

離心円と周転円の話

大橋由紀夫

古代ギリシャにおける離心円および周転円モデルの成立にあたっては、アポッローニオス (Apollonius、紀元前 3 世紀後半頃)、ヒッパルコス (Hipparchus、紀元前 2 世紀)、および、プトレマイオス (Ptolemaeus、紀元後 2 世紀) が、最も重要な役割を果たした。アポッローニオスは『円錐曲線論』で有名であるが、その天文学についての著作は現存しておらず、ヒッパルコスの著作も現存していない。したがって、この二人の天文学はプトレマイオスの『アルマゲスト』¹⁾での言及によって知ることができるだけである。(以下、本稿の図は、筆者が分かりやすくするために書いたものであって、必ずしも原典に同様の図があるとは限らない。)

アポッローニオスが離心円モデルと周転円モデルが数学的に等価であることを示したことは、比較的よく知られているが、概説書などで、そのことを図 1 のように、地球 E から見て、天体 P の位置を離心円(破線)でも周転円モデル(実線の導円と周転円の組み合わせ)でも表せることを示したかのように書いたものも見受けられる。ここで、CP//ED、EC//DP である。このような説明の種本の一つはノイゲバウアーのものであろう²⁾。しかし、『アルマゲスト』(XII.1)³⁾で、アポッローニオスが示したこととして明記しているのは、図 2 のように、惑星 P の運動に関する周転円モデル(a)と離心円モデル(b)が等価だということであ

る。ここで、(b)の離心円の中心 D は地球 E の周りを(a)における P の C の周りの運動と同方向になるように回っており、そして(b)の DP は(a)の EC と同様に回転するというものである。つまり、CP//ED、EC//DP であるが、ED が回転するのである。重要な点は、アポッローニオスが説明しようとしたのは、外惑星(火星、木星、土星)の運動だということである。図 1 のように遠地点・近地点の方向が固定しているモデルでは、その役には立たない。もちろん、図 1 のような状況は図 2 の特殊な場合(ED の方向が固定している場合)として含まれるので、優秀な数学者であったアポッローニオスが図 1 のような状況に気づいていたことは大いにありうるが、それを天文現象の説明に利用したかどうかは確証がないのである。『アルマゲスト』(III.3)⁴⁾では、図 1 のような状況が太陽の運動に関連して(アポッローニオスには言及せず)論じられており、ノイゲバウアーはこれをアポッローニオスに基づくものと考えたようであるが、それは推測であって、確証のある事実というわけではない。もちろん、後世の伝承でアポッローニオスは月の理論を研究したと伝えられているが、その正確な内容は伝わっていないので、『アルマゲスト』に明記されていること以外の天文学研究をした可能性は大いにある。しかし、概説書が孫引きされていくうち

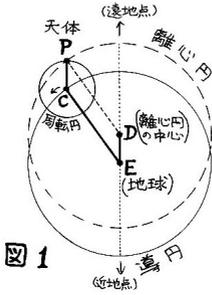


図 1

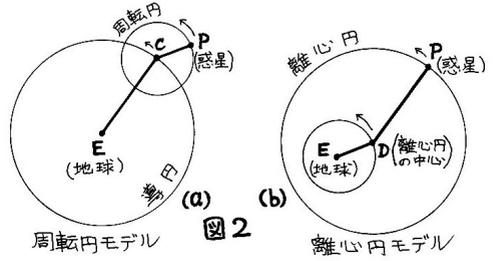


図 2

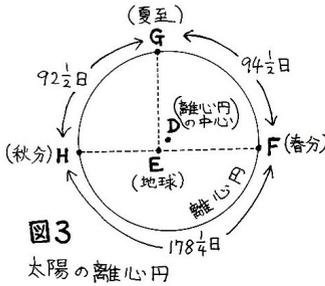


図 3

太陽の離心円

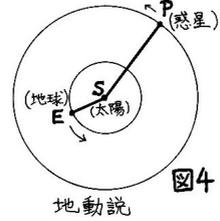


図 4

地動説

に、どうも推測と事実の区別がつかなくなっていくようである。

遠地点・近地点の方向が固定している離心円モデルは、『アルマゲスト』(III.4)⁵⁾によれば、ヒッパルコスによって、太陽の年周運動の季節変化(今で言う中心差にあたる)を説明するために使用された。図 3で、太陽は D を中心とする離心円の上を等速運動するとして、当時の観測データとして、春分から夏至までが 94½ 日、夏至から秋分までが 92½ 日、一年間が 365¼ 日とすると、図のように F、G、H を設定すれば、線分 FH に G から垂線をおろした交点 E が地球の位置ということになる。これは、作図によって簡単に地球の位置と離心円の中心の関係を見ることができるので、科学史教育における演習問題としても利用できるであろう。

