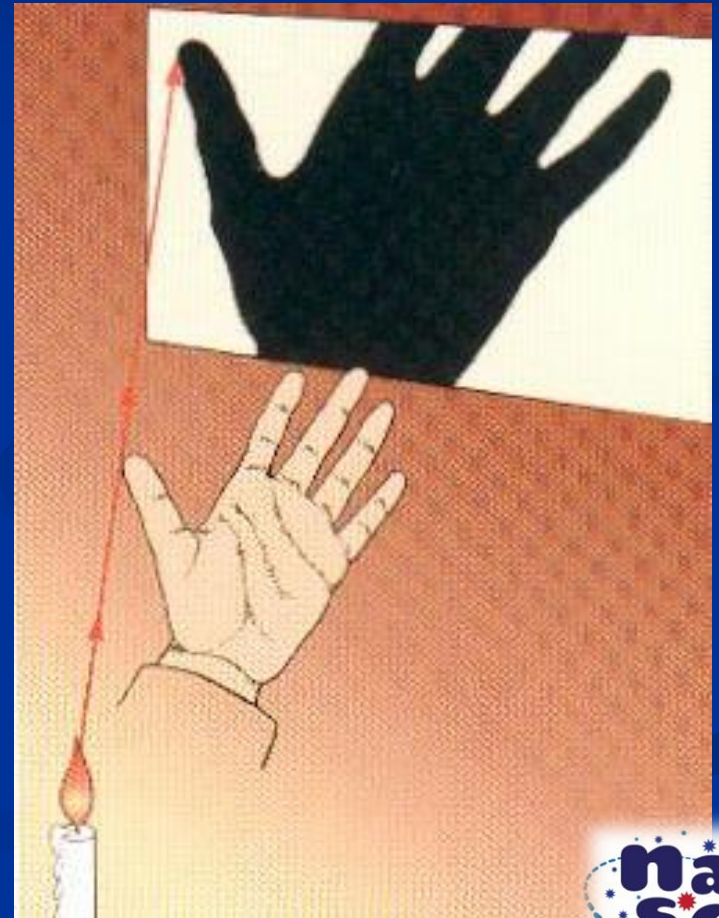
目標

- 月の満ち欠けを理解する。
- 月食の理由を理解する。
- 日食の理由を理解する。
- 地球、月、太陽について、直径と互いの間の距離を決定する。



光源と影

- 満ち欠けと食を考える。
- 互いの位置関係や、落とす影について考える。



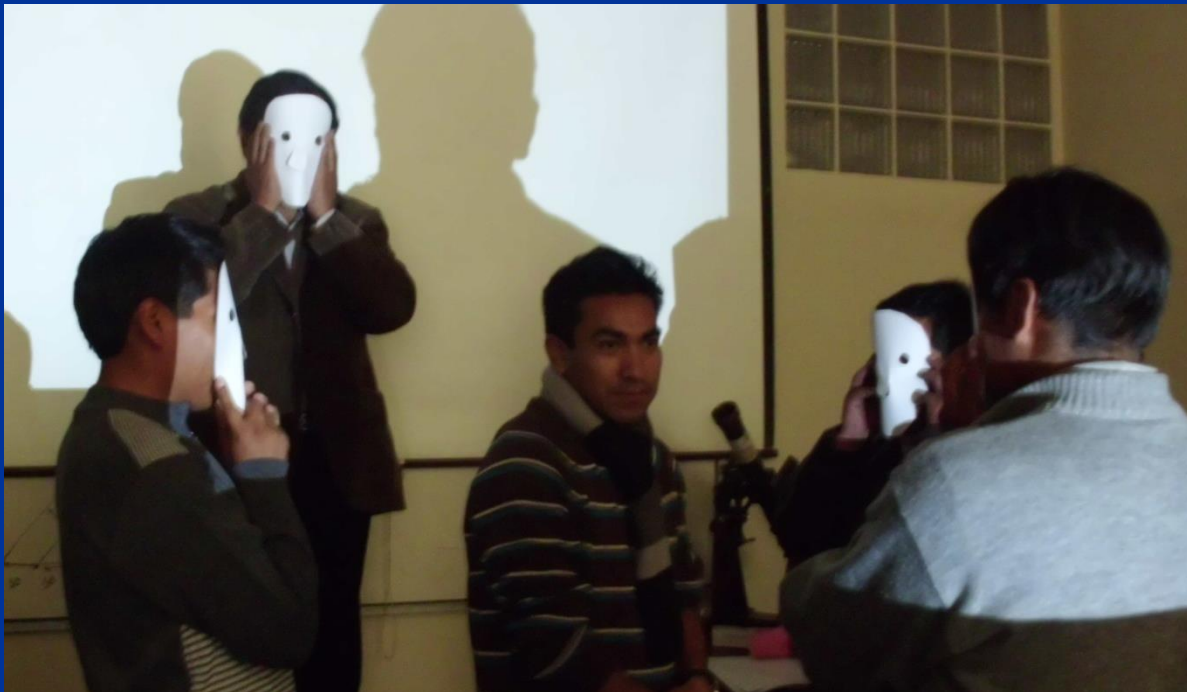
活動1：月の表・裏側のモデル

- 2人でやってみよう：1人は真ん中に（地球）もう1人はそのまわりを回る（月）。
- 月を地球の方に向かせ、自らも90°回転しながら地球の周りを90°回る。それを繰り返して、初めの位置まで戻ってみる。








活動2：月の満ち欠け： 電灯を用いたモデル

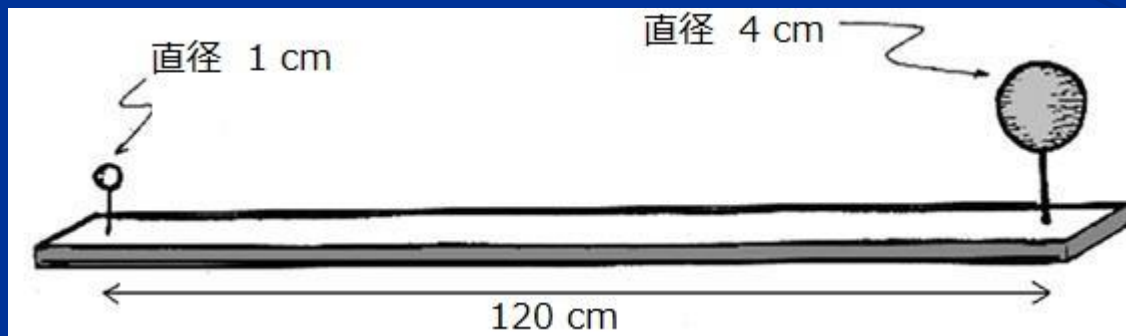
- 5人でやってみよう：1人は中心（地球）、残りの4人は月の満ち欠けの4つの様子を演じる。1人は全部、2人は半分光に照らされ、残りの1人は照らされていないようにする。



