アリスタルコスは、なぜ月–太陽の距離を見誤ったのか

北海道・網走市　林秀明

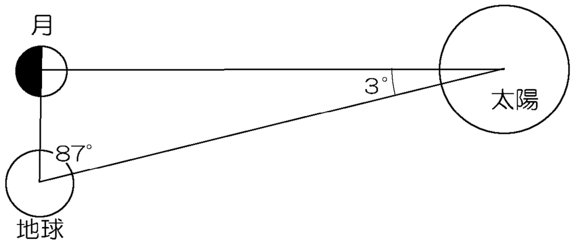
●初版 2012.8.20　● 2012.8.23 加筆　● 2012.10.11 加筆　● 2012.11.14　誤植修正　加筆
● 2012.11.21 一部訂正　● 2013.9.2 字句訂正

アリスタルコスとその観測

アリスタルコス（Aristarchus / Αρίσταρχος ο Σάμιος, 紀元前 310 年 - 紀元前 230 年頃）は、古代ギリシャの天文学者、数学者で、宇宙の中心には地球ではなく太陽が位置しているという太陽中心説を最初に唱えた人[2]です。

アリスタルコスは、下図のように太陽と月と地球が直角三角形を作る半月（上弦または下弦）の時に月と太陽の離角を測ることによって、月と太陽との距離の比を求めようとしました。半月の時の地球から見た月と太陽の離角をアリスタルコスは、約 87 度と見積りました。それをもとに計算し、太陽は月よりも 18 ～ 20 倍遠い距離にあると結論しました。

実際には上弦または下弦の時の月の離角は約 89 度 51 分で、太陽は月よりも約 400 倍遠い距離にあります。



アリスタルコスが用いた方法は、幾何学的は正しかったのですが、測定が大きくずれていたことになります。

しかし、　実際に月と太陽との距離を測ろうとしたアリスタルコスの業績は、これによって価値を失うものではありません。

後のコペルニクスの地動説も彼の思想を受けついだもので、（実際コペルニクスはアリスタルコスの研究を知っており、彼の『天球回転論』を出版したときには削除されていますが自筆原稿には、アリスタルコスの事が言及され[3]ていました。

アリスタルコスの測定が大きくずれていた原因については、ALAN H.BATTEN は、次のように記述[4]しています。

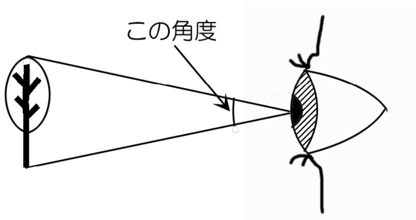
> アリスタルコスは、月が正確に半分にされたタイミングを約 6 時間の間違いをしていたに違いありません。これは彼の方法の短所です:月がいつ、半分満たされているか推測するのは非常に難しいものです。そして、比率 n の値はその評価に決定的に敏感です。

このように正しく言及しているものもありますが、その難しさについて分析は充分ではありません。また、「なぜ、そんな値を選んだのか、理由はあきらかでない」Kitty Ferguson[5]、とか、「これは、離角の測定におけるわずかな誤差でも、このような大きな違いを生じることを示すものであって、当時の観測技術としては許さねばならぬ」荒木俊馬[6]など、な

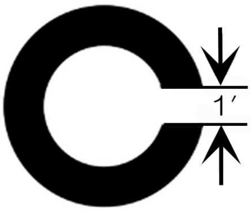
にが問題なのかを正しく論じていないものも見受けられます。そこで、ここでは〈実際に測定するとなると、何がどのように問題なのか〉を詳しく論じることにしたいと思います。
また、実際に肉眼での簡単な測定装置を作って〈肉眼で小さな角度を測定するのがどの程度に困難なのか〉を調べてみました。

肉眼での観測の限界

アリスタルコスの時代は、天体望遠鏡はなかったのですから、当然この観測は肉眼によるものでした。二つのものを遠くに置き、近づけていくとくっついて１つに見えます。それが離れて見えるギリギリの角度を分解能といいます。肉眼の分解能はほぼ１′です。



目の検査では、[右のようなパターンを見せ、どちらが切れているか]で調べることがあります。このパターンをランドルト環といい、C 字型の環の開いている方向を識別することによって、〈離れている 2 点が見分けられる最小の視角〉を測定するものです。日本では、視力は分単位で表した視角の逆数で表すのが普通です。



