ケプラーの惑星運動の法則をめぐって

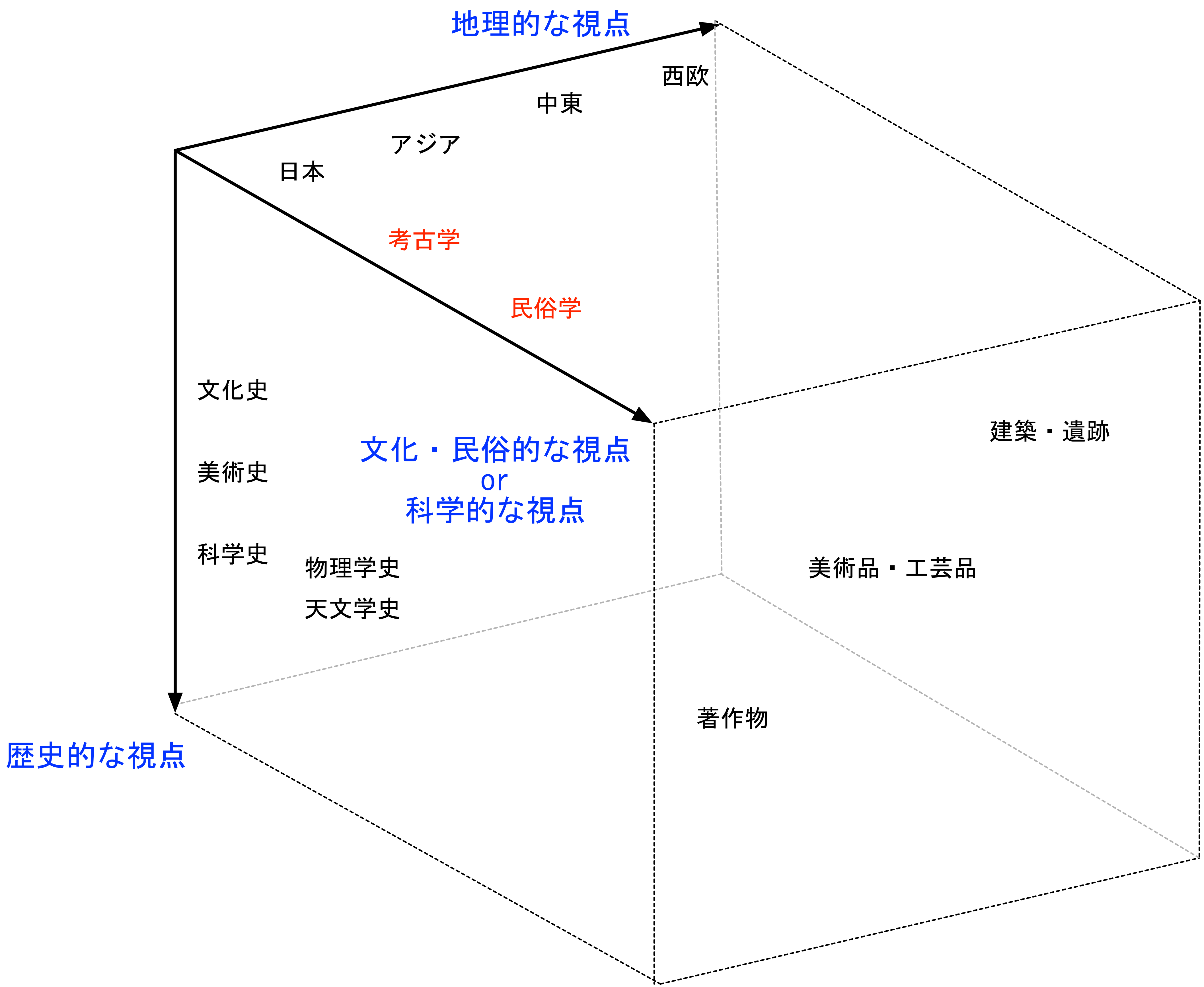
天文文化研究とは???
ケプラーの惑星運動の法則.
アジアにどう伝えられたか.
日本で独自に発見されていた!?

真貝寿明

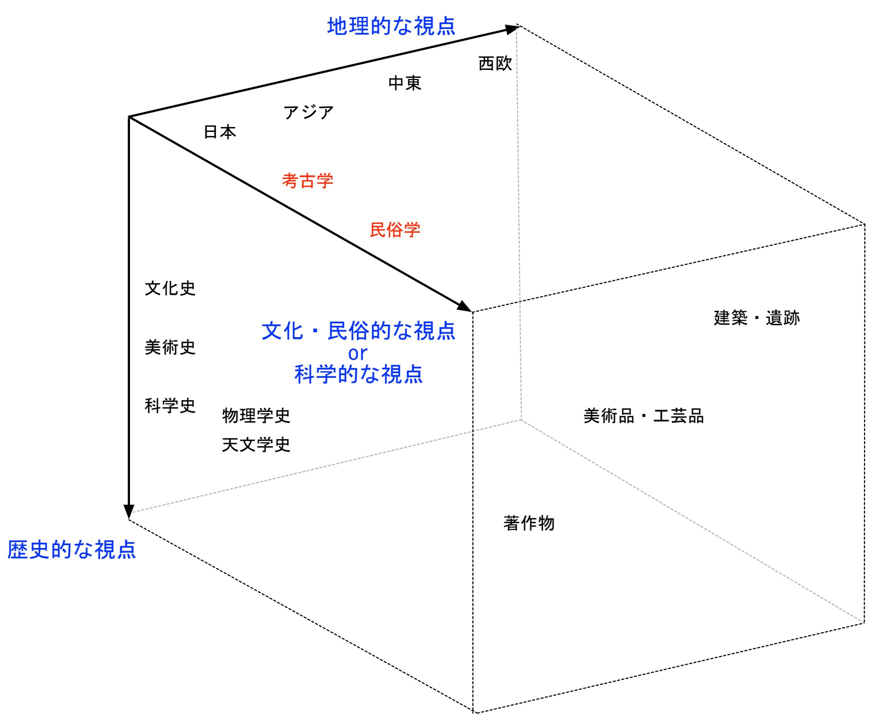
大阪工業大学
情報科学部情報システム学科
宇宙物理・数理科学研究室

http://www.oit.ac.jp/is/~shinkai/

天文文化研究？


地理的な視点
西欧
中東
アジア
日本
考古学
民俗学
文化史
美術史
科学史
文化・民俗的な視点
or
科学的な視点
物理学史
天文学史
建築・遺跡
美術品・工芸品
著作物
歴史的な視点

天文文化研究の目指すところ　by 松浦先生

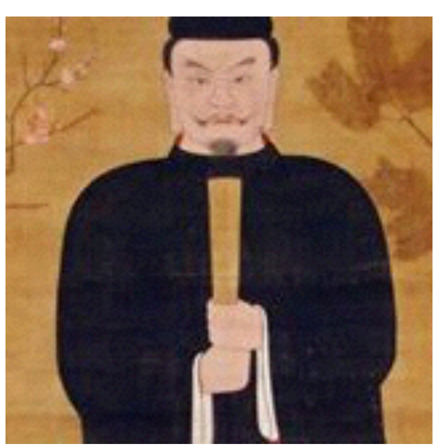


この研究会の研究の分類は（中略）敢えて分類すれば歴史学をベースとする**複合領域**でしょうか。ただし、ここでいう歴史学は、従来の文学部の歴史学とは相当異なると考えています。

広い意味での文化史と科学史を融合したような領域で、むしろ時間と空間への意識や思いが生み出した文化現象を対象にすると、漠然と想定しています。

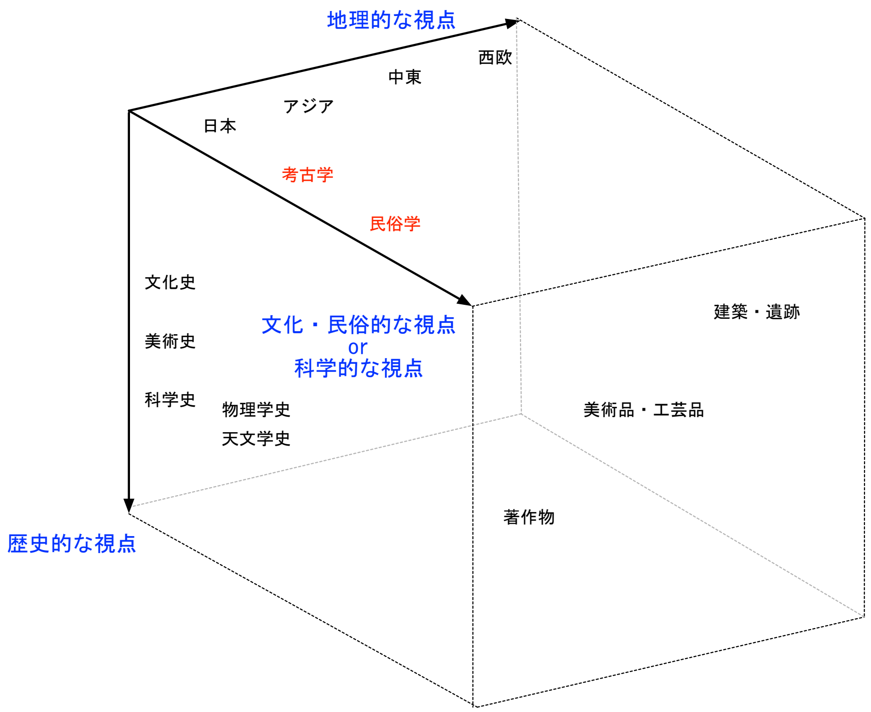
文化にこだわるのは、人間を強く意識するからです。
天文学は本来、人間の日常生活に枠組みを与えるような学問として発達したはずですが、現代の高度に発達した天文学や宇宙論は、専門的知識をもたない素人には縁遠く、一部の専門家の純粋に知的な興味の対象として特化してしまったように感じられます。

天空や宇宙が日常生活と密接に結びついていた過去の物的証拠を解析して、時間と空間が人間生活を支えるものであり、豊かな文化を生み出したことを改めて提示し、文系や理系といった区分を超越した、**人間の本来の、そして未来のあり方を洞察したい**と考えています。**ここでの文化とは、科学や技術や学問等も含め、人間が作り出した全ての成果物を指しています。**



松浦 清

天文文化研究のテーマさがし．．．



Resources Listの作成

古天文学

『日本天文史料』『近世日本天文史料』

日食・月食・星食・新星・流星……

科学史

中国史，イスラム史，……

天文学史

現代物理学史，宇宙開発史……

天球儀，星図

日本の天文学の大転換は江戸時代におこった．
麻田剛立がケプラーの第3法則に相当する法則を考案した，という話がある．

窮理　第4号 Kindle版

池内了 (著), 亀淵迪 (著), 真貝寿明 (著), 杉山滋郎 (著), 佐々木力 (著), 井元信之 (著), 細川光洋 (著), 永橋禎子 (著), 胡瓜庵散人 (著), 「窮理」編集部 (編集)

カスタマーレビューを書きませんか？

その他（2）の形式およびエディションを表示する

Kindle版	単行本
¥ 540	¥ 702
今すぐお読みいただけます: 無料アプリ	¥ 702 より 1 新品

物理系の科学者が中心の随筆雑誌。

随筆以外にも、評論や歴史譚なども織り交ぜ、科学の視点に立ちながらも、社会や文明、自然、芸術、人生、思想、哲学など、幅広い事柄について自由に語る。

表紙画／戸田盛和
裏表紙画／細谷暁夫

◯ 目次構成

日本の天文学の大転換は江戸時代におこった.
麻田剛立がケプラーの第3法則に相当する法則を考案した，という話がある.

ケプラーの惑星運動の法則をめぐって

天文文化研究とは???
ケプラーの惑星運動の法則.
アジアにどう伝えられたか.
日本で独自に発見されていた!?

真貝寿明

大阪工業大学
情報科学部情報システム学科
宇宙物理・数理科学研究室

http://www.oit.ac.jp/is/~shinkai/


はくちょう座
デネブ α
γ サドル
δ
ε
アルビレオ β
こと座
ε
α ベガ
δ
ζ
スラファト γ
β シェリアク
へびつかい座
ラス・アルハゲ α
ケバルライ β
η
わし座
アルタイル α
アルシャイン β
γ タラゼド
ζ
θ
δ
λ
いて座
南斗六星
カウス・アウストラリス ε
ルクバト α
さそり座
β
δ
アンタレス α
M4
ε
M6
λ
シャウラ
θ サルガス
土星
火星
©スタディスタイル

2016年の惑星の動き

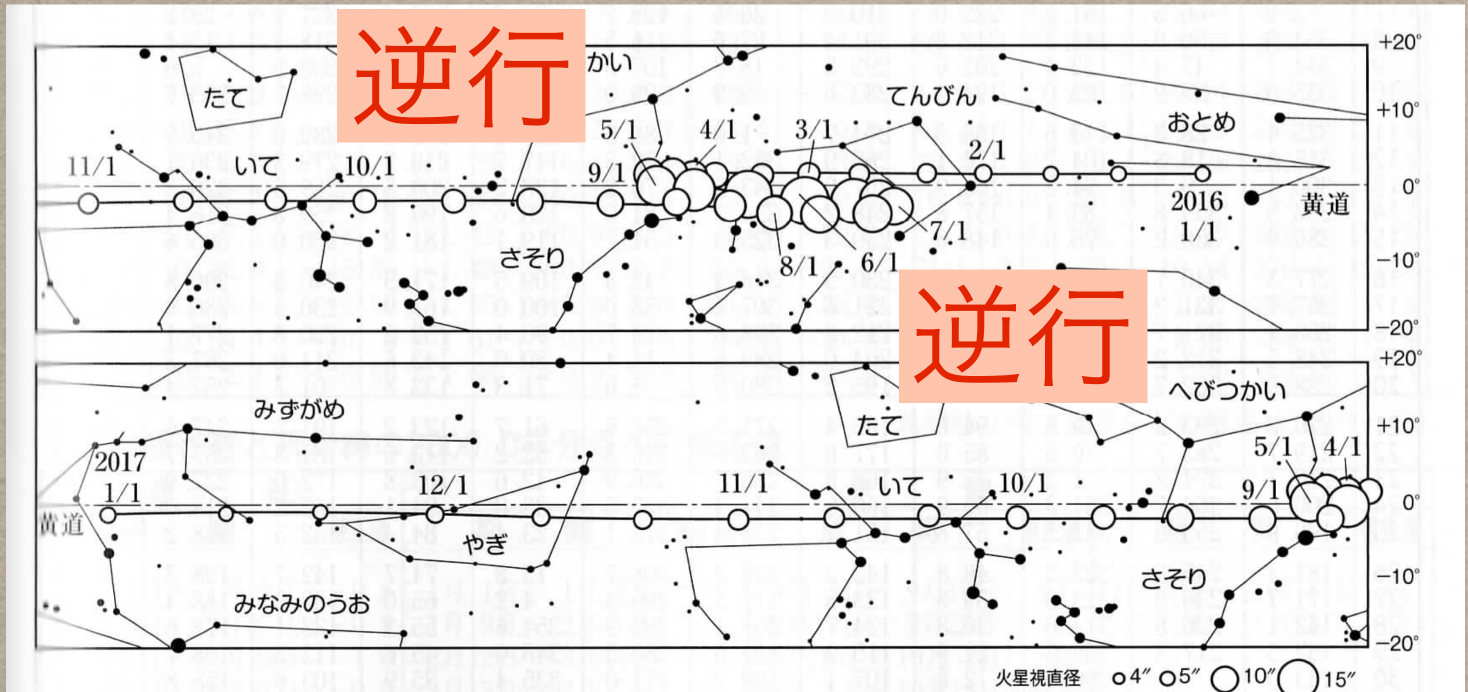


図2　2016年星座間の火星の動き（黄道中心図，毎月1・11・21日の位置）

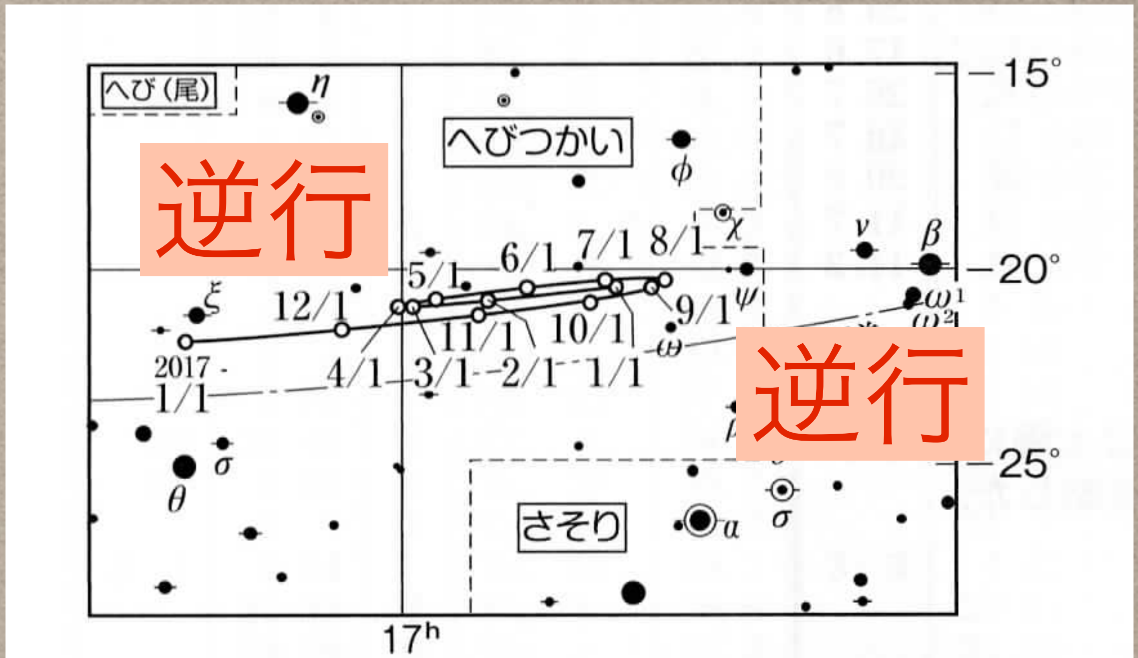


図2　2016年 星座間の土星の動き（毎月1日の位置）

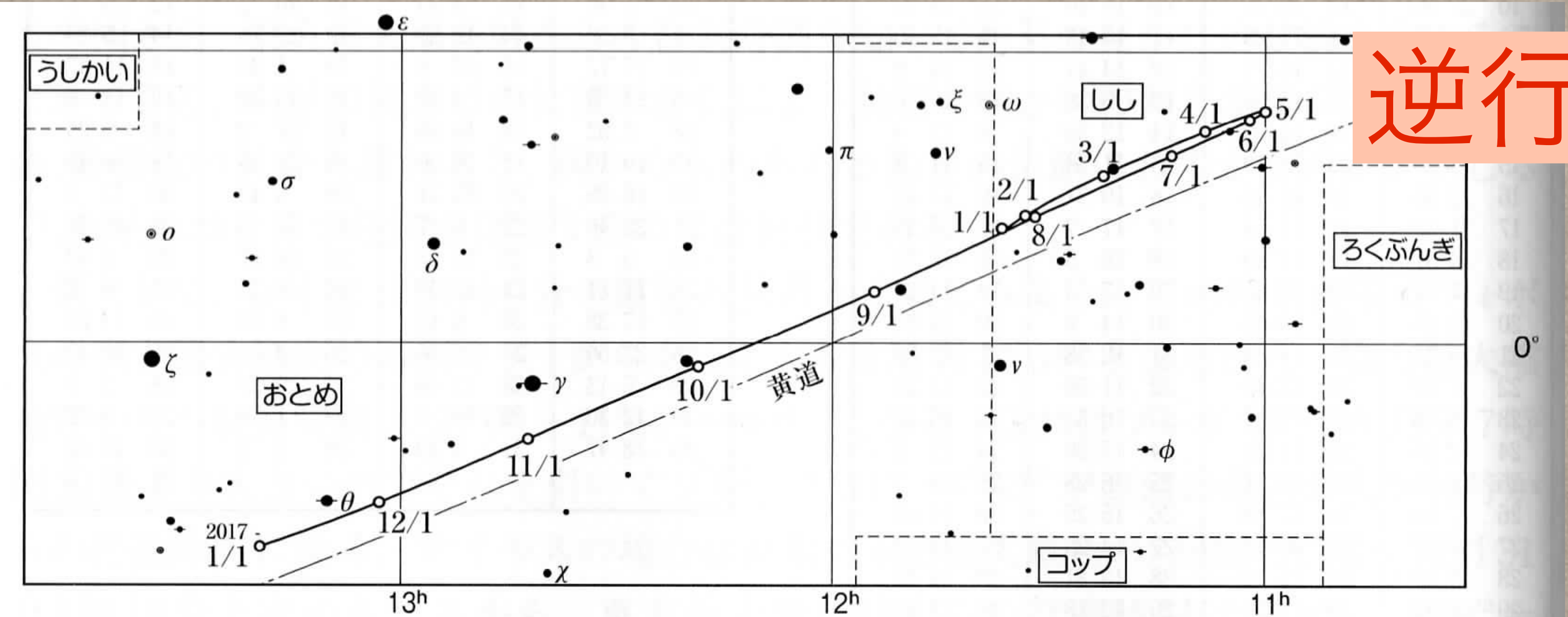
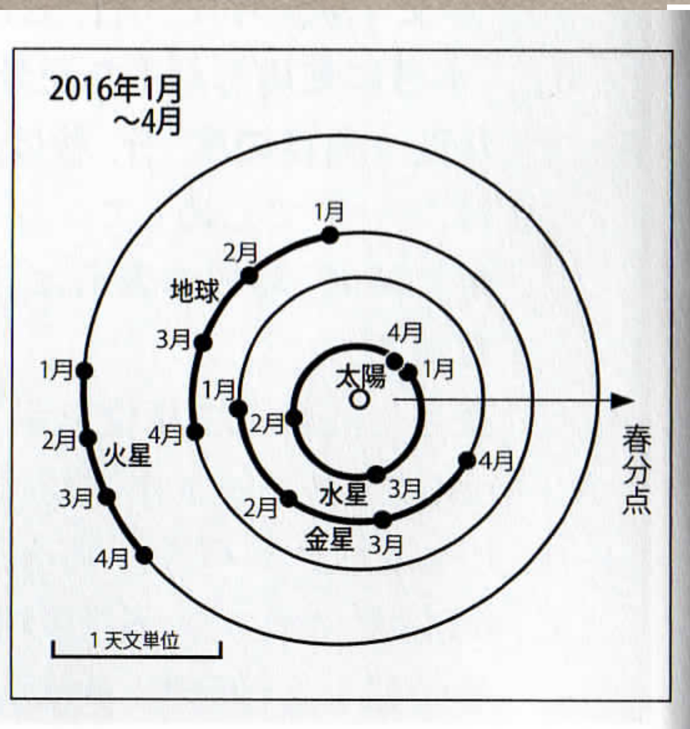


図2　2016年 星座間の木星の動き（毎月1日の位置）

「天文年鑑2016」より

2016年の惑星の動き



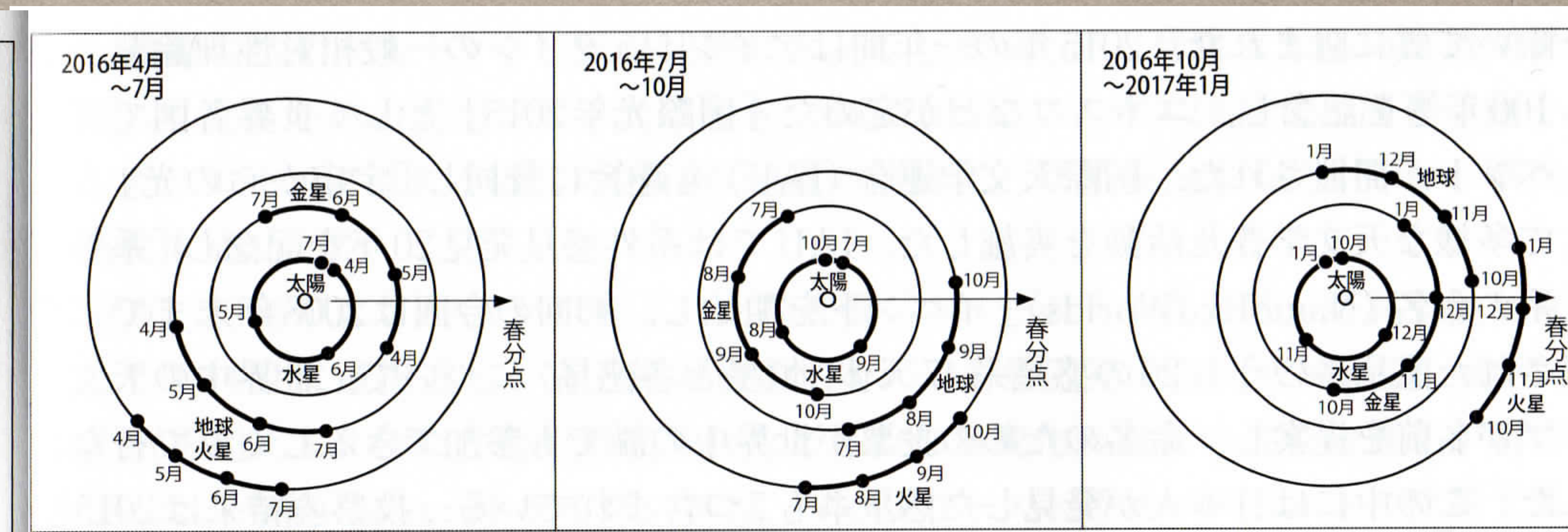


図２　3ヵ月ごとの内側惑星の動き　・印は毎月1日の位置

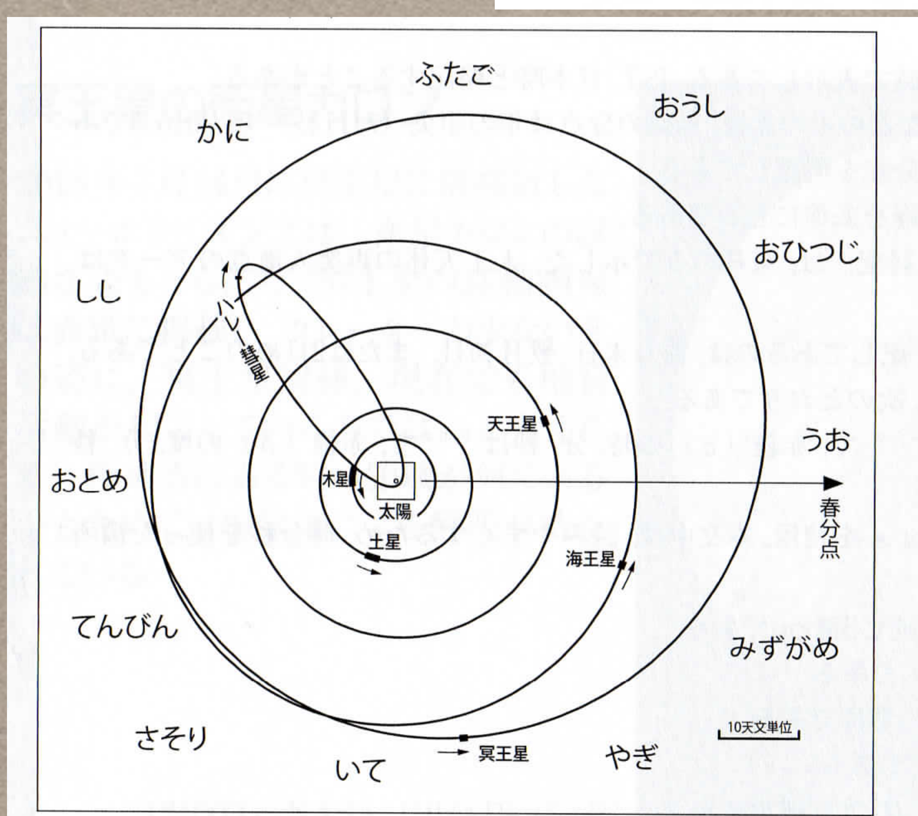
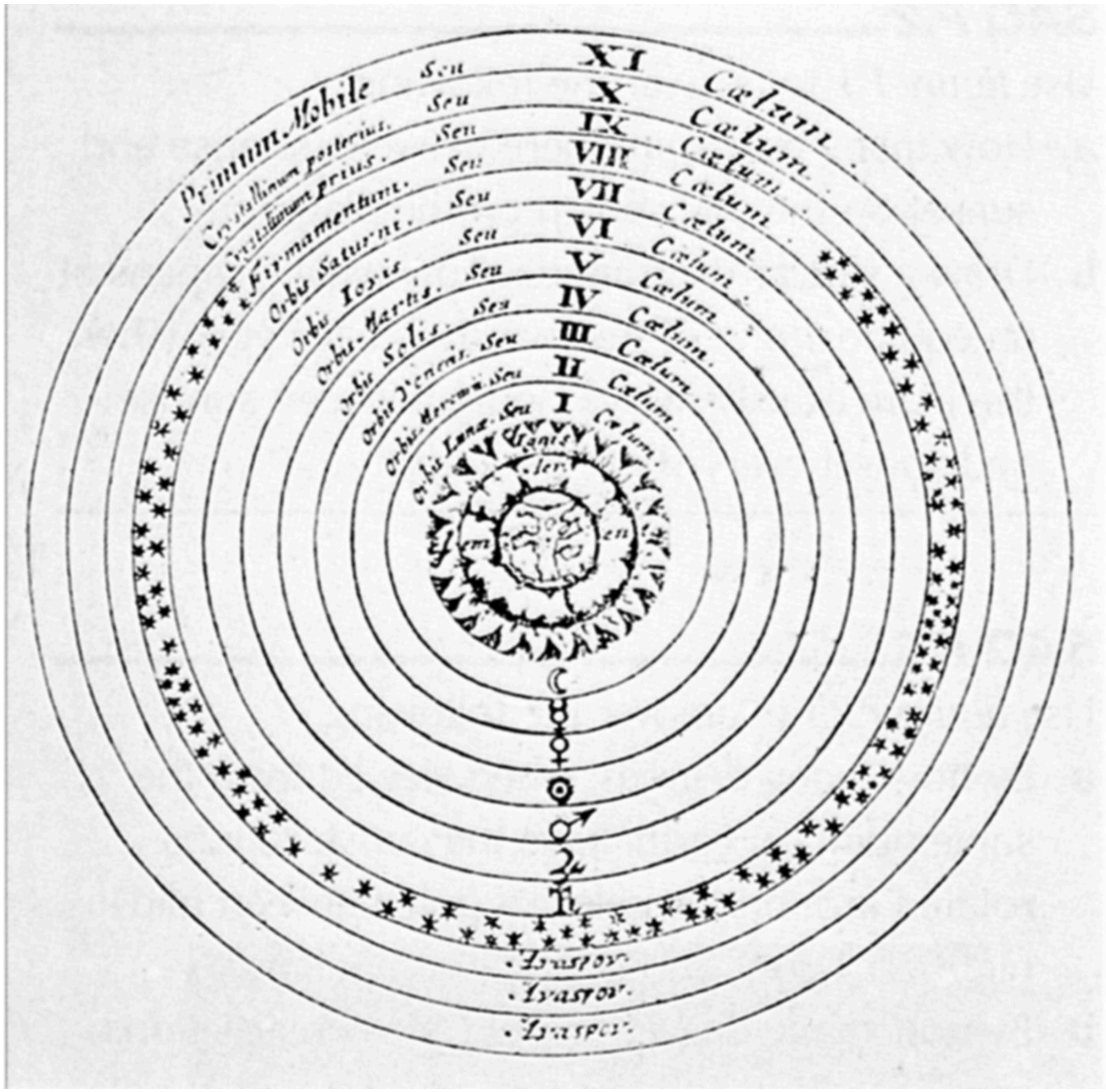


図１　2016年の太陽系（太線は今年中に動く範囲）

「天文年鑑2016」より

2.1 コペルニクス以前の宇宙観

Claudius Ptolemaeus
83年頃 - 168年頃



Aristarchus of Samos
BC310年頃 - BC230年頃

天動説

地動説

コペルニクス以降の宇宙観

Claudius Ptolemaeus
83年頃 - 168年頃

「天体の回転について」(1543)
哲学的理想論「天は完全であり美しい」
→太陽中心説を提唱

Nicolaus Copernicus
(1473–1543)