地球-月-太陽の距離と半径

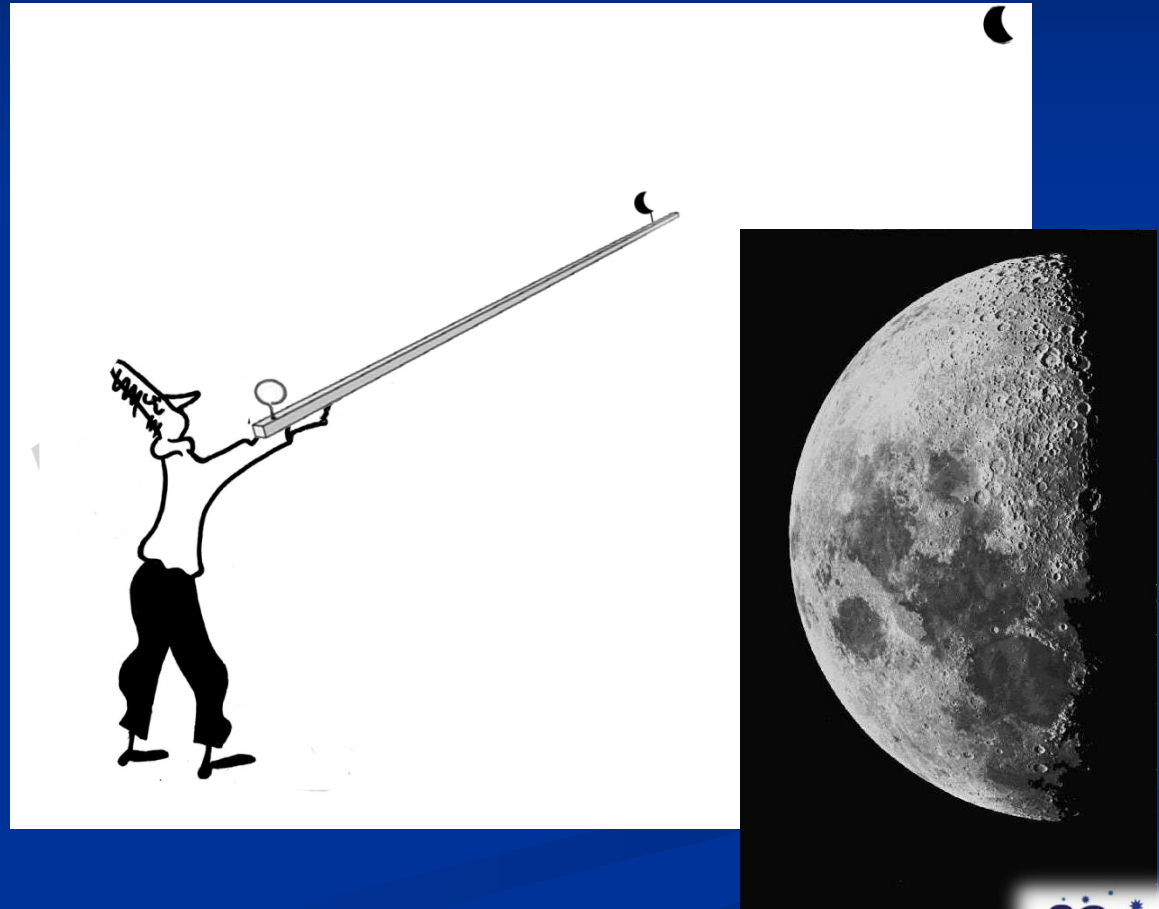
地球の直径	1 2800 km		4 cm
月の直径	3500 km		1 cm
地球-月の距離	38 4000 km		120 cm
太陽の直径	140 0000 km		440 cm = 4.4 m
地球-太陽の距離	1 5000 0000 km 億 万		4万7000 cm = 470 m

縮尺
3.2億分の1



活動3：月の満ち欠けのシミュレーション

- 小さな月のモデルを屋外で日光の下で直接月に向けると、どちらとも同じ満ち欠けの様子に見える。

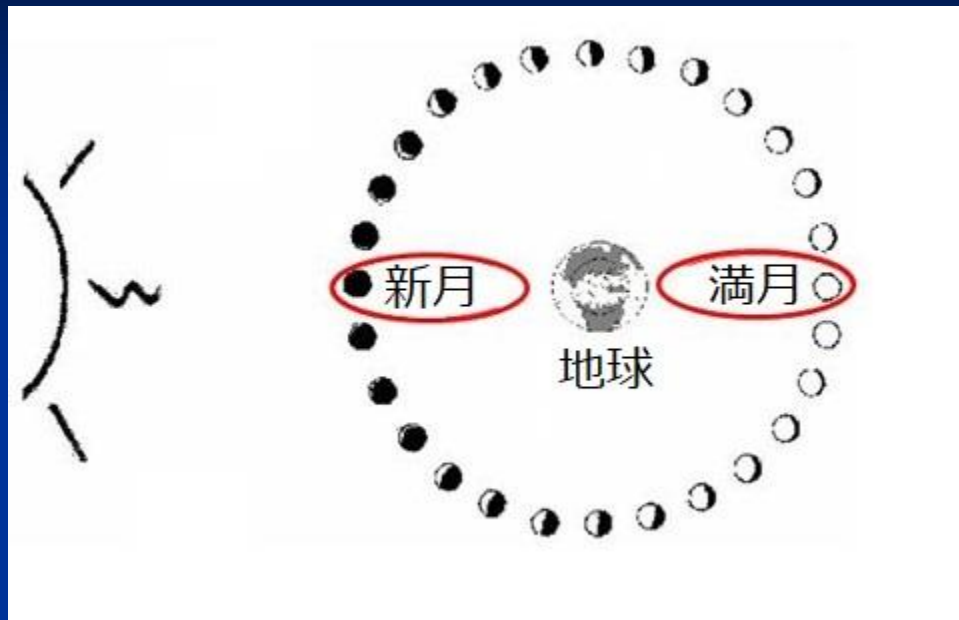


活動4：間違い探し



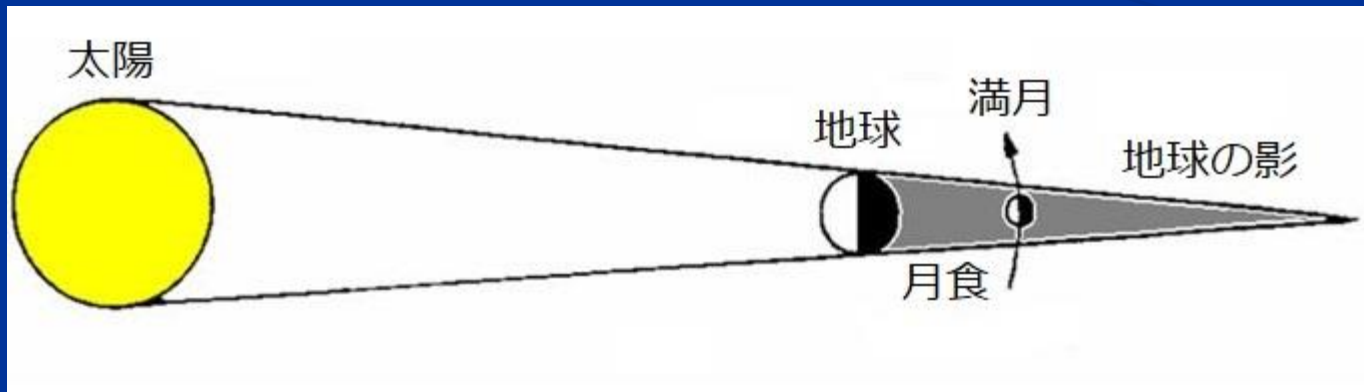
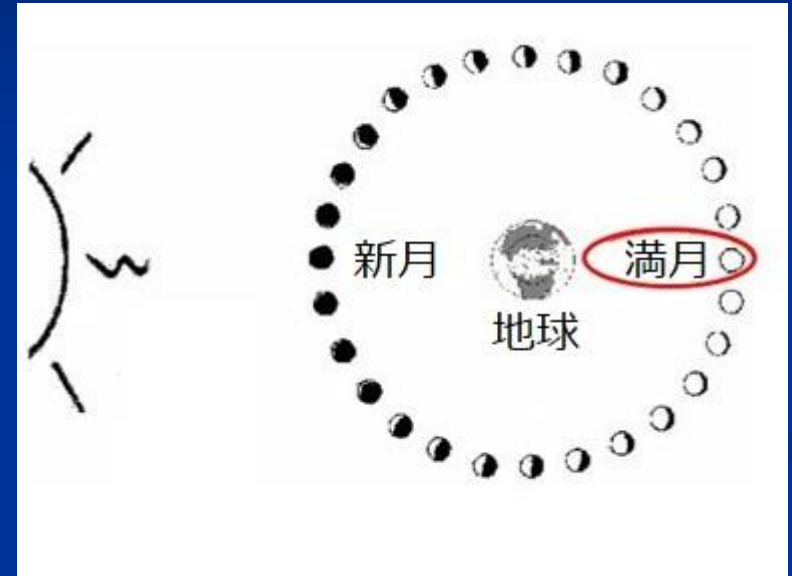
- 月の満ち欠けは、太陽の位置による。さて、どこかにおかしなところはないか。