視力 1.0 とは、切れ目の大きさが角度の１′を見分ける視力で、2.0 の人は、その逆数 1/2′の角度を見分ける視力の持ち主ということになります。
１′とは、ほぼ 1m 先の 0.3mm を見る角度です。測定ではいろいろな誤差が入るので、１′を測定するのは、ほぼ肉眼の限界といえましょう。望遠鏡が使用される以前の肉眼による天体観測としては、最高の精度を誇る観測者にティコ・ブラーエ（１５４６～１６０１）がいますが、彼の観測の精度は２′以内で、入念に観測したものは角度で１′の精度であったということ[7)]です。

問題は、月と太陽との角度ではなく半月の瞬間

アリスタルコスの観測誤差は３°にもおよびます。３°という角度は、ほぼ 1m 先の５㎝ものを見るのと同じ角度になります。かなり大雑把な測定でも、こんなに大きな誤差がでるはずがありません。それでは、なぜアリスタルコスの測定は、こんな値になったのでしょう。
結論からいうと、それは、月と太陽との角が、正確に測れなかったのではなく、〈月が正確に半月になったかどうかがわからなかったから〉です。
吉田正太郎 [8)]は、「アリスタルコスの太陽距離測定法は、天才的な発想でしたが、実際には、月面に山があるためにターミネーター(明暗境界線)が一直線になったことを確かめるのが困難でした。」と、書いてありますが、それが「月面の山」の問題でないことは、次のように考察することでわかります。

月は、地球のまわりを約 30 日で一周しています。ですから、１日に平均

360° ÷ 30 日=12°/日

と、12°動いて見えます。12°は、60′× 12=720′ですから、肉眼の限界 1′を移動する時間は、

24 時間× 60 分 ：x=720：1

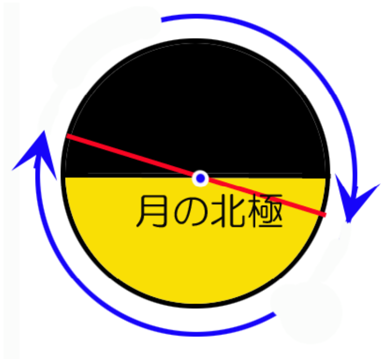
で、２分となります。もし、1′以内で月と太陽との離角を求めたいとなれば、誤差 2 分以内で半月のその時刻に観測しなくてはならないのです。

一方、月の満ち欠けはほぼ 30 日で起こりますから、月の北極から見たとすると、影の移動は右の図のようになります。月の直径が約 3500 ㎞ですから、円周は 3500 × 3.14 ≒ 10000 ㎞ほどになります。

ですから、月面上での影の移動は、１日に

10000 ㎞÷ 30 日≒ 333 ㎞

動くことになります。



上で求めた誤差２分間の影の移動量は、

24 時間× 60 分 : 2 分 ＝333 : x

x ≒ 0.46 ㎞です。

一方、地球から見た月の大きさは、30′ほどです。地球から見た月面の 1′の大きさは、

3500 ㎞ ：x=30：1

x ≒ 117 ㎞です。

影が 117 ㎞移動しなければ、分解能 1′の肉眼では、月の影の移動がわからないのです。117 ㎞影が移動に必要な時間は、

(117 ÷ 0.46) × 2 ≒ 509 分(≒８時間半)

となり、月の影の移動が肉眼でやっと見分けることができるようになる時間は８時間もかかるということです。その間に月は、空を 4°も移動し、半月から大きくずれてしまいます。ここまでは、推定です。

実際の観察

では、実際にはどうでしょう。〈どのくらいになると肉眼で、半月ではないと見分けられるのか〉実際に観察してみたいと思っていましたが、なかなか天候にも恵まれず、現在(2012.11.21)も、観察できていません。

2012.11.20 日は、半月が見える日でしたが、本当の半月になる時刻は、次の日の 0 時 51 分 24 秒です。その時にはもう月が沈んでいますが、「途中まででも良い」と観察してみました。

20 日 17 時 17 分　月は、肉眼でも明らかに半月より欠けているのがわかります。この

時は、本当の半月の 7 時間 34.5 分前です。上での計算では、「８時間前でも半月と見分けがつかない」と論じましたが、実際には〈7 時間半前でも、半月でないことがはっきりとわかる〉のには驚きました。

明暗境界線が直線か、曲線かを見分ける視力は、角度の 1′ よりずっと良いようです。その後、曇ってしまい、その限界はどの辺りかを確かめることができなかったのですが、図を書いて確かめたところ、0.5 ′ に相当する明暗境界線のずれでも、見分けることができそうです。これは、視力 2.0 に相当することになります。私の視力は、2.0 はないのですが、明暗境界線が直線か、曲線かを見分ける視力は、0.5′よりも良いのかもしれません。