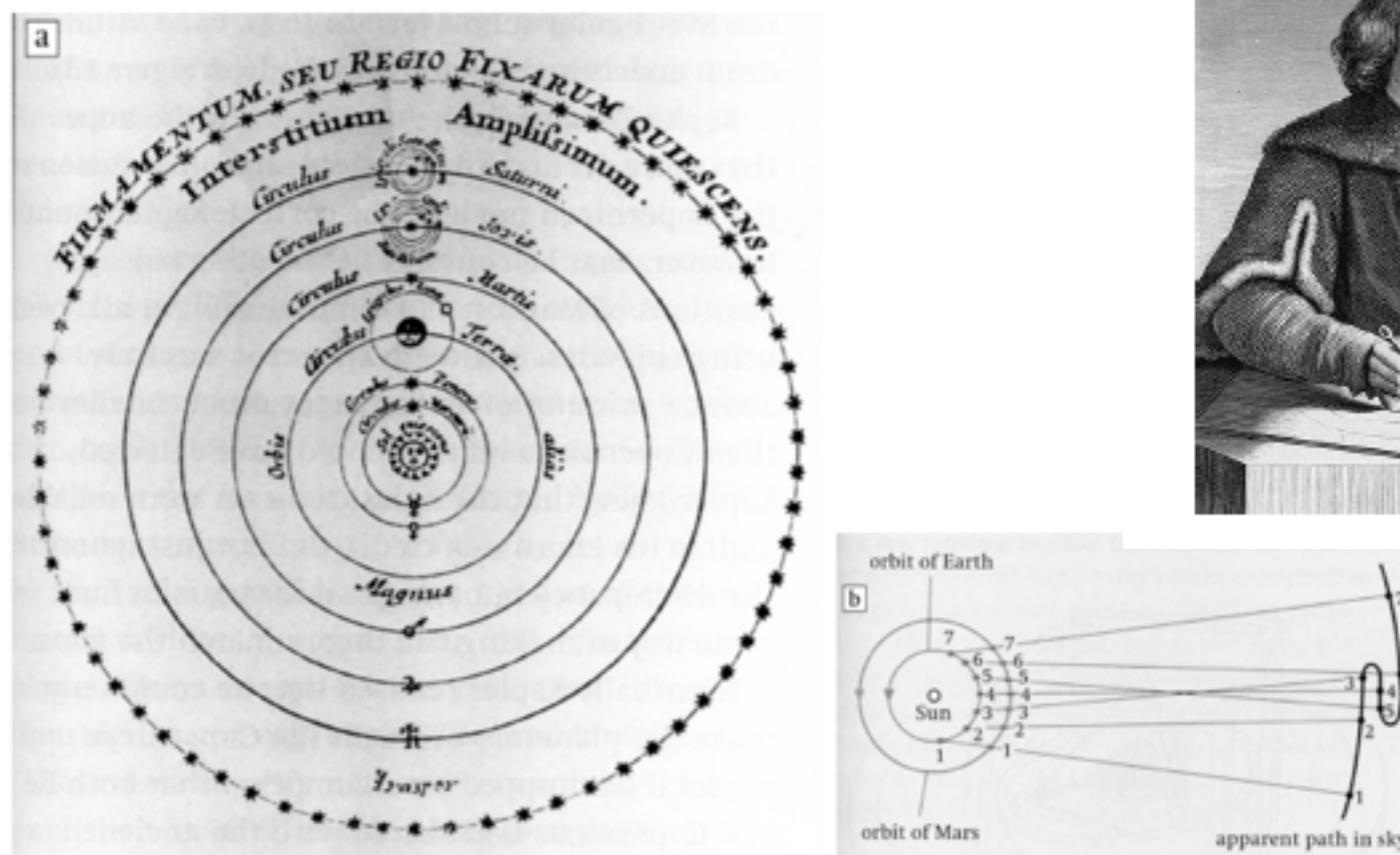


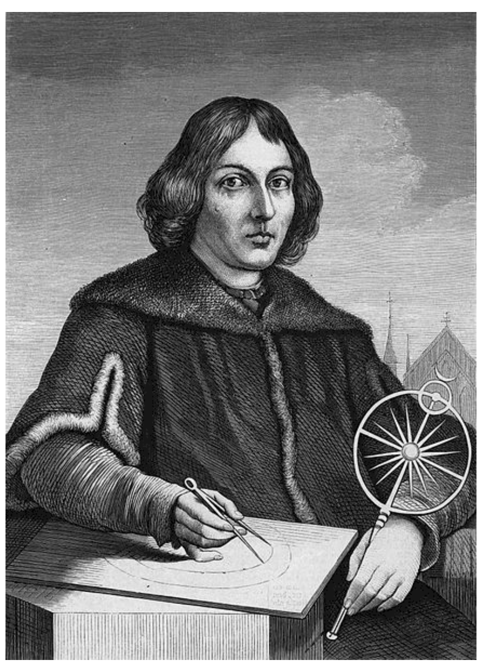
図 13: コペルニクスによる天球図（地動説）．火星の位置が逆行することが自然に説明できることが述べられている．([1] より）

天動説

地動説

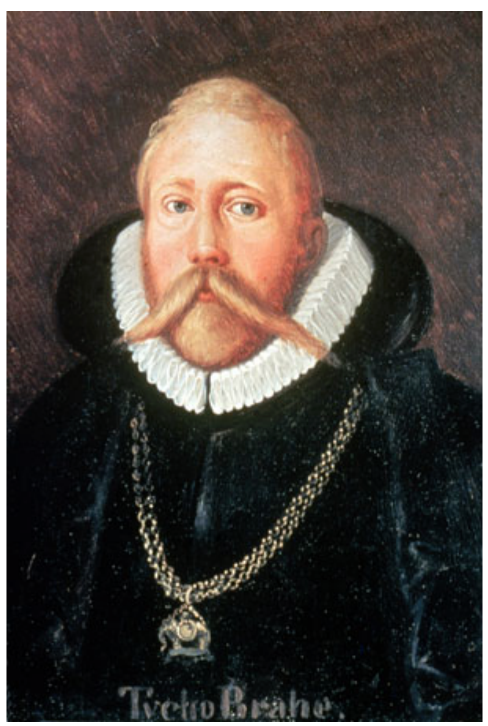
近代物理学をつくりあげた登場人物たち

コペルニクス
Nicolaus Copernicus
(1473-1543)



地動説

ブラーエ
Tycho Brahe
(1546-1601)

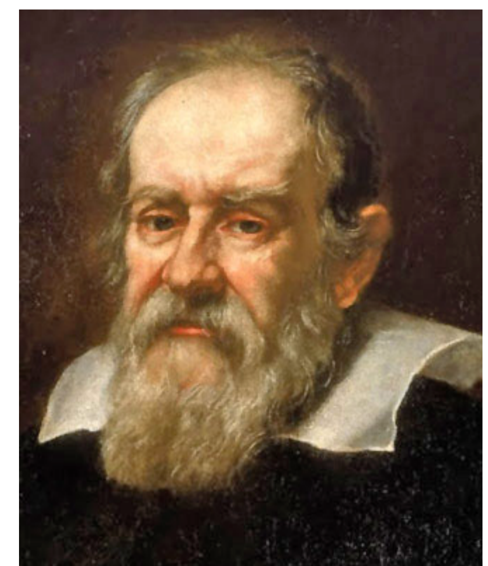


天体観測

ケプラー
Johannes Kepler
(1571-1630)

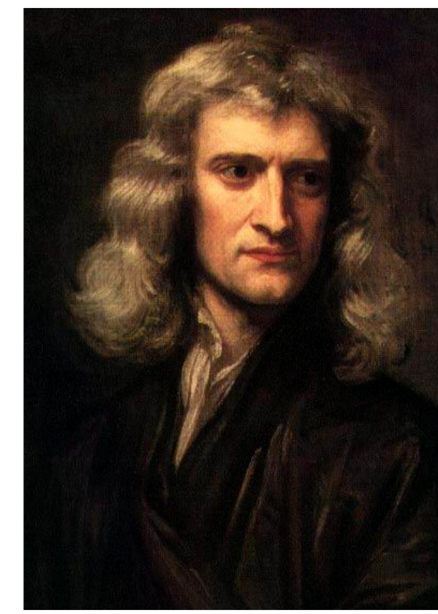
惑星運動の法則

ガリレイ
Galileo Galilei
(1564-1642)



慣性・自由落下運動
地動説の物理的根拠

ニュートン
Isaac Newton
(1642-1727)



運動の法則
万有引力

古代の地動説（太陽中心説）

Aristarchus of Samos

アリスタルコス（BC310?--BC230?)

太陽は月よりもはるかに大きく、
地球よりも大きい。
そんな太陽が地球の周りを動く
はずがない。

10世紀ごろにアラビア語に翻訳
15世紀ごろにラテン語訳が刊行
1700年ごろギリシア語のテキスト出版
1800年ごろ仏語訳および独語訳が出版

地球中心説

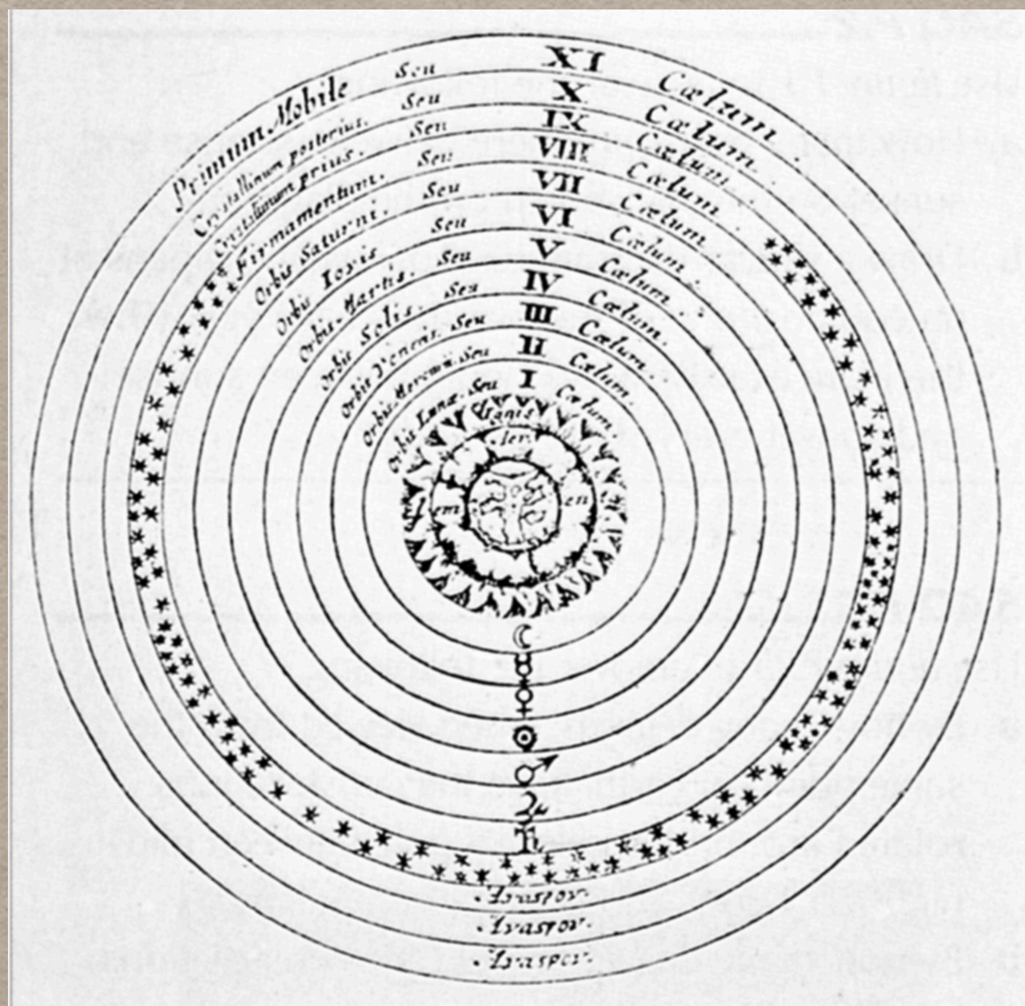
Aristotle

アリストテレス（BC384--BC322）

Claudius Ptolemaeus

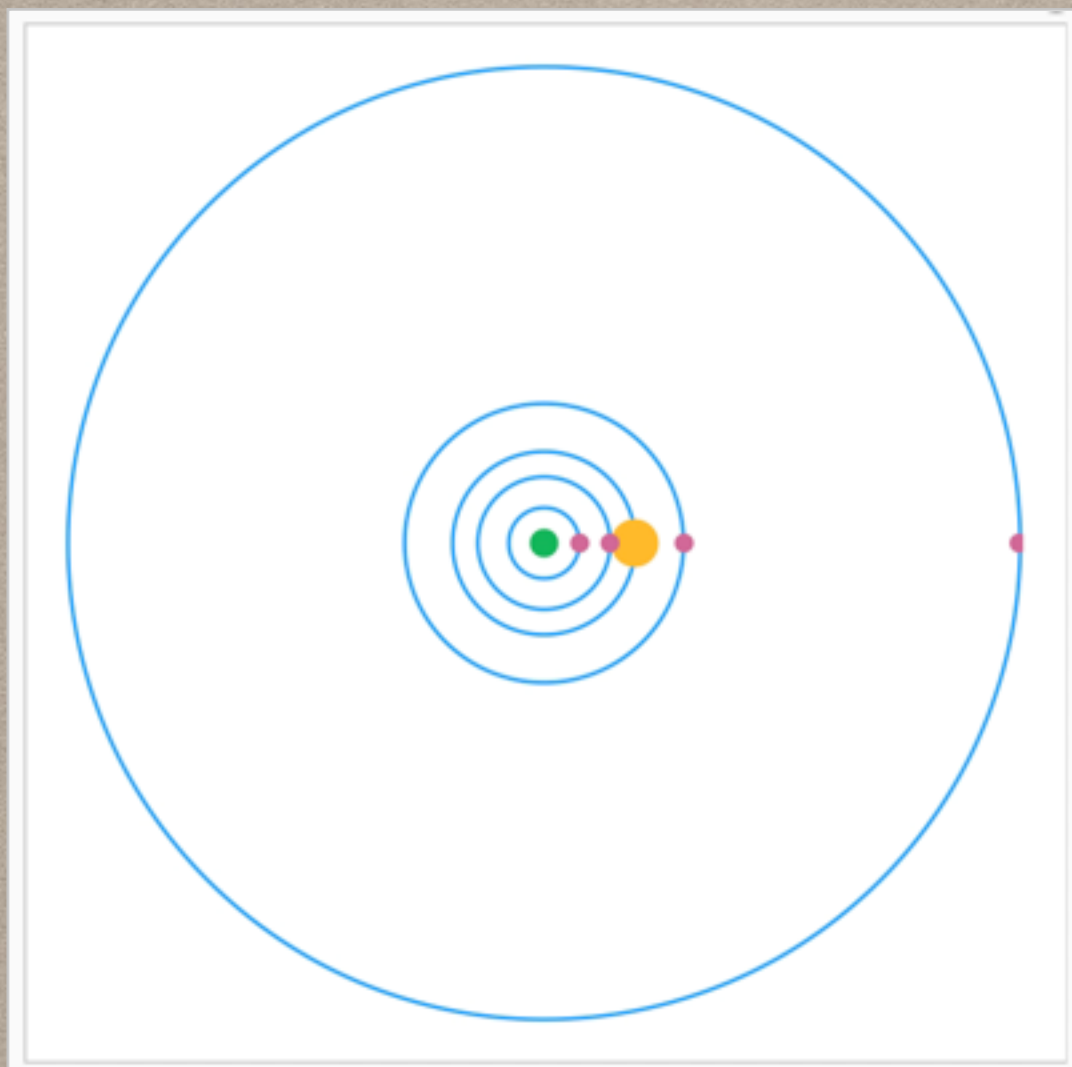
プトレマイオス（83--168）

Claudius Ptolemaeus (83–168)

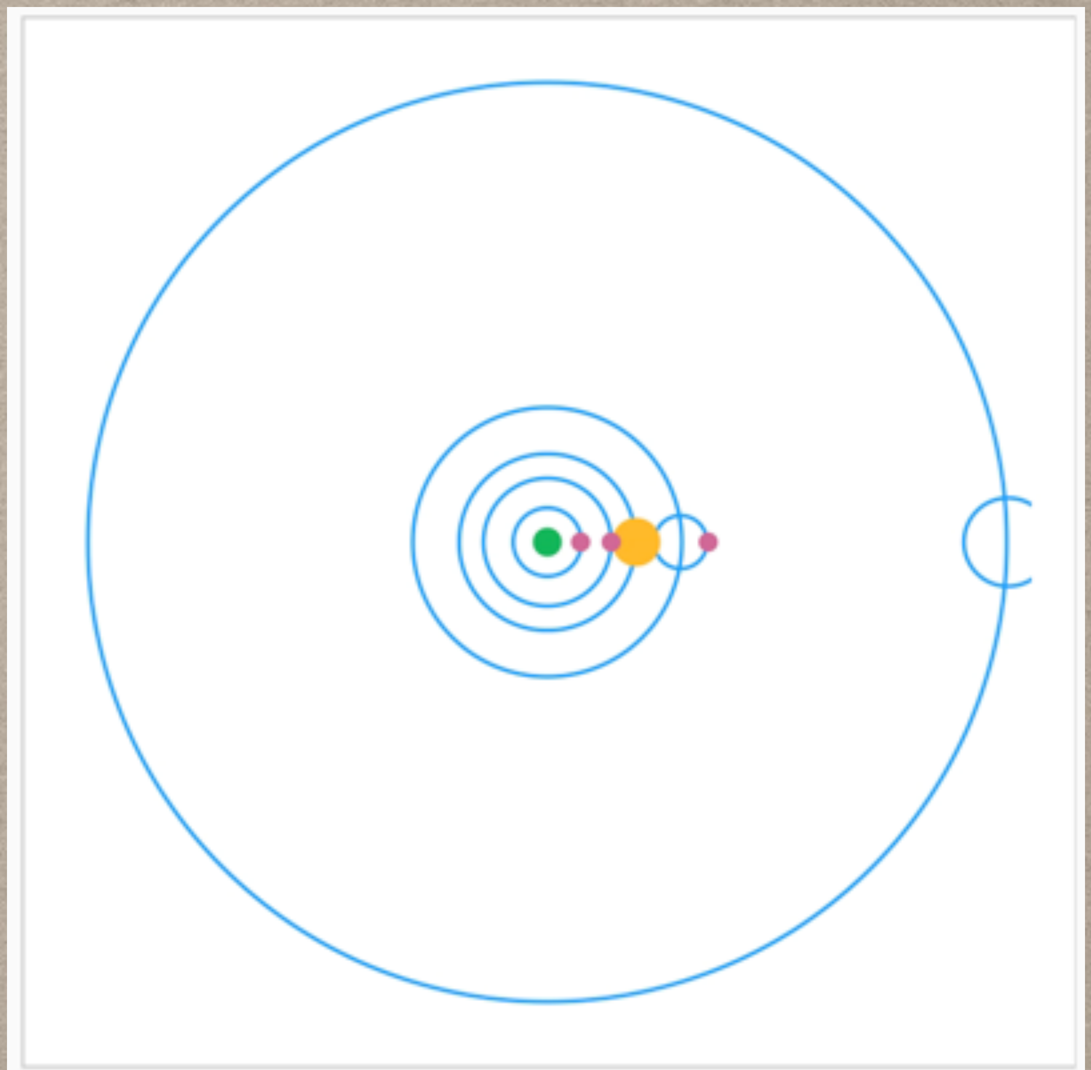


天動説
Geocentric system
Ptolemaic theory

+周天円



天動説

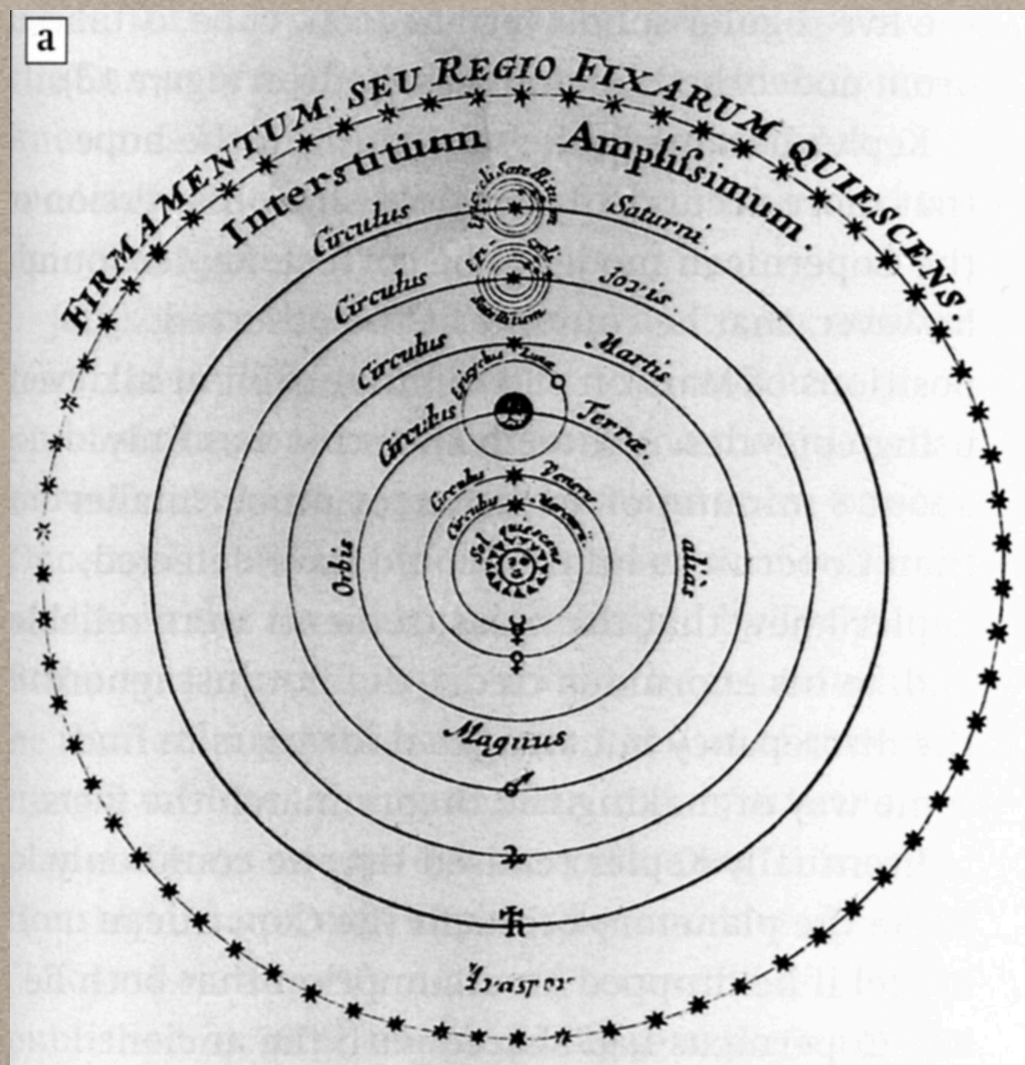


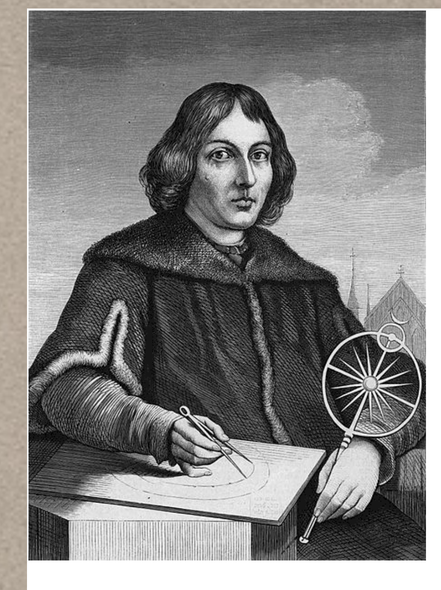
天動説＋周天円

Claudius Ptolemaeus

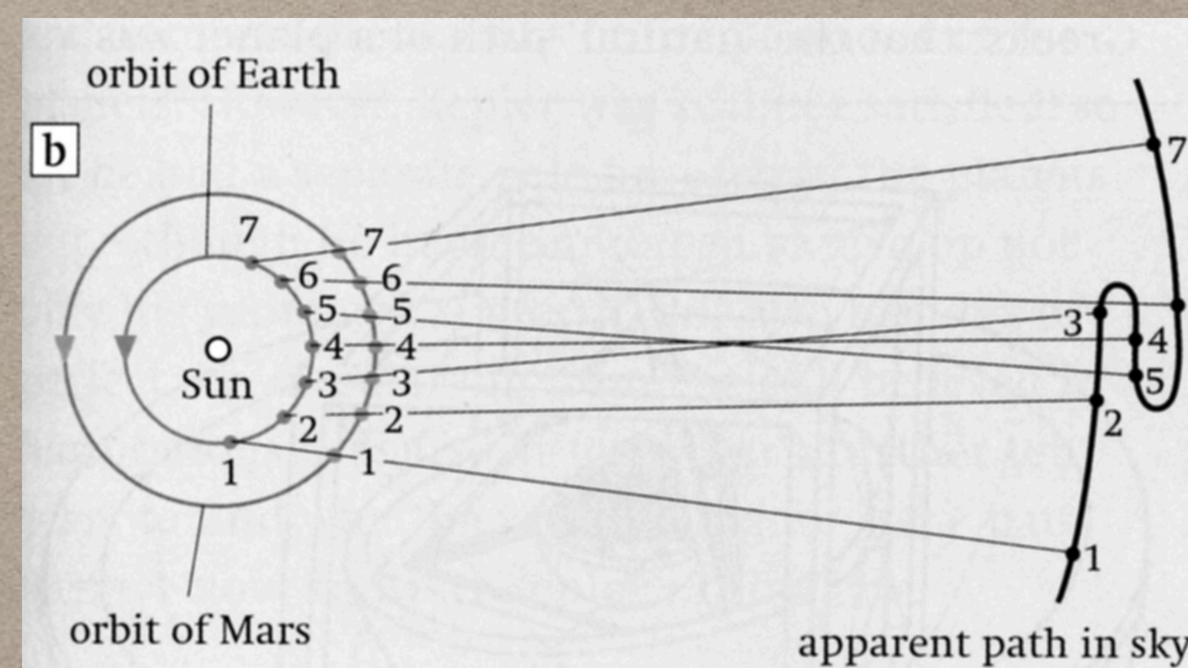
克劳狄斯 托勒密

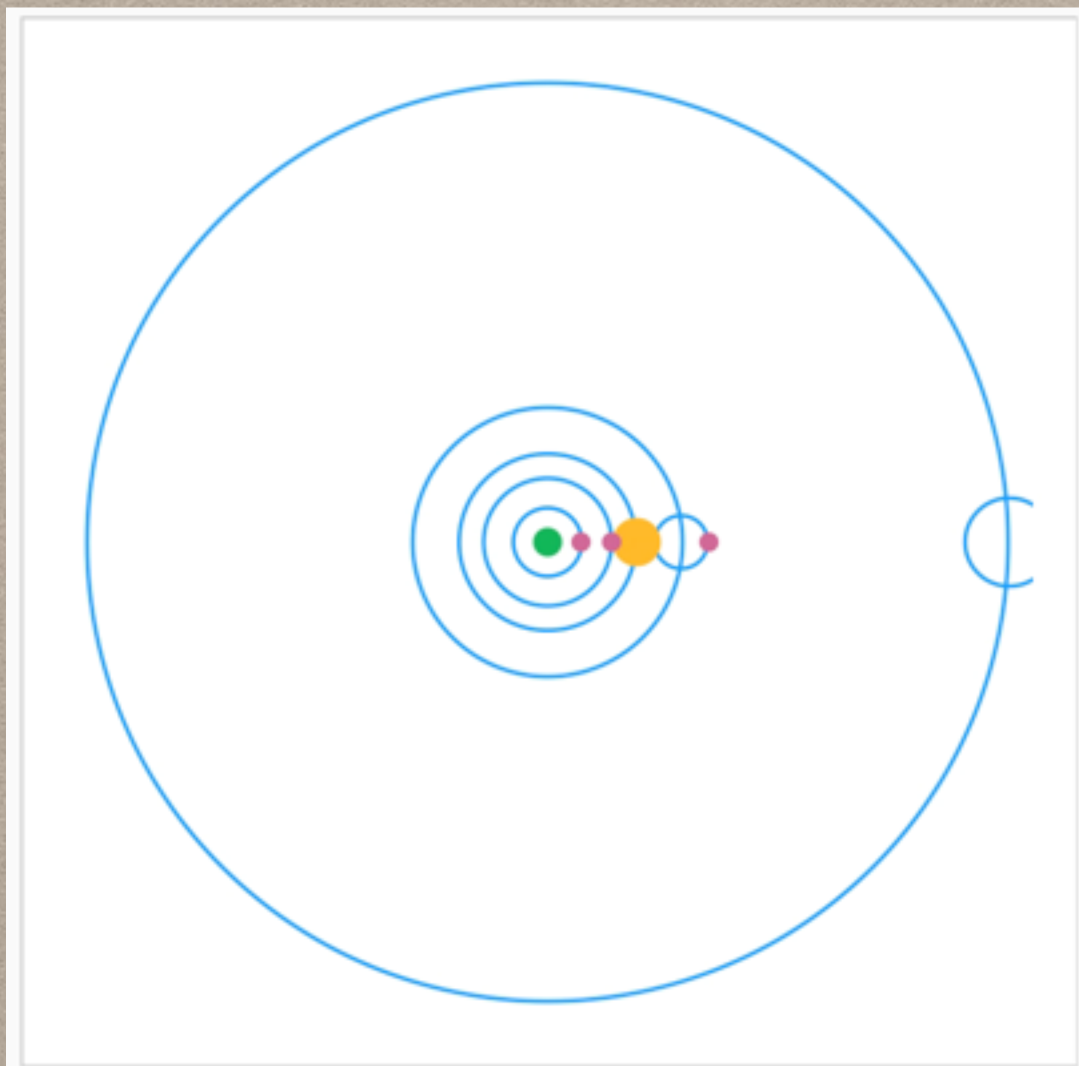
Nicolaus Copernicus (1473–1543)



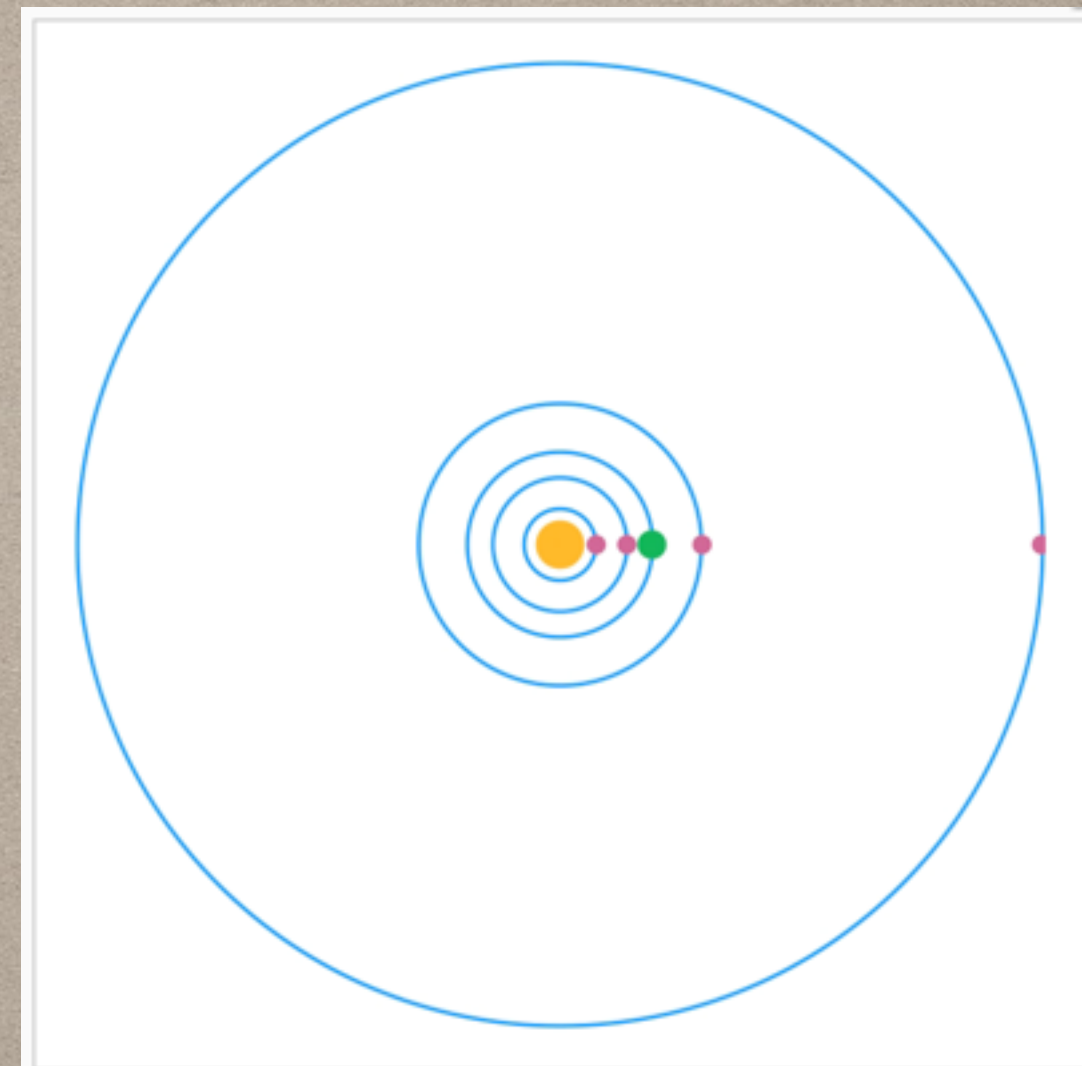


地動説
Copernican theory





天動説＋周天円



地動説

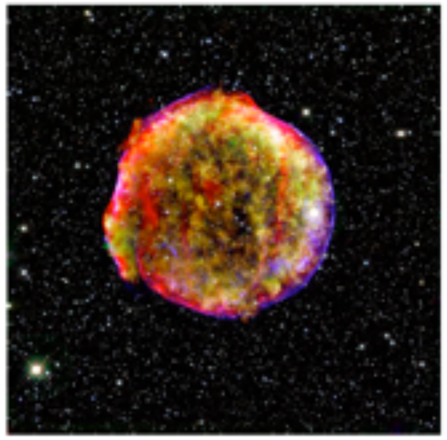
Nicolaus Copernicus
尼古拉 哥白尼

ティコ・ブラーエ

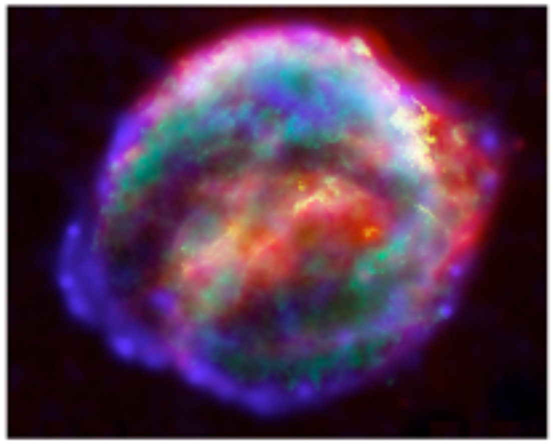
Tycho Brahe
(1546-1601)

精密で膨大な天体観測記録を残す
観測的権威だが天動説支持
「太陽は地球の周りを回り、
惑星は太陽の周りを巡る」

1572　超新星を発見
（SN1572，通称「ティコの新星」）



SN1572 (ティコの新星)



SN1604 (ケプラーの新星)

図 14: 超新星 SN 1572 と SN1604 の現在の姿．数百年が経ち，爆発の先端の衝撃波が球状に広がっていて，超新星残骸 (supernova remnant) と呼ばれる．

超新星は，数百年に一度，肉眼で観測されている．

超新星	星座	銀河	最大光度	型	備考
SN 185	ケンタウルス座	銀河系	−8		最古の観測記録（中国『後漢書』）
SN 393	さそり座	銀河系	−1		
SN 1006	おおかみ座	銀河系	−9	I	
SN 1054	おうし座	銀河系	−6	II?	かに星雲
SN 1181	カシオペア座	銀河系	0	II	
SN 1572	カシオペア座	銀河系	−4	I	ティコの新星
SN 1604	へびつかい座	銀河系	−2.5	I	ケプラーの新星，天の川銀河で最新のもの
SN 1885A	アンドロメダ座	アンドロメダ銀河	5.8	Ia	アンドロメダ座 S 星，他銀河で初の発見
SN 1987A	かじき座	大マゼラン星雲	2.9	II	肉眼で見えた最新のもの
SN 2002bj	うさぎ座	NGC 1821		Ia	2009 年の解析により新型超新星と確認
SN 2006gy	ペルセウス座	NGC 1260	15.0	II	最大級の超新星
SN 2009dc	かんむり座	UGC 10064		Ia	チャンドラセカール限界を超えた初の爆発

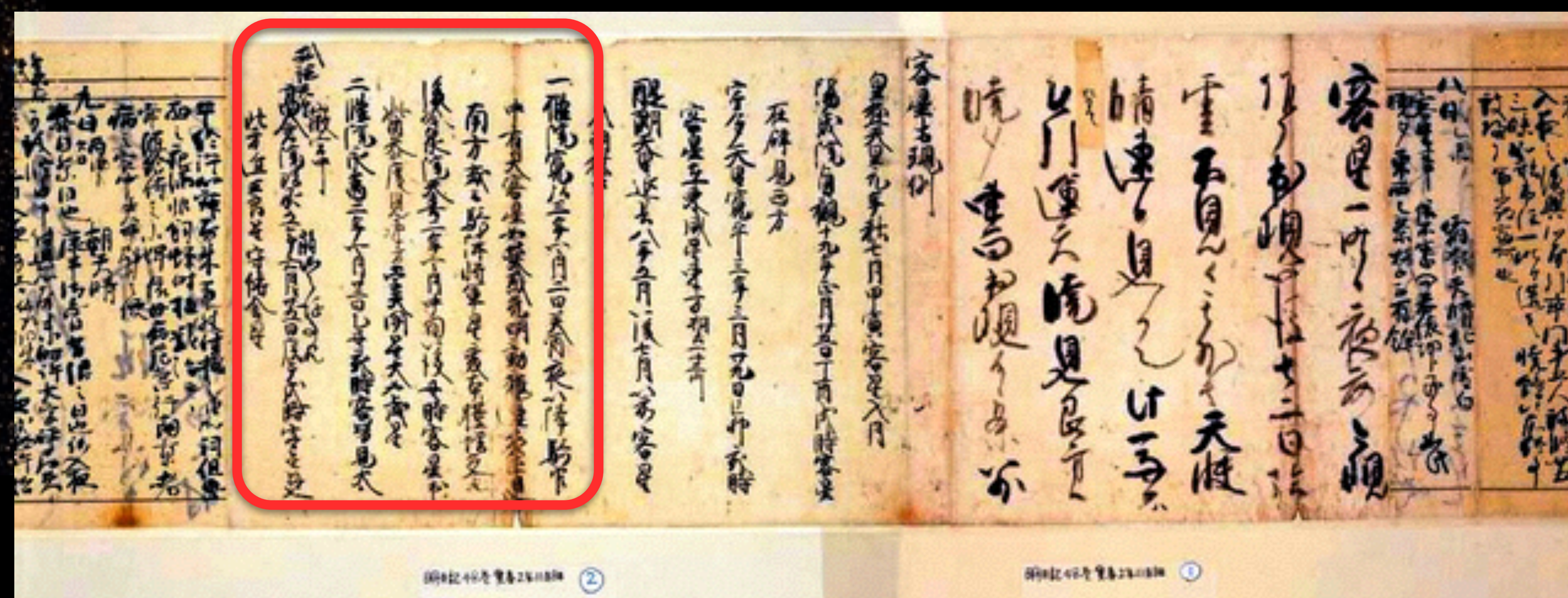
表 5: 歴史的に有名な超新星．超新星名には発見された西暦がつく．SN 185 は 185 年に，SN 1987A は 1987 年に発見された一番始めの超新星である．


重力と力学的世界
古典としての古典力学
山本義隆
Sphaera Veneris
現代数学社


物理
やまもと　よしたか
山本義隆先生
物理ちゅうのはウンウン唸って考えて、面倒がらずに手を動かして計算せな、自分のものにならんのよ。

「明月記」に記録された超新星爆発

SN1006



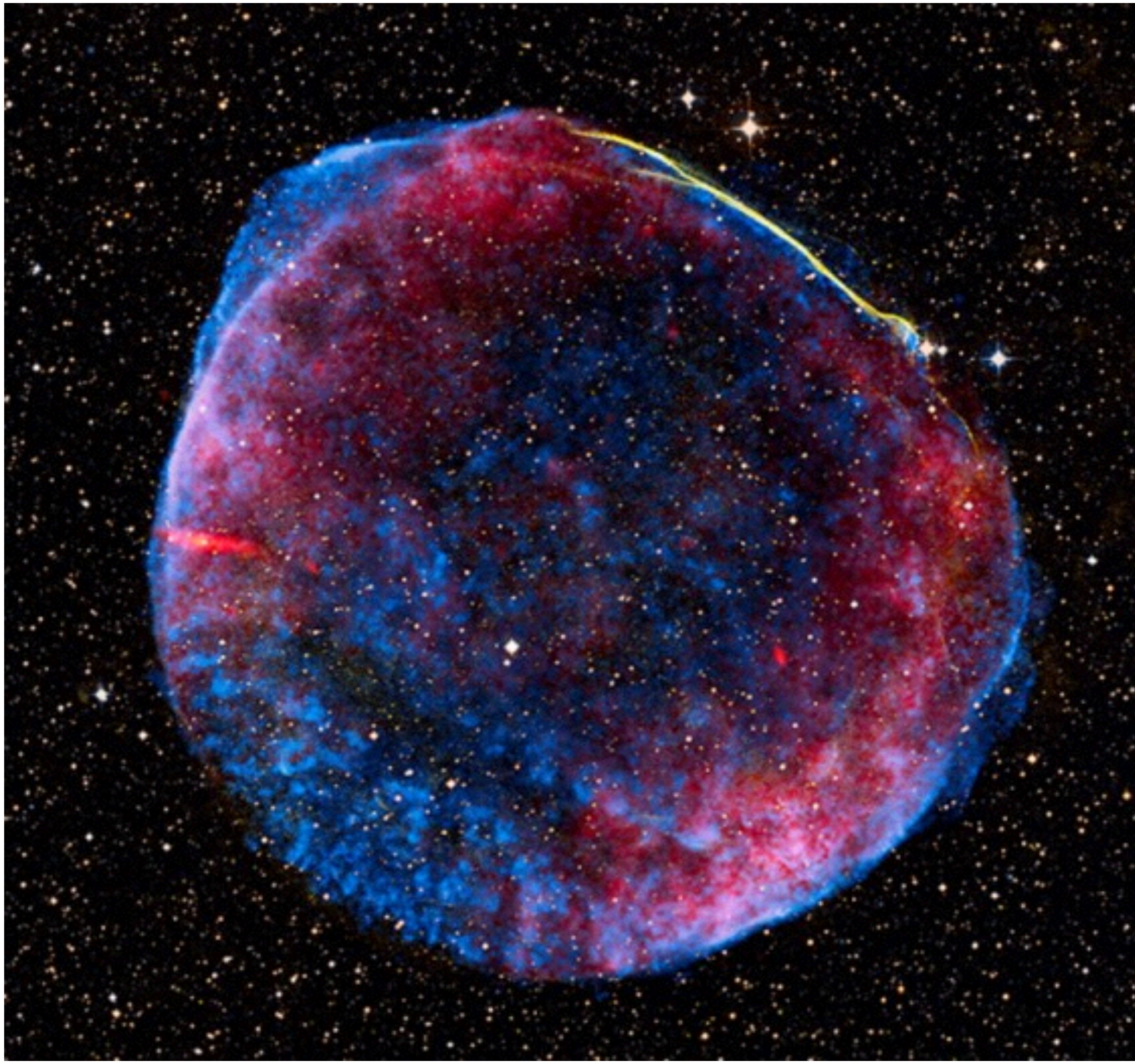
1️⃣安倍清明の息子，安倍吉昌がSN1006を観測

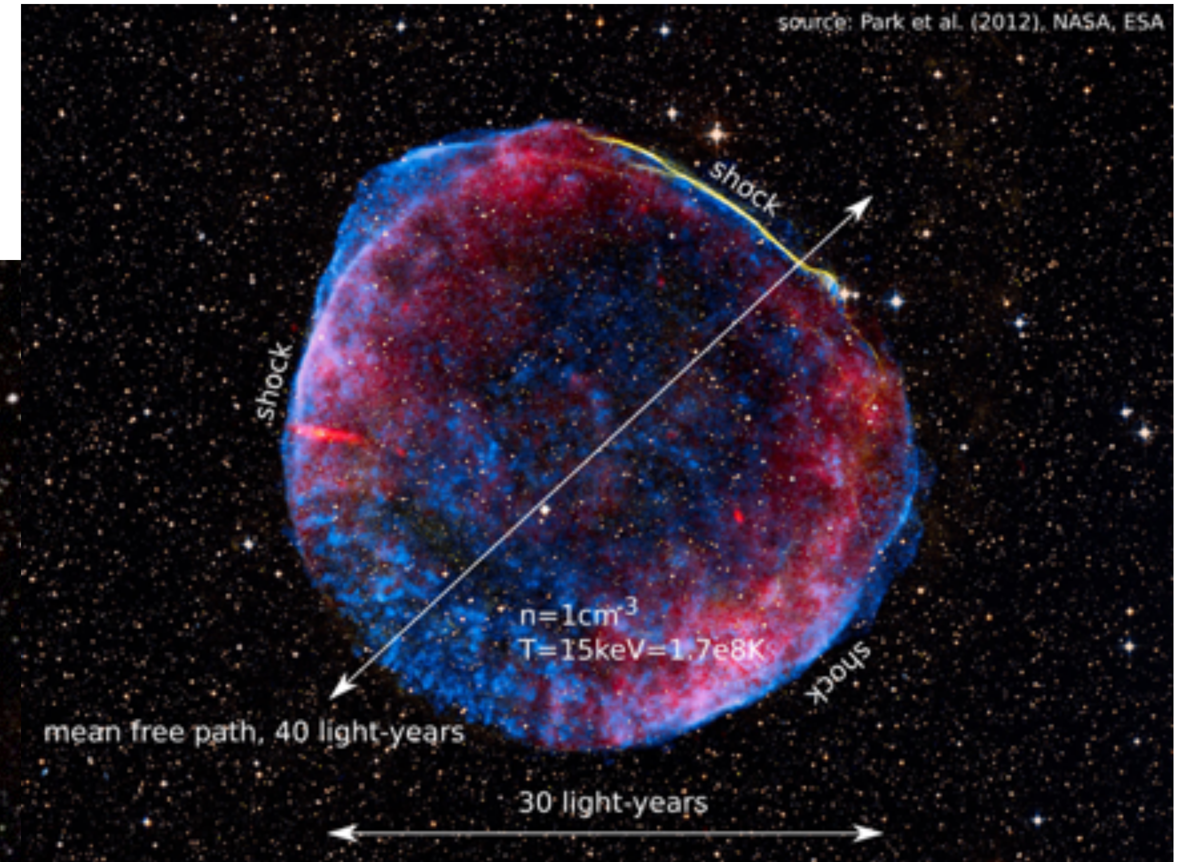
2️⃣清明の子孫（詳細不明）がSN1054を観測

3️⃣清明の子孫（詳細不明）がSN1181を観測

藤原定家本人も見ている可能性あり

SN 1006 超新星残骸
Supernova Remnant





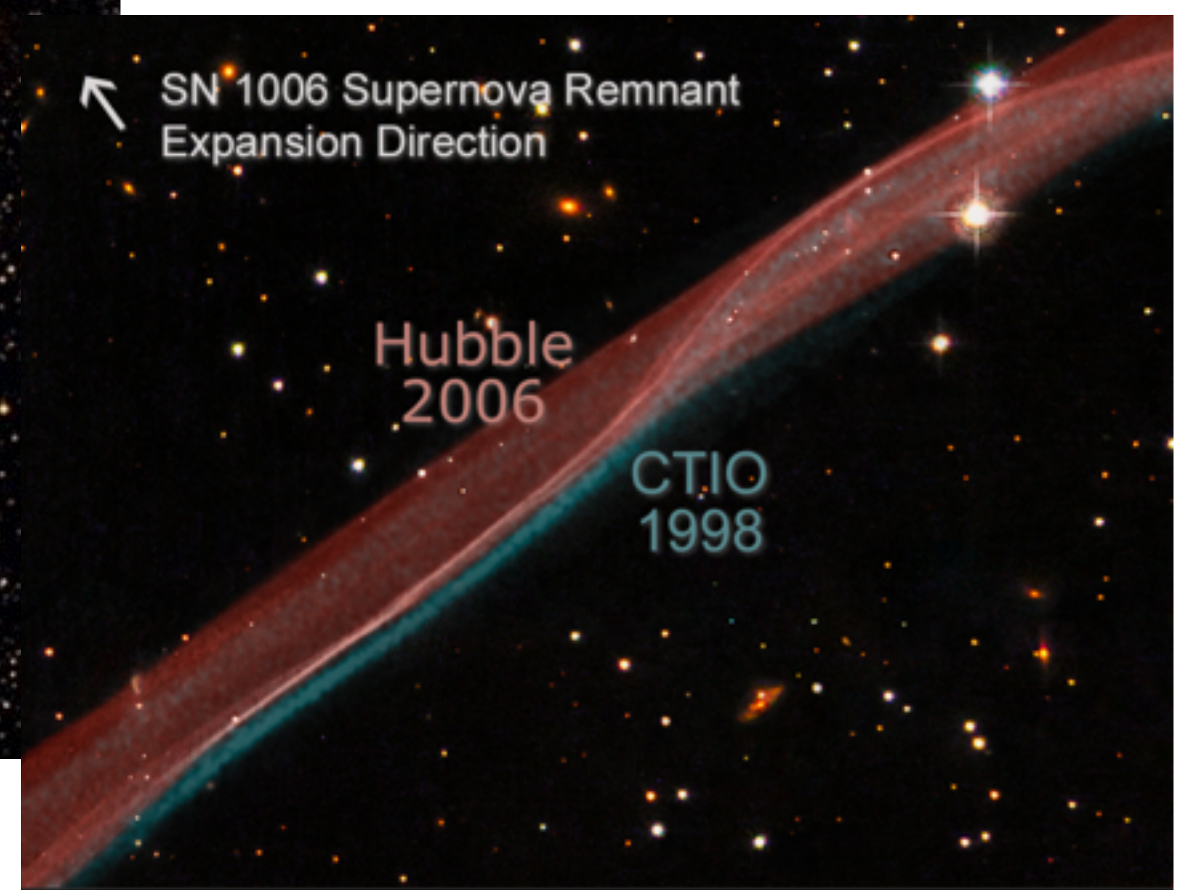
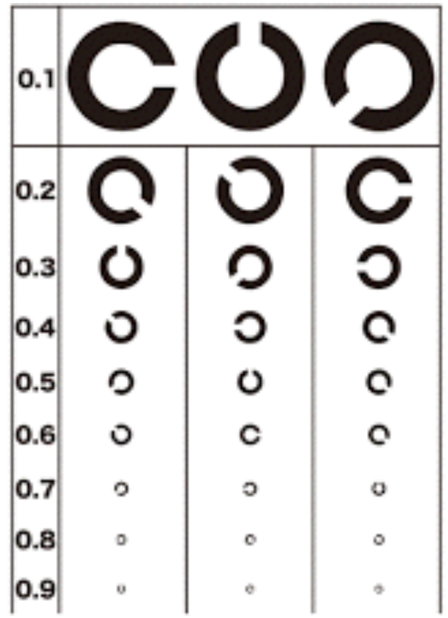


Image credit: Chandra, Hubble, and NRAO teams, retrieved from heasarc.gsfc.nasa.gov.

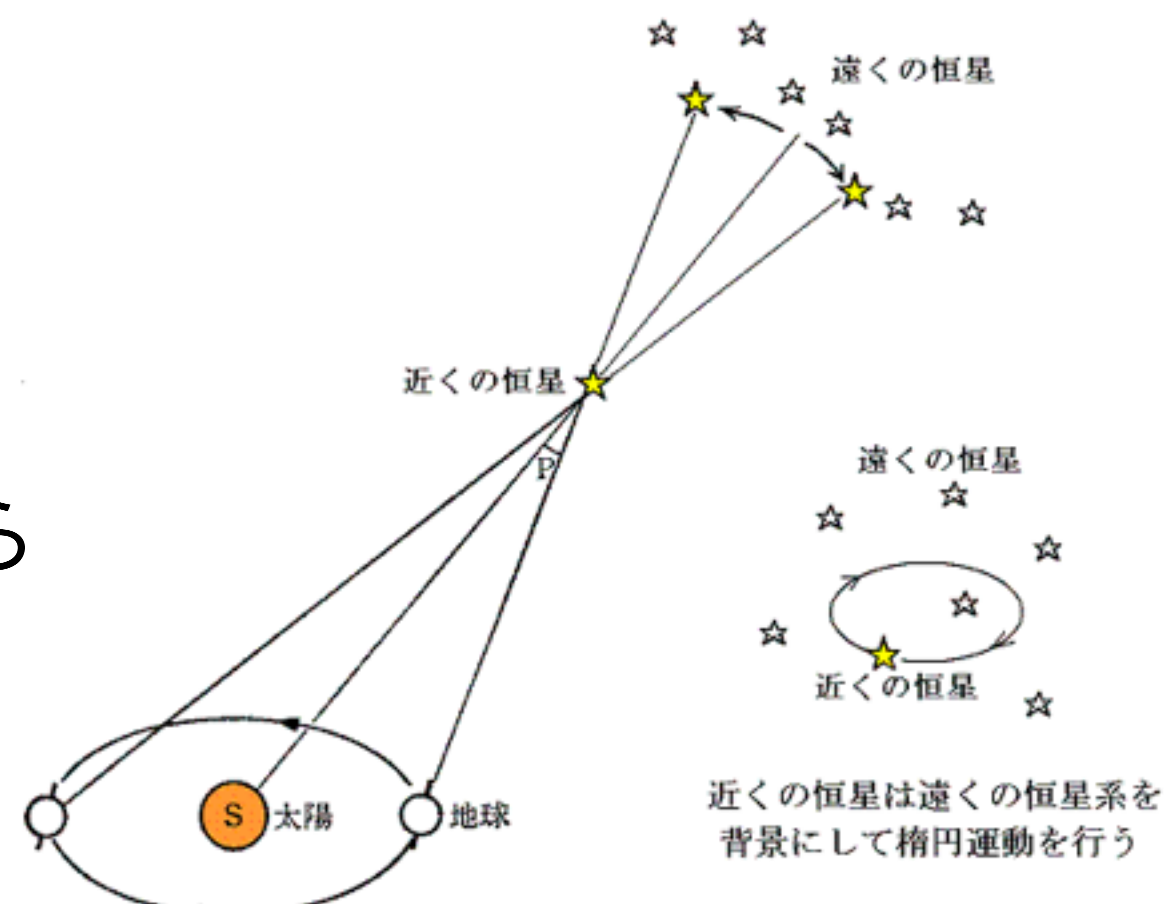
ティコ・ブラーエは地動説を信じなかった

2分角（1度の 1/30）までの観測能力



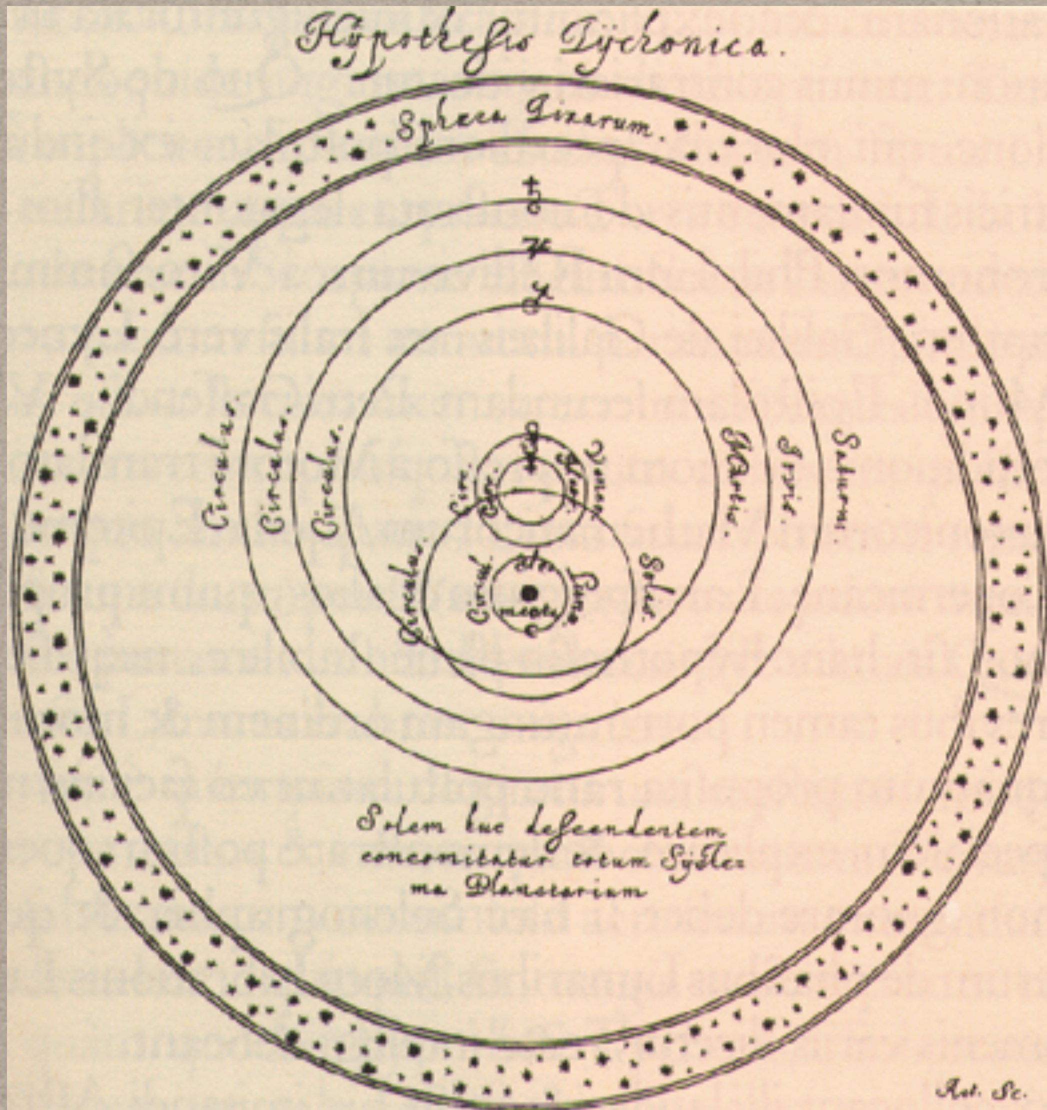
5m離れて，視角1分を視認できる
= 7.272mmの輪の1.454mmの欠損
= 視力 1.0

5m離れて，視角2分を視認できる
= 視力 0.5

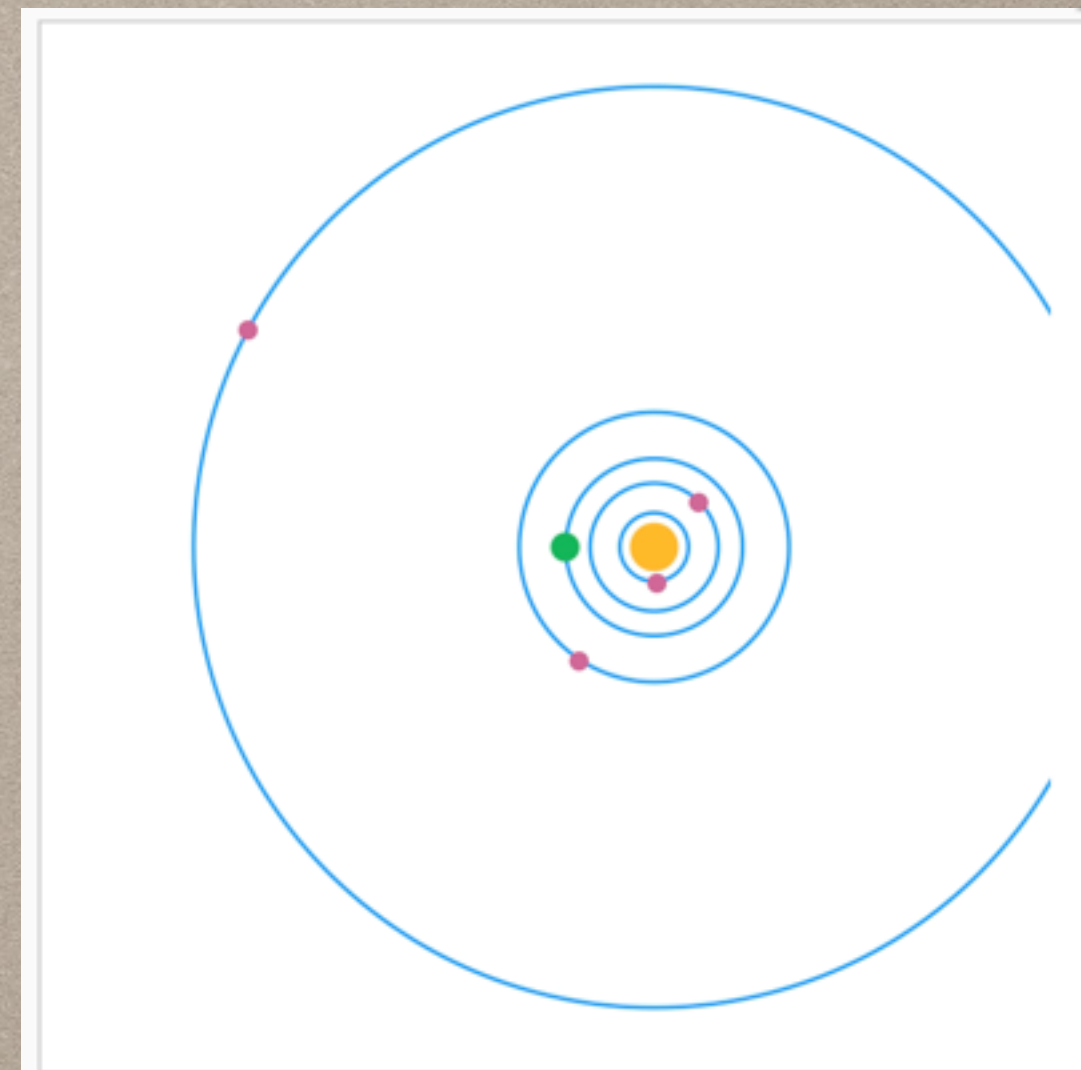


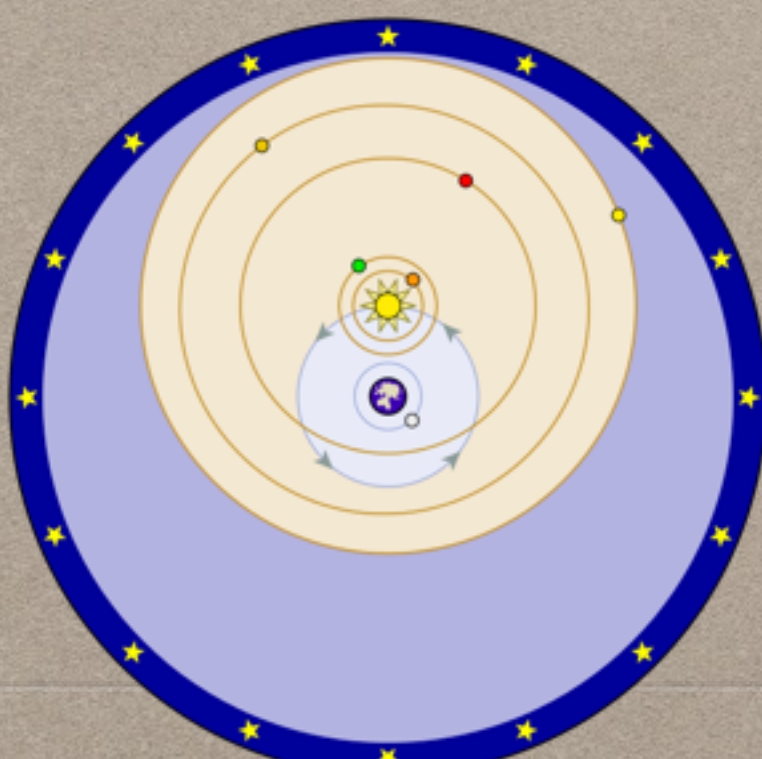
年周視差が確認できなかったから

もっとも近いケンタウルス座alpha
でも年周視差0.76秒角



1583 Tychonian planetary model



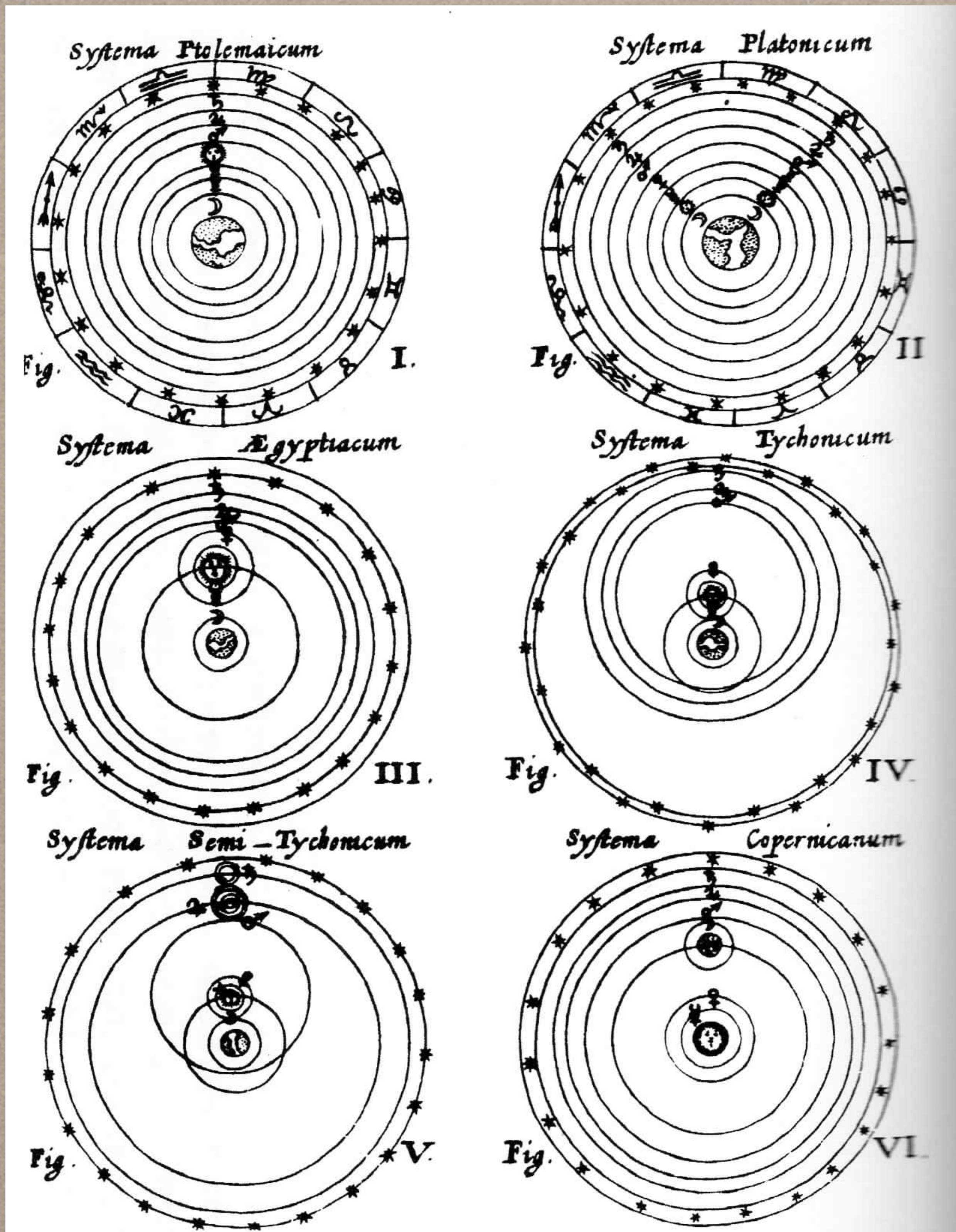


チコ・ブラーエの説

Tycho Brahe

第谷 布拉赫

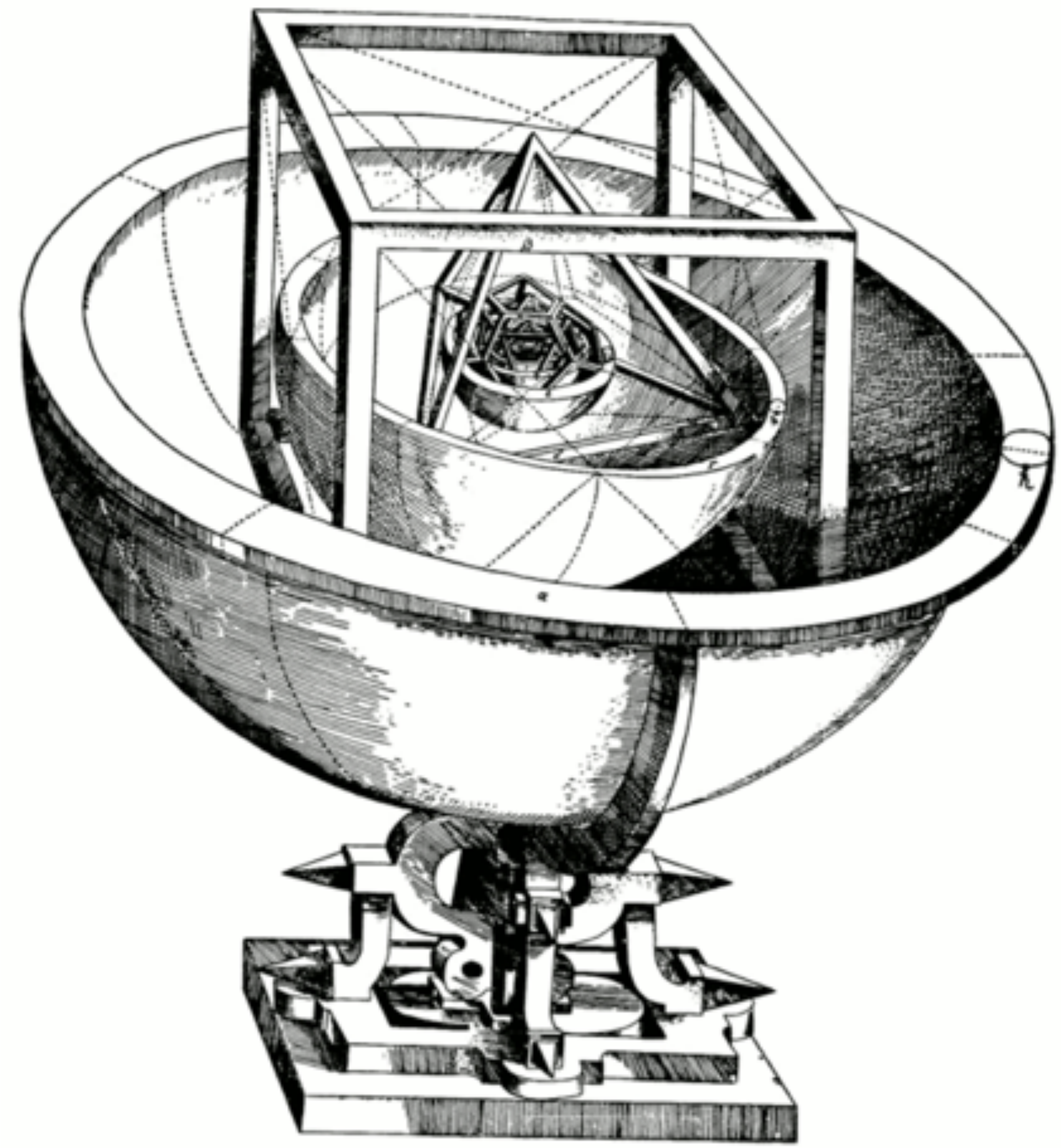
リッチョーリ (Giovanni B. Riccioli, 1598-1671)
『新アルマゲスト』にある太陽系モデル の比較.



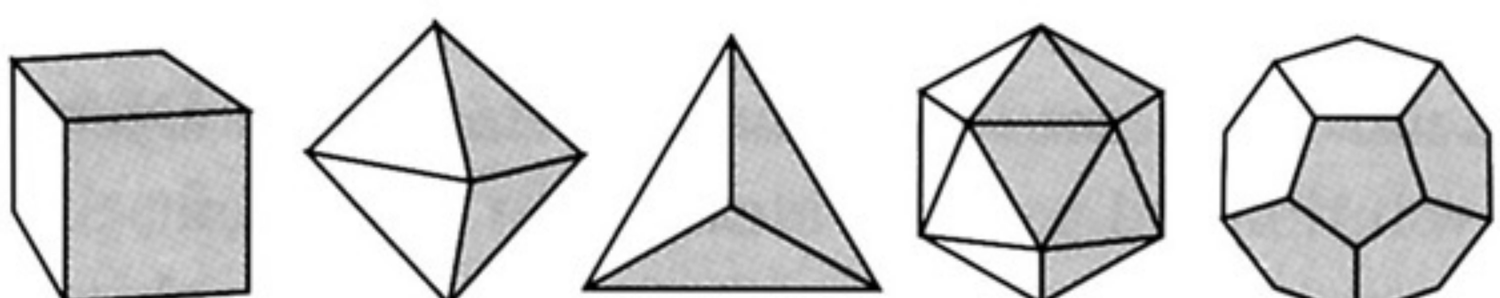
モデル I, II はプトレマイオス体系で，I では太陽軌道は水星と金星の軌道の外側にあり，II では太陽軌道は水星と金星の軌道の内側にある.
III はエジプト体系で，太陽は水星と金星が太陽を周り，太陽は外惑星とともに地球を回る.
IV はチコ・ブラーエのモデルで，太陽は地球以外のすべての惑星を連れながら地球を回る．水星と金星の軌道は常に太陽と地球の間にあるが，外惑星の軌道は地球と太陽の両方を取り囲む.
V はリッチョーリのモデルで，太陽が水星金星火星を連れ，木星・土星とともに地球を回る（木星は月を持ち，土星はリングを持っていたから，太陽と同じ格付けにした).
IV はコペルニクス体系でこれだけ中心が太陽になる.

ヨハネス・ケプラー

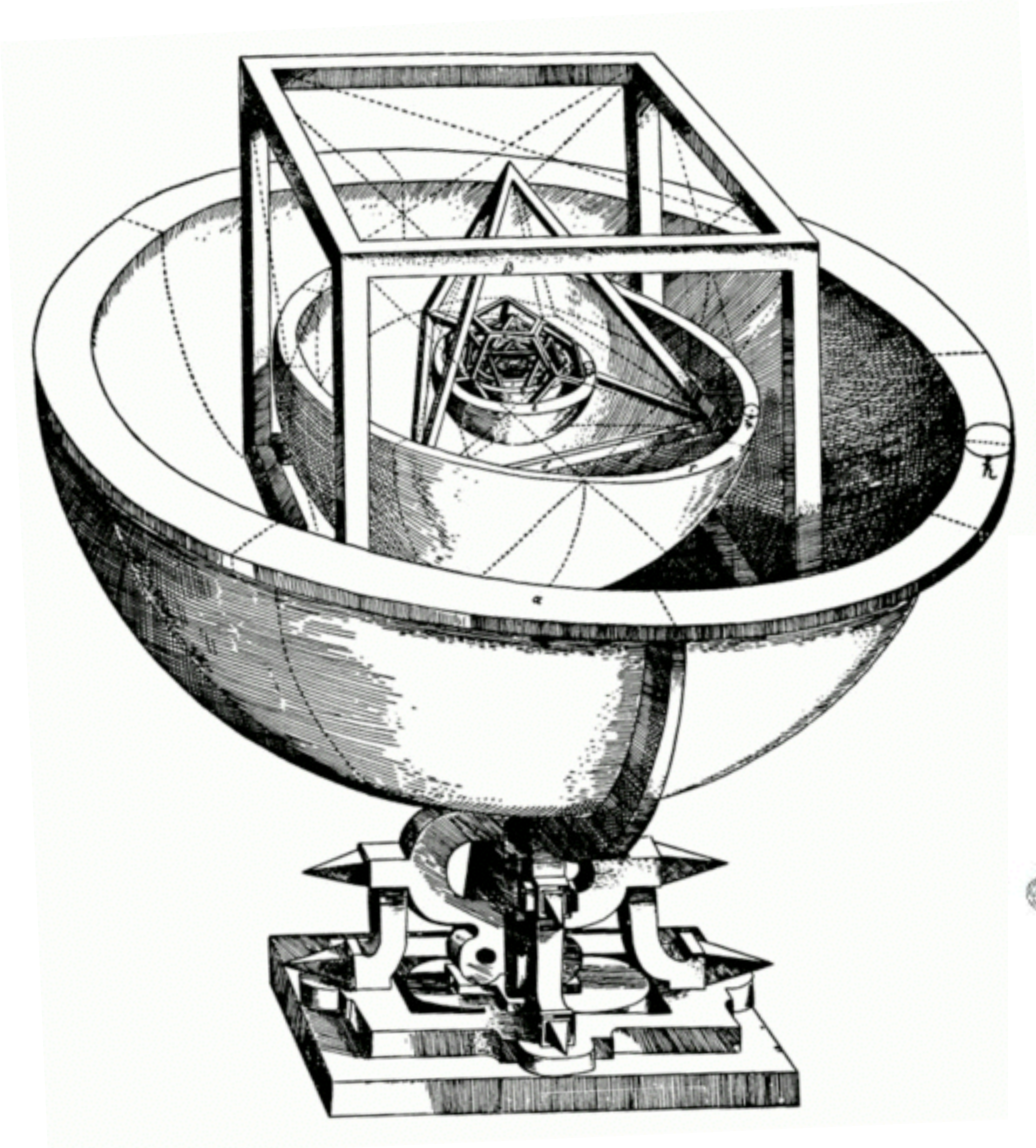
Johannes Kepler
(1571-1630)

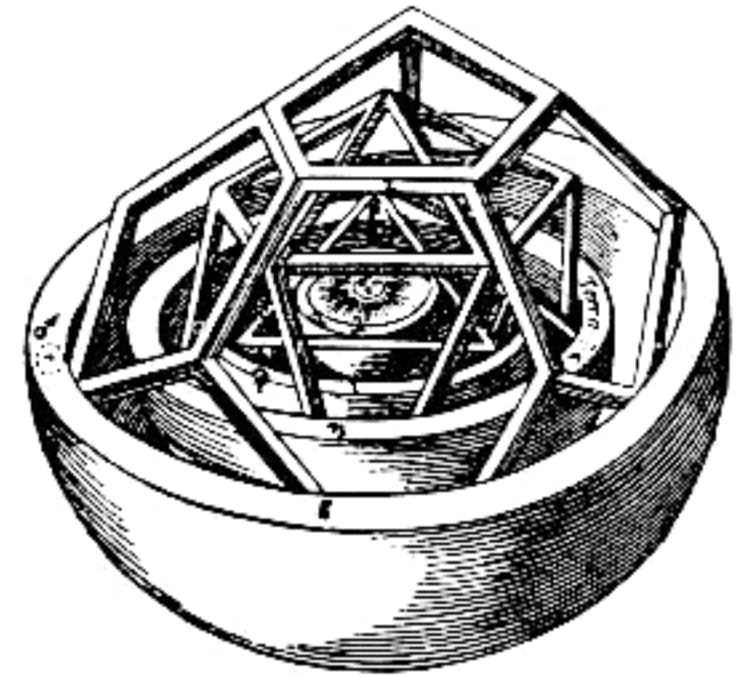


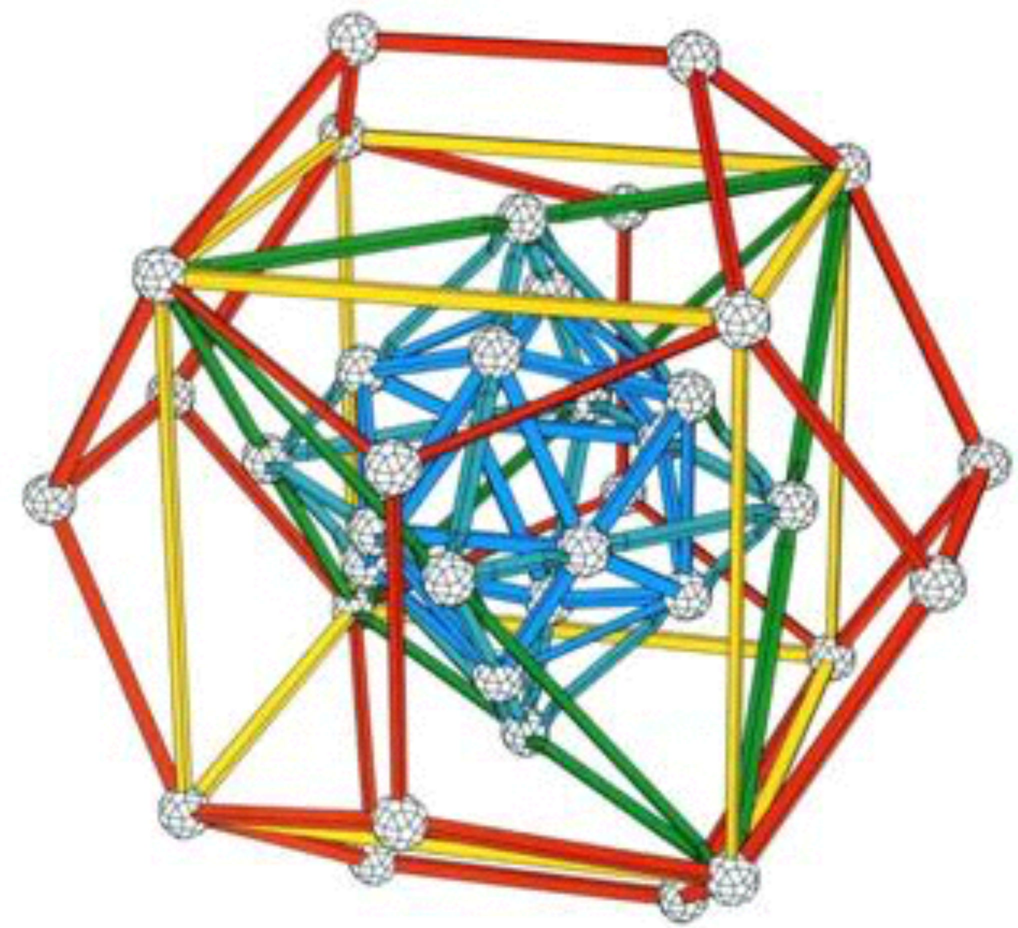
『宇宙の神秘』(1596 年) に描かれた
ケプラーによる初期の多面体太陽系モデル

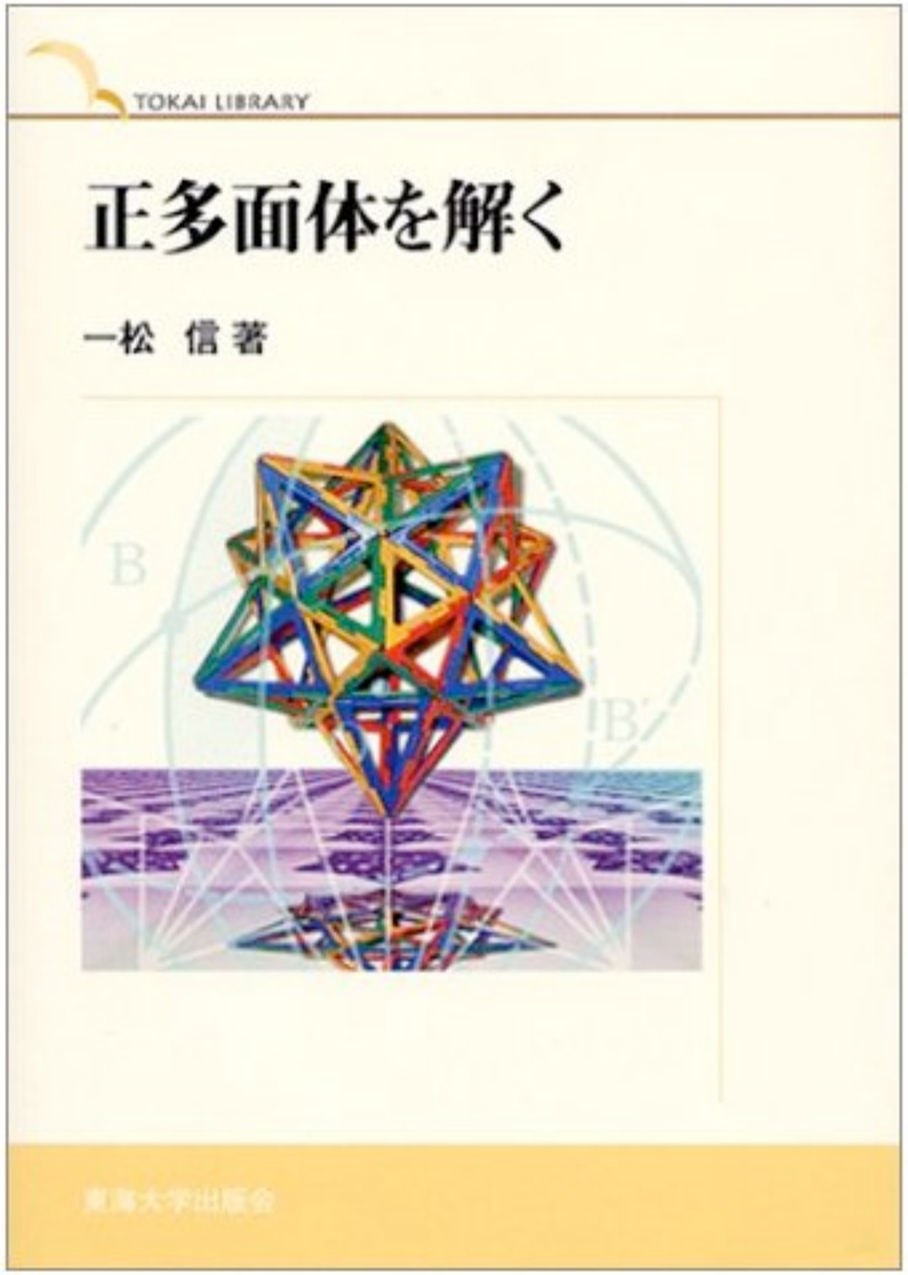


Kepler's Platonic solid model of the Solar system from Mysterium Cosmographicum (1600)









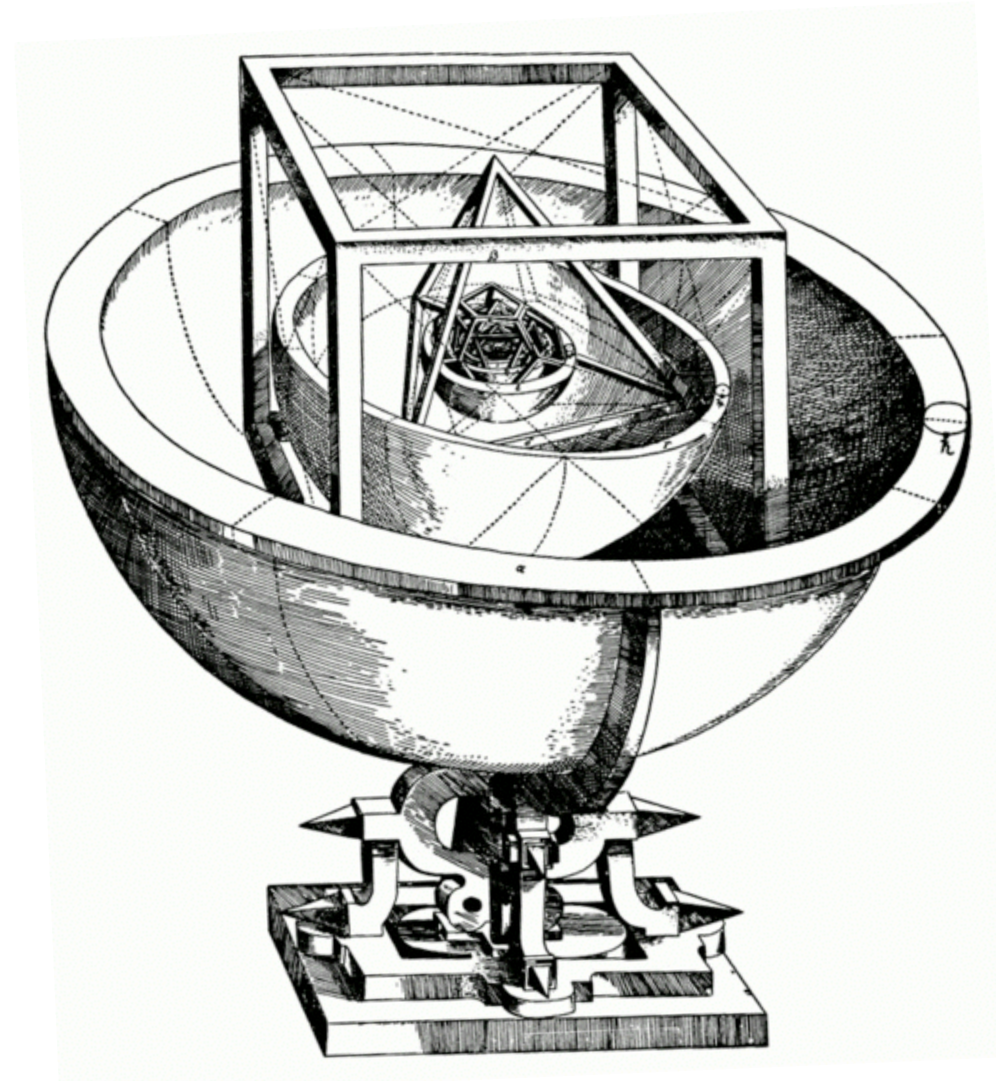


表1.5　相隣る惑星の軌道半径の比

惑　星	軌道半径	比	正多面体の比
土　星	9.5388		
		＞1.8334	1.73205
木　星	5.2028		
		＞3.4146	3
火　星	1.5237		
		＞1.5237	1.25841
地　球	1		
		＞1.3825	1.25841
金　星	0.7233		
		＞1.8685	1.73205
水　星	0.3871		

ティコ・ブラーエ

Tycho Brahe
(1546-1601)

君は火星の担当

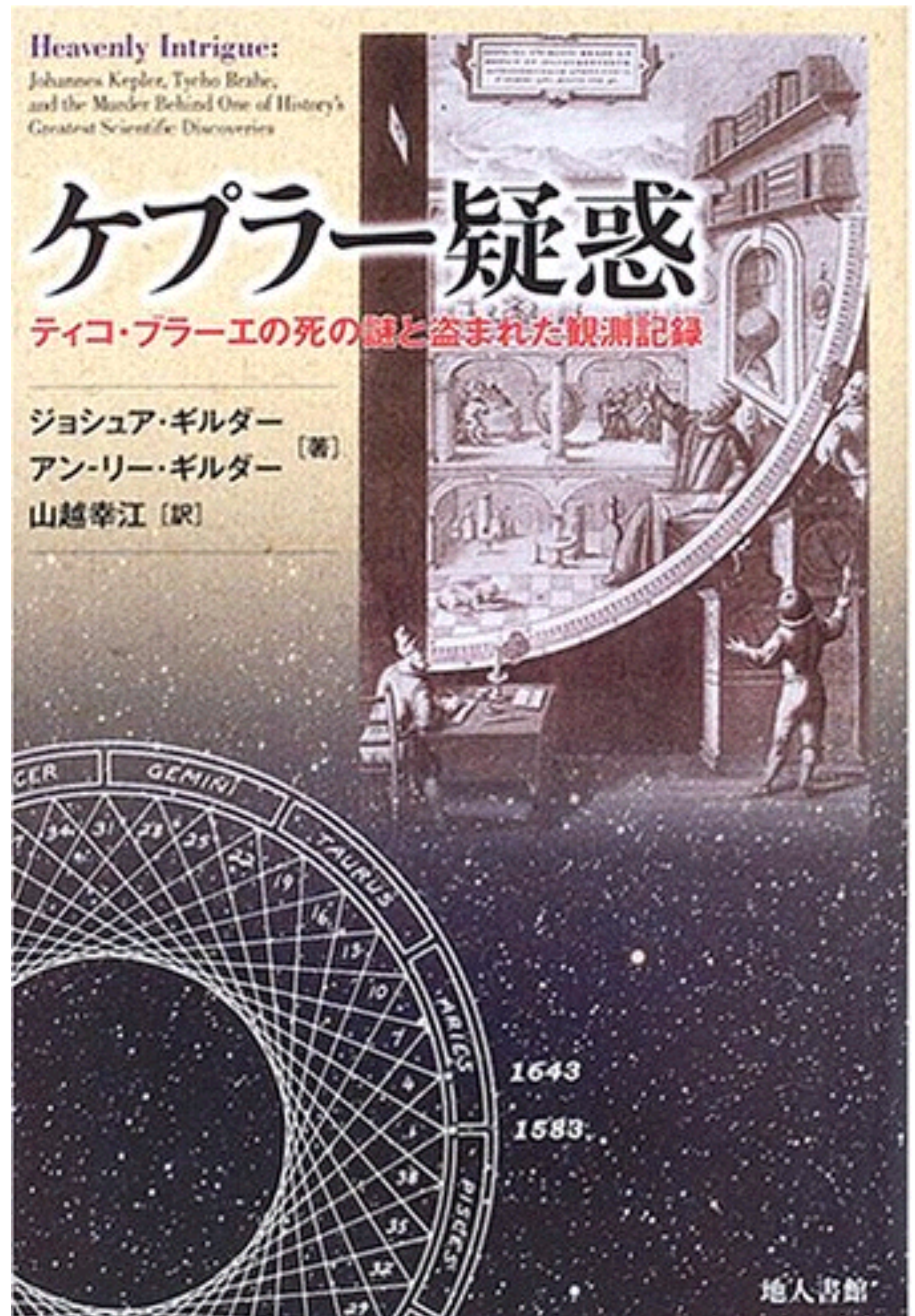
ヨハネス・ケプラー

Johannes Kepler
(1571-1630)

ティコ・ブラーエ　　　ヨハネス・ケプラー

Tycho Brahe
(1546-1601)

第谷 布拉赫



Johannes Kepler
(1571-1630)

刻白爾

ケプラーの惑星運動の法則

ケプラーの惑星の運動についての 3 法則 (1609,1618)

第 1 法則　**楕円軌道の法則**

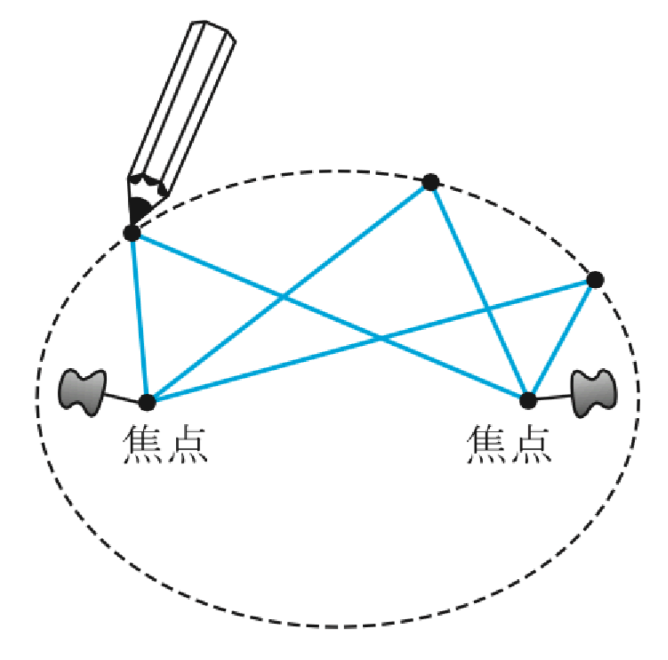
惑星は太陽を 1 つの焦点とする楕円軌道を描く．

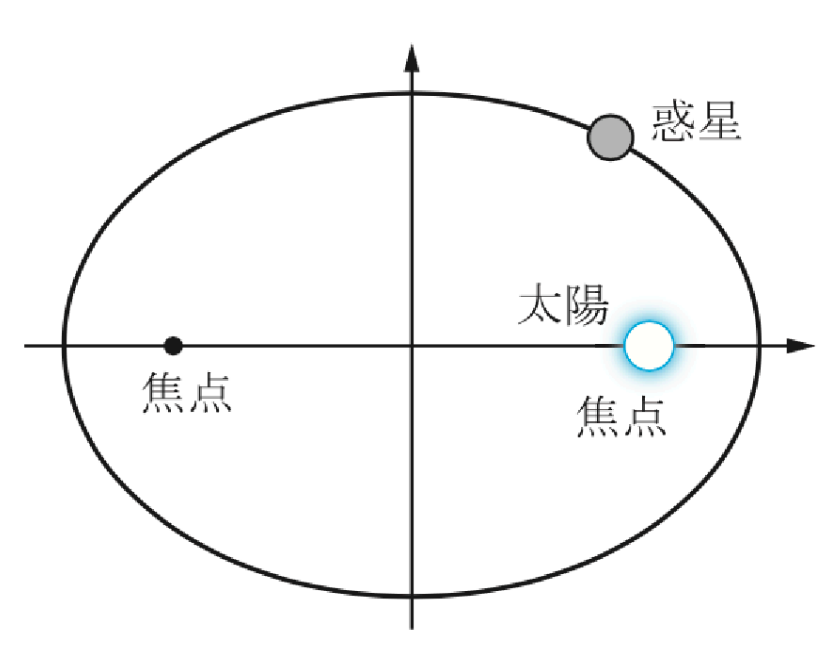
第 2 法則　**面積速度一定の法則**

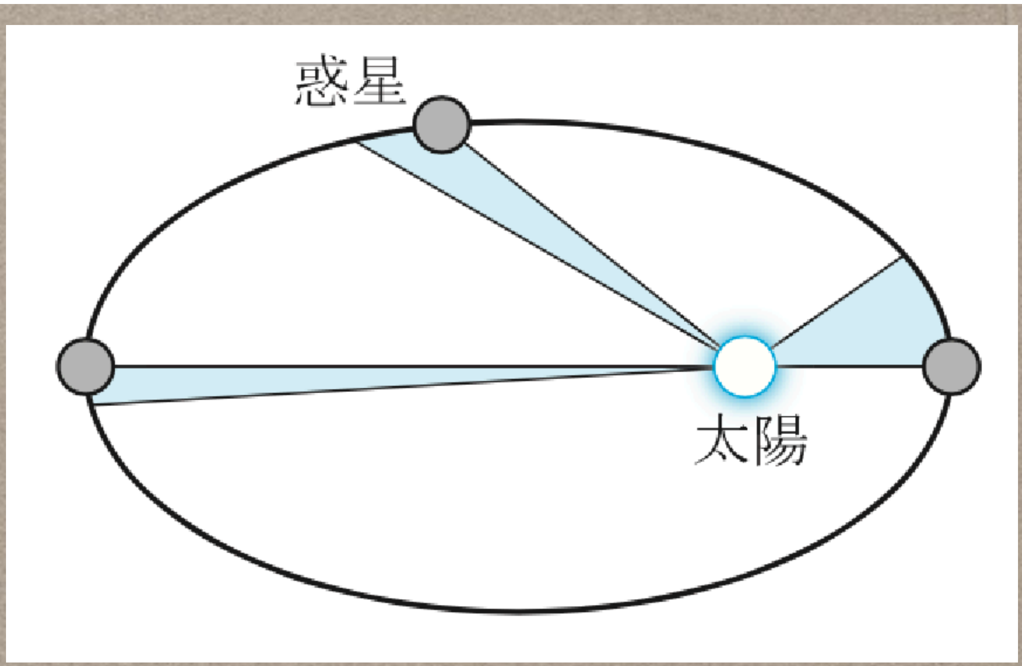
太陽と惑星を結ぶ線分が単位時間に描く扇形の面積（面積速度）は，惑星それぞれについて一定である．

第 3 法則　T^2/R^3 **一定の法則**

惑星の公転周期 T の 2 乗と，惑星の描く楕円の長軸半径（長軸の長さの半分）R の 3 乗の比 T^2/R^3 は，惑星によらず一定である．







ケプラーの惑星の運動についての 3 法則 (1609,1618)

第 1 法則　**楕円軌道の法則**

惑星は太陽を 1 つの焦点とする楕円軌道を描く．

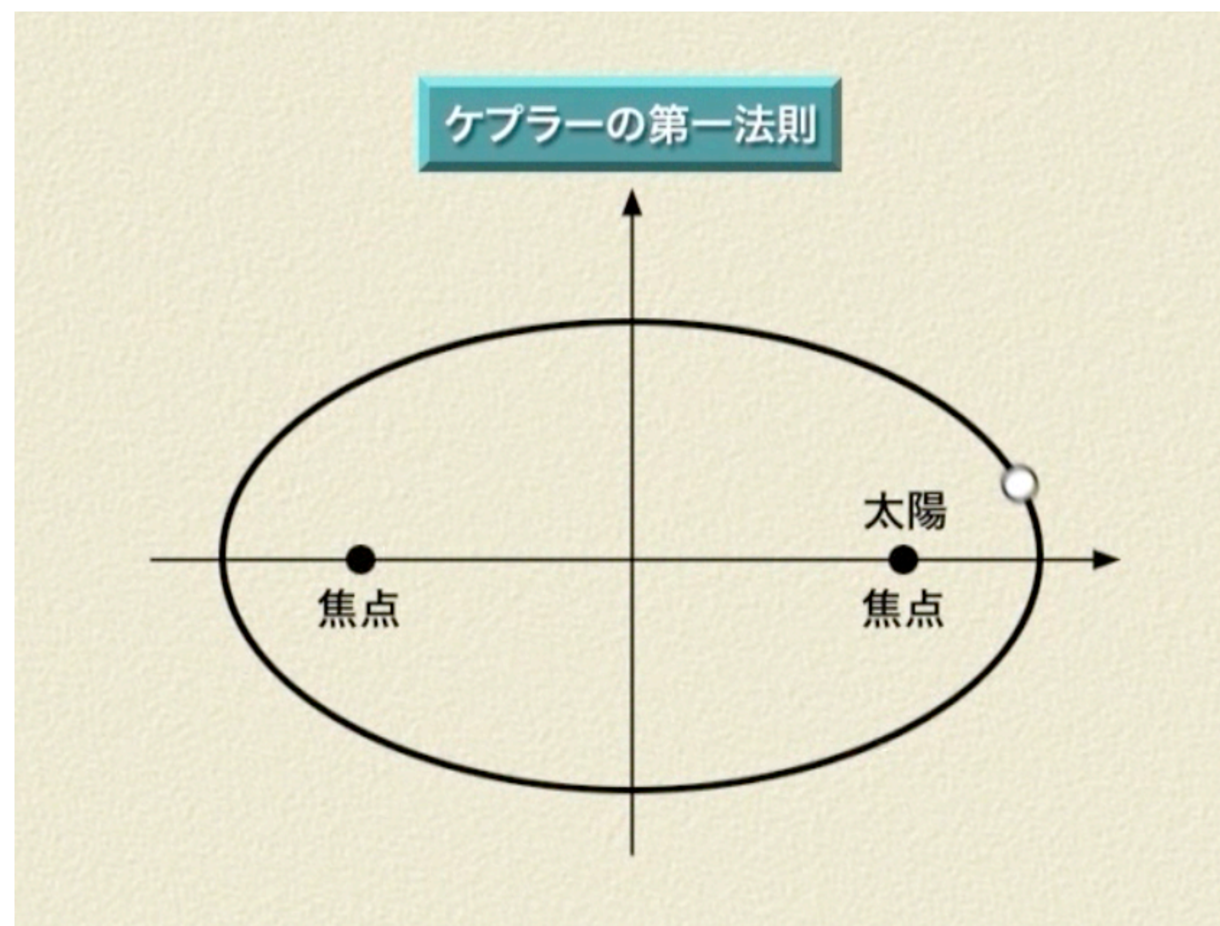
第 2 法則　**面積速度一定の法則**

太陽と惑星を結ぶ線分が単位時間に描く扇形の面積（面積速度）は，惑星それぞれについて一定である．

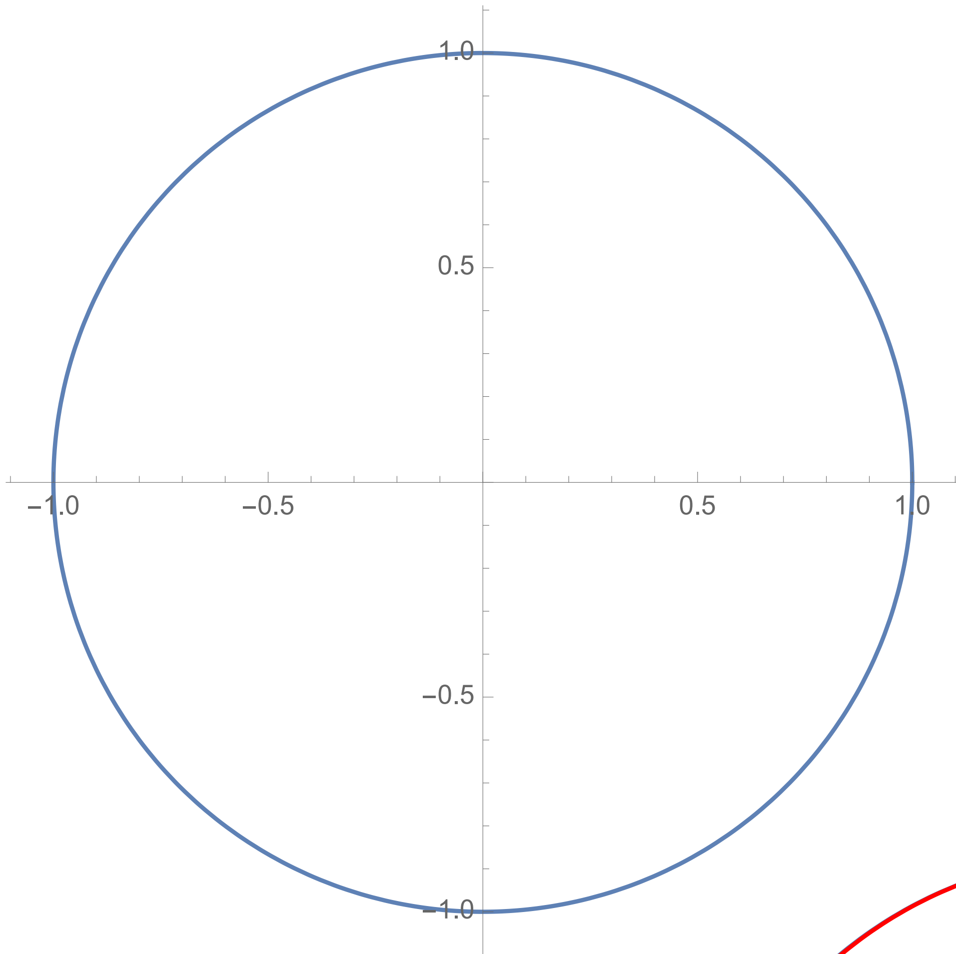
第 3 法則　T^2/R^3 **一定の法則**

惑星の公転周期 T の 2 乗と，惑星の描く楕円の長軸半径（長軸の長さの半分）R の 3 乗の比 T^2/R^3 は，惑星によらず一定である．

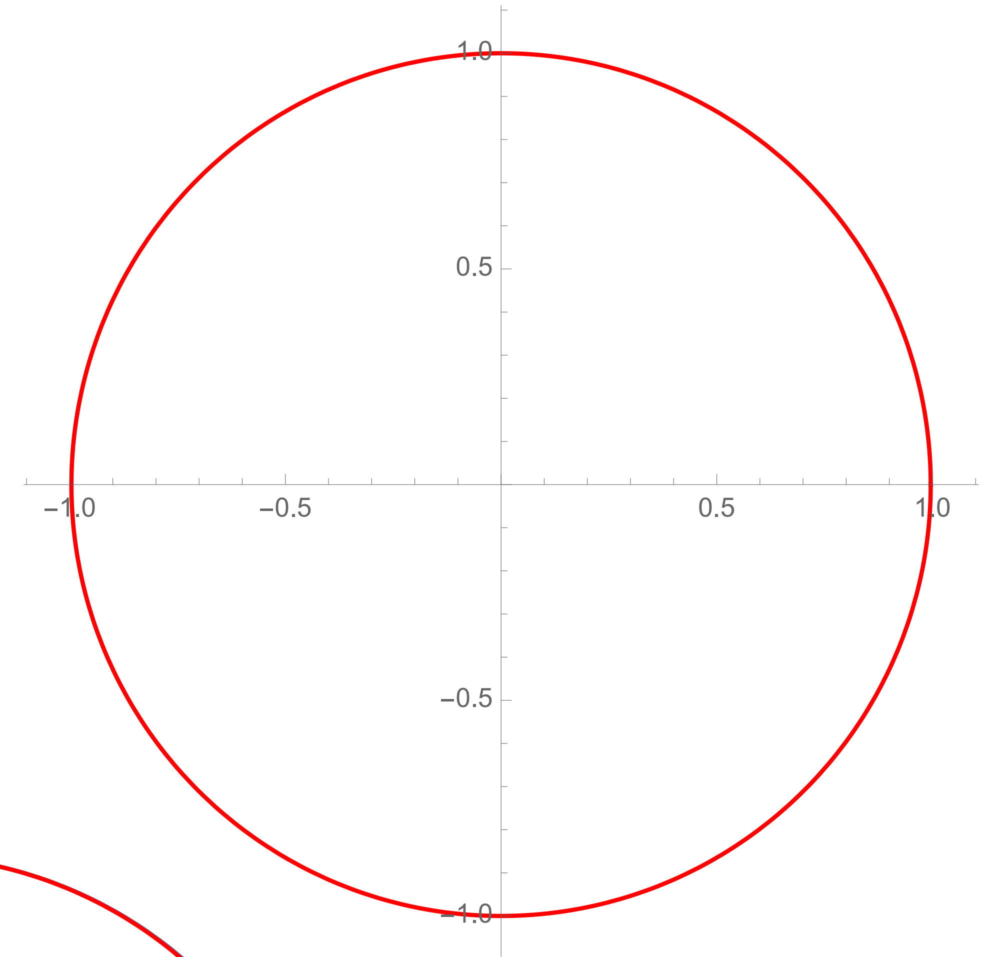
Johannes Kepler
(1571-1630)

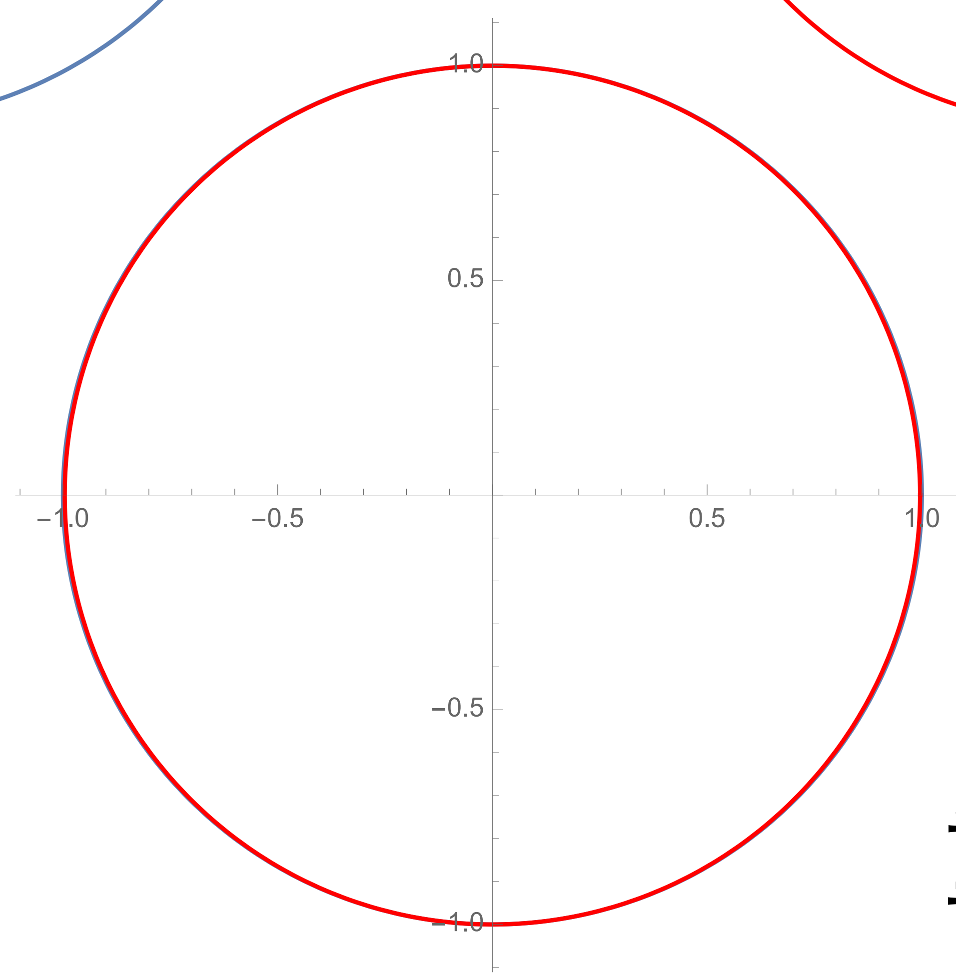


円



離心率0.09の円（火星）





重ね合わせ

ケプラーの惑星の運動についての 3 法則 (1609,1618)

第 1 法則　**楕円軌道の法則**

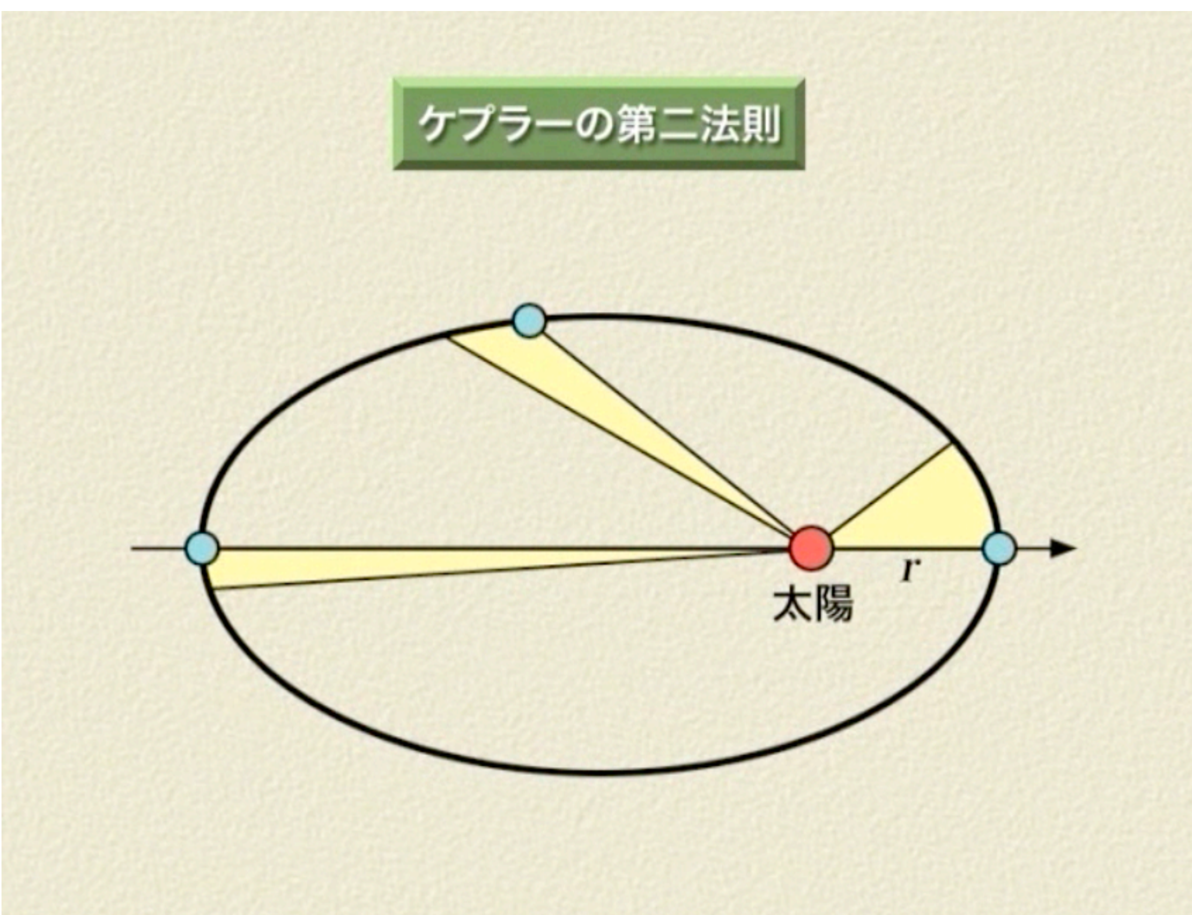
惑星は太陽を 1 つの焦点とする楕円軌道を描く.

第 2 法則　**面積速度一定の法則**

太陽と惑星を結ぶ線分が単位時間に描く扇形の面積（面積速度）は, 惑星それぞれについて一定である.

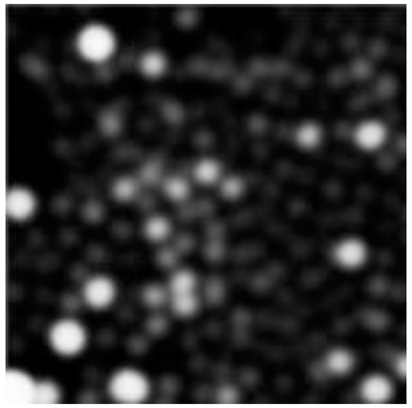
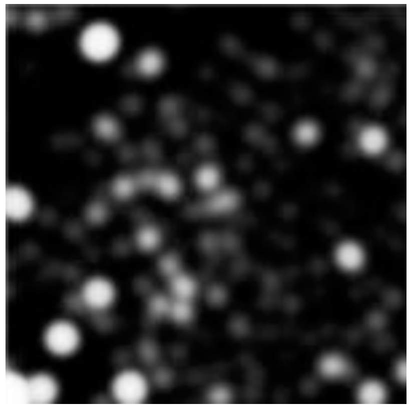
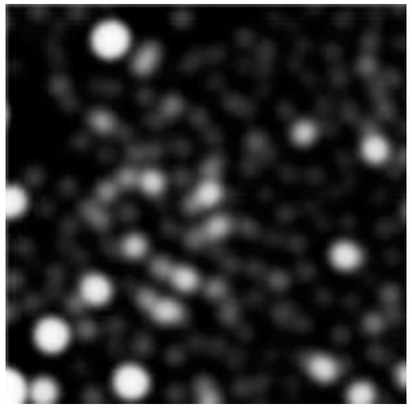
第 3 法則　T^2/R^3 **一定の法則**

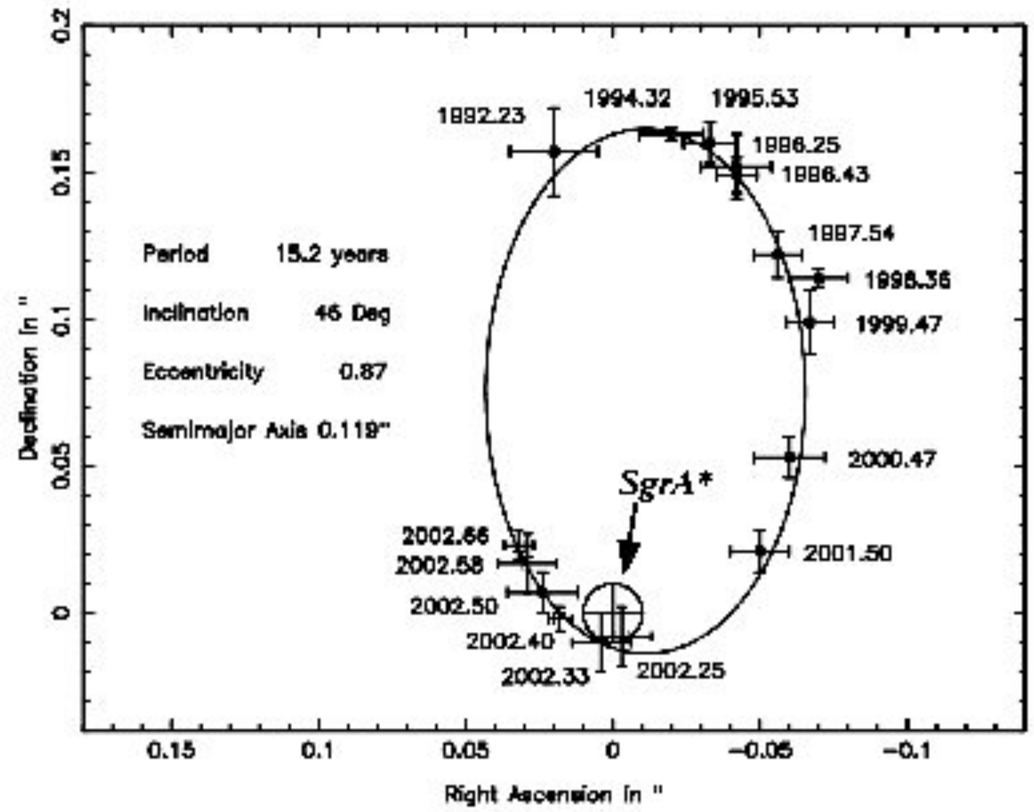
惑星の公転周期 T の 2 乗と, 惑星の描く楕円の長軸半径（長軸の長さの半分）R の 3 乗の比 T^2/R^3 は, 惑星によらず一定である.

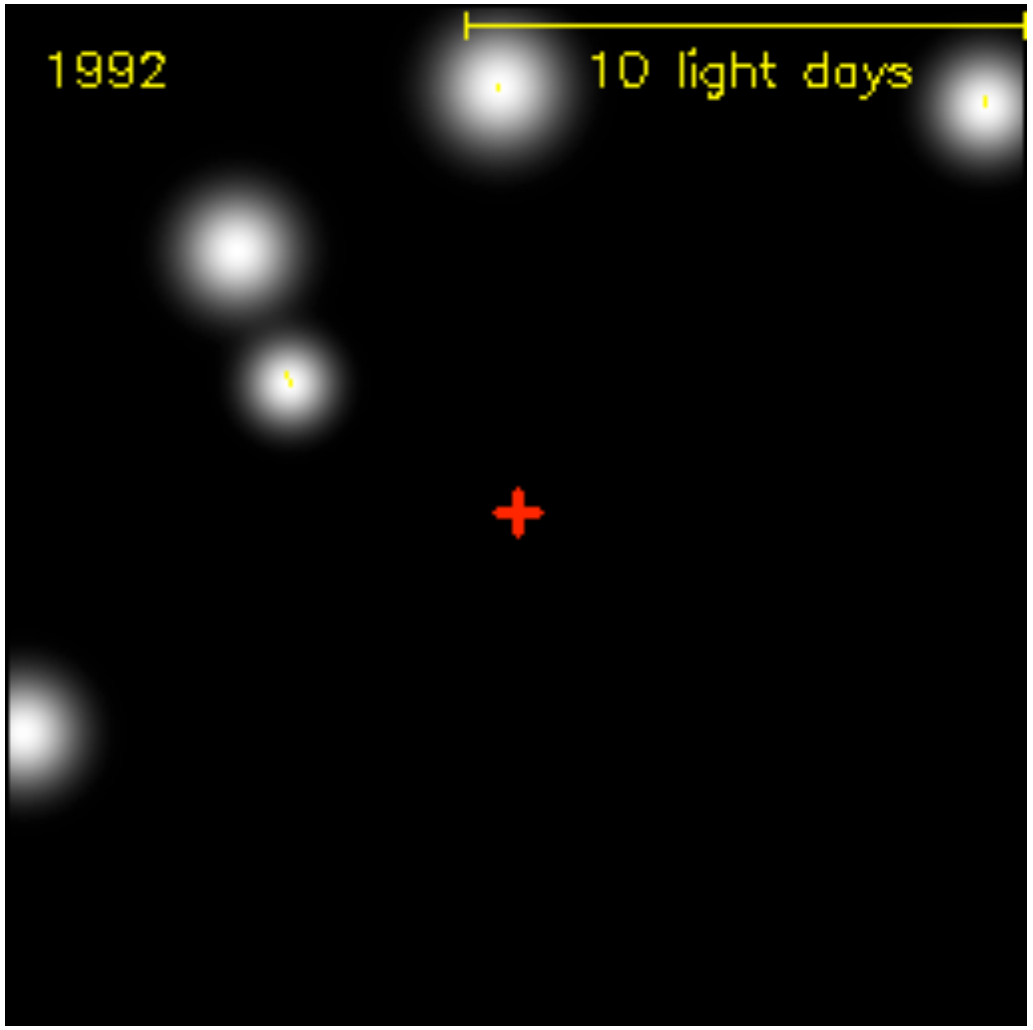


http://shop.nationalgeographic.com/ngs/product/maps/wall-maps/space-maps/the-milky-way-map%2C-laminated
http://ernstgraphics.wordpress.com/page/2/

S2 orbit around Sgr A*



http://www.extinctionshift.com/SignificantFindings08.htm
http://www.brighthub.com/science/space/articles/13435.aspx#

ケプラーの惑星の運動についての 3 法則 (1609,1618)

第 1 法則　**楕円軌道の法則**

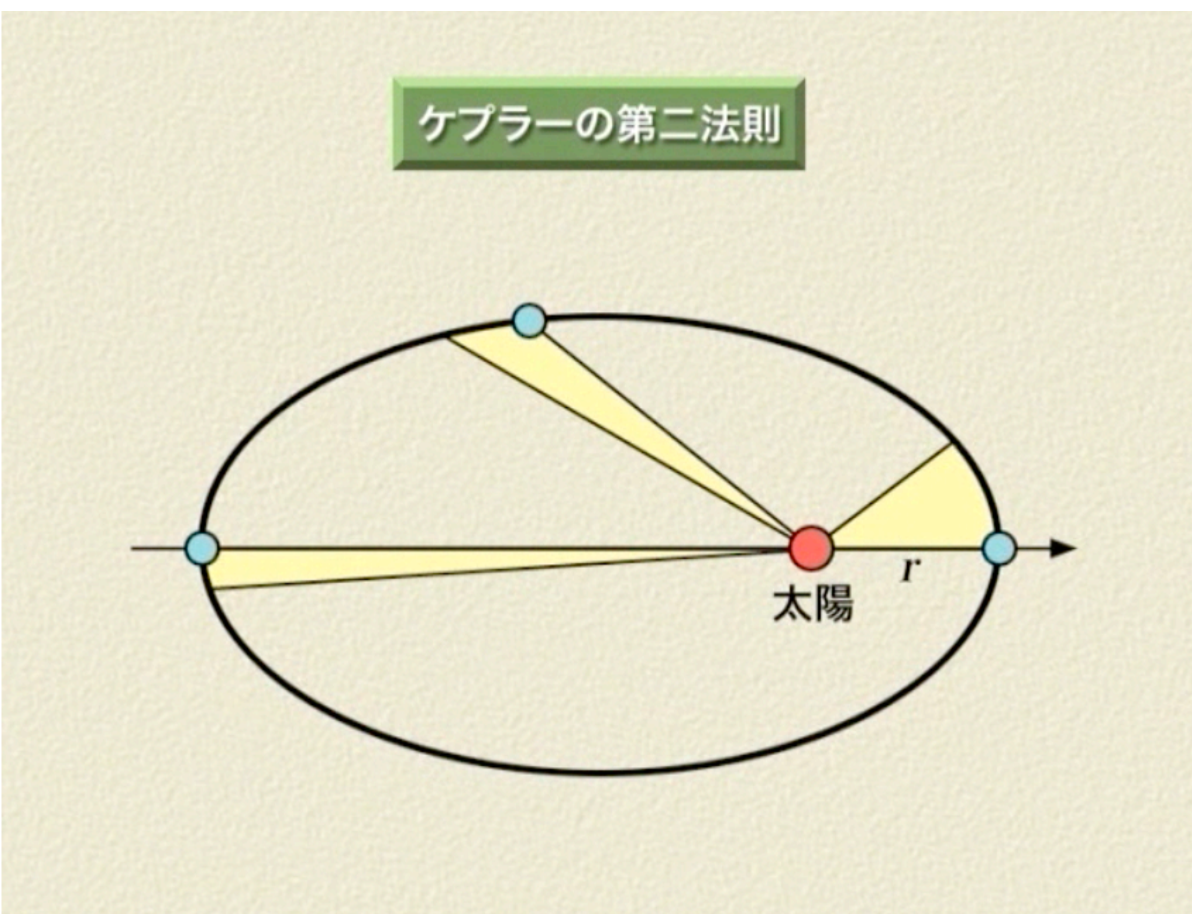
惑星は太陽を 1 つの焦点とする楕円軌道を描く.

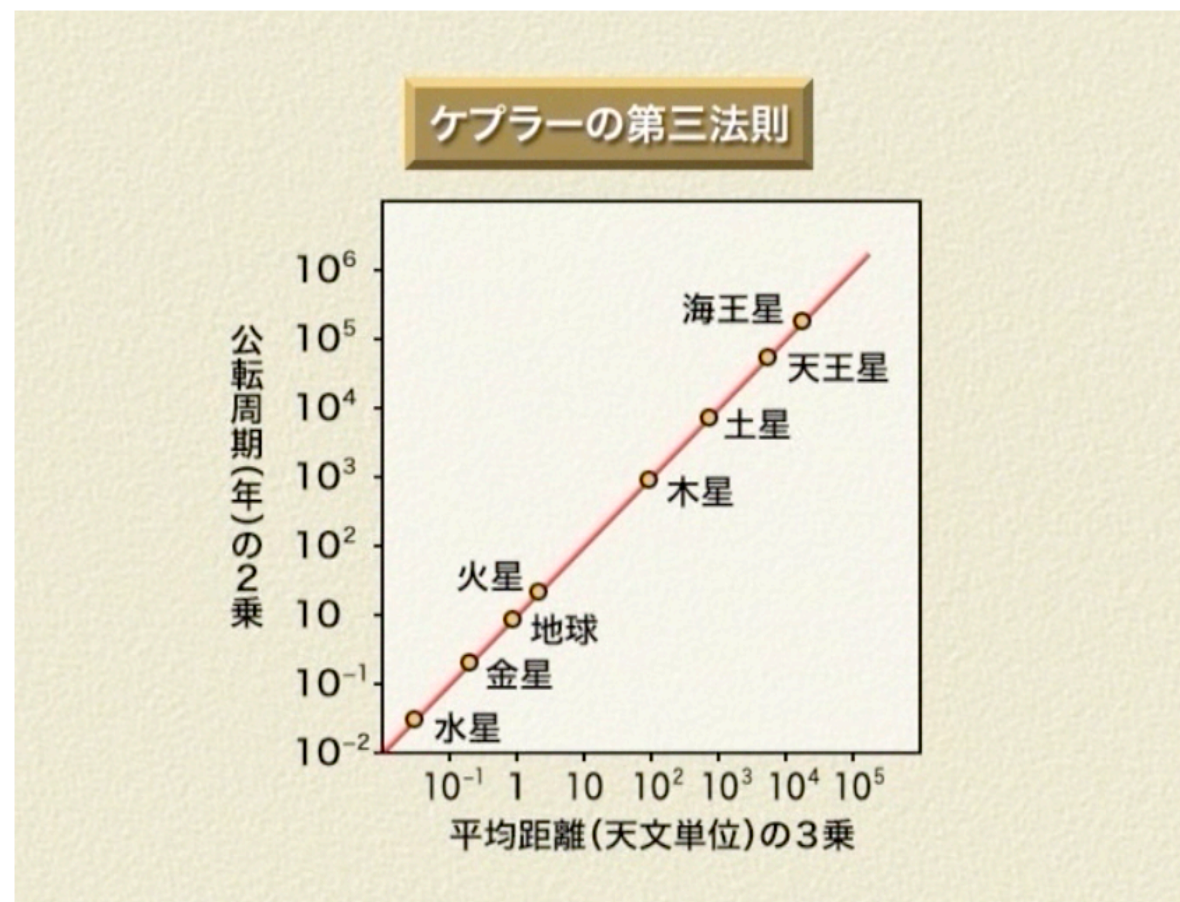
第 2 法則　**面積速度一定の法則**

太陽と惑星を結ぶ線分が単位時間に描く扇形の面積（面積速度）は,惑星それぞれについて一定である.

第 3 法則　T^2/R^3 **一定の法則**

惑星の公転周期 T の 2 乗と，惑星の描く楕円の長軸半径（長軸の長さの半分）R の 3 乗の比 T^2/R^3 は，惑星によらず一定である.





宇宙の調和 (Kepler, 1619)

正確な日付を求めるなら、この本当の比は、今年1618年3月8日に思い付いた。ところが、いざ計算してみると不運にもうまく行かなかったので、いったんは誤りとして斥けた。結局、5月15日にそれが戻ってきて、新たなはずみをつけて私の知性の闇を一掃した。ブラーエの観測結果に取り組んだ私の17年間にわたる労力と現在のこの思索との一致をみごとに確認したので、初めは、夢を見ていて、求めた結果をあらかじめ前提の中に入れている〔論点先取の虚偽を犯している〕ように思ったほどである。しかし、事柄は非常に確実で正確である。⑤ 2惑星の公転周期の比は、正確に平均距離つまり軌道そのものの比の2分の3乗になる〔つまり、$t^2 : T^2 = r^3 : R^3$〕★034。ただし、楕円軌道の長径と短径の算術平均*は長径よりいくらか小さいことに注意する必要がある。

そこで、例えば地球の周期1年と土星の周期30年から得た比の3分の1乗つまり立方根を取り、この根を平方してその比の2乗を作れば、算出した数値に、太陽から地球と土星までの平均距離の非常に正しい比が得られる。すなわち、1の立方根は1で、その平方は1である。30の立方根は3より大きく、したがってその平方は9より大きい。実際、土星は太陽からの平均距離が太陽から地球までの平均距離の9倍よりいくらか高い。第9章で、離心値を明らかにするためにこの定理を用いる必要がある。

p424

perihelion of the lower. Therefore again, a certain part of my *Mysterium Cosmographicum*, which was suspended twenty-two years ago, because it was not yet clear, is to be completed and herein inserted. For after finding the true intervals of the spheres by the observations of Tycho Brahe and continuous labour and much time, at last, at last the right ratio of the periodic times to the spheres

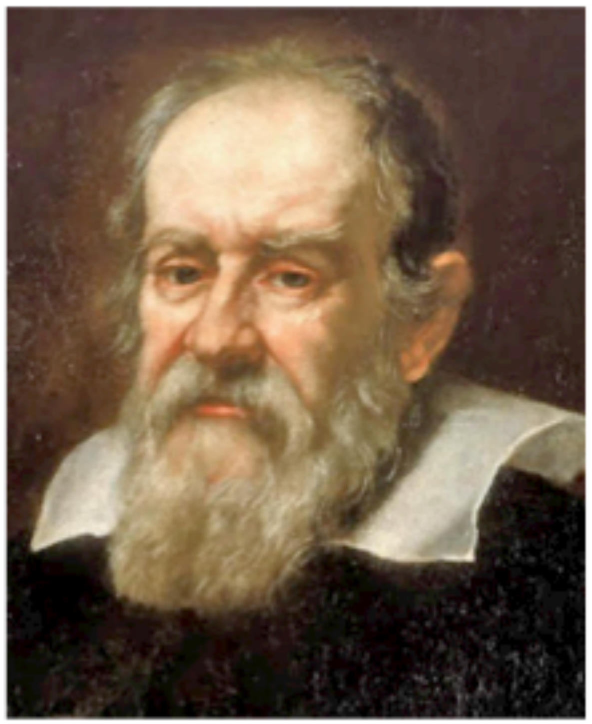
though it was late, looked to the unskilled man,
yet looked to him, and, after much time, came,

and, if you want the exact time, was conceived mentally on the 8th of March in this year One Thousand Six Hundred and Eighteen but unfelicitously submitted to calculation and rejected as false, finally, summoned back on the 15th of May, with a fresh assault undertaken, outfought the darkness of my mind by the great proof afforded by my labor of seventeen years on Brahe's observations and meditation upon it uniting in one concord, in such fashion that I first believed I was dreaming and was presupposing the object of my search among the principles. But it is absolutely certain and exact that *the ratio which exists between the periodic times of any two planets is precisely the ratio of the $^3/_2$th power of the mean distances*, i.e., *of the spheres themselves*; provided, however, that the arithmetic mean between both diameters of the elliptic orbit be slightly less than the longer diameter. And so if any one take the period, say, of the Earth, which is one year, and the period of Saturn, which is thirty years, and extract the cube roots of this ratio and then square the ensuing ratio by squaring the cube roots, he will have as his numerical products the most just ratio of the distances of the Earth and Saturn from the sun.[1] For the cube root of 1 is 1, and the square of it is 1; and the cube root of 30 is greater than 3, and therefore the square of it is greater than 9. And Saturn, at

On The Shoulders of Giants, ed. by S. Hawking (Running Press, 2003) p648

ガリレオ・ガリレイ

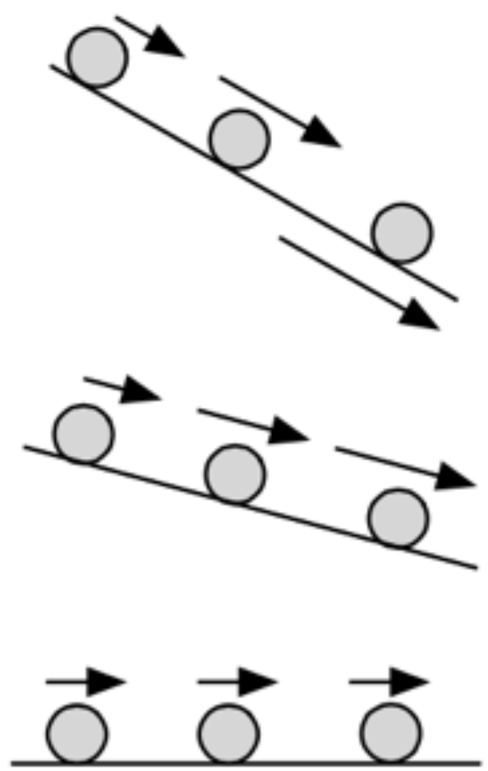
Galileo Galilei
(1564-1642)

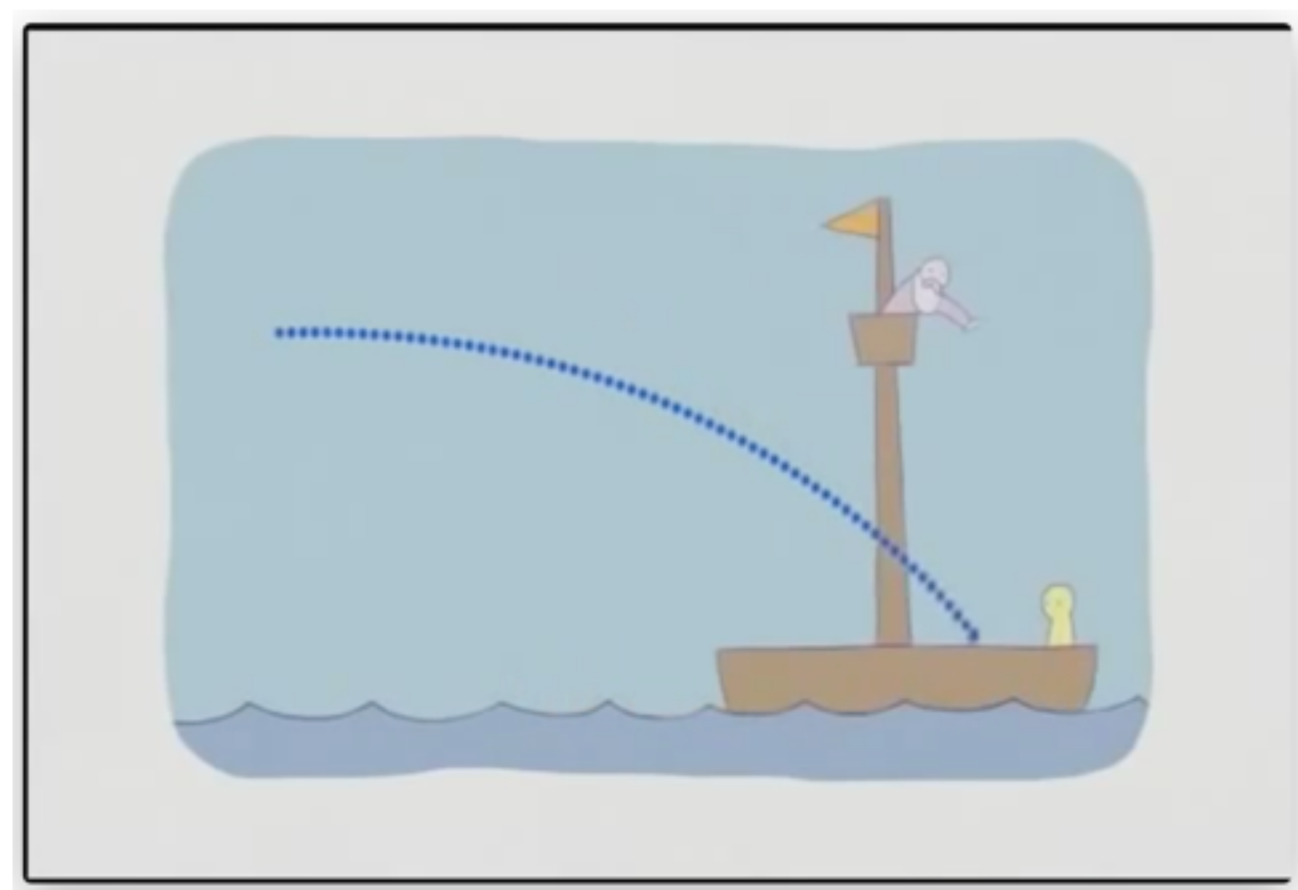


慣性の法則を発見

力を加えなければ，物体は等速直線運動を続ける

斜面に球を置いて手をはなすと，球は加速しながら転がり落ちる．斜面の角度を急にすれば加速は一層速くなる．一方で斜面の上向きにボールを放つとボールは減速してゆく．この場合も減速は斜面の角度に依存する．それでは，水平面ならば，ボールはどのように動くだろうか．—加速も減速もせず，そのままの運動を保ち続けると考えるのが自然である．(『天文対話』1632 年)





「地球が動いていても我々には感じられない」

『アレクサンドリア』（2009）
（原題: Ágora）

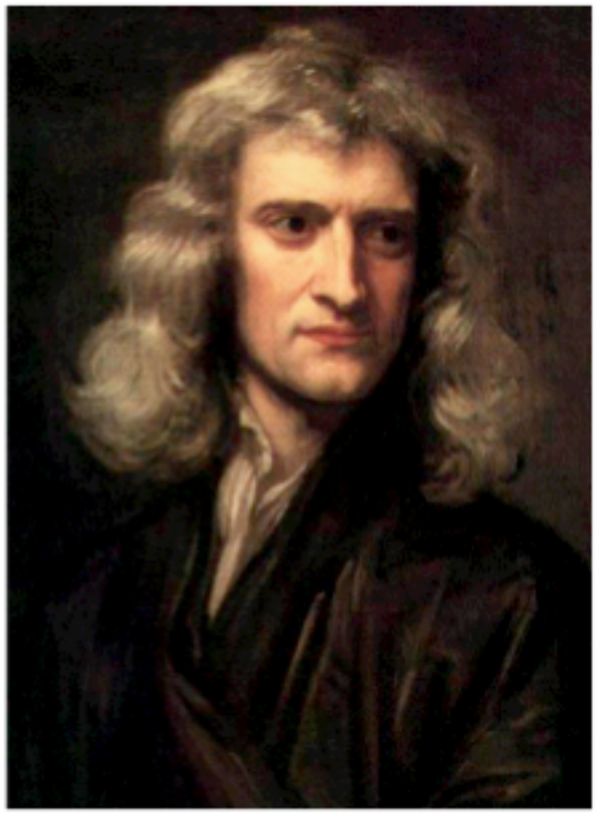
Hypatia

ヒュパティア（350-70?--415）

『アレクサンドリア』（2009）
（原題: Ágora）

アイザック・ニュートン

Isaac Newton
(1642–1727)



運動の基本法則を確立

万有引力の法則で惑星運動を説明

微分・積分の計算を発明

ニュートンの運動法則

第 1 法則　**慣性の法則**

力を加えなければ，物体は等速直線運動を行う．

第 2 法則　**運動方程式**

物体に力 $\boldsymbol{F}$ を及ぼすと，物体の質量 m に反比例した加速度 $\boldsymbol{a}$ が生じる．

第 3 法則　**作用反作用の法則**

物体に力 $\boldsymbol{F}$ を及ぼすと，その物体は同じ大きさで逆向きの反作用 $-\boldsymbol{F}$ を作用物体に及ぼす

第 2 法則は式で書くと，

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$$

万有引力の法則

万有引力の法則

質量 m と M の質点が r だけ離れて置かれているとき，両質点に働く力 F は，大きさが

$$F = G\frac{Mm}{r^2} \tag{2.2.2}$$

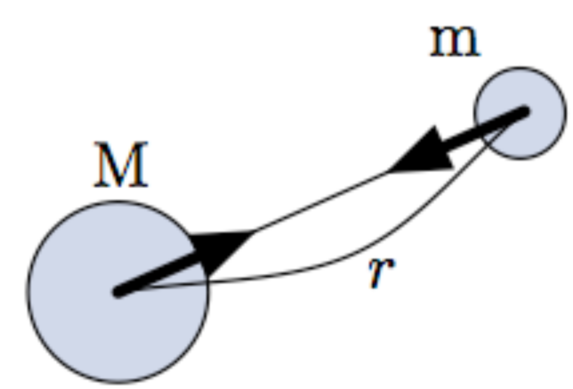
で常に引力である．G は定数であり，万有引力定数と呼ぶ．

地球表面での重力

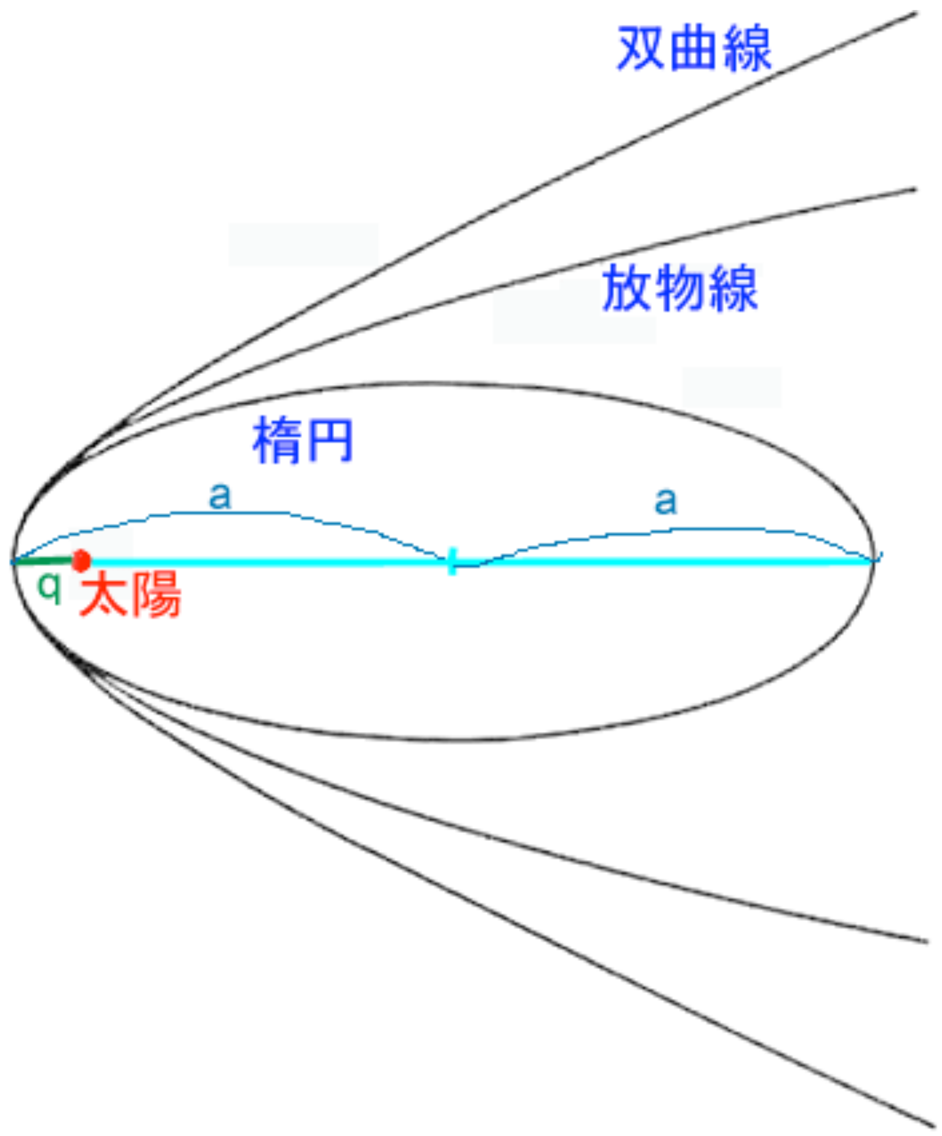
地球の表面での万有引力の大きさはほぼ一定で，質量 m の物体に対して

$$F = mg$$

である．g は重力加速度と呼ばれ，g =9.8 [m/s^2] である．

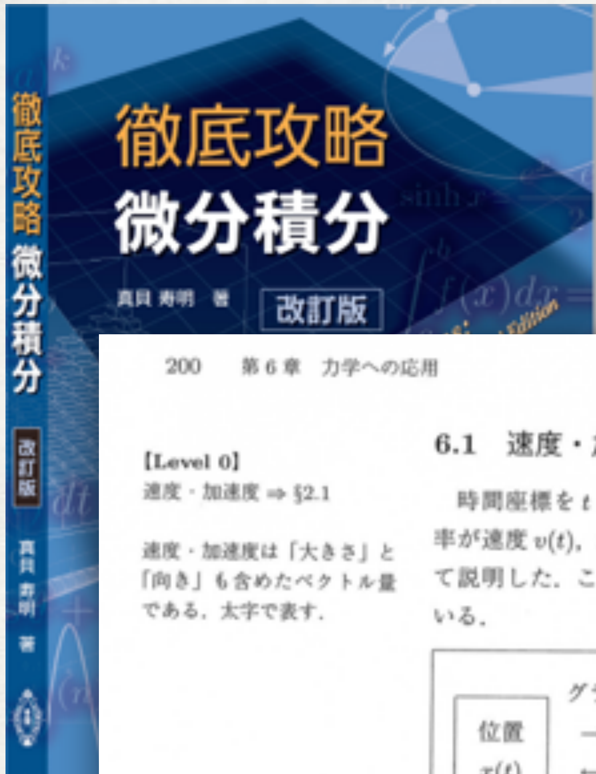


万有引力の法則＋運動方程式



太陽の重力圏にとどまるならば,
楕円運動するのが自然である.

微積の応用例としてケプラーの3法則



【Level 0】
速度・加速度 ⇒ §2.1

速度・加速度は「大きさ」と「向き」も含めたベクトル量である．太字で表す．

6.1　速度・加速度

時間座標を t として，物体の運動を考えよう．位置 $x(t)$ の時間変化率が速度 $v(t)$，速度の時間変化率が加速度 $a(t)$ であることは，§2.1 にて説明した．これらの3つの量は，微分・積分で次のように対応している．

位置	グラフの傾き → 微分 → ← 積分 ← グラフの面積	速度	グラフの傾き → 微分 → ← 積分 ← グラフの面積	加速度
$x(t)$		$v = \frac{dx}{dt}$		$a = \frac{dv}{dt}$

これは x 方向のみの話であるが，平面なら (x, y) の2成分で，空間なら (x, y, z) の3成分でそれぞれ位置・速度・加速度の関係が成り立つ．

次元 (dimension)

物理量には単位がある．数式を書くときは両辺の単位が必ず一致しているはずである．これを「次元が合う」という．国際単位系（SI）では，長さ x を m（メートル），時間 t を s（秒）で表す．したがって，速度 $v = \frac{\Delta x[\mathrm{m}]}{\Delta t[\mathrm{s}]}$ の単位は，[m/s] であり，加速度 $a = \frac{\Delta v[\mathrm{m/s}]}{\Delta t[\mathrm{s}]}$ の単位は，[m/s^2] となる．

6.2　近代物理の幕開け

【Level 0】

Tycho Brahe
ティコ・ブラーエ
(1546-1601)

Galileo Galilei
ガリレオ・ガリレイ
(1564-1642)

Johannes Kepler
ヨハネス・ケプラー
(1571-1630)

近代の物理学は，ルネサンス期の Tycho Brahe と Galileo Galilei による精密な天体観測から始まった．当時，キリスト教的世界観に支配されていた自然観に対して，Brahe は「超新星の発見（1572 他）」によって天動説への疑いを揺るぎないものにし，惑星や彗星の運動に関する膨大な観測データを残した．Galilei は望遠鏡の発明により「月面のクレーターの発見」や「木星の衛星の発見」などで地動説へ大きく潮流を変えることに貢献するとともに「物体の自由落下の法則」や「振り子の等時性」など基礎的な発見をした．

Brahe の弟子であった Kepler は，当時謎であった火星の運動の観測データ解析を担当した．膨大な計算の結果，Kepler がたどり着いた結論は，火星の軌道は円ではなく，太陽を焦点の1つとする楕円である，というものだった．この結論は，宇宙を「神の創造物」と考える社会にとって当然と考えられていた（完全な形の）「円」軌道ではなかった，という意味をもち，その後の世界観に大きな衝撃を与えるものだった．Kepler のたどり着いた3法則をまとめると次のようになる．

法則 6.1（Kepler の惑星の運動についての3法則）

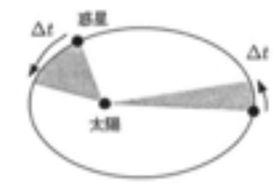
第1法則　**楕円軌道の法則**
惑星は太陽を1つの焦点とする楕円軌道を描く．

第2法則　**面積速度一定の法則**
太陽と惑星を結ぶ線分が単位時間に描く扇形の面積（面積速度）は，惑星それぞれについて一定である．

第3法則　**T^2/R^3 一定の法則**
惑星の公転周期 T の2乗と，惑星の描く楕円の長軸半径（長軸の長さの半分）R の3乗の比 T^2/R^3 は，惑星によらず一定である．

Kepler の惑星の運動法則
(1609, 1618)
1. 楕円軌道の法則
2. 面積速度一定の法則
3. T^2/R^3 一定の法則

面積速度



面積速度一定の法則

特筆すべきは，この3法則は観測事実をまとめたものであり，「何故こうなるのか」を説明するものではなかった，という点である．Kepler の法則に対して，運動方程式と万有引力の仮定を用い，数学的に原因を説明したのが，Newton であった．

Isaac Newton
アイザック・ニュートン
(1642-1727)

6.3　Newton の運動方程式

"Philosophiae Naturalis Principia Mathematica"

Newton は，1687 年に出版した「自然哲学の数学的諸原理（プリンキピア）」の中で，運動法則と万有引力の法則について述べている．

法則 6.2（Newton の運動法則）

第1法則　**慣性の法則**
力を加えなければ，物体は等速直線運動を行う．

第2法則　**運動の法則（運動方程式）**
物体に力 $\boldsymbol{F}$ を及ぼすと，物体の質量 m に反比例した加速度 $\boldsymbol{a}$ が生じる．

第3法則　**作用反作用の法則**
物体に力 $\boldsymbol{F}$ を及ぼすと，その物体は同じ大きさで逆向きの反作用 $-\boldsymbol{F}$ を作用物体に及ぼす．

【Level 0】
Newton の運動法則
(1687)
1. 慣性の法則
2. 運動の法則
3. 作用反作用の法則

力を入れると速度が生じると考えるのが凡人だが，Newton は加速度が生じると考えることで自然の仕組みを解明した．
力の単位は，SI 単位系で [N]（ニュートン）．
1 [N] = 1 [kg m s^{-2}]

第2法則は式で書くと，

$$\boldsymbol{F} = m\frac{d^2\boldsymbol{x}}{dt^2} \tag{6.3.1}$$

となる．この式は，原因 (F) があれば，結果（加速度）が生じることを示す因果律である．

万有引力の法則

ニュートンが，リンゴが落ちることから重力の原因が「万有引力である」と気づいた話は実話らしい．

万有引力の法則

すべての物体は引力で引き合う．質量 M と m の物体が距離 r だけ離れているとき，万有引力の大きさ F は

$$F = G\frac{Mm}{r^2} \tag{2.5}$$

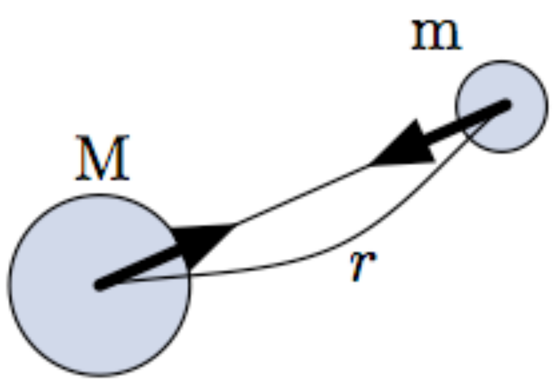
である．G は定数で，$G = 6.67 \times 10^{-11}[\mathrm{Nm^2/kg^2}]$ である．

地球表面での重力

地球の表面での万有引力の大きさはほぼ一定で，質量 m の物体に対して

$$F = mg \tag{2.6}$$

である．g は重力加速度と呼ばれ，g =9.8 [m/s^2] である．



万有引力の法則は，どこまで正しいか

空間3次元（4次元時空）なら

$$F = G\frac{Mm}{r^2}$$

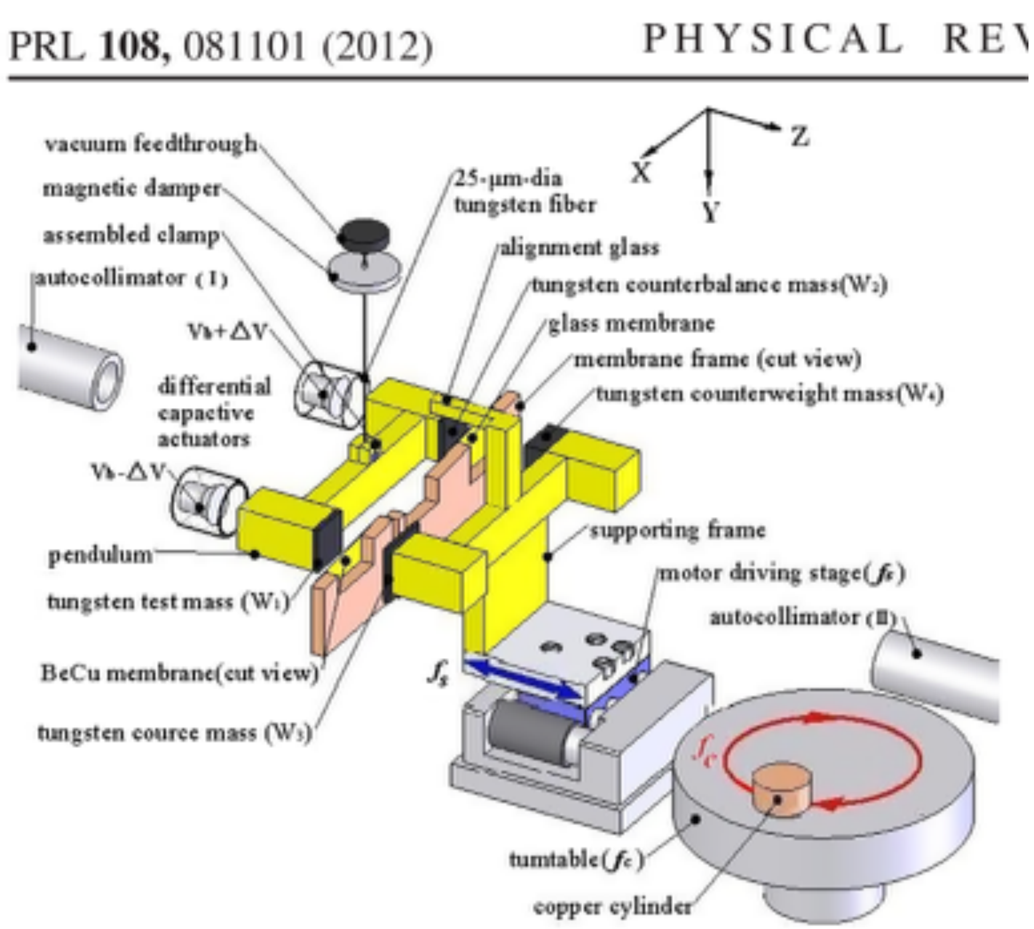
$$U = -G\frac{Mm}{r}$$

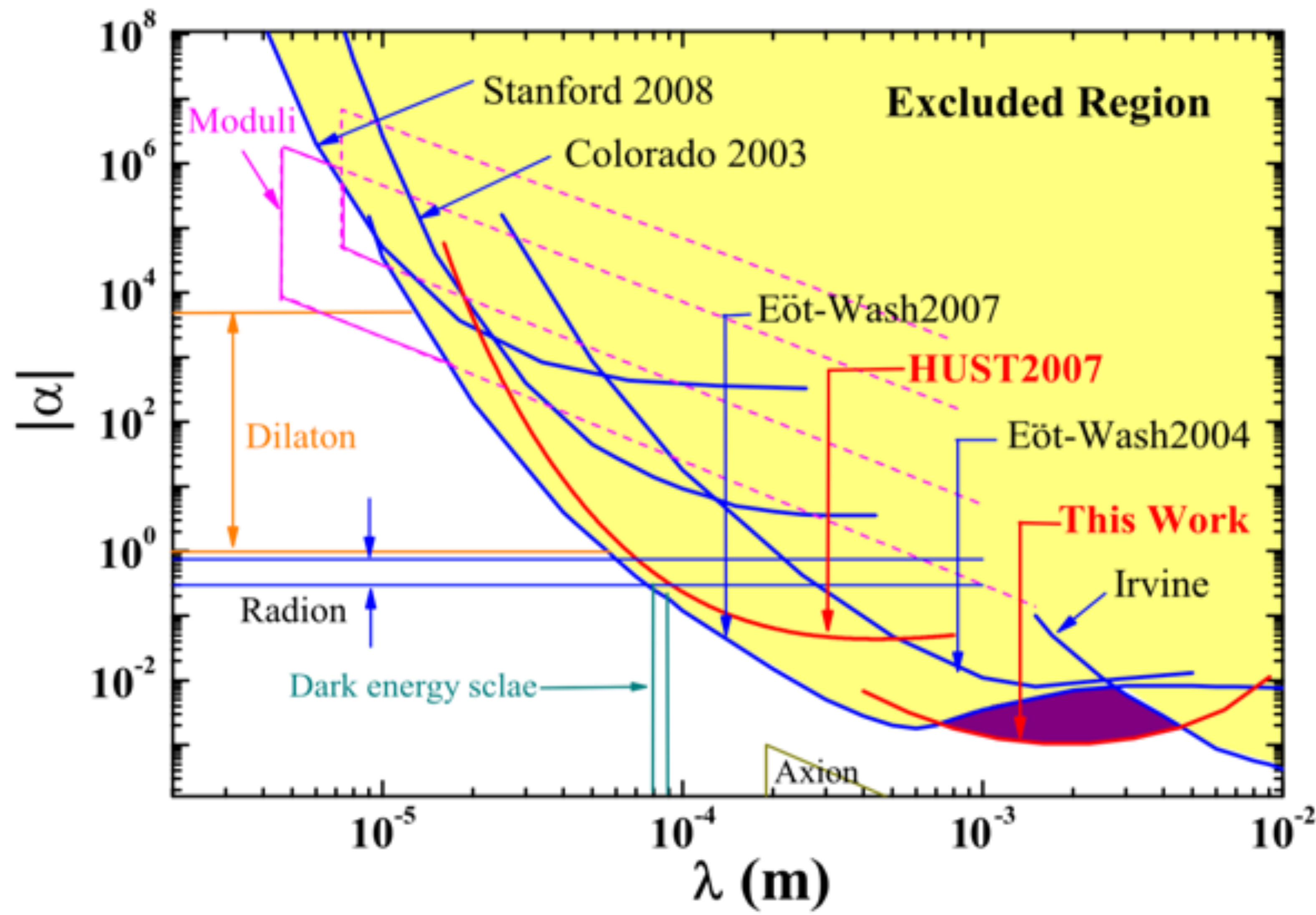
空間4次元（5次元時空）なら

$$F = G\frac{Mm}{r^3}$$

$$U = -G_5\frac{Mm}{r^2}$$

$$U = -G\frac{Mm}{r}(1+\alpha e^{-r/\lambda})$$





ケプラーの惑星運動の法則をめぐって

天文文化研究とは???
ケプラーの惑星運動の法則.
アジアにどう伝えられたか.
日本で独自に発見されていた!?

天文学・物理学の受容

中国

春秋戦国時代：置閏法，連大配置法の暦

漢代：蓋天説，渾天説の宇宙論（論天説）

元：イスラム・アラビアの科学技術が伝わり，天体観測技術の水準が上がる

1281-1644（元・明）：授時暦
1太陽年=365.2425日，
1朔望月=29.530593日

★天動説，ティコ・ブラーエの説

1620？『崇禎暦書』すうていれきしょ

『暦算全書』

1645『西洋新法暦書』

1645-1911（清）：時憲暦
ドイツの宣教師アダム・シャール
中国最後の太陰暦（いわゆる旧暦）

1675『天経或問てんけいわくもん』

1680　日本に輸入され広まる
1730『天経或問』訓点本，
西川正休

1723，1738『暦象考成』上下編
『五星本天皆以地為心』
ティコ・ブラーエの観測値

★ケプラー，楕円軌道・不等速運動説
（地動説含まず）

1742『暦象考成後編』宣教師ケーグラー
ニュートンの歳実

1792

司馬江漢
1793『地球全図略説』
1796「和蘭天説」地動説に触れる
1808『刻白爾天文図解』地動説を紹介

山片蟠桃
1805？『夢の代』

日本

862（貞観4）：宣明暦（せんみょうれき）

1639（寛永16）：鎖国

1643：宣教師キアラ(G.Chiara) 天文書持ち込む

C.Ferreira （沢野忠庵）・向井元升『乾坤弁説』
アリストテレスの4元素説を中国流の陰陽五行説で批評
地が円くて天の中央にあることを肯定

1685（貞享2）：貞享暦（じょうきょうれき），渋川春海

徳川吉宗，禁書令の緩和，西洋天文学を用いた改暦を指示
1733『暦算全書』翻訳，中根元圭

1755（宝暦5）：宝暦暦（ほうりゃくれき）
1763年の日食を外す．1771年修正宝暦暦．しかし，
閏月計算に不具合発生．

大坂暦学派

三浦梅園

麻田剛立 （1734-1799）
天文暦学研究，天体観測，消長法，『時中暦』
1786『実験録推歩法』，89? 奇法発見？
1797?『五星距地之奇法』

間　重富　1796？　天行方数諸曜帰一之理

高橋至時

1798（寛政10）：寛政暦
西洋天文学を取り入れた暦．
1802『新修五星法図説』
1804『ラランデ暦書管見』

1803

伊能忠敬
ガリレオ衛星の食観測

渋川景佑　1822『新修五星法』
高橋景保　『新巧暦書』

帆足萬里　1836『窮理通』

1844（天保15）：天保暦
日本最後の太陰暦（いわゆる旧暦）
渋川景佑　1846『新法暦書続編』

1873（明治6）：太陽暦・グレゴリオ暦

長崎天文学派

本木良永 (1735-1794)
訳語として惑星・視差・近点・遠点など
1774『天地二球用法』
1792『星術本原太陽窮理了解新制天地二球用法記』

志筑忠雄 (1760-1806)　訳語として遠心力など
1798，1802『暦象新書』
巻末に『混沌分判図説』独自の太陽系起源説
ラプラス・カントの星雲説(1796)とほぼ同時

ヨーロッパ

1543：コペルニクス
『天球の回転について』

1609：ケプラー『新天文学』

1619：ケプラー『世界の調和』

1632：ガリレイ『天文対話』地動説擁護

1687：ニュートン
『自然哲学の数学的諸原理』
（プリンキピア）

コペルニクスの太陽系説

Newton力学
Kepler 3法則

W.J.Blaeu著
Tweevoudig onderwijs van de hemelse en adressen globen
1666

J.Keill 著 J. Lulofs蘭訳
Inleiding tot de ware Natuur en Sterrenkunde
1741

B. Martin 著 I.Tirion蘭訳
Natuurkunde
1744

G.Adams 著 J. Ploos蘭訳
Gronden der Starrenkunde
1770

J-J. L. de Lalande著 (A.B. Strabbe蘭訳)
Astronomia of Sterrkunde
1773-80

中東

BC45：ユリウス暦，
カエサル
1太陽年=365.25日

622：ヒジュラ暦
1年=354日

1587：グレゴリオ暦，
グレゴリウス13世
1太陽年=365.2425日

天文学・物理学の受容

中国

春秋戦国時代：置閏法，連大配置法の暦

漢代：蓋天説，渾天説の宇宙論（論天説）

元：イスラム・アラビアの科学技術が伝わり，天体観測技術の水準が上がる

1281-1644（元・明）：授時暦

1太陽年=365.2425日，
1朔望月=29.530593日

★天動説，ティコ・ブラーエの説

1620？『崇禎暦書』すうていれきしょ

『暦算全書』

1645『西洋新法暦書』

1645-1911（清）：時憲暦
ドイツの宣教師アダム・シャール
中国最後の太陰暦（いわゆる旧暦）

1675『天経或問てんけいわくもん』 — 1680　日本に輸入され広まる
1730『天経或問』訓点本，
西川正休

1723，1738『暦象考成』上下編

『五星本天皆以地為心』
ティコ・ブラーエの観測値

★ケプラー，楕円軌道・不等速運動説
（地動説含まず）

1742『暦象考成後編』宣教師ケーグラー
ニュートンの歳実

日本

862（貞観4）：宣明暦（せんみょうれき）

1639（寛永16）：鎖国

1643：宣教師キアラ(G.Chiara) 天文書持ち込む

C.Ferreira （沢野忠庵）・向井元升『乾坤弁説』
アリストテレスの4元素説を中国流の陰陽五行説で批評
地が円くて天の中央にあることを肯定

1685（貞享2）：貞享暦（じょうきょうれき），渋川春海

徳川吉宗，禁書令の緩和，西洋天文学を用いた改暦を指示
1733『暦算全書』翻訳，中根元圭

1755（宝暦5）：宝暦暦（ほうりゃくれき）
1763年の日食を外す．1771年修正宝暦暦．しかし，
閏月計算に不具合発生．

大坂暦学派

三浦梅園

麻田剛立 (1734-1799)
天文暦学研究，天体観測，消長法，『時中暦』
1786『実験録推歩法』，89? 奇法発見？ (1792)
1797?『五星距地之奇法』

間　重富　1796？　天行方数諸曜帰一之理

高橋至時

1798（寛政10）：寛政暦
西洋天文学を取り入れた暦．
1802『新修五星法図説』
1804『ラランデ暦書管見』 (1803)

伊能忠敬
ガリレオ衛星の食観測

司馬江漢
1793『地球全図略説』

長崎天文学派

本木良永 (1735-1794)　訳語
近点
1774『天地二球用法』
1792『星術本原太陽窮理了解新

志筑忠雄 (1760-1806)　訳
1798，1802『暦象新書』
巻末に『混沌分判図説』独自の
ラプラス・カントの星雲説(179

1543：コペ
『天球の

1609：ケプ

1619：ケプ

1632：ガリ

1687：ニュ
『自然哲
（プリン

1太陽年=365.2425日,
1朔望月=29.530593日

★天動説，ティコ・ブラーエの説

1620？『崇禎暦書』すうていれきしょ

『暦算全書』

1645『西洋新法暦書』

1645-1911（清）：時憲暦
ドイツの宣教師アダム・シャール
中国最後の太陰暦（いわゆる旧暦）

1675『天経或問てんけいわくもん』

1680　日本に輸入され広まる
1730『天経或問』訓点本，
西川正休

1723，1738『暦象考成』上下編
『五星本天皆以地為心』
ティコ・ブラーエの観測値

★ケプラー，楕円軌道・不等速運動説
（地動説含まず）

1742『暦象考成後編』宣教師ケーグラー
ニュートンの歳実

1792

1643：宣教師キアラ(G.Chiara) 天文書持ち込む

C.Ferreira （沢野忠庵）・向井元升『乾坤弁説』
アリストテレスの4元素説を中国流の陰陽五行説で批評
地が円くて天の中央にあることを肯定

1685（貞享2）：貞享暦（じょうきょうれき），渋川春海

徳川吉宗，禁書令の緩和，西洋天文学を用いた改暦を指示
1733『暦算全書』翻訳，中根元圭

1755（宝暦5）：宝暦暦（ほうりゃくれき）
1763年の日食を外す．1771年修正宝暦暦．しかし，
閏月計算に不具合発生．

大坂暦学派

三浦梅園

麻田剛立　(1734-1799)
天文暦学研究，天体観測，消長法，『時中暦』
1786『実験録推歩法』，89? 奇法発見？
1797?『五星距地之奇法』

間　重富　1796？　天行方数諸曜帰一之理

高橋至時

1798（寛政10）：寛政暦
西洋天文学を取り入れた暦．
1802『新修五星法図説』
1804『ラランデ暦書管見』

1803

伊能忠敬
ガリレオ衛星の食観測

長崎天文学派

本木良永 (1735-1794)
1774『天地二球用法』
1792『星術本原太陽窮理了解新

志筑忠雄 (1760-1806)
1798，1802『暦象新書』
巻末に『混沌分判図説』独自の
ラプラス・カントの星雲説(17

訳
近

1609：
1619：ケ
1632：ガ

1687：ニ
『自然
（プリン

司馬江漢
1793『地球全図略説』
1796「和蘭天説」地動説に触れる
1808『刻白爾天文図解』地動説を紹介

山片蟠桃
1805？『夢の代』

渋川景佑　1822『新修五星法』
高橋景保　『新巧暦書』

帆足萬里　1836『窮理通』

1844（天保15）：天保暦
日本最後の太陰暦（いわゆる旧暦）
渋川景佑　1846『新法暦書続編』

1873（明治6）：太陽暦・グレゴリオ暦

天文学・物理学の受容

日本

862（貞観4）：宣明暦（せんみょうれき）

がる

1639（寛永16）：鎖国

1643：宣教師キアラ(G.Chiara) 天文書持ち込む

C.Ferreira （沢野忠庵）・向井元升『乾坤弁説』
アリストテレスの4元素説を中国流の陰陽五行説で批評
地が円くて天の中央にあることを肯定

1685（貞享2）：貞享暦（じょうきょうれき），渋川春海

徳川吉宗，禁書令の緩和，西洋天文学を用いた改暦を指示
1733『暦算全書』翻訳，中根元圭

広まる
本，

1755（宝暦5）：宝暦暦（ほうりゃくれき）
1763年の日食を外す．1771年修正宝暦暦．しかし，
閏月計算に不具合発生．

大坂暦学派

三浦梅園

麻田剛立 （1734-1799）
天文暦学研究，天体観測，消長法，『時中暦』
1786『実験録推歩法』，89? 奇法発見？
1797?『五星距地之奇法』

間 重富 1796？ 天行方数諸曜帰一之理

高橋至時

1798（寛政10）：寛政暦
西洋天文学を取り入れた暦．
1802『新修五星法図説』
1804『ラランデ暦書管見』 1803

伊能忠敬
ガリレオ衛星の食観測

触れる
動説を紹介

渋川景佑 1822『新修五星法』

長崎天文学派

本木良永 (1735-1794)
訳語として惑星・視差・近点・遠点など
1774『天地二球用法』
1792『星術本原太陽窮理了解新制天地二球用法記』

志筑忠雄 (1760-1806) 訳語として遠心力など
1798，1802『暦象新書』
巻末に『混沌分判図説』独自の太陽系起源説
ラプラス・カントの星雲説(1796)とほぼ同時

ヨーロッパ

1543：コペルニクス
『天球の回転について』

1609：ケプラー『新天文学』

1619：ケプラー『世界の調和』

1632：ガリレイ『天文対話』地動説擁護

1687：ニュートン
『自然哲学の数学的諸原理』
（プリンキピア）

コペルニクスの太陽系説

Newton力学
Kepler 3法則

W.J.Blaeu著
Tweevoudig onderwijs van de hemelse en adressen globen
1666

J.Keill 著 J. Lulofs蘭訳
Inleiding tot de ware Natuur en Sterrenkunde
1741

B. Martin 著 I.Tirion蘭訳
Natuurkunde
1744

G.Adams 著 J. Ploos蘭訳
Gronden der Starrenkunde
1770

J-J. L. de Lalande著 (A.B. Strabbe蘭訳)
Astronomia of Sterrkunde
1773-80

BC45：ユリウス暦，
カエサル
1太陽年=365.25日

1587：グレゴリオ暦，
グレゴリウス13世
1太陽年=365.2425日

中東

622：ヒジュラ暦
1年=354日

徳川吉宗，禁書令の緩和，西洋天文学を用いた改暦を指示

1733『暦算全書』翻訳，中根元圭

1680　日本に輸入され広まる

1730『天経或問』訓点本，
西川正休

1755（宝暦5）：宝暦暦（ほうりゃくれき）
1763年の日食を外す．1771年修正宝暦暦．しかし，
閏月計算に不具合発生．

コペルニクスの太陽系説

大坂暦学派

三浦梅園

麻田剛立　(1734-1799)
天文暦学研究，天体観測，消長法，『時中暦』
1792
1786『実験録推歩法』，89? 奇法発見？
1797?『五星距地之奇法』
間　重富　1796？　天行方数諸曜帰一之理
高橋至時

1798（寛政10）：寛政暦
西洋天文学を取り入れた暦．
1802『新修五星法図説』
1804『ラランデ暦書管見』
1803

伊能忠敬
ガリレオ衛星の食観測

長崎天文学派

本木良永 (1735-1794)
訳語として惑星・視差・近点・遠点など
1774『天地二球用法』
1792『星術本原太陽窮理了解新制天地二球用法記』
志筑忠雄 (1760-1806)　訳語として遠心力など
1798，1802『暦象新書』
巻末に『混沌分判図説』独自の太陽系起源説
ラプラス・カントの星雲説(1796)とほぼ同時

Newton
Kepler 3

漢
3『地球全図略説』
「和蘭天説」地動説に触れる
『刻白爾天文図解』地動説を紹介

播桃
5？『夢の代』

渋川景佑　1822『新修五星法』
高橋景保　『新巧暦書』

帆足萬里　1836『窮理通』

1844（天保15）：天保暦
日本最後の太陰暦（いわゆる旧暦）

渋川景佑　1846『新法暦書続編』

1873（明治6）：太陽暦・グレゴリオ暦

1太陽年=365.2425日,
1朔望月=29.530593日

★天動説，ティコ・ブラーエの説

1620？『崇禎暦書』すうていれきしょ

『暦算全書』

1645『西洋新法暦書』

1645-1911（清）：時憲暦
ドイツの宣教師アダム・シャール
中国最後の太陰暦（いわゆる旧暦）

1675『天経或問てんけいわくもん』

1680　日本に輸入され広まる
1730『天経或問』訓点本，
西川正休

1723，1738『暦象考成』上下編
『五星本天皆以地為心』
ティコ・ブラーエの観測値

★ケプラー，楕円軌道・不等速運動説
（地動説含まず）

1742『暦象考成後編』宣教師ケーグラー
ニュートンの歳実

1792

1643：宣教師キアラ(G.Chiara) 天文書持ち込む

C.Ferreira（沢野忠庵）・向井元升『乾坤弁説』
アリストテレスの4元素説を中国流の陰陽五行説で批評
地が円くて天の中央にあることを肯定

1685（貞享2）：貞享暦（じょうきょうれき），渋川春海

徳川吉宗，禁書令の緩和，西洋天文学を用いた改暦を指示
1733『暦算全書』翻訳，中根元圭

1755（宝暦5）：宝暦暦（ほうりゃくれき）
1763年の日食を外す．1771年修正宝暦暦．しかし，
閏月計算に不具合発生．

大坂暦学派

三浦梅園

麻田剛立（1734-1799）
天文暦学研究，天体観測，消長法，『時中暦』
1786『実験録推歩法』，89? 奇法発見？
1797?『五星距地之奇法』

間　重富　1796？　天行方数諸曜帰一之理

高橋至時

1798（寛政10）：寛政暦
西洋天文学を取り入れた暦．
1802『新修五星法図説』
1804『ラランデ暦書管見』
1803

伊能忠敬
ガリレオ衛星の食観測

司馬江漢
1793『地球全図略説』
1796「和蘭天説」地動説に触れる
1808『刻白爾天文図解』地動説を紹介

山片蟠桃
1805？『夢の代』

渋川景佑　1822『新修五星法』
高橋景保　『新巧暦書』

帆足萬里　1836『窮理通』

1844（天保15）：天保暦
日本最後の太陰暦（いわゆる旧暦）

渋川景佑　1846『新法暦書続編』

1873（明治6）：太陽暦・グレゴリオ暦

1609：ケ
1619：ケ
1632：ガ
1687：ニ
『自然哲
（プリン

長崎天文学派

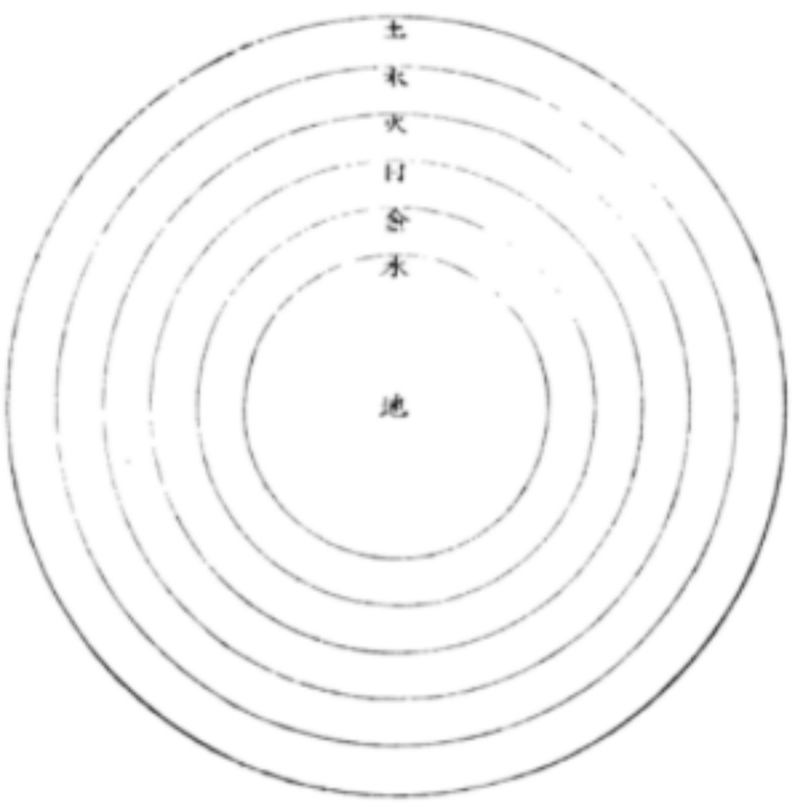
本木良永 (1735-1794)　訳
近
1774『天地二球用法』
1792『星術本原太陽窮理了解新

志筑忠雄 (1760-1806)　訳
1798，1802『暦象新書』
巻末に『混沌分判図説』独自の
ラプラス・カントの星雲説(17

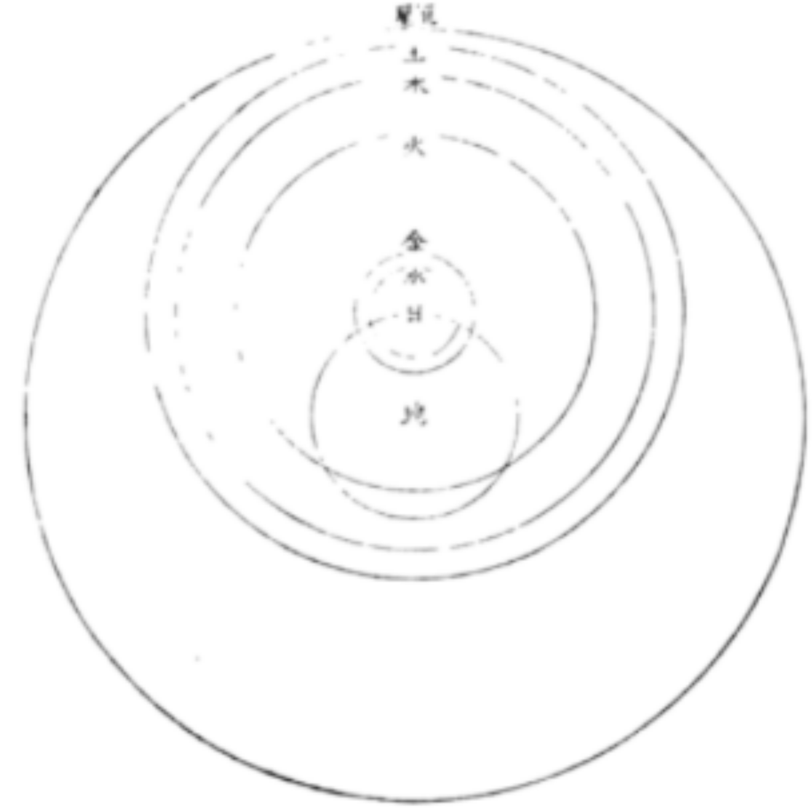
五星本天皆以地爲心

新法曆書言五星古圖以地爲心新圖以日爲心及觀西人第谷推步均數土木金水四星仍以地爲心惟火星以日爲心嘗推火星亦以地爲心立算其得數與彼相同乃知第谷之推步火星不過虛立巧算之法非眞謂火星天獨以日爲心也然則新法曆書之新圖五星皆以日爲心者何也蓋金水二星以日爲心者乃其本輪非本天也土木火三星以日爲心者乃次輪上星行距日之跡亦非本天也土木火三星之次輪半徑最大與日天半徑畧等星距次輪最遠之度又與次輪心距日之度等以星行距日之跡觀之卽成大圜而爲繞日之形其理與日躔連本輪行度成不同心天者相似然星之自行又有高卑其距日不無遠近謂其成繞日之形則可謂其成不同心天則不可也雖曆家巧算之術以次輪設於本天與以次輪設於地心成不同心天者理本相通然必次輪半徑與日距地半徑等方可以日爲心作不同心天立算今土木二星之次輪半徑有定數而日距

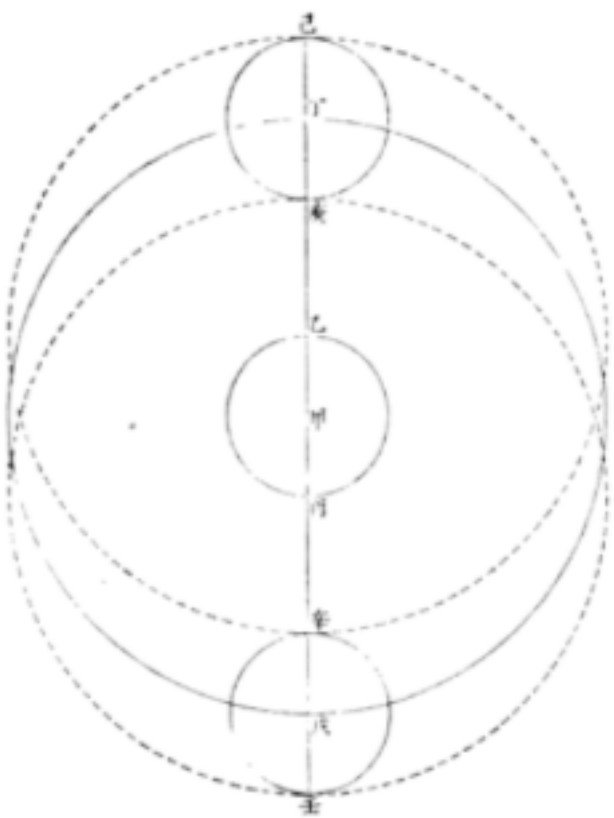
地則有高卑。火星次輪半徑雖有太陽高卑差。而又有本天高卑差。終與日距地半徑不等。則與其設次輪於地心。不如設次輪於本天之爲便也。由是觀之。五星之本天皆以地爲心可知矣。新法曆書又言舊說有謂七政之左旋非七政之行。乃地自西徂東。日行一周。治曆之家。以爲非理。故無取焉。而近日又有復理其說者。殆欲以地之東行。而齊諸曜之各行耳。究之諸曜之行終不能齊。何若以一靜而驗諸動之易明乎。



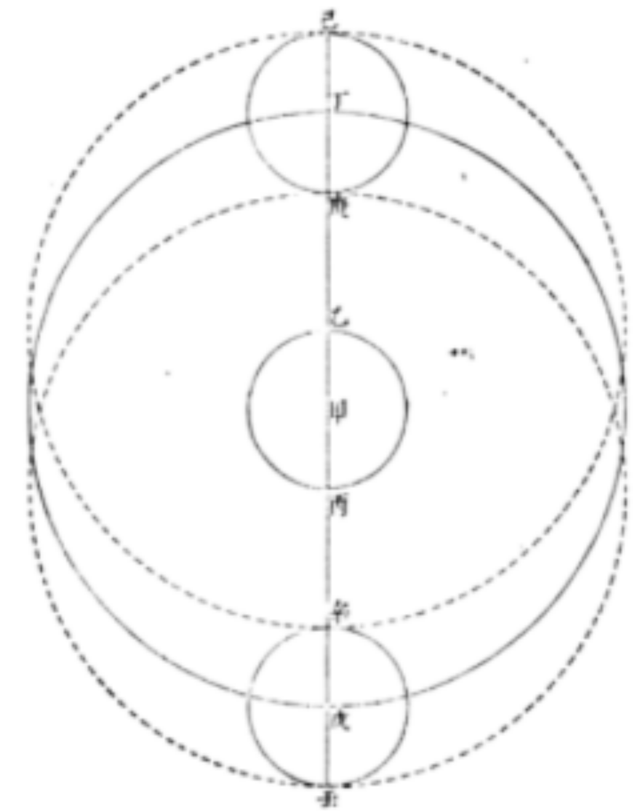
古圖。五星各有本天。重重包裹。土木火三星常在日上。名爲上三星。金水常在日下。名爲下二星。今考五星。惟土木二星常在日上。火金水三星。能在日上。亦能在日下。則重重包裹之說。特其大槩耳。此古圖不如新圖之密也。



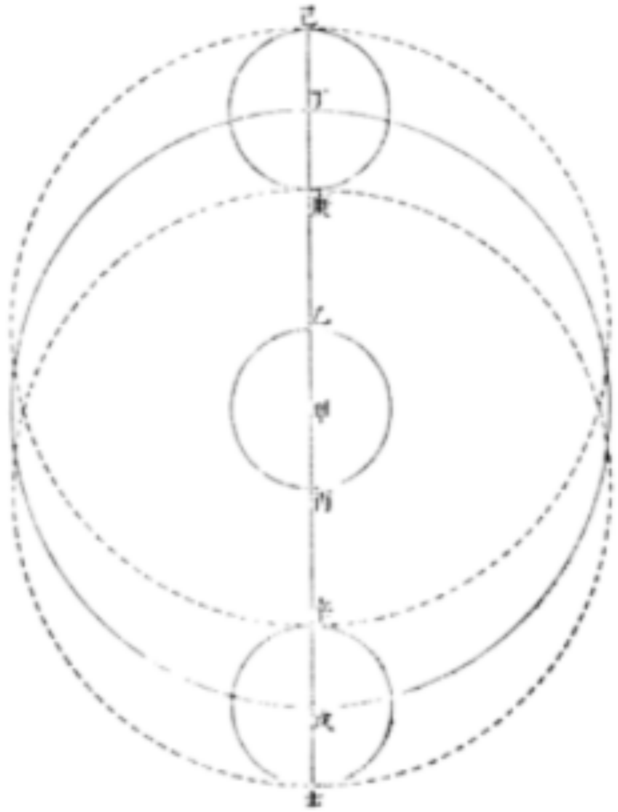
新圖。五星皆以日爲心。土木二星圈甚大。包日天之外。故常在日上。火星圈亦大。但不能包日天而割入日天之內。故有時在日之下。金水二星圈甚小。不惟不能包日天。併不能包地。故不能衝日。然金水之本天即日天。此圖日者。乃其



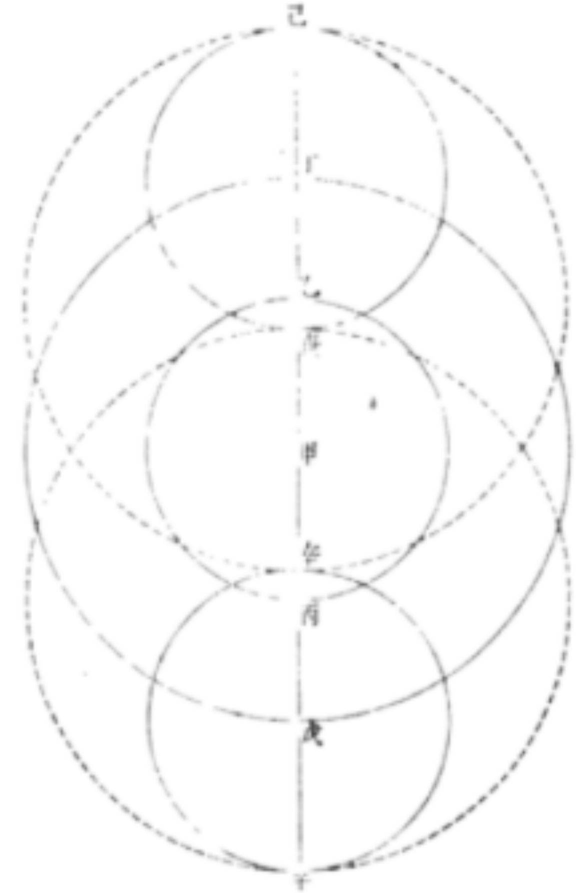
本輪也。土木火亦各有本天。此圜日者。乃次輪上星行距日之跡也。下圖詳之。土木二星之本天大。次輪小。土星次輪半徑爲本天半徑十分之一強。木星本天次輪半徑爲本天半徑十分之二弱。如圖。甲爲地心。乙丙爲日本天。丁戊爲星本天。己庚與辛壬皆爲次輪。如日在乙。次輪



心在丁。星在己。日行至丙。星亦行至庚。庚丙之相距。與己乙之相距等也。或日在丙。次輪心在戊。星在壬。日行至乙。星亦行至辛。辛乙之相距。與壬丙之相距等也。星之距日。旣隨在皆相等。則連其軌迹。卽成圜日之形矣。試用己乙之距



爲半徑作圈。卽成己辛圈。爲星行軌迹所到。而以乙日爲心。或用庚丙之距爲半徑作圈。卽成庚壬圈。亦爲星行軌迹所到。而亦以丙日爲心也。雖各星自行亦有高卑。其距日不無遠近之差。要不能改其圜日之大致耳。



火星之本天小於土木二星之本天。而次輪則大。火星次輪半徑。爲本天半徑十分之六強。如圖。甲爲地心。乙丙爲日本天。丁戊爲星本天。己庚與辛壬皆爲次輪。己辛圈以乙日爲心。庚壬圈以丙日爲心。皆爲次輪上星行軌迹所到。悉與土木二星同。但其次輪甚大。割入日天之內。星行至此。即在日之下也。

ケプラーの惑星運動の法則をめぐって

天文文化研究とは???
ケプラーの惑星運動の法則.
アジアにどう伝えられたか.
日本で独自に発見されていた!?

http://www.goryu.jp/aboutasada.htm

麻田剛立 - Goryu Asada

その天文学者、じつに和洋折衷（ハイカラ・ジャパネスク）

Who is 麻田剛立(あさだごうりゅう)

地動説を唱え「それでも地球は回っている」と言ったガリレオから130年、豊後の国杵築藩で「太陽が再び欠ける」と、当時の暦にない皆既日食を予測した日本人が居ました。麻田剛立。後に日本の暦を近代化する事となる天文学者です。

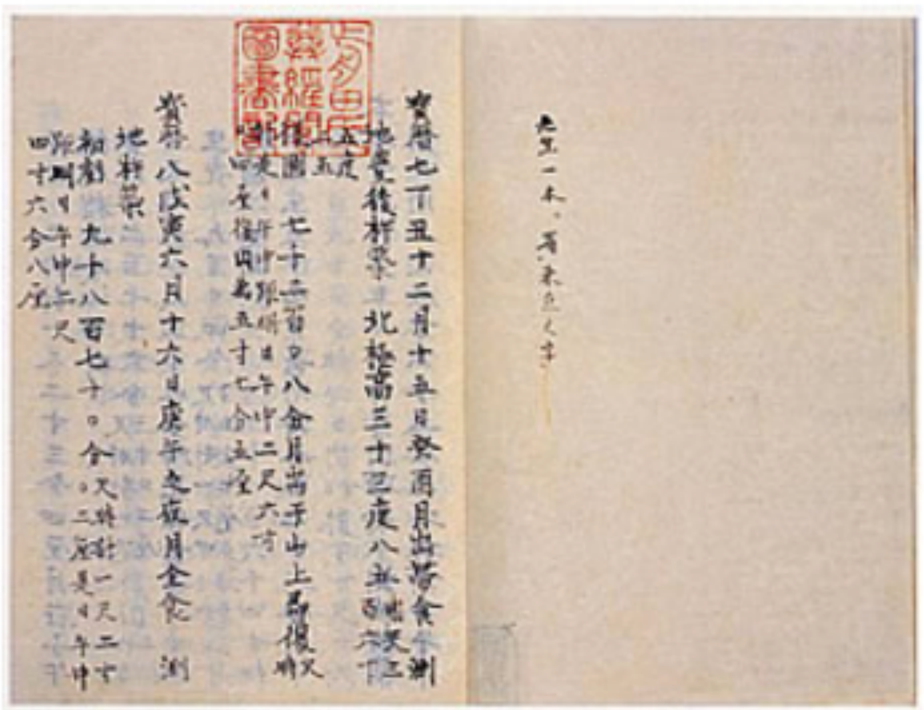
習わしや言い伝えが根強く残る侍たちの時代にあって、剛立はひたすらに天を仰ぎ続け、観測結果、すなわち事実を重んじました。

事実に基づいて日にちを刻み、今では常識となった天体の法則を導き出し、それまで日本人が見たこともなかった月のクレーターをも見いだしました。
剛立は、舶来の反射望遠鏡や西洋の理論を上手に用いて、自らの考えを確認していったといいます。

その数々の功績は後世に認められ、今では月面クレーターの一つに「クレーター・アサダ」という名前がつけられています。アインシュタインやケプラーといった大科学者たちと同じように、です。
また、伊能忠敬は麻田剛立の天体観測技術を使うことで、高度な測量を行うことができました。

http://www.goryu.jp/aboutasada.htm

杵築市北台の町並み



麻田家両食実測

日本最古の月面観測図

反射望遠鏡

青銅製の渾天儀

象限儀

あやべ　やすあき

麻田剛立（綾部妥彰）

(1734-1799)

1772年大坂へ出て改名
天文私塾「先事館」

山本彦九郎　　**紙屋九右衛門**

(?-?)天体観測器　　(?-?)屈折望遠鏡

1782年入門

間　重富

(1756-1816)
天文暦学書

高橋至時

(1764-1804)
暦の数値計算

『ラランデ暦書管見』

1797年
寛政暦

伊能忠敬

(1745-1818)

麻田剛立は，ケプラーの第3法則を独自に発見していた？

根拠とされる文献

- 『五星距地之奇法 (1796–98 頃?)』（図 5 に全文掲載）．麻田が著したと考えられるものを麻田の門人である西村太沖[14] による写本と考えられている．
- 『新修五星法図説 (1802)』麻田の門人である高橋至時による著の一部（図 5〔右〕の解説文中にあり）．同じ記載が『新修五星法 (1822)』渋川景佑[15] による著の一部（図 6）にもある．
- 『ラランデ暦書管見 (1804)』高橋至時
- 『星学続稿』5 の 1224 章，間重富
- 『寛政暦書続録』巻 3，渋川景佑

1太陽年=365.2425日,
1朔望月=29.530593日

★天動説，ティコ・ブラーエの説

1620？『崇禎暦書』すうていれきしょ

『暦算全書』

1645『西洋新法暦書』

1645-1911（清）：時憲暦
ドイツの宣教師アダム・シャール
中国最後の太陰暦（いわゆる旧暦）

1675『天経或問てんけいわくもん』

1680　日本に輸入され広まる
1730『天経或問』訓点本,
西川正休

1723, 1738『暦象考成』上下編
『五星本天皆以地為心』
ティコ・ブラーエの観測値

★ケプラー，楕円軌道・不等速運動説
（地動説含まず）

1742『暦象考成後編』宣教師ケーグラー
ニュートンの歳実

1792

1643：宣教師キアラ(G.Chiara) 天文書持ち込む

C.Ferreira （沢野忠庵）・向井元升『乾坤弁説』
アリストテレスの4元素説を中国流の陰陽五行説で批評
地が円くて天の中央にあることを肯定

1685（貞享2）：貞享暦（じょうきょうれき），渋川春海

徳川吉宗，禁書令の緩和，西洋天文学を用いた改暦を指示
1733『暦算全書』翻訳，中根元圭

1755（宝暦5）：宝暦暦（ほうりゃくれき）
1763年の日食を外す．1771年修正宝暦暦．しかし，
閏月計算に不具合発生．

大坂暦学派

三浦梅園

麻田剛立 （1734-1799）
天文暦学研究，天体観測，消長法，『時中暦』
1786『実験録推歩法』，89? 奇法発見？
1797?『五星距地之奇法』

間 重富 1796？ 天行方数諸曜帰 之理

高橋至時

1798（寛政10）：寛政暦
西洋天文学を取り入れた暦．
1802『新修五星法図説』
1804『ラランデ暦書管見』

1803

伊能忠敬
ガリレオ衛星の食観測

司馬江漢
1793『地球全図略説』
1796「和蘭天説」地動説に触れる
1808『刻白爾天文図解』地動説を紹介

山片蟠桃
1805？『夢の代』

渋川景佑 1822『新修五星法』
高橋景保 『新巧暦書』

帆足萬里 1836『窮理通』

1844（天保15）：天保暦
日本最後の太陰暦（いわゆる旧暦）
渋川景佑 1846『新法暦書続編』

1873（明治6）：太陽暦・グレゴリオ暦

1609：ケ
1619：ケ
1632：ガ

1687：ニ
『自然哲
（プリン

長崎天文学派

本木良永 (1735-1794)
訳
近
1774『天地二球用法』
1792『星術本原太陽窮理了解新
志筑忠雄 (1760-1806) 訳
1798, 1802『暦象新書』
巻末に『混沌分判図説』独自の
ラプラス・カントの星雲説(17

五星距地之奇法（麻田剛立著？1797?　西村太沖蔵）

五星距地之奇法

諸曜ノ運行地ヲ距ルハ地動ノ説ニ由レハ即チ日ヲ距ル也遠近ニ依テ其行ノ遅速齊シカラサル猶垂球ノ長短ニ依テ其往来齊シカラサルカ如シ夫ノ垂球往来ノ比例ヲナス長球往来ノ方数ト短球往来ノ方数トハ短球ノ尺ト長球ノ尺トノ如シ蓋シ諸曜ノ運行ハ猶球ノ往来ノ如ク地ヲ距ル遠近ハ猶垂尺ノ如シ唯球ト天行ト氣質ノ同シカラサル故ニ其勢ヒ齊シカラサルニ似タリ然リト雖モ其往来運行ノ方数ヨリ變化シ遂ニ其準ヲナス（1オ）」ニ至テハ天行球行倶ニ同キ所ロアルカ如シ故ニ数ノ自乘開方ヨリ變化シ來ルモノハ皆著明ノ巨数ニシテ其数ノ実測ニ近キモノハ必ス真数トナリ未タ其真ヲ淂サルモノハ實測ト相離ル必ス遠シ紛々タル細数交リ出テ、祟リヲ真假ノ間ニナスノ類ニハ非ス蓋シ日ト五星ト倶ニ地ヲ心トシ地動ノ説ニ由レハ地ト五星倶ニ日ヲ心トストスル故其本天半径ヲ淂ル倶ニ一法ニヨル然シテ月ハ全ク地ニ属ス地動ノ説ニ由テ之ヲ観レハ月ノ地ヲ環行スル猶四小星ノ木星ヲ環行スルカ如シ（1ウ）」故ニ地トノ比例又自ラ一法トナル其開乘ノ易簡ニシテ最モ奇ナルモノハ木星ノ四小星

本星一周之年数．自乗之，立方開之，得本天半径

ニシクナシ然シテ月ハ一物ニシテ外ニ徴スヘキノ類ナシ故ニ開乘中其真数ヲ淂ルト云トモ法ノ杲シテ真ナルカ徹底シカタシ木星ノ四小星ノ如キ類ヲナスモノ四ニシテ其法ノ真假僅ニ徴スルニ足ルト雖モ其実測未タ密ナラサレハ亦確據トナシカタシ唯五星ト日トハ古今ノ実測略備リ其類亦多シ故ニ其法ノ必ス真ニシ（2オ）」テ実測ト其準ヲ淂ルモノヲ左ニ記スノミ

日一周天 地動ノ説ニ由レハ地一周天トス 為一

日本天半径 地動ノ説ニ由レハ地本天半径也 為一

或ハ水星ヲ用テ一トシ土星ヲ用テ一トスルモ其法皆同シ

土星一周天、日二十九周四二一七余、合伏ヨリ合伏ニ距ル日分秒ト日ノ平行トヲ用テ之ヲ淂ル下四星亦同シ 自乘之、立方開之、淂九五三〇四二、即本天半徑、次輪心地心ヲ距ル数ナリ地動ノ説ニヨレハ星日ヲ距ル数也（2ウ）」

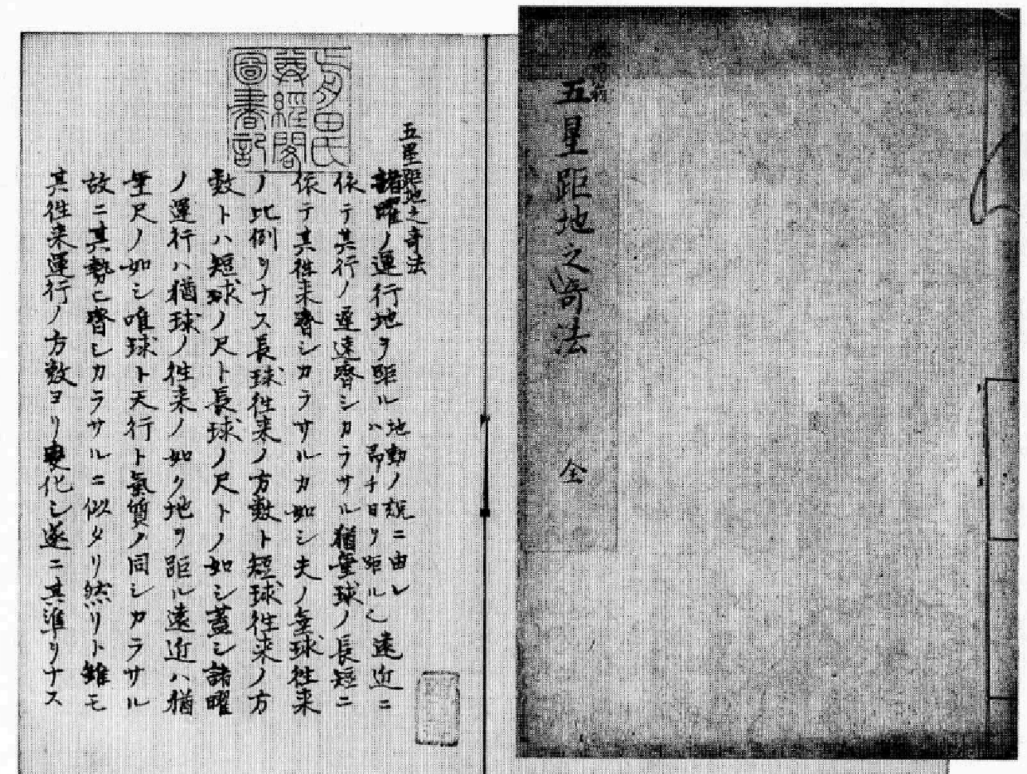
木星一周天、日一十一周八五六〇余、自乘之、方立開之、淂五一九九四七、即本天半径、

火星一周天、日一周八八〇七二余、自乘之、立方開之、淂一五二三六五、即本天半径、

金星一周天、日〇周 一周ニ満タス 六一五二一余、自乘之、立方開之、淂〇七二三三五、即本天半径、

水星一周天、日〇周 一周ニ満タス 二四〇八五余、自乘之、立方開之、淂〇三八七一一、即本天半径、

右ハ唯其法ヲ記スノミ細尾ノ数ヲ必トセス（3オ）」



一周之年数．自乗之，立方開之，得本天半径

　ドイツの天文学者ケプラーは、一六一九年、「惑星の公転周期の二乗は、太陽からの平均距離の三乗に比例する」とするいわゆる第三法則を発見した。麻田剛立は、この学説が日本に伝わる以前から、独自にその法則を発見していたと言われる。その根拠の一つが、剛立の門人高橋至時による「以五星一周日数及歳周求五星本天半径、置本星一周日数以歳周除之、得本星一周之年数、立方開之、得商、自乗之、得本星本天半径與日天半径比例数是麻田翁所創法」（『新修五星法図説』）との記述である。

　『五星距地之奇法』は、この「麻田翁所創法」の内容を今日に伝える唯一の書物であり、同じく剛立の門人である西村太沖による写本と考えられている。

大分県先哲叢書　麻田剛立資料集　より

1太陽年=365.2425日,
1朔望月=29.530593日

★天動説，ティコ・ブラーエの説

1620？『崇禎暦書』すうていれきしょ

『暦算全書』

1645『西洋新法暦書』

1645-1911（清）：時憲暦
ドイツの宣教師アダム・シャール
中国最後の太陰暦（いわゆる旧暦）

1675『天経或問てんけいわくもん』

1680　日本に輸入され広まる
1730『天経或問』訓点本,
西川正休

1723，1738『暦象考成』上下編
『五星本天皆以地為心』
ティコ・ブラーエの観測値

★ケプラー，楕円軌道・不等速運動説
（地動説含まず）

1742『暦象考成後編』宣教師ケーグラー
ニュートンの歳実

1643：宣教師キアラ(G.Chiara) 天文書持ち込む

C.Ferreira （沢野忠庵）・向井元升『乾坤弁説』
アリストテレスの4元素説を中国流の陰陽五行説で批評
地が円くて天の中央にあることを肯定

1685（貞享2）：貞享暦（じょうきょうれき），渋川春海

徳川吉宗，禁書令の緩和，西洋天文学を用いた改暦を指示
1733『暦算全書』翻訳，中根元圭

1755（宝暦5）：宝暦暦（ほうりゃくれき）
1763年の日食を外す．1771年修正宝暦暦．しかし，
閏月計算に不具合発生．

1609：ケ
1619：ケ
1632：ガ

1687：ニ
『自然哲
（プリン

大坂暦学派

三浦梅園

麻田剛立　(1734-1799)
天文暦学研究，天体観測，消長法，『時中暦』
1792
1786『実験録推歩法』，89? 奇法発見？
1797?『五星距地之奇法』
間　重富　1796？　天行方数諸曜帰一之理
高橋至時
1798（寛政10）：寛政暦
西洋天文学を取り入れた暦．
1802『新修五星法図説』
1803
1804『ラランデ暦書管見』

伊能忠敬
ガリレオ衛星の食観測

長崎天文学派

本木良永 (1735-1794)
訳
近
1774『天地二球用法』
1792『星術本原太陽窮理了解新
志筑忠雄 (1760-1806)
訳
1798，1802『暦象新書』
巻末に『混沌分判図説』独自の
ラプラス・カントの星雲説(17

司馬江漢
1793『地球全図略説』
1796「和蘭天説」地動説に触れる
1808『刻白爾天文図解』地動説を紹介

山片蟠桃
1805？『夢の代』

渋川景佑　1822『新修五星法』
高橋景保　『新巧暦書』

帆足萬里　1836『窮理通』

1844（天保15）：天保暦
日本最後の太陰暦（いわゆる旧暦）
渋川景佑　1846『新法暦書続編』

1873（明治6）：太陽暦・グレゴリオ暦

新修五星法 (渋川景佑, 1822)

新修五星法
五星圖說上　一

新修五星法附言

先考嘗與伊能忠敬書曰。凡測量家之可爲專要者。[illegible]致小。取大致小。一言足以盡萬理矣。若夫取[illegible]則難得精密。譬諸測器。刻象限儀或地平經儀之度分。先度半徑。取六十度。折半之爲三十度。又折半一十五度。又三除五度。又五歸爲一度。是爲割儀器度分之定法也。不若是則難得眞度分矣。亦撰曆法定諸曜之行度率。唯以自己生涯之實測。則借使長生。僅不過四五十年。輒因其測數。逮及數千萬年。以期得確數。猶儀器之割度分。先起於一度。至全

附言　二

水二星特不建本天。而水星獨行次輪心三倍引數。其軌蹟不爲圓形。而畧爲三角形。悟其法未盡善矣。逮寛政二年庚戌十二月。始得見和蘭曆法。其五星一周日數。皆多增於時憲曆法之數者。亦按其立法之意。有與時憲書異者。因覺五星之精法備于西洋。於是東西奔走。求見其書而不得矣。遂至六年甲寅。以天明二年壬寅天正冬至爲元。立金水次輪高卑差。設推金星又法。并推水星初均又法。以修正舊法。而依安彰之求五星本天半徑與日天半徑之比例法。及求五星次輪半徑通法。以考求太陽及五星本輪半徑通法。由是而悟五星本天半徑。當用其與日天半徑之比例數。遂論時憲曆法火星特立高卑差。他四星無其差。亦論定高卑差之理。反於視法。又得西書爲軒思可勒中土星帶輪圖。并土木二星附小星一周日數。及地動儀說。益搜求西書不已。故謂夫實測粗。則曆法亦隨疎。見漢土古曆法及測數足以證焉。實測密。則曆法亦隨精。見西洋之推測亦足以證焉。七年乙卯初夏蒙

求五星本天半徑說

求五星本天半徑者。先定五星距節氣一周之日數。予以所親測。與第谷之測。比校推算。而所得者。爲土星一萬〇七百五十〇日〇四〇七九八。木星四千三百三十〇日四三八五九。火星六百八十六日九二八三七八六七。金星二百二十四日六九五四。三三七四。水星八十七日九六八三四七〇一七六。其每日平行古分不同。比諸崇禎曆書及曆象考成所載。皆不同。而曆象考成所用。蓋係於多祿某之測。此第谷之新測也。則第谷所用亦不可知也。又五緯曆指中所載。與二百恒年表亦不合。意恒年表之數

求五星本天半徑說　三十八

或第谷門人等所改定矣。置本星一周天日數。以歲周三百六十五日二四二三五除之。爲本星一周之年數。立方。開之。得商自乘之。得本星本天半徑與日天半徑之比例數。是麻田安彰所創之法。爲土星九倍五三二七七四八。木星五倍一九九五六六五。火星一倍五二三六五六。金星〇七二三三九四。水星〇三八七一六

附言　三

徵。到于江戶。見西洋究理書載六曜一周日數及五星本天半徑與日天半徑之比例數。其數與安彰嘗所算定者畧等。又得和蘭曆法。并用表法。於是從地動說。改推金星又法。新書五星經度之圖。以立新法。但和蘭曆法金星遠心云者。是距太陽最遠之處。即最高點矣。而指其衝爲最高。曆象考成亦同。共以最卑爲最高。誤矣。仍新法改焉云爾。以與改曆之舉。姑舍其業。更採曆象考成後編法。撰修　官曆。而五星法以後編缺之。姑從其下編法矣。先考常憾焉。後得和蘭曆表一卷。以比校曆象考成上編七曜平行及五星一周日數。亦知西法之五星一周大於　官曆。十二年庚申春二月。得見西人陪斯瑪爾丁曾羅弗等究理書。天地二球用法及歇墨兒昆迭。試取比考其應用諸數。大同小異。而其書專以究理爲本。故特論星學之緊。不及步法之言。已又據崇禎曆書所載四大家之實測。及二百恒年表。求古今歲實七曜諸平行度率。與曆象考成上下二編所載之行度率比校。且恐如前法主地動說。則頗惹世人之疑惑。更据

載適相同。是百年以降之測數也。故比於第谷之測微異。又依前法求得者。皆合於此數。而其尾位微不合。因所用一周日數小異也。西書記五星一周之日數。乃爲土星一萬〇七百五十九日六時三十六分二十六秒。木星四千三百三十二日一十二時二十〇分二十五秒。火星六百八十六日二十三時二十七分三十秒。金星二百二十四日一十六時四十九分二十四秒。水星八十七日二十三時一十五分五十三秒。太陽三百六十五日六時〇九分三十秒。即恒星歲實也。

求五星本天半徑說　三十九

球書及倍斯所載共同。是亦係新測。而其數皆大於予之所定。因考之。西書所記。乃距恒星之一周也。予之所定。乃距節氣之一周也。故不相合耳。試用西書所載之五星一周數。欲依法求其五星本天半徑。其一周年數。皆有奇零。布算頗艱。故少變法。置恒星歲實化秒自乘之。立方開之。得商爲通法。又置本星一周化秒自

日本科学技術古典籍資料 天文学編2　より

麻田剛立は，ケプラーの第3法則を独自に発見していた？

根拠とされる文献

- 『五星距地之奇法 (1796–98 頃?)』（図 5 に全文掲載）. 麻田が著したと考えられるものを麻田の門人である西村太沖 [14] による写本と考えられている.
- 『新修五星法図説 (1802)』麻田の門人である高橋至時による著の一部（図 5〔右〕の解説文中にあり）. 同じ記載が『新修五星法 (1822)』渋川景佑 [15] による著の一部（図 6）にもある.
- 『ラランデ暦書管見 (1804)』高橋至時
- 『星学続稿』5 の 1224 章，間重富
- 『寛政暦書続録』巻 3，渋川景佑

麻田派の身内による文章のみ

本人は著作が少ない

同時期に蘭学書の翻訳すすむ

麻田剛立は，ケプラーの第3法則を独自に発見していた？

上原貞治

A.　麻田剛立が独自に法則を発見した.

麻田派の身内による文章のみ

本人は著作が少ない

同時期に蘭学書の翻訳すすむ

あるいは

B.　**中山 茂**　**渡辺敏夫**

1. 麻田剛立がなんらかの形で蘭学書あるいはその翻訳原稿に書かれたケプラーの第３法則を知った.
2. 麻田剛立がなんらかの形で蘭学書の内容を知り得て，アイデアを得た.
3. 麻田剛立がなんらかの形で蘭学書を見て，内容を理解できなかったが，数字からアイデアを得た.

麻田剛立は，ケプラーの第3法則を独自に発見していた？

上原貞治

A.　麻田剛立が独自に法則を発見した.

あるいは

B.　**中山 茂**　**渡辺敏夫**

1. 麻田剛立がなんらかの形で蘭学書あるいはその翻訳原稿に書かれたケプラーの第３法則を知った.
2. 麻田剛立がなんらかの形で蘭学書の内容を知り得て，アイデアを得た.
3. 麻田剛立がなんらかの形で蘭学書を見て，内容を理解できなかったが，数字からアイデアを得た.

真偽不明

麻田剛立は，ケプラーの第3法則を独自に発見していた？

根拠とされる文献

- 『五星距地之奇法 (1796–98 頃?)』（図 5 に全文掲載）．麻田が著したと考えられるものを麻田の門人である西村太沖 [14] による写本と考えられている．
- 『新修五星法図説 (1802)』麻田の門人である高橋至時による著の一部（図 5〔右〕の解説文中にあり）．同じ記載が『新修五星法 (1822)』渋川景佑 [15] による著の一部（図 6）にもある．
- 『ラランデ暦書管見 (1804)』高橋至時
- 『星学続稿』5 の 1224 章，間重富
- 『寛政暦書続録』巻 3，渋川景佑

麻田派の身内による文章のみ

本人は著作が少ない

同時期に蘭学書の翻訳すすむ

中山 [10] は，次のように記している．

> 志筑忠雄は寛政改暦以前にあって『暦象考成』を批判し，中国の水準をすでに抜いていたということができる．麻田一統が『暦象考成』を有難がって読んでいる間に，志筑忠雄はケイルをマスターした上で，『暦象考成』を批判できたのである．

天文学・物理学の受容

日本

862（貞観4）：宣明暦（せんみょうれき）

がる

1639（寛永16）：鎖国

1643：宣教師キアラ(G.Chiara) 天文書持ち込む

C.Ferreira （沢野忠庵）・向井元升『乾坤弁説』
アリストテレスの4元素説を中国流の陰陽五行説で批評
地が円くて天の中央にあることを肯定

1685（貞享2）：貞享暦（じょうきょうれき），渋川春海

徳川吉宗，禁書令の緩和，西洋天文学を用いた改暦を指示
1733『暦算全書』翻訳，中根元圭

広まる
本，

1755（宝暦5）：宝暦暦（ほうりゃくれき）
1763年の日食を外す．1771年修正宝暦暦．しかし，
閏月計算に不具合発生．

大坂暦学派

三浦梅園

麻田剛立 （1734-1799）
天文暦学研究，天体観測，消長法，『時中暦』
1786『実験録推歩法』，89? 奇法発見？
1797?『五星距地之奇法』

間　重富　1796？　天行方数諸曜帰一之理

高橋至時

1798（寛政10）：寛政暦
西洋天文学を取り入れた暦．
1802『新修五星法図説』
1804『ラランデ暦書管見』 1803

伊能忠敬
ガリレオ衛星の食観測

触れる
動説を紹介

渋川景佑　1822『新修五星法』

長崎天文学派

本木良永 (1735-1794)
訳語として惑星・視差・近点・遠点など
1774『天地二球用法』
1792『星術本原太陽窮理了解新制天地二球用法記』

志筑忠雄 (1760-1806)　訳語として遠心力など
1798，1802『暦象新書』
巻末に『混沌分判図説』独自の太陽系起源説
ラプラス・カントの星雲説(1796)とほぼ同時

コペルニクスの太陽系説

Newton力学
Kepler 3法則

ヨーロッパ

1543：コペルニクス
『天球の回転について』

1609：ケプラー『新天文学』

1619：ケプラー『世界の調和』

1632：ガリレイ『天文対話』地動説擁護

1687：ニュートン
『自然哲学の数学的諸原理』
（プリンキピア）

BC45：ユリウス暦，
カエサル
1太陽年=365.25日

1587：グレゴリオ暦，
グレゴリウス13世
1太陽年=365.2425日

W.J.Blaeu著
Tweevoudig onderwijs van de hemelse en adressen globen
1666

J.Keill 著 J. Lulofs蘭訳
Inleiding tot de ware Natuur en Sterrenkunde
1741

B. Martin 著 I.Tirion蘭訳
Natuurkunde
1744

G.Adams 著 J. Ploos蘭訳
Gronden der Starrenkunde
1770

J-J. L. de Lalande著 (A.B. Strabbe蘭訳)
Astronomia of Sterrkunde
1773-80

中東

622：ヒジュラ暦
1年=354日

J.Keill, An Introduction to Natural Philosophy (1745)

AN
INTRODUCTION
TO
Natural Philoſophy:
OR,
Philoſophical Lectures
Read in the
Univerſity of *Oxford*,
Anno Dom. 1700.

To which are Added,
The DEMONSTRATIONS of Monſieur HUYGENS's *Theorems*, concerning the Centrifugal Force and Circular Motion.

By JOHN KEILL M. D.
Savilian Profeſſor of Aſtronomy. *F. R. S.*

Tranſlated from the laſt Edition of the Latin.

THE FOURTH EDITION.

LONDON:
Printed for M. SENEX, W. INNYS, T. LONGMAN and T. SHEWELL. MDCCXLV.

p133

LAW I.

EVERY *Body will continue in its State of Reſt, or of moving uniformly in a right Line, except ſo far as it is compelled to change that State by Forces impreſſed.*

p140

LAW II.

THE *Change of Motion is always proportionable to the moving Force impreſſed, and is always made according to the right Line, in which that Force is impreſſed.*

p147

LAW III.

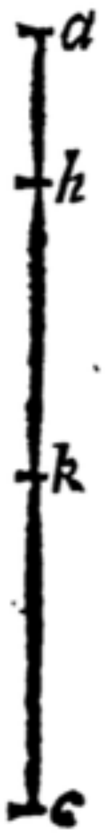
RE-ACTION *is always equal, and contrary to Action; or the Actions of two Bodies upon each other are always equal, and in contrary Directions. That is, by Action and Reaction equal Changes of Motion are produced in Bodies acting upon each other, and theſe Changes are impreſſed towards contrary Parts.*

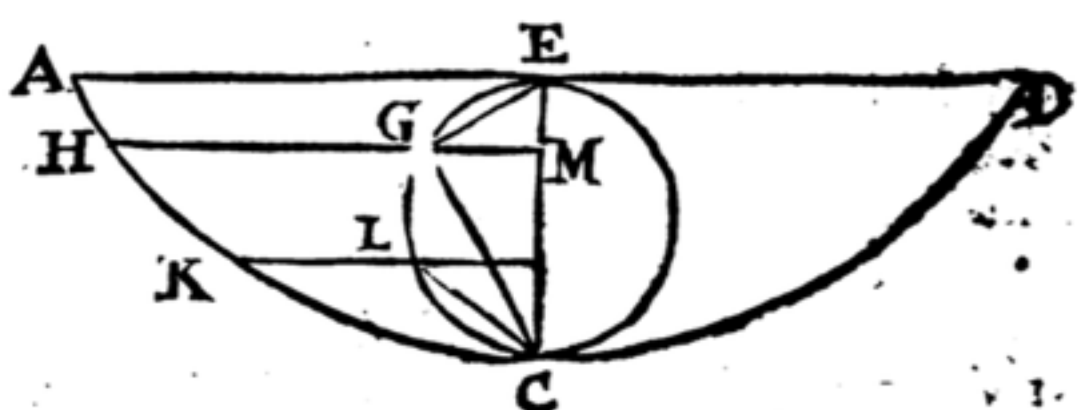
Google Books

THEOR. XLVI.

In *a Cycloid whoſe Axis is placed perpendicularly to the Plane of the Horizon, and its Vertex downwards, the Times of the Deſcents wherein a moveable Body urged by the Force of its Gravity, and let fall from any Point in it, will arrive at the loweſt Point, are equal amongſt themſelves; and have to the Time of the perpendicular Fall through the Axis of the Cycloid, the Ratio that half the Circumference of a Circle has to its Diameter.*

Let ACD be a Cycloid, whoſe Axis is CE, generating Circle ECG. Since the right Line touching the Cycloid in any Point H, is parallel to the Chord CG drawn in the generating Circle placed on the Axis of the Cycloid; it is manifeſt the moveable Body in its Deſcent will be accelerated with the ſame Force in the Point H, as if it deſcended in the right Line GC; but the Force wherewith it is accelerated in GC, is to





最速降下線は
サイクロイド曲線である

「世界の数学者への挑戦状」

Johann Bernouilli (1696)

J.Keill, Introductiones ad veram physicam et veram astronomiam (1725)

INTRODUCTIO

AD

VERAM

ASTRONOMIAM,

SEU

LECTIONES ASTRONOMICÆ

Habitæ in Schola Aſtronomica Academiæ

OXONIENSIS,

Authore

JOANNE KEILL, M. D.

Aſtronomiæ Profeſſore Saviliano. R. S. S.

J.Keill, Introductiones ad veram physicam et veram astronomiam (1725)

paret, adeoque ejus facies Solis luce illuſtrata, vel Terræ non obvertitur, ut in G, vel parva aliqua ejus pars à Tericolis conſpicitur, ut in H. Unde neceſſe eſt ut inter Terram & Solem tunc temporis locetur. Semel quidem Venus viſa eſt nigræ inſtar Maculæ Solis diſcum pertranſire, quod unicum ſpectaculum nemini mortalium præter Horoxium noſtrum contigit videre, Anno Chriſti 1639. nec iterum Stella Veneris ſubtercurret Solem uſque ad annum 1761 Menſis Maji die 26 mane; quo tempore rurſus in medio diſci Solaris exſpectanda erit. Præterea Veneris Stella nunquam à Sole digreditur ultra certum ac determinatum intervallum 43 circiter graduum, nec unquam Solis oppoſitionem attingit; ſed neque ad quadratum aut ſextilem aſpectum pervenit, at tales aſpectus neceſſario ſubiret, ſi circa terram periodum ſuam abſolveret.

Similes quoque ſunt & Mercurii motus.

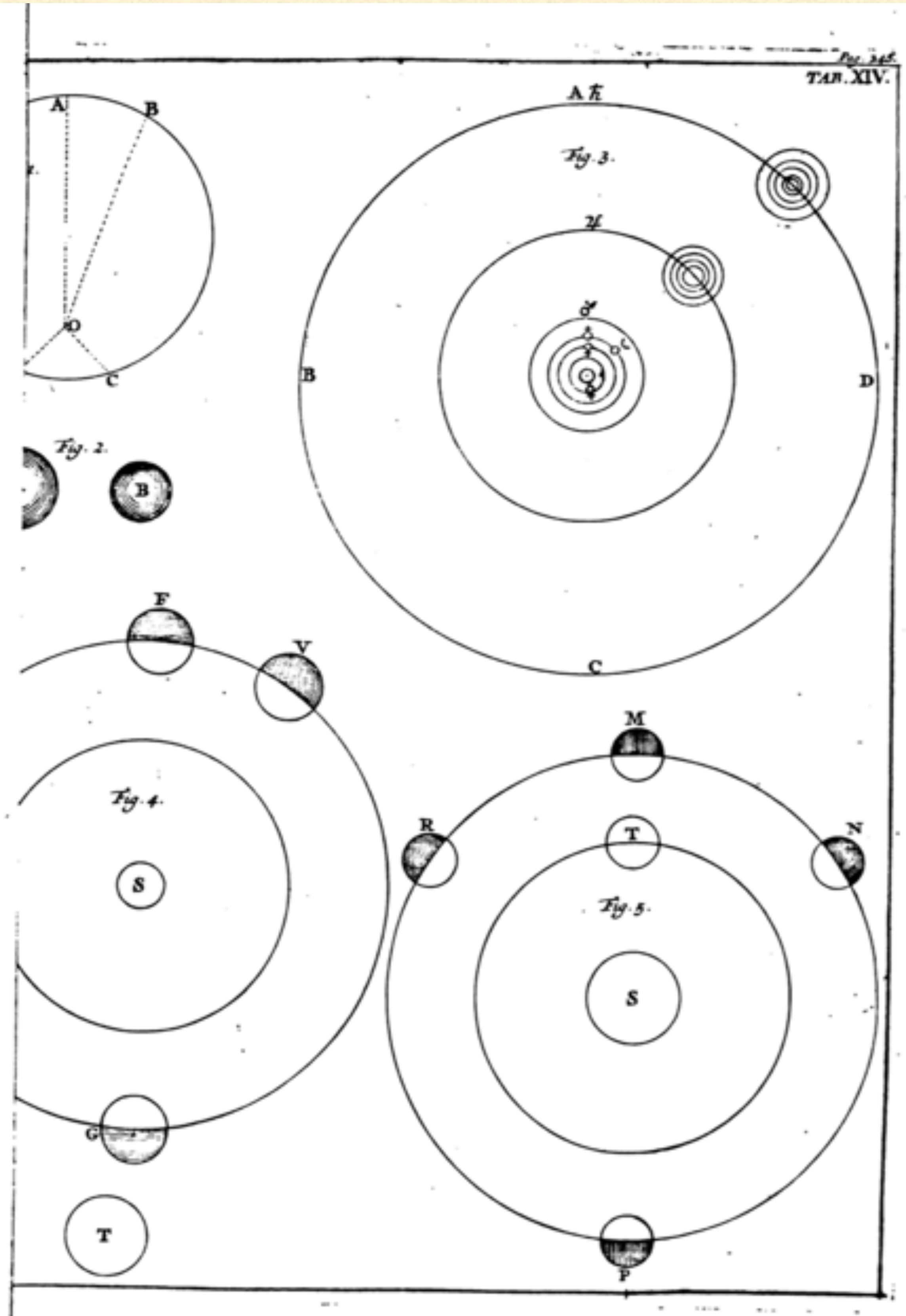
Similiter Mercurius ſemper in viciniâ Solis commoratur, propius ſemper abeſt à Sole quam Venus, adeoque Veneris æmulus in orbitâ minore, intra Veneris orbitam conclusâ, & Solem ambiente neceſſario locandus erit. Præcipue vero cum eum Soli quam proximum eſſe, oſtendit egregius illius ſplendor quo & Veneri cæteriſque Planetis longe antecellit.

Martis orbita Solem ambit.

Mars cum veniat ad oppoſitionem Solis, ejus orbita complectitur terram. Sed & hoc neceſſarium eſt, ut amplectatur etiam Solem. Nam cùm venit ad conjunctionem cum Sole, ſi ſubter illum incederet, corniculatus appareret inſtar Veneris & Lunæ: Atqui ſemper ille rotundam ſpeciem exhibet, niſi quod in quadrato cum Sole Aſpectu, aliquantulum gibboſus apparet.

TAB. 14. fig. 5. Et Terra non locatur in orbitæ centro.

Referat S Solem, T Terram, circulus M N P R orbitam Martis. Patet Martem tam in M quàm in P Terricolis plena & rotunda facie ſplendere, quoniam in his poſitionibus facies Soli obverſa Terræ quoque obvertitur, at in N & R paululum gibboſus apparebit. Præterea Mars Soli oppoſitus ſepties major videtur quam conjunctioni propinquus, adeoque in illo ſitu ſepties propius ad Terram accedit, quàm in conjunctione, ubi longiſſime à Terrâ diſtat. Hinc conſtat