月の満ち欠けと月食と日食

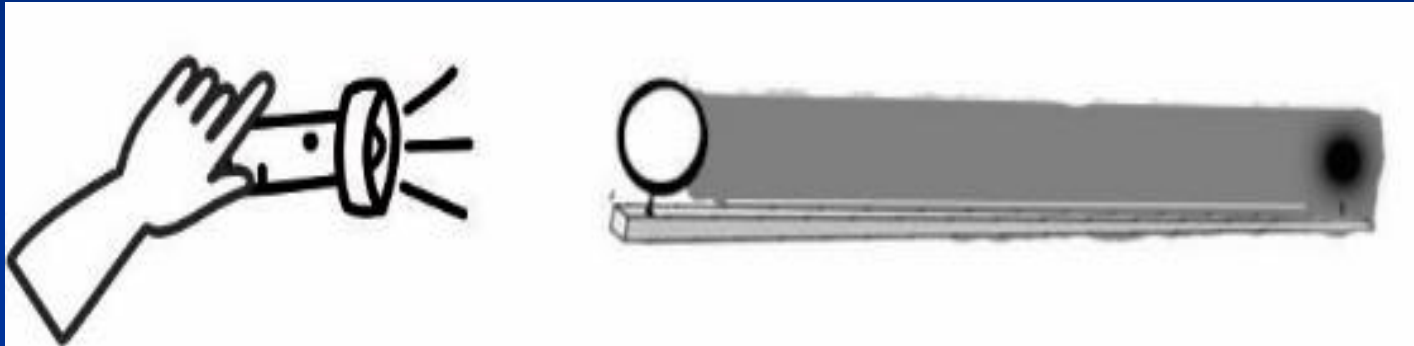


活動5：月食

- 月食は満月の時にだけ起こる。



活動5：月食を起こしてみる



活動5：月食



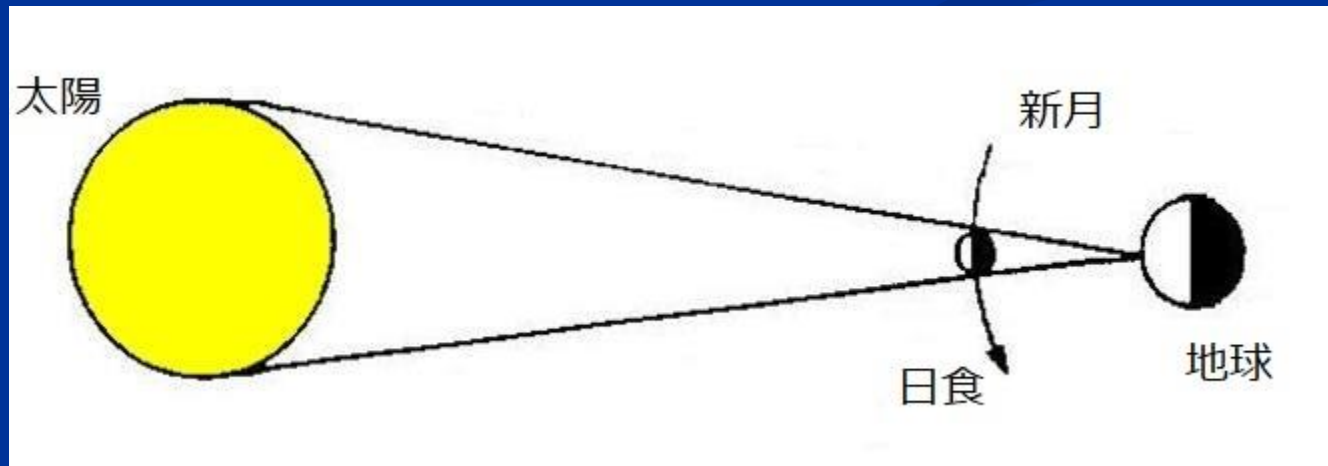
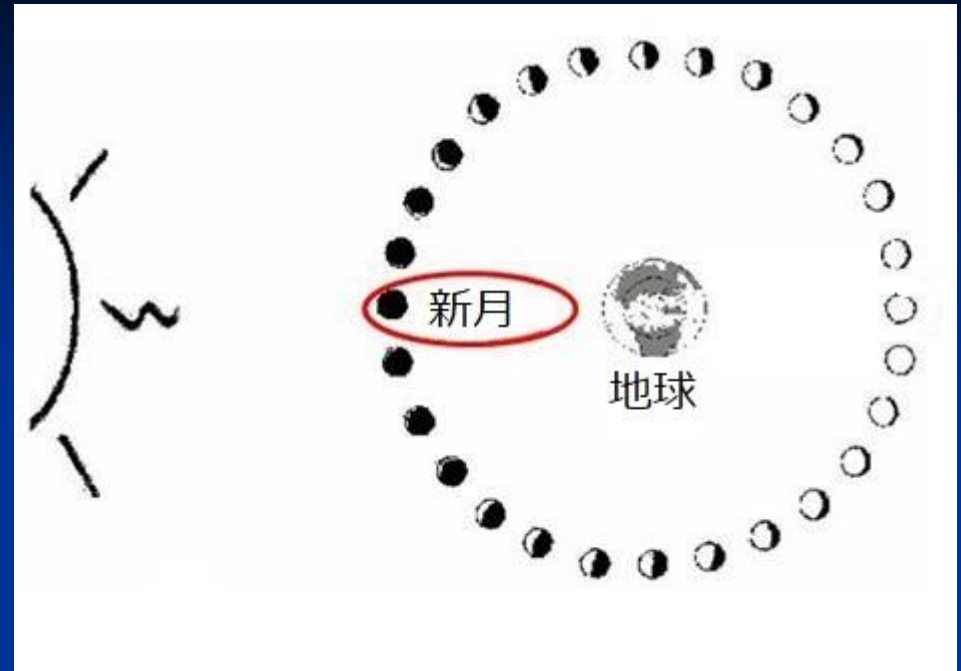
活動5：月食

- 月食が起これば、その時、地球で夜になっている半球分の地域から月食が見える。



活動6：日食

- 日食が起こるのは新月の時だけである。



活動6：日食のシミュレーション



日食のシミュレーションのアップ



Rosa M. Ros

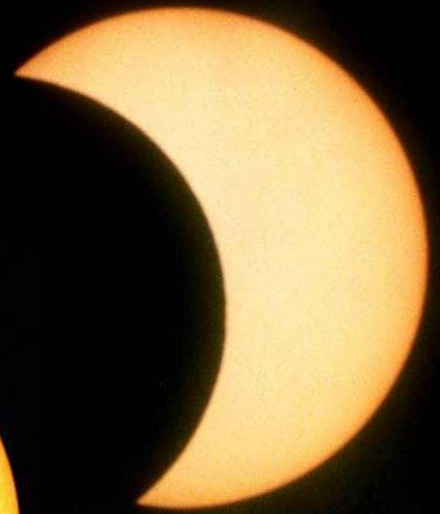
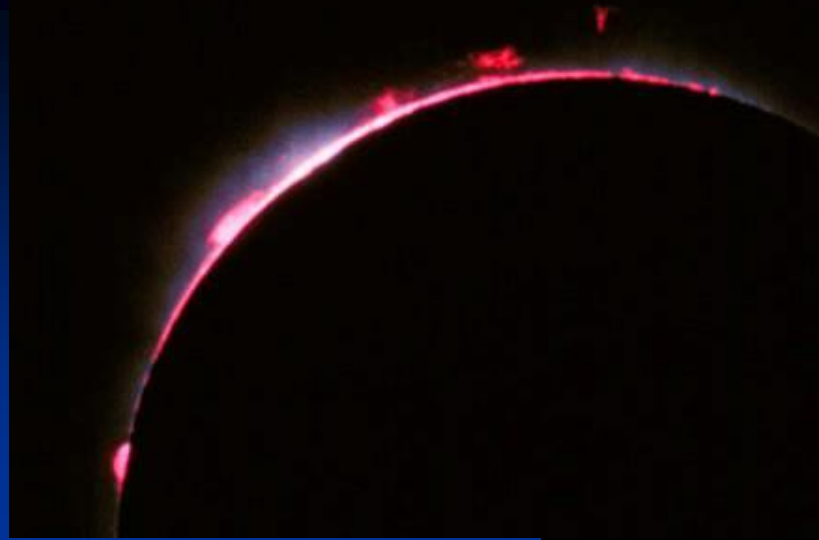
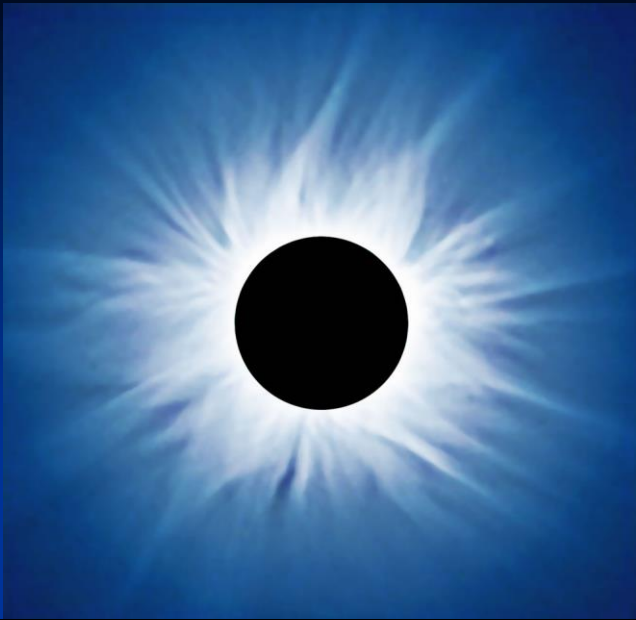




活動6：日食

- 日食は地球のごくわずかな地域でしか見えない。





感動の瞬間



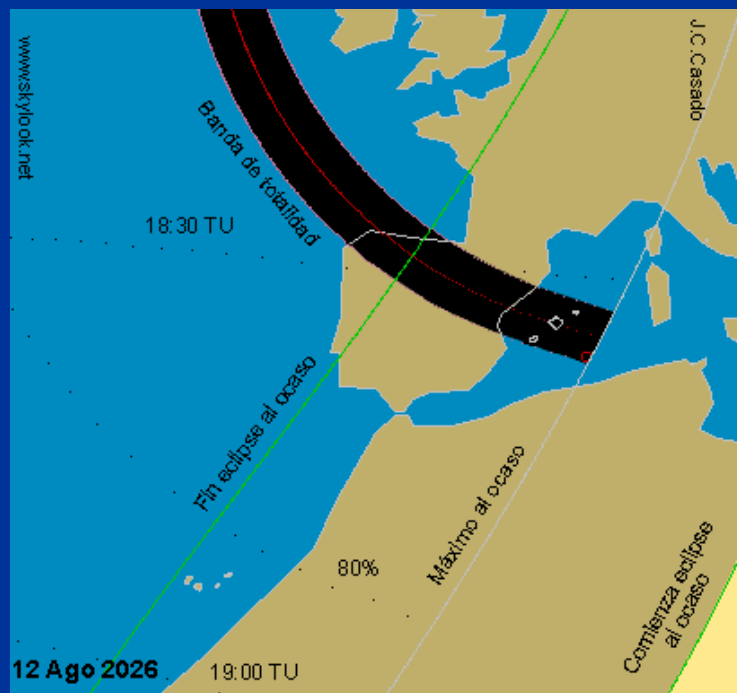
観測

- 月食は満月の時に日食は新月の時にだけ、それぞれ起こる。
- 日食は地球の一部の地域からしか見えない。
- 太陽と月と地球（太陽と地球と月）がちょうど並ばないと、新月や満月の場合でも食は起きない。



最後に例を...

- 次のスペインでの皆既日食は2026年8月12日
(最後に見えたのは2004年で別の地域だった)








- 月食は1年に0~3回起こる。



地球—月—太陽の距離と半径

もっと小さなモデルで

(太陽までの距離をもっと見やすくするために)

地球の直径	1 2800 km		2.1 cm
月の直径	3500 km		0.6 cm
地球-月の距離	38 4000 km		60 cm
太陽の直径	140 0000 km		220 cm
地球-太陽の距離	1 5000 0000 km 億 万		235 m

縮尺
6億分の1



太陽を描こう



活動7：大きな太陽を 小さな月のように見てみよう

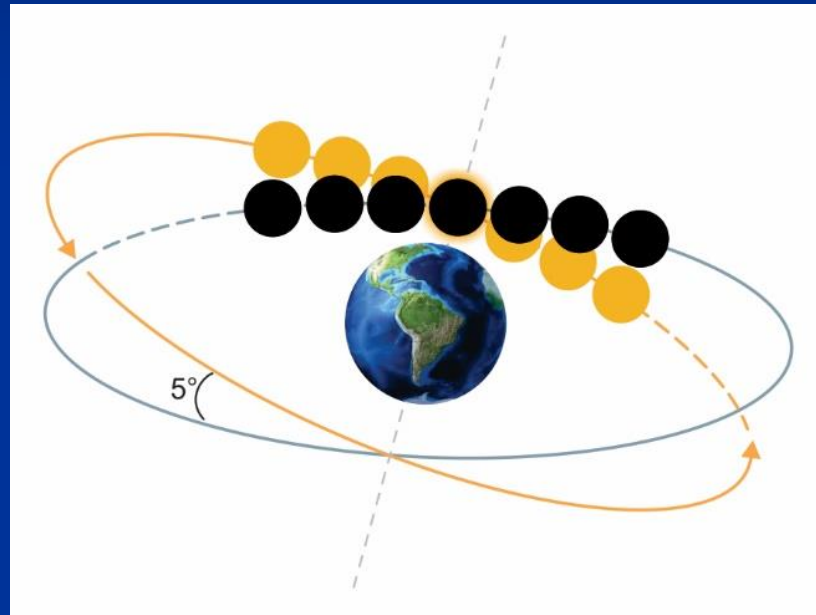


毎月、新月と満月があるが...

日食や月食は、毎月は起こって
いない。なぜだろうか。



太陽周りの地球の公転面と、
地球周りの月の公転面が、
同じ面になっていないからである。



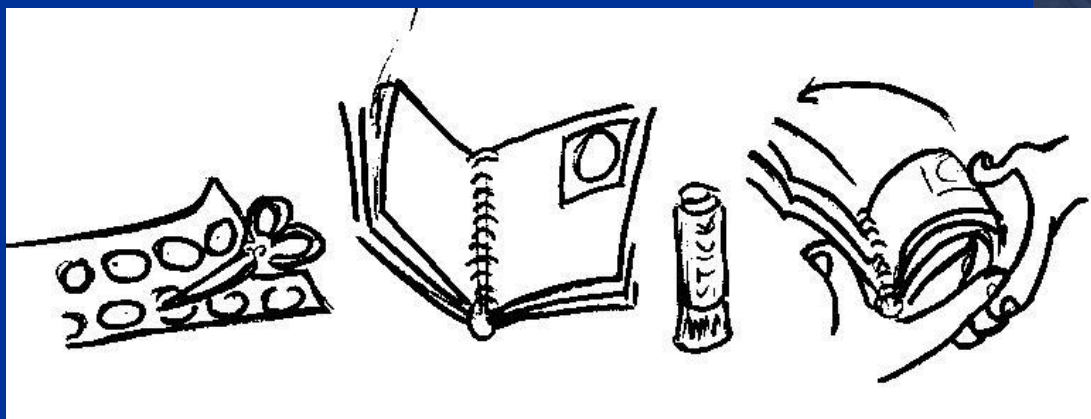
2つの軌道面は互いに 5° 傾いており、
太陽と月の見かけの大きさは、
たった 0.5° である。