月面上の 0.5 ′ の明暗境界線のずれを見分けられるとなると、上で論じたことは、基本的には間違いではないですが、半月の瞬間を前後 4 時間程度で見分けられる可能性があります。これは、太陽と月の離角で前後２°の範囲内で測定が可能となる数字ですから、アリスタルコスは、もっと良い値が得られても良いたようにも思います。しかし、これは暗い空に見える夜の月の話です。青空に見える白い月の場合は、見分けることがもっともっと難しいことが、９ぺの【実際の月の形を比べてみよう】を見ていたたけたらと分かると思います。

ですから、アリスタルコスが昼間の半月の瞬間を角度で３°（時間で 6 時間）見誤ったことは、充分ありうることだと思います。

また、次のチャンスに、〈どのくらいになると肉眼で、半月ではないと見分けられなくなるか〉観察してみたいと思っていす。

結 論

まだ、〈どのくらいになると肉眼で、半月でないと見分けられるのか〉の確認ができていませんが、これまで論じてきたことをまとめると、

①肉眼で月が半月の瞬間を数分の精度で見極めることは、できない。
肉眼で半月として見える時間は、昼間の月では前後８時間以上になる。
②その８時間の間に月は、４°も動くので、どうがんばっても± 4°ほどの誤差は避けることができない。

これは、月に山がなくても言えることですから、吉田正太郎さんの考えも正しいとは言えません。また、月面上の 0.46 ㎞の影の移動は、口径 60 ㎝というかなり大きな天体望遠鏡の分解能に相当しますが、月面が凸凹していることからそのような大きな天体望遠鏡を使っても、観測だけでその瞬間を見極めることはできるとは思えません。可能な方法としては、「A の山に太陽光線があたった瞬間が、半月の瞬間である」というように、月の凸凹を考慮した上で事前に計算しておけば、観測でその瞬間を観測することも出来ると思われますが、月は「秤動」といって、左右上下に向きを変化させるので、半月のたびに目的となる山が変わり、その度に、マークすべき山を計算しなおさなければなりません。これは、半月の瞬間を計算するよりもずっと複雑で高度な計算が必要ですから、そんなことはハエをとるのに大砲をもちだすのと同じで、意味があるとは思えません。

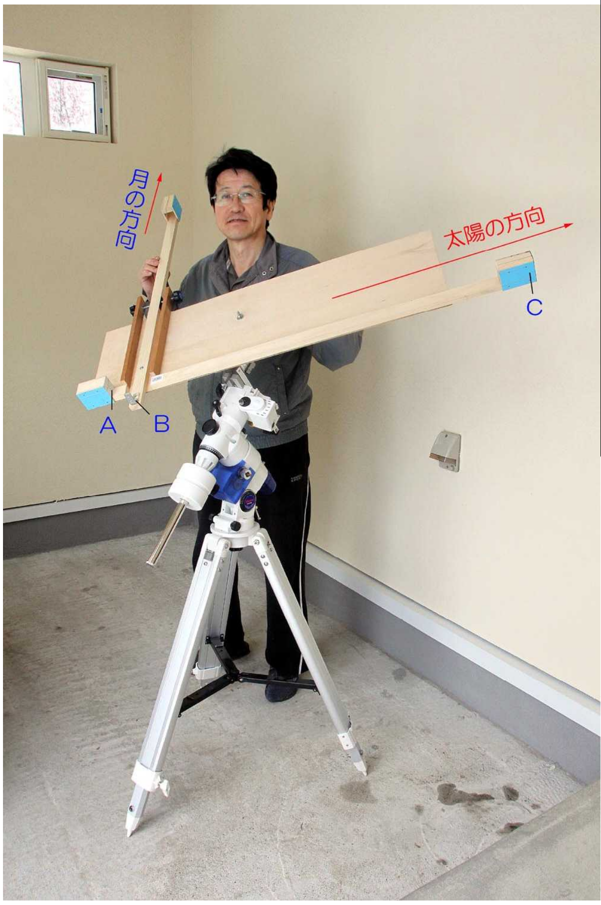
観測だけから半月の瞬間の時刻を２分以内で決定するのは、現在の最高の観測機械をも

ってしても、なかなかできないということだと思います。

ティコ・ブラーエの観測風景
http://galileo.rice.edu/images/things/mquadrant.gif より

実際の測定

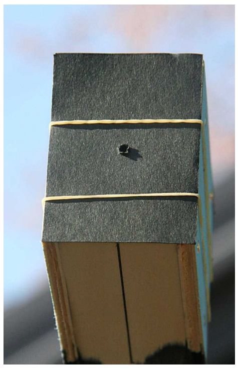
上で述べた通り、観測から半月の瞬間を確定することはできませんが、当時の技術を再考察するために〈月と太陽との角度を自作した観測機械で肉眼を使って数分の精度の角度を測定できるかどうかを実際にやってみました。



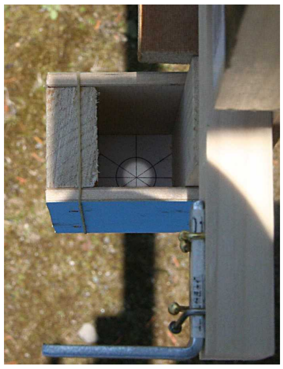
A 観測機械と観測の流れ

肉眼で最高の観測家であったティコ・ブラーエの観測機械は、上のような大がかりで、たいそう立派なものです。そして、測定者の他に記録者など４人かがりでの測定です。

私の観測機械の全体の形は、左の写真の通りです。



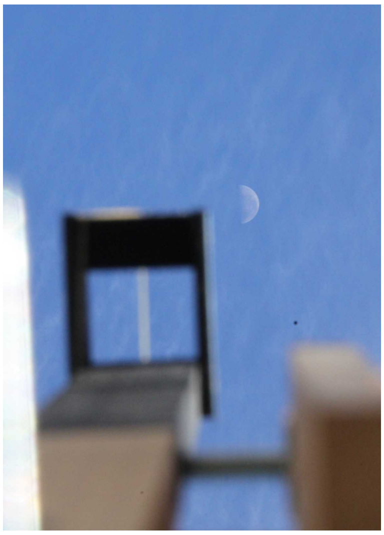
C のピンホール

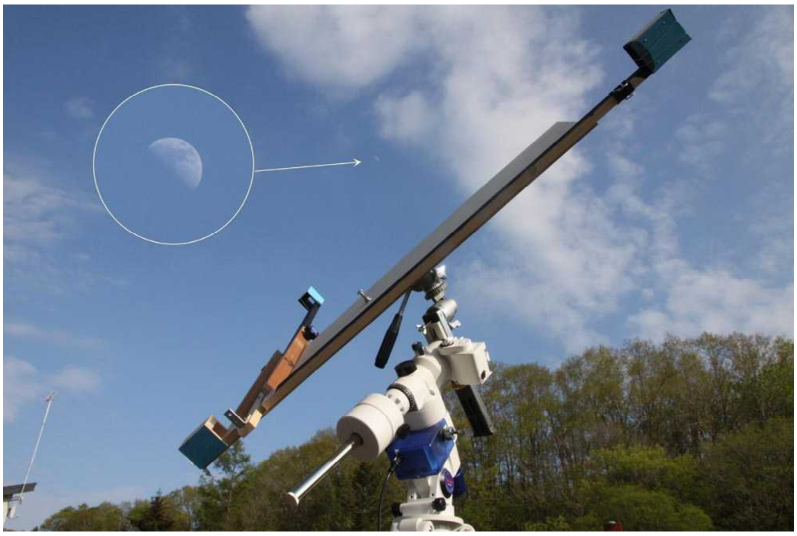


ピンホールの太陽像

①全体は、モータードライブ付きの赤道儀に乗せています。(これで、天体を自動で追えるので、助手の代わりです)
②全体を太陽と月が乗る平面上に向けます。一度では上手くいかないので、太陽、月の方向を確かめながら何回か調整をします。
③前ページの写真の C を太陽の方に向け、もう一方の腕を月に向けます。月の方の腕は、ネジによって方向が微調整できるようにし、C には、ピンホールを開け A の部分に太陽の像を写します。(上の写真)

④モータードライブで太陽を追尾しながら、月を測定線に合わせます。（下の写真）
⑤測定が終わったら３辺の長さを測定します。
⑥余弦定理を使って、角度を計算します。





B　観測可能日

2012 年に太陽と月が直角になる時に、月も太陽も見える日を『天文年鑑』（誠文堂新光社　2012）で調べると、5 月 13 日、7 月 26 日、11 月 7 日のわずか３回しかないことがわかりました。

5 月 13 日、7 月 26 日は、曇り、今年の残りのチャンスは 11 月 7 日だけになってしまいました。

しかし、測定の目的は、〈この程度の装置でどの程度の精度を出せるか〉ということですので、かならずしも半月にこだわらないことになります。ただ、私の測定器の腕は、数度しか可動しないので、半月近辺でなければこの測定器械は使えません。

