

3日目資料

配布資料

古代の宇宙観

地球の大きさ・宇宙の大きさ



年 組 氏名

授業者：筑波大学大学院教育研究科

松崎大輔

復習

前回の授業では、アリストタルコスによる、太陽と地球の距離 (= 地球・宇宙の半径) が非常に大きいことについて導きました。(当時は度数法が用いられていなかったことが原典から分かりましたね。)

今日はその太陽が地球の遠くにあるということを使い、地球の大きさ (円周) について考えたエラトステネスという人物の考えを体験しよう。

2 - 3、エラトステネス

エラトステネス

人物紹介 2

- ・ B C 275 年、キュレネに生まれ、
- ・ アリストタルコスより数年若い。
- ・ アテネで学び、アレキサンドリアで司書になった。
- ・ 数学者、歴史家、詩人、天文学者、地理学者、言語学者であった。
- ・ B C 194 年、80 歳の時に断食。
- ・ ベータ (第二級の人)、多芸の人、五種競技者、第 2 のプラトンなどと呼ばれた。
- ・ 歴史的な出来事の日付を科学的にきちんと決めることを始めて学んだ。
- ・ 地球の円周を幾何学的に解いた。(今日のテーマ)



基本知識（地球湯の円周を測定するための）

問、子午線とは？

問、夏（冬）回帰線とは？

- ・ 原典の中で仮定されたことを読み取ろう。

原典（エラトステネス 『Greek Astronomy (T.L.Heath 訳)』）

ERATOSTHENES

Measurement of the earth

CLEOMEDES, *De motu circulari corporum caelestium.*

第 1 に、シエネとアレクサンドリアが同じ子午線の下にある

第 2 に、2 つの都市の間の距離が 5000 スタディアである

(スタディア：距離の単位)(1スタディア=157.25 km)

第 3 に、太陽の異なる部分から地球の異なる部分に送られた光線は平行している

第 4 に、平行線に交わる一直線によってできる錯角は等しい

第 5 に、等しい角に対する弧は、それらの全円周に同じ割合と同じ比を持つ。

従って、もしある弧が全体の円の $1/10$ で、他の弧も全体の円の $1/10$ ならば、円の弧は等しい角度を示す。

問、これらの仮定と、道具を用いて以下の原典の内容を参考にエラトステネスの行動を追体験しましょう。

道具について

- ・この円はシエネとアレキサンドリアの両方を通る子午線で地球を切った大円である。

(地球の中心と、この円の中心は一致している。)

注：円柱型にしたのは影がどうなるか見やすくするためである。

- ・シエネとアレキサンドリアについている紙は日時計である。

この道具に懐中電灯の光（太陽光線の光とみたてて）をあてて、エラトステネスがどのように地球の半径を測定したのか考えてみよう。

- ・使っていいもの

懐中電灯、分度器、定規。

- ・いろいろと記入していいですよ。

ヒント

- 1、条件・仮定を確認しよう
- 2、夏至の日だと想定しよう。
- 3、実際に図ることのできない部分を図ろうとしないように。

別の部分と同じ値になる場所で実際に測ることのできる部分がないかな？

原典（エラトステネス『Greek Astronomy (T.L.Heath 訳)』より）

シエネとアレクサンドリアは同じ子午線円の下にあると彼は言います。子午線円は宇宙で大円であるので、2都市を通る地球の円も必然的に大円となります。従って、この方法が表す、シエネとアレクサンドリアを通る地球上の円の大きさは、地球の大円の大きさになるでしょう。さて、エラトステネスが主張し、事実であることだが、シエネは夏回帰線の下にある。従って、夏至の日に天球上にある太陽が正確に天球の中央にある時はいつでも、日時計の針は必ず影を作りません。太陽の位置は正確に、それらの上の垂直方向にあります。（そして、直径 300 スタディアにわたってこれが真実であるといわれています。）