2つの軌道面が重なる線上近くに
太陽と月が並んだ時、
食が起こる。



活動8：「パラパラ漫画」 食のシミュレーション

1. 写真を順に切り取り、番号をつける。
2. リングノートに写真を貼る。
3. ページを速くめくると動画教材になる。

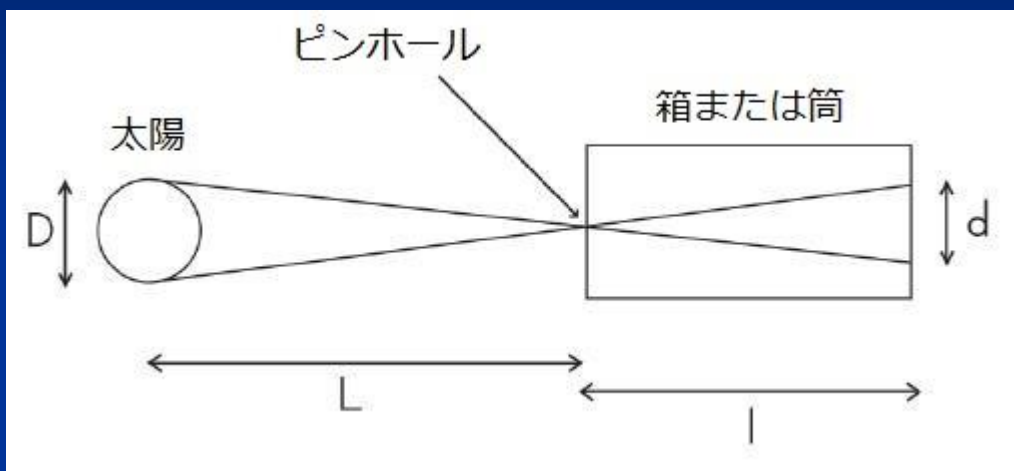


活動9：太陽の直径の測定

観測と測定



活動9：太陽の直径の測定



比例の関係を使って太陽直径 D を計算する。

$$\frac{D}{L} = \frac{d}{l}$$
$$D = \frac{dL}{l}$$

L = 地球-太陽間の距離 1億5000万 km

l = ピンホールカメラの筒の長さ

d = 半透明の紙の上の太陽の直径



活動10：紀元前310年から320年の アリストアルコスの実験

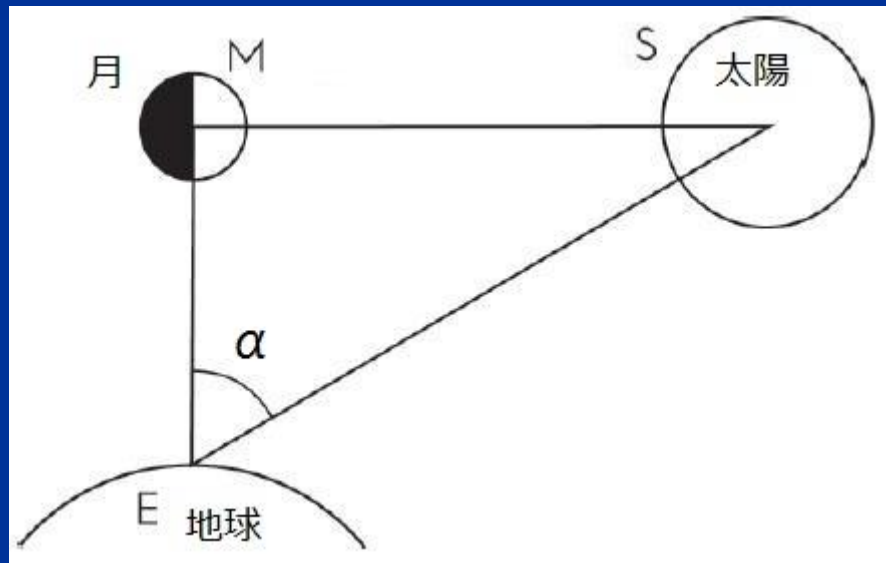
- 地球-月-太陽の距離や半径を、地球半径を単位として
相対比を求めた。エラトステネスの実験による地球半径
の実測値を使えば、相対値が絶対値になる。
 1. 地球-月、地球-太陽の距離
 2. 月、太陽の半径
 3. 地球-月の距離と月の半径、
地球-太陽の距離と太陽の半径
 4. 月に落とした地球の影と月の半径
 5. 全てを関連させて連立方程式を解く



1) 地球-太陽(ES)、地球-月(EM)の距離

■ $\cos \alpha = EM / ES$ よって

$$ES = EM / \cos \alpha$$



訳注

EM は地球 (E) と月 (M) の間の距離、
以下同じように表記。



1) 地球-太陽(ES)、地球-月(EM)の距離

- アリストアルコスによると
 $\alpha = 87^\circ$ それならば
 $ES = 19 EM$
- 現在の測定では $\alpha = 89^\circ 51'$
それならば $ES = 400 EM$



2) 太陽(R_S)、月(R_M)の半径

- 地球から月、太陽の直径を見ると等しく 0.5° に見える。
- したがって、半径について

$$R_S = 400 R_M$$



訳注

R_S や R_M は月 (M) や太陽 (S) の半径、
以下同じように表記。

Rosa M. Ros

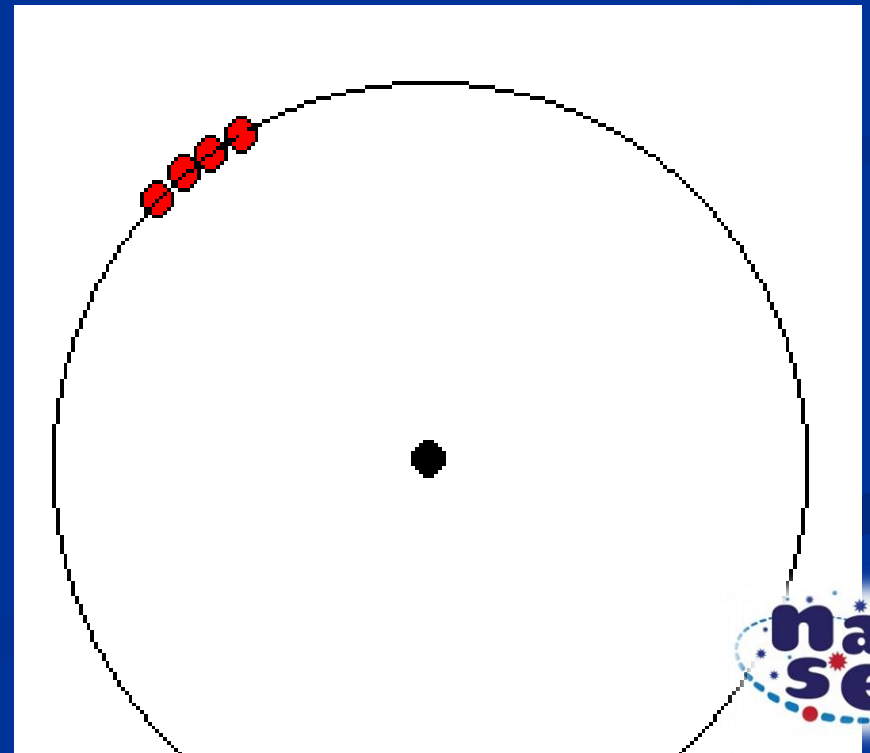


3) 地球-月の距離(EM)と月の半径(R_M)

- 月の直径は地球から見ると 0.5° である。
- この直径を720倍すると、月の円軌道の一周分となる。

$$2 R_M 720 = 2 \pi EM$$

$$EM = 720 R_M / \pi$$

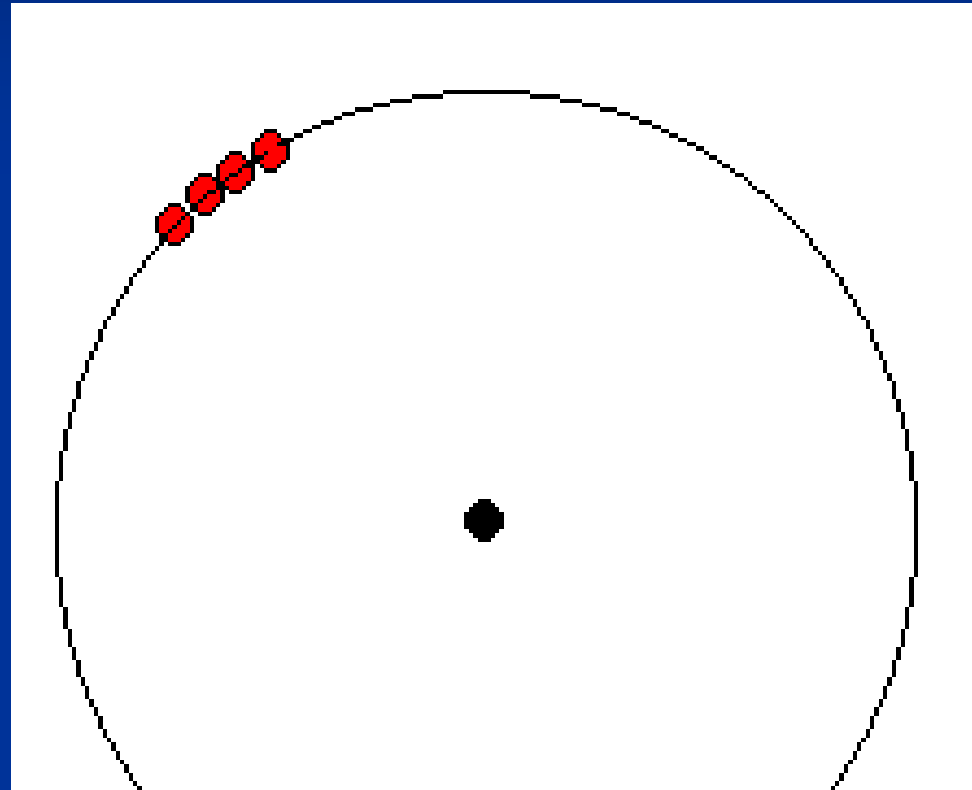


3) 地球-太陽の距離(ES)と太陽の半径(R_s)

- 同じようにして

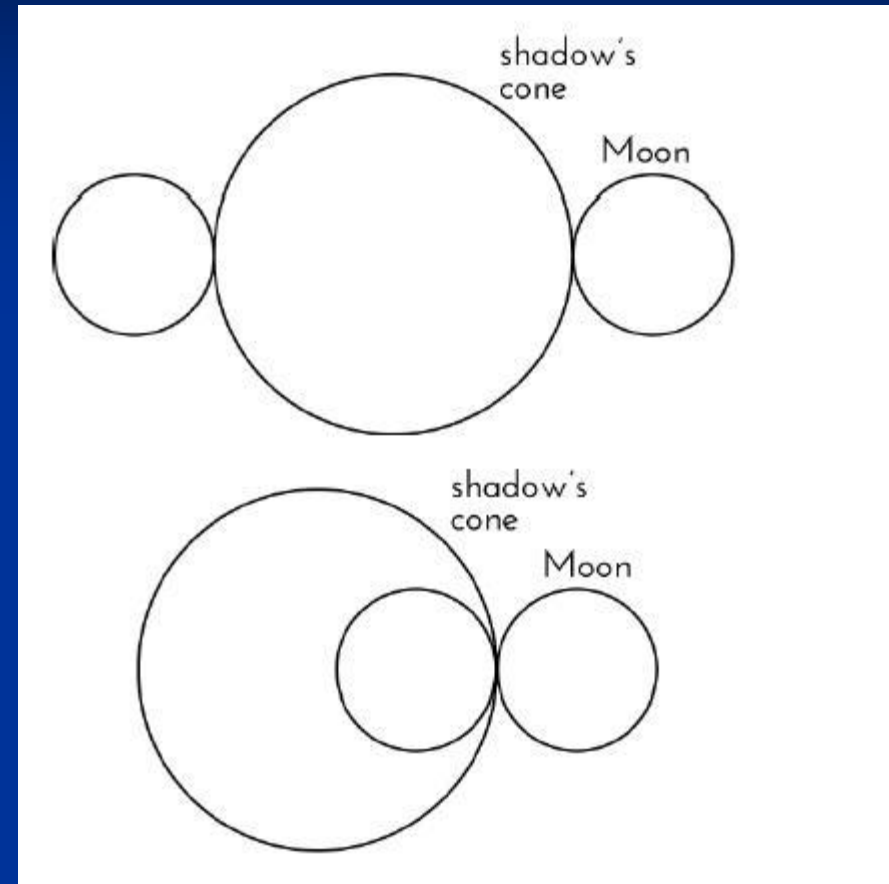
$$ES = 720 R_s / \pi$$

アリストアルコスによる
太陽中心のモデル



4) たなびく地球の影と月の半径

- 月食の観察をしたアリストアルコスは、地球がたなびかせた影を月が通過するのに、月が食されていく時間の倍かかると測った（すなわち2:1）。



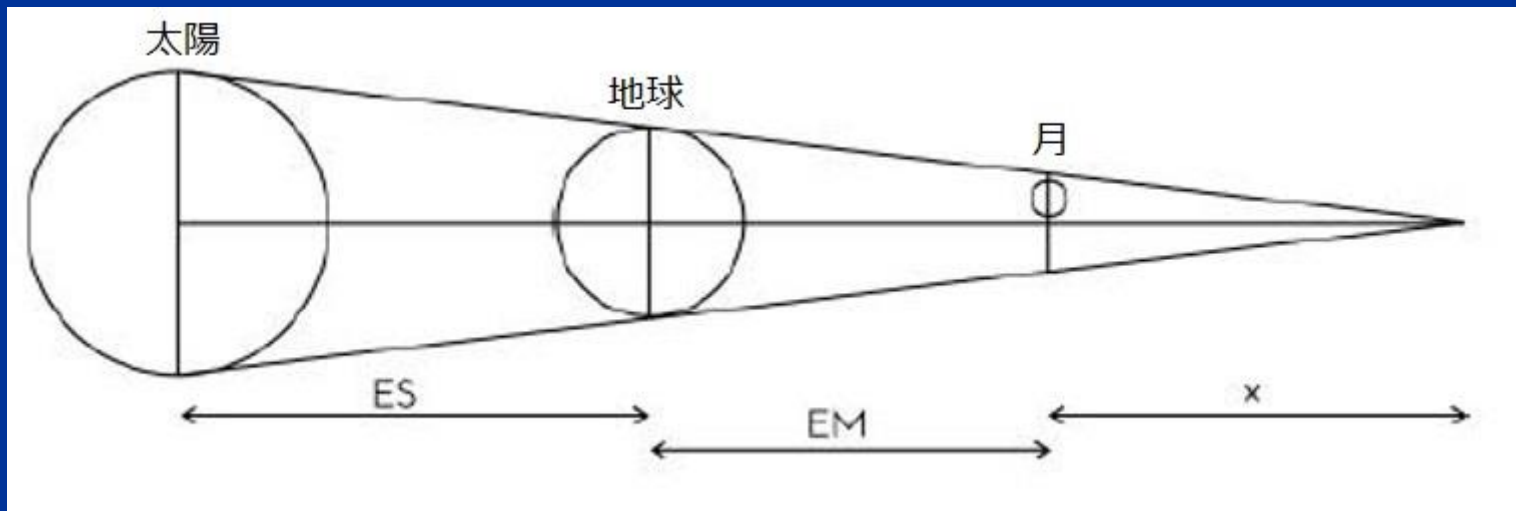
- 実際には **2.6 : 1**

Rosa M. Ros

訳注：月に落とした地球の本影の大きさを見積もったもので、地球と月の半径の比を示しているわけではない。

5) すべてを関連させて

- $(x+EM+ES)/R_s = (x+EM) / R_E = x/(2.6 R_M)$

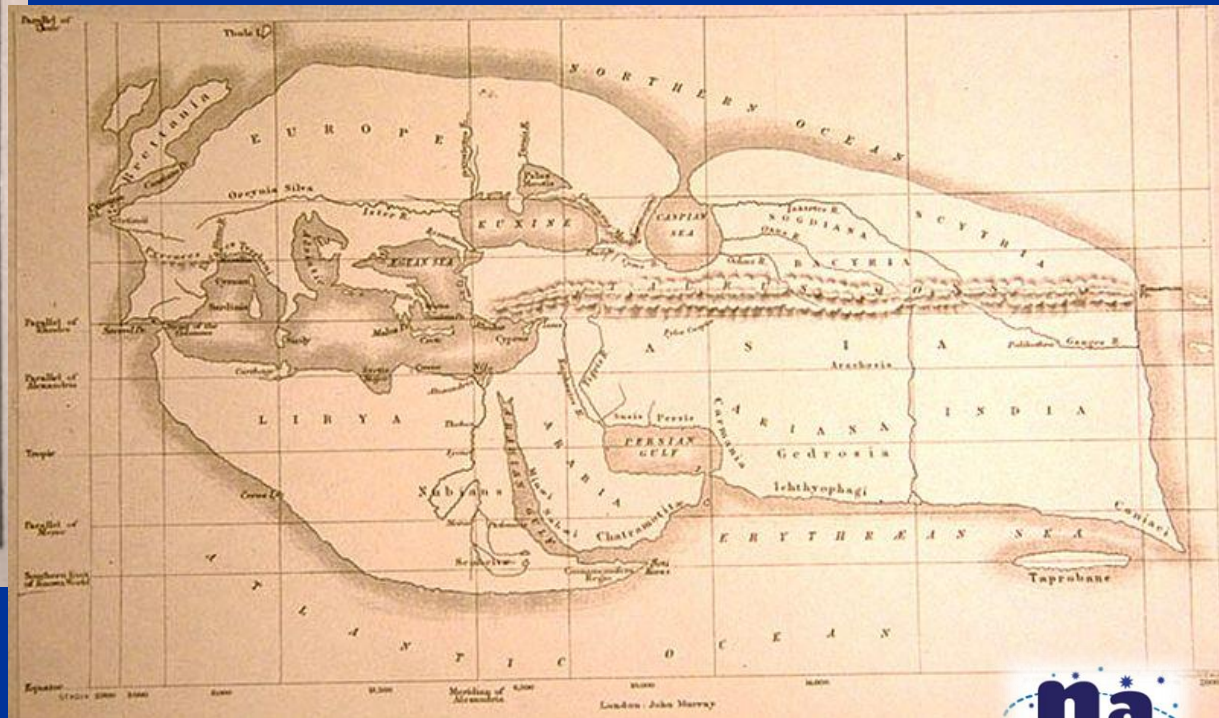
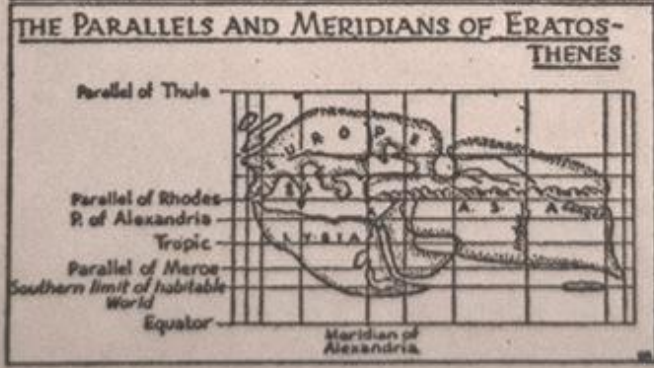
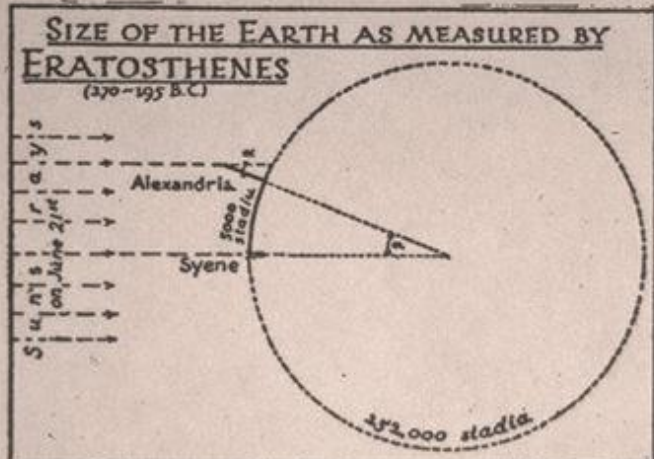


この連立方程式を解く (すべて地球半径に関係付けて)

- $R_M = (401 / 1440) R_E$
 - $EM = (401 / (2 \pi)) R_E$
 - $R_S = (2005 / 18) R_E$
 - $ES = (80200 / \pi) R_E$
-
- 地球半径 $R_E = 6378 \text{ km}$ とすると
 - $R_M = 1776 \text{ km}$ (実際は 1738 km)
 - $EM = 40\,8000 \text{ km}$ (実際は $38\,4000 \text{ km}$)
 - $R_S = 74\,0000 \text{ km}$ (実際は $69\,6000 \text{ km}$)
 - $ES = 1\,6280\,0000 \text{ km}$ (実際は $1\,4968\,0000 \text{ km}$)

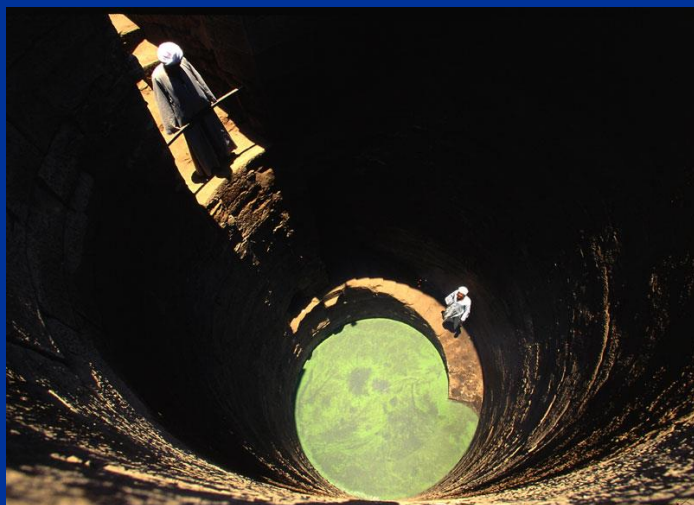


活動11：エラトステネスの実験 紀元前280年から192年



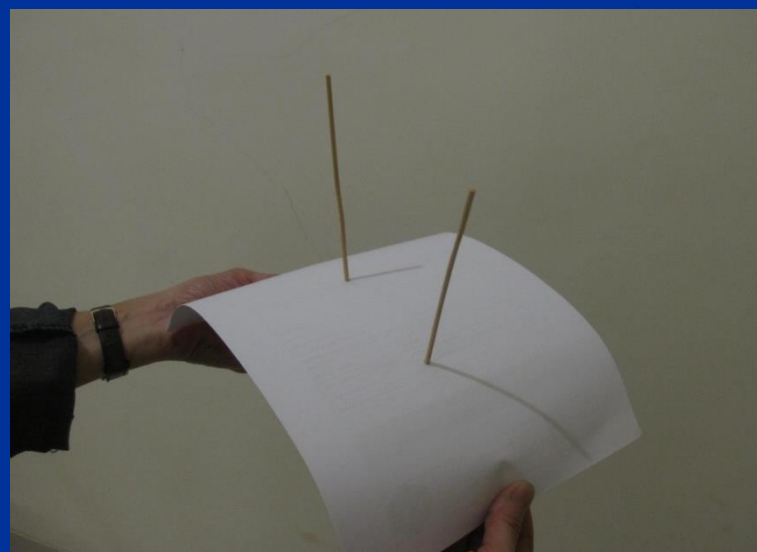
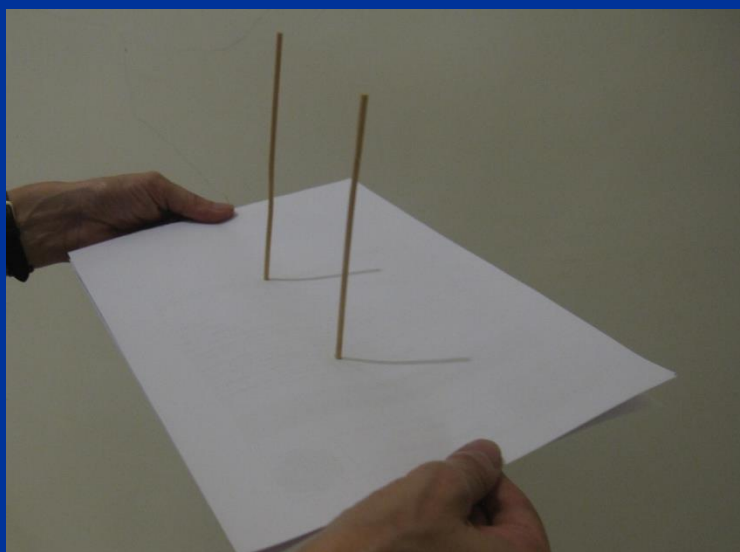
活動11：エラトステネス の実験の再現

- 同じ経度にある2地点
- 同時に観測



影が違う...

- 地球は球体である!



活動11：エラトステネスの実験の再現

- 鉛直な棒の長さとその影の長さを計測する。

$\tan \alpha = (\text{影の長さ} / \text{棒の長さ})$
tan の逆関数 \arctan で表現して

$$\alpha = \arctan (\text{影の長さ} / \text{棒の長さ})$$



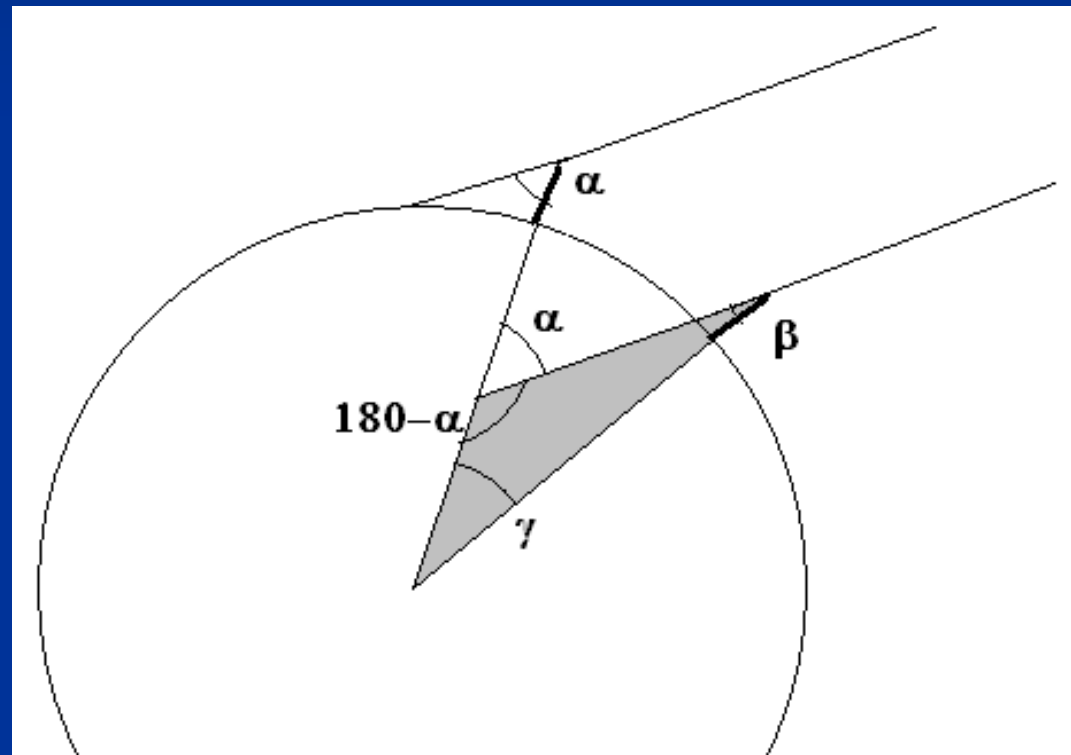
活動11：エラトステネス の実験の再現

- 比例の関係から
- $2\pi R_E / 2\pi = d / \gamma$
- 簡単にして

$$R_E = d / \gamma$$

- γ について
 $\gamma = \alpha - \beta$

- d は2地点間の
距離である
(地図上から)。

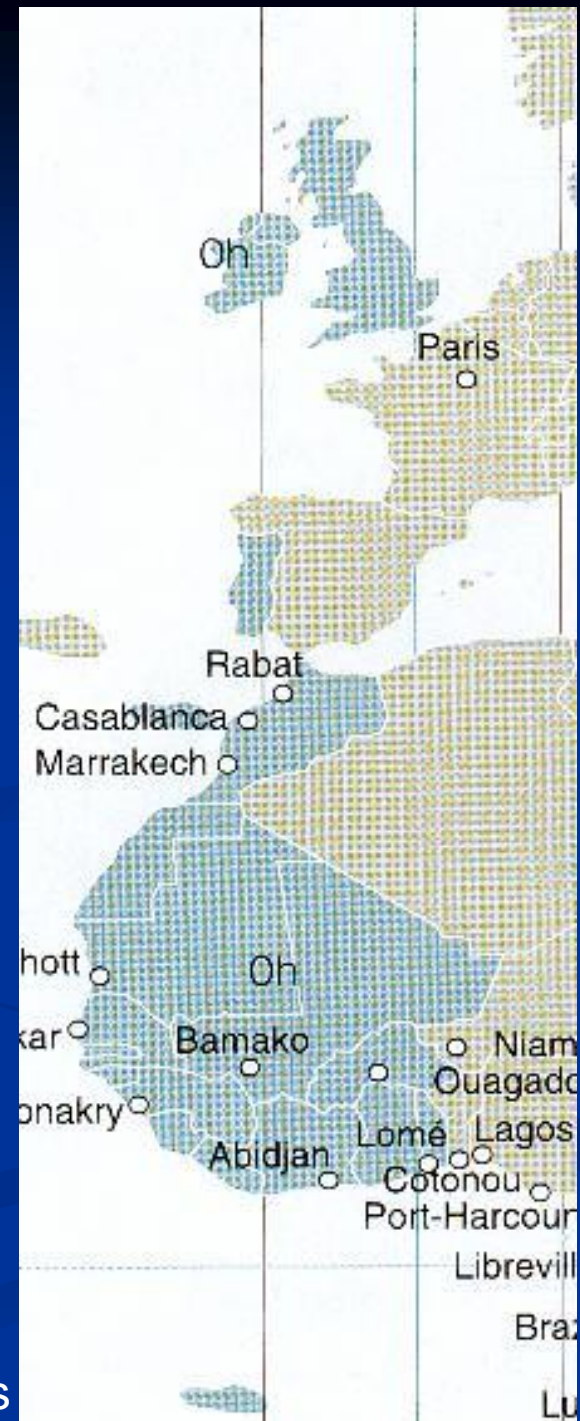


Rosa M. Ros



エラトステネスの方法を用いた測定結果

- リポイ-バルセロナ間 (スペイン)
- $\alpha = 0.5194$ radian
 $\beta = 0.5059$ radian
- $\gamma = 0.0135$ radian
- $d = 89.4$ km
- $R_E = 6600$ km (実際は 6378 km)



まとめ

- 日食、月食について理解した。
- 地球-月-太陽の系の大きさを得た。
- 観測し、得られたデータを計算していくことにより、宇宙についてもっと知ることができるということがわかった。



ありがとうございました