８月 10 日、天気予報はそんな良いものではなかったのですが、良く晴れてほぼ半月（下弦の月）が見えたので、測定することにしました。

長さの測定風景

C　角度の測定

測定後に、腕の長さを測らなければなりません。1m 以内なら 1m の竹尺が使えますが、それを越えると巻き尺くらいしか一般人には測定器具がありません。距離が大きく取れませんが 1m の竹尺と、精度は少し怪しいですが、［巻き尺］の両方で測定してみることにしました。

D 測 定

① 2012 年 8 月 10 日　08:10　【巻き尺】

A　754.5mm

B　868.0mm

C　1137.0mm

ポケコンを使って計算すると、

月と太陽の離角　88.691°=**88°41′28″**

天文ソフト　The Sky を使って、この時の月と太陽の離角を調べると、

月と太陽の離角　**88°39'11"**

<u>誤差 **2′ 17″**</u>

② 2012 年 8 月 10 日　08:10　【1m 竹尺】（①の観測の測定を巻き尺から竹尺でした測定）

A　698mm

B　680mm

C　974mm

ポケコンを使って計算すると、

月と太陽の離角　89.94399°=**89°56′38″**

天文ソフト　The Sky　を使って、この時の月と太陽の離角を調べると、

月と太陽の離角　**88°39'11"**

<u>誤差 **1° 17′ 27″**</u>

③ 2012 年 8 月 10 日　09:35　【巻き尺】

A　754.5mm

B　868.0mm

C　1132.5mm

ポケコンを使って計算すると、

月と太陽の離角　88.2439°=**88° 13' 27″**

天文ソフト　The Sky　を使って、この時の月と太陽の離角を調べると、

月と太陽の離角　**88° 09' 28"**

<u>誤差 **3′ 59″**</u>

④ 2012 年 8 月 10 日　08:40　【1m 竹尺】

A　698mm

B　680mm

C　960mm

ポケコンを使って計算すると、

　月と太陽の離角　88.30951°　=**88°18′34″**

天文ソフト　The Sky　を使って、この時の月と太陽の離角を調べると、

　月と太陽の離角　**88°29'07"**

<u>誤差 **−10′ 33″**</u>

実験の考察と反省

〈1mm の精度で長さを測る〉というのは、簡単に思っていましたが、実際に測ってみると、1m ほどの長さのものを 1mm の精度で測るのはなかなか難しいことがわかりました。何度が測定を繰り返しましたが、そのたびに 1mm 程度の誤差がでます。

② 2012.8.40 08.10 【1m 竹尺】では、誤差が 1°以上ありますが、これは測定エラーだと思われます。再測定しようと思ったのですが、③の測定で腕を動かしてしまったので、できませんでした。長さの目印を何カ所かつけていたので、それを間違えた可能性があります。

【巻き尺】の精度は、4′以内で、長さにすると 1 mm 程度の誤差ということになるので、そんなに悪くはないと思います。

しかし、〈この機械では 1′の精度を出すというのは、到底無理だ〉ということも良くわかりました。改めて、[ティコ・ブラーエの観測の精度は 2′以内で、入念に観測したものは角度で 1′の精度]というのは、驚きです。

月に照準を合わせる覗き穴

この装置では、コンスタントに 3′の精度で測定ができれは、上出来だということになると思います。さらに、コンスタントに 3′の精度で観測するには、

①月に照準を合わせる覗き穴が左の写真のようになっており、穴の直径 4.5mm もあり、それが誤差を生む 1 つの原因なので、穴を 2mm 程度にする。
②やや、強度が不足して扱いにくいので、強度を高める。

などの改善が必要と思われます。

【実際の月の形を比べてみよう】

下の写真は、ほぼ２時間の昼間の月の形の変化を追ったものです。この中で、本当の半月は、何時何分のものでしょうか?

実は、これはイジワル問題でした。答えは、どれも違うです。この日、2012 年 8 月 10 日は、午前４時 10 分に半月（下弦の月）でした。この時は、月は、出ていますが、太陽は出ていませんので、太陽と月の離角は、測ることができませんでした。

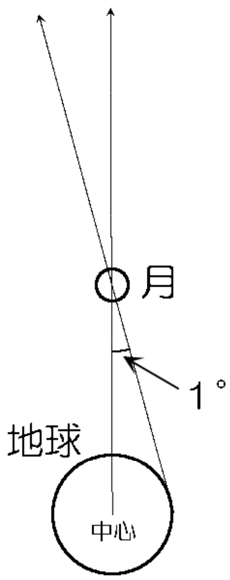
一番左端の 10 時のものが一番細い月で、真の半月より、６時間ほどたったものなのです。このページを A4 版の紙に印刷したとき、月の大きさが 25mm 程度ですから、肉眼で見た月は、このプリントを 2.5m ほど離して見た大きさになります。これを見ても、真の半月を肉眼で見極めることができないことがわかるのではないかと思います。

資料

この実験で半月の瞬間をどうやって出したか

月の満ち欠けの形のことを天文学では、位相といいます。0.5 の時が半月で、この位相は、『天文年鑑』（誠文堂新光社）の「月のこよみ」の項に載っています。しかし、有効数字が２ケタしかないので、正確な時刻までは、わかりません。天文ソフト The Sky では、有効数字４ケタまで、表示されるので、時間で１分の精度でその瞬間を調べることができます。

しかし、ここで表示される位相は、地球の中心と、月、太陽のそれぞれの中心を結んだ線の上の計算で、観測地のものではありません。



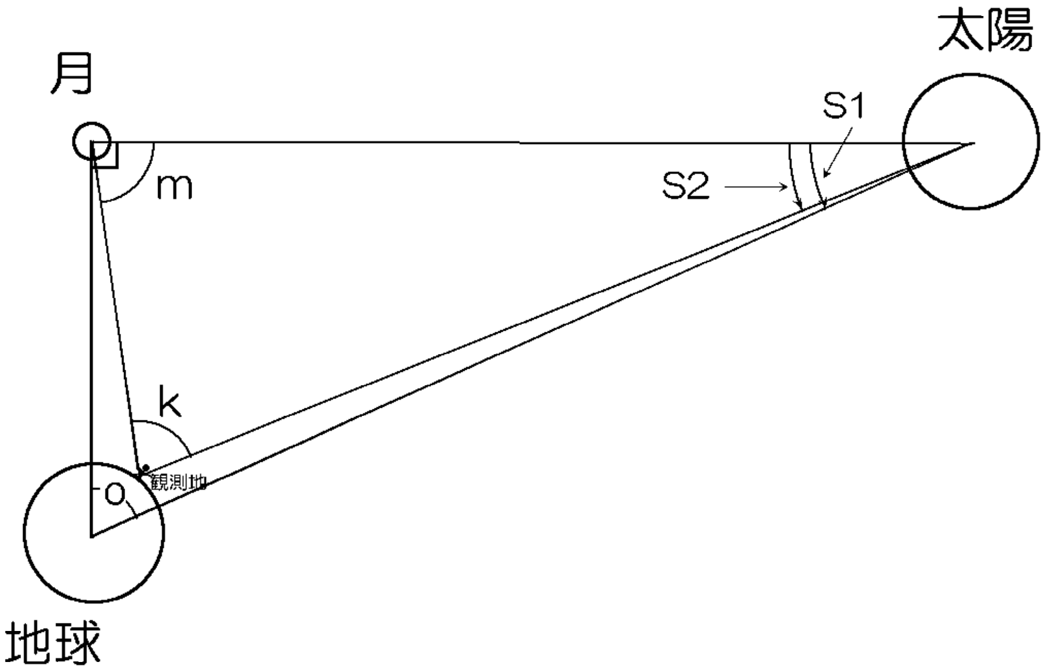
地球と月は、かなり近いので、地球から見た月の方向は、右図のようになり最大で１°ほどもずれます。ここで、問題にしているのは、角度の ［分］のレベルですから、これは無視できない大きな量です。

では、半月の瞬間をどのようにしたら出せるでしょうか。いろいろな計算をすると、観測地から半月になる瞬間を計算できるはずですが、それは簡単なものでないことが想像できます。

簡単に求めることは、できないでしょうか。いろいろ考えて思いついたのが、アリスタ

ルコスが調べようとしたことからいうと、本末転倒ですが、現在では地球と月と太陽との距離は、わかっているので観測-月-太陽の角が直角になる(その観測地で半月になる)瞬間を、月-観測地-太陽の角の値から、逆算することを思いつきました。

上の図において、角 o と、角 k は、1° ほども違うことがあります。一方、太陽から見



た地球の大きさは、角度で 19″ くらいなものですから、太陽から月と地球を見た角 S1 と、月と観測地を見た角 S2 の違いは、最大でも 10″ ほどです。ですから、′の精度で求めるには、S1 と S2 同じと考えてもかまいません。S1 は、小さな値ですから、tan $\theta \fallingdotseq \theta$ 近似できます。すると、

$$\theta = \mathrm{atn}\ \frac{\text{地球-月}}{\text{地球-太陽}} = \frac{38\text{ 万km}}{1.5\text{ 億km}}$$

ポケコンでこれを計算すると、8.7′ とでます。

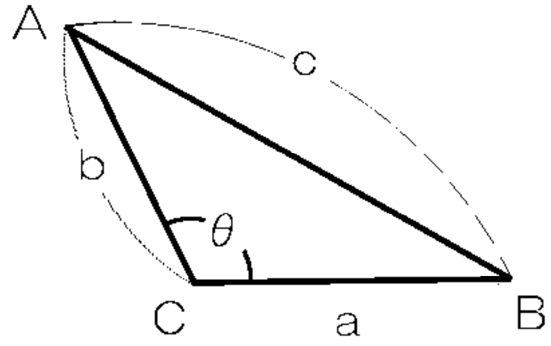
地球と月との距離は、近い時で 363,304km、遠い時で 405,495km ほどで 1 割以上も変化します。一方地球と太陽との距離は、近い時で 1 億 4710 万 km、遠い時で 1 億 5210 万 km です。月が近く、太陽が遠いときの S1 は、8.1′。月が遠く、太陽が近いときの S1 は、9.4′ で、16%ほど変動しますが、平均の 8.7′ に対して、± 1 割以下の違いですから、1′ の精度には、影響しないことがわかります。

したがって、観測地における半月は、

90° − 8.7′ =89° 51′ 18″

と考えて良く、月と太陽の離角が 89° 51′ 18″ の時に観測すれば良いということになります。その時刻は、天文ソフト The Sky で調べることができます。

測定器の３辺の長さから、月と太陽の離角を求める方法



三角形 ACB のそれぞれの辺の長さがわかった時、それぞれの内角は、どうやって計算することができるでしょう。

１か所の角が 90°であれば、sin や cos、tan を使って、計算することができますが、直角でない三角形で計算でだせるでしょうか。

３辺の長さがわかっていれば、この形は、決定しますから、３辺の長さから、それぞれの角を求める方法があるはずです。調べてみると、大野栄一『定規とコンパスで挑む数学』[10)] (ブルーバックス　講談社 1993)に、「三平方の定理の拡張」ということで、「余弦定理」というのが載っていました。それは、次の関係式です。

$$c^2=a^2+b^2-2ab\times\cos\ \theta$$

その式より

$$\cos\ \theta=\frac{c^2-(a^2+b^2)}{-2ab}$$

$$\theta=\mathrm{ACS}(c^2-(a^2+b^2)/-2ab$$

それをポケットコンピュータでできるようにプログラムしてみました。

```
10:INPUT "A",A
20:INPUT"B",B
30:INPUT"C",C
40:D=ACS((C^2-(A^2+B^2))/(−2 × A × B))
50:PRINT D
```

※ ACS は、COS の値から角度を求める関数で、逆三角関数と言います。普通の計算機には、その機能がありませんが、理数系の人たちの使うで、関数電卓では計算ができます。asin, arcsin のように "a" または "arc" を付け、アーク sin などと読みます(sin^{-1} のように右肩に "-1" を付けて表すこともあります)。これを使うと「三角関数表」がなくとも、角度がわかるのでとても便利です。

関数電卓を持っている人は、ほとんどいないと思いますが、エクセルでも逆三角関数が出せますが、答えがラジアンなので、度に変換する必要があります。=DEGREES(ACOS(0.5)) で、60 とでますが、これは、COS θの値が 0.5 の場合の角θは、60°であることを表します。

この式を使うと、３辺の長さだけを正確に測ると、その角度をもとめることができ、上の測定では、これを使いました。

もし、アリスタルコスが半月の瞬間を６分以内に知ることができ、３′の精度で月と太陽の離角を測定できたとしたら、太陽は、月の 230 〜 600 倍の距離にあることがわかったはずです。さらに、半月の瞬間を２分以内に知ることができ１′の精度なら、太陽は、月の 350 〜 450 倍の距離にあることがわかったはずです。

ところで、アリスタルコスはどのように計算したのでしょう。この当時は、まだ三角比の表は、作られていませんでしたから、アリスタルコスは、当時知られていた幾何学的定理を使用したということ[11]です。それについては、深川久さんの「宇宙を測った人々 ―エラトステネス，アリスタルコスの考えたこと ―」に[12]詳しく書かれているので、興味ある方は、そちらをご覧下さい。

【参考文献】

1）肖像　http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Aristarchus.html　より

2）ウィキペディア「アリスタルコス」2012.11.14 閲覧
http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%A2%E3%83%AA%E3%82%B9%E3%82%BF%E3%83%AB%E3%82%B3%E3%82%B9

3）高橋健一訳『コペルニクス・天球回転論』65 ぺ　訳註（157）（1993　みすず書房）

4）**ALAN H.BATTEN　ARISTARCHOS OF SAMOS　1980**　の原文です

Aristarchos must have made an error of about six hours in timing when the moon was exactly halved. This is the weak point of his method: it is very difficult to estimate when the moon is half full, but the value of n is critically sensitive to that estimate.

http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1981JRASC..75...29B&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINTER&filetype=.pdf　2012.8.19 閲覧

これは、The SAO/NASA Astrophysics Data System　http://www.adsabs.harvard.edu/
の資料ですが、Aristarchus of Samos で検索すると、アリスタルコス関係の文献がいろいろヒットします。

5）キティー ファーガソン『宇宙を測る』33 ぺ（2002 講談社ブルーバックス）

6）荒木俊馬『西洋天文学史』　19 ぺ　1965 恒星社厚生閣

7）ウィキペディア　英語版　「**Tycho Brahe**」　http://en.wikipedia.org/wiki/Tycho_Brahe
2012.10.11 閲覧

8）吉田正太郎『太陽と家族たち』（誠文堂新光社 1981）

9）ティコ・ブラーエの観測風景 http://galileo.rice.edu/images/things/mquadrant.gif より

10）大野栄一『定規とコンパスで挑む数学』119 ぺ（ブルーバックス　講談社 1993）

11）上垣渉『はじめて読む数学の歴史』（2006 ベレ出版）

12) 深川久 **2003**「宇宙を測った人々 — エラトステネス，アリスタルコスの考えたこと —」
http://www7b.biglobe.ne.jp/~fukagawa/documents/eratosthenes.pdf#search='%E3%82%A2%E3%83%AA%E3%82%B9%E3%82%BF%E3%83%AB%E3%82%B3%E3%82%B9%E3%81%AE%E4%B8%8D%E7%AD%89%E5%BC%8F' 2012.10.11 閲覧
13) Aristarchus of Samos: The Ancient Copernicus（Dover Books on Astronomy）［ペーパーバック］
14) 種山恭子訳　アリスタルコス「太陽と月の大きさと距離について」『世界の名著　9 ギリシャの科学』1972 中央公論
15) 三田博雄訳　アルキメデス「砂粒を算えるもの」『世界の名著　9 ギリシャの科学』1972 中央公論

追記　2012.10.11

前論文の最後に

さらに、コンスタトに３′の精度で観測するには、

①月に照準を合わせる覗き穴が左の写真のようになっており、穴の直径 4.5mm もあり、
それが誤差を生む１つの原因　なので、穴を 2mm 程度にする。
②やや、強度が不足して扱いにくいので、強度を高める。

などの改善が必要と思われます。

と、書きました。その後①については、穴ではなくて、縦の１ mm 程度のスリットに変えました。また、②も取り付け部を少し改善しました。

その精度をチェックすべく、機会をうかがっていたのですが、曇りや、測定範囲外（私の機械は、90°± 3.5°ほどしか腕が動かない）で、なかなかチャンスがありませんでした。10 月８日、とても良い天気で、下弦の月が見え、測定をしてみました。

① 2012 年 10 月 8 日　09:30　　　**【巻き尺】**

A　754.6mm
B　861.2mm
C　1182.0mm

ポケコンを使って計算すると、
月と太陽の離角　93.79556806°≒ **93°47'44″**

天文ソフト　The Sky　を使って、この時の月と太陽の離角を調べると、
月と太陽の離角　**93°50'31"**

誤差 −2′47″

② 2012 年 10 月 8 日　10:05　　【巻き尺】

A　754.6mm

B　861.3mm

C　1180.5mm

ポケコンを使って計算すると、

月と太陽の離角　93.63098847°　≒ **93°38′29″**

天文ソフト　The Sky　を使って、この時の月と太陽の離角を調べると、

月と太陽の離角　**93°36'00"**

<u>誤差 **+2′ 29″**</u>

③ 2012 年 10 月 8 日　09:30　　【巻き尺】

A　754.6mm

B　861.5mm

C　1179.3mm

ポケコンを使って計算すると、

月と太陽の離角　93.48990056°　≒ **93°29′24″**

天文ソフト　The Sky　を使って、この時の月と太陽の離角を調べると、

月と太陽の離角　**93°26'53"**

<u>誤差 **−2′ 31″**</u>

ほぼ、3′以内に全部収まっていることがわかります。誤差が一方に偏っていると、私の機械の癖(セッテングの不備)が出る可能性がありますが、＋も－もあるということは、うまくセッテングできていることがいえると思います。3′は、1m で 1 mm の誤差ですから、私の機械としては、これが精一杯の精度で、さらに精度を上げるには、バーニア(副尺）などが必要と思われます。