さて、アポッロニオスが述べた

ことが図 2 のようなものであることを把握するのは、その後の発展を理解するためにも重要である。

たとえば、インドには紀元後 4 世紀前後頃に、プトレマイオス以前の段階の離心円・周転円モデルが伝来したと推測されているが、その後インドでは、惑星運動についても中心差についても、離心円モデルと周転円モデルが等価のものとして扱われている⁶⁾。このこととアポッロニオスの考え方と関係があるかどうか、今後の研究を要する。

また、図 2(b)において離心円中心を固定して太陽に相当すると見なせば、図 4 のような地動説と幾何学的に等価であることが容易にわかり、コペルニクスが地動説を着想した原因の一つがこれと関係があると推測されている⁷⁾。さらに、図 4 から出発して図 2 の(b)から(a)へ逆にたどれば、周転円モデルがなぜう

まくいったのかを簡単に理解することができる。そして、科学史教育などで、天動説は「間違っていた」わけではなく、「幾何学的には正しかったと言える」のではないか、ということを議論してみるのも有意義であろう。

結論として、以下のことを事実なこととして理解すべきである。

(a) アポッローニオスは、図 2 のような惑星モデルを考案した。

(b) ヒッパルコス は、図 3 のような太陽モデルを考案し、さらに月のモデルも考案した。

(c) プトレマイオスはこれらを総合し、惑星についてはさらにエカント・モデルを創案し、また、ヒッパルコスの月の理論を改良した。

上記のうち、月の理論やエカント・モデルについては、ここでは紙面がないので、他書を参照してもらいたい⁸⁾。

注と参考文献

- 1) 日本語訳は、薮内清訳『アルマゲスト』(上・下巻)(恒星社、1949-1958)(合本:1982)があり、新しい英訳としては、Toomer, G.J.: *Ptolemy's Almagest*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1998 (元版は London, 1984) がある。
- 2) ノイゲバウアー(矢野・斎藤訳):『古代の精密科学』(恒星社、1984) p.142 にそのような記述がある。しかし、概説書である本書は記述が簡単すぎて要領を得ないので、著者の真意を知るためには

下記の書を参照すべきである。
Neugebauer, O.: *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, 3 parts, Springer-Verlag, Berlin, 1975; Part 1, pp.262-273. 後者は古代天文学史研究者必読の名著である。

- 3) 薮内訳(下巻): pp.504-505、Toomer 訳: pp.555-556。
- 4) 薮内訳(上巻): pp.123-131、Toomer 訳: pp.141-153。
- 5) 薮内訳(上巻): pp.131-134、Toomer 訳: pp.153-156。
- 6) インドの離心円・周転円モデルの概略については、大橋由紀夫「離心円・周転円モデルとその東方への伝来についての試論」、『天文学史研究会集録』(国立天文台、2006)、pp.19-31 で述べたことがある。なお、インド天文学史の概略については、(離心円・周転円についてはほとんど述べていないが) 日本語では下記のものを参照してもらいたい。大橋由紀夫「インドの伝統天文学 — 特に観測天文学史について」、『天文月報』**91**(8), (1998), 358-364; **91**(9), 419-425; **91**(10), 491-498。
- 7) 高橋憲一(訳・解説)『コペルニクス・天球回転論』(みすず書房、1993) pp.180-184 参照。
- 8) 概略については、注(6)に示した大橋(2006)で述べた。より詳しくは、注(2)に示した Neugebauer (1975)のほか、Pedersen, Olaf: *A Survey of the Almagest*, Odense University Press, Odense, 1974 などを参照しながら『アルマゲスト』をひもとくのが一番であろう。