（天球：地球上の観測者を中心とする半径無限大の仮想の球面。すべての天体がこの球面上にのっていると考え。）しかし、アレクサンドリアはシエネよりさらに北にあるので、同じ時間にアレクサンドリアの日時計の針は影を作ります。私達がアレクサンドリアの日時計の針の根本（針と地面の接する点）に影の先端から弧を描き、その弧が、日時計の半球の大円の弧になるならば、2つの都市は同じ子午線上にある。日時計の半球は（子午線の）大円の下にあるので。さて、私達がそれぞれの針を延ばした地球を通り抜けた直線を考えるならば、それらは地球の中心で交わるでしょう。シエネの日時計は垂直に太陽の下にあるので、私達が太陽から日時計の針の先端に来る直線を考えるならば、太陽から地球の中心に達している直線と一致して連続した1本の直線になるでしょう。私達がアレクサンドリアの日時計の針の影の先端から太陽への直線を考えるならば、この直線と、前述した直線は、太陽の異なる部分から地球の異なる部分に来る直線であるので、平行するでしょう。平行しているこれらの直線に、アレクサンドリアの針に地球の中心から引かれた直線を引くと、それらは等しい錯角を作ります。これらの角度の一方は、地球の中心において作られる角で、（アレクサンドリアの針に地球の中心から引かれた直線）と、地球の中心に日時計から引かれた直線の交点です。他方は、アレクサンドリアの針の先端に作られる角で、（アレクサンドリアの針に地球の中心から引かれた直線）とアレクサンドリアの影の先端から太陽に引かれた直線との交点です。

（続きは想像で考えて見ましょう）

1 スタディア = 157.25mとして計算してみよう。



実際の地球の円周は、約 40000km である。

2000 年以上も前にこれだけの精度で計算できたことはすごいことだね。

しかし、アリストアルコスで分かった通り、7.2° などという度数法の考え方は存在しなかった。エラトステネスがどのようにに考えたのかを、原典の続きを良く見て考えて見よう。

原典 (エラトステネス 『Greek Astronomy (T.L.Heath 訳)』 より)

アレキサンドリアの針の先端に作られる角度は、針の影の先端からその根本のまわりに結ばれた弧を示している。一方、地球の中心の角度は、シエネからアレクサンドリアまでの長さを表す弧を示している。それらが等しい角度に基づくので (錯覚) 弧は相似です。従って、たとえば、日時計の半球 (今日を表紙の写真を参照) の中の弧がその全円周にどのような比率を持っていたとしても、シエネからアレクサンドリアに達している弧はその全円周 (地球の大円) に対して同じ比率を持っています。

But the arc in the ^弧 b o w l ^{日時計の半球 (表紙)} is found to be one-fiftieth of its proper circle. Therefore the distance from Syene to Alexandria must necessarily be one-fiftieth part of the ^{大 円} great circle of the earth.

そして、上述の距離 (シエネからのアレクサンドリアへの距離) は 5000 スタディアです。

従って、完全な大円は 250,000 (× 5000) スタディアを測定します。そのようなものがエラトステネスの方法です。

まとめ

今日までの3時間で、古代の天文学がどのようなものであったかを見てきました。

中国の天文学として、地面を平面としてとらえ、太陽までの距離を計算する方法が書かれている、周髀算経を見てきました。

ギリシアの天文学として、アリストアルコスが考えた、太陽までの距離の範囲を求める計算について書かれている。『太陽と月の距離と大きさについて』を見てきました。その中では太陽は地球を中心に動くものとして考える、天動説的な証明でした。(アリストアルコスは地動説を唱えた人物なのだが。)

またエラトステネスが地球の広さ(円周)を計算した方法も見ましたね。

この授業を通して、

- ・数学は発展・進化していくもの

(地球平面説 天動説 地動説)

(度数法がなかった時代を知ることを通して)

- ・つながっているもの、

(アリストアルコスの証明したことを用いて、エラトステネスが地球の円周について調べたことを通して)

であることを実感していただければ、私はとても嬉しいです。

3日間どうもありがとうございました。

松崎大輔

参考文献

- ・『De Motu circulari corporum caelestium』 Cleomedis
- ・『Greek Astronomy (ギリシアの天文学)』 T.L.Heath
- ・『世界の名著・ギリシアの科学』(太陽と月の大きさと距離について)
- ・『科学の歴史』 ジョージ・シュウォルツ、フィリップ・ピシヨップ
- ・『ギリシアの科学』 T.L.Heath 著、平田寛、菊池俊彦、大沼正則訳
- ・『数学の黎明』 ヴァン・デル・ウォルデン著、村田全、佐藤勝造訳
- ・『数学史』 D.E.スミス著、今野武雄訳
- ・『COSMOS (上)(下)』 カールセーガン著、木村繁訳
- ・『科学の名著・2 中国の天文学・数学集』 朝日出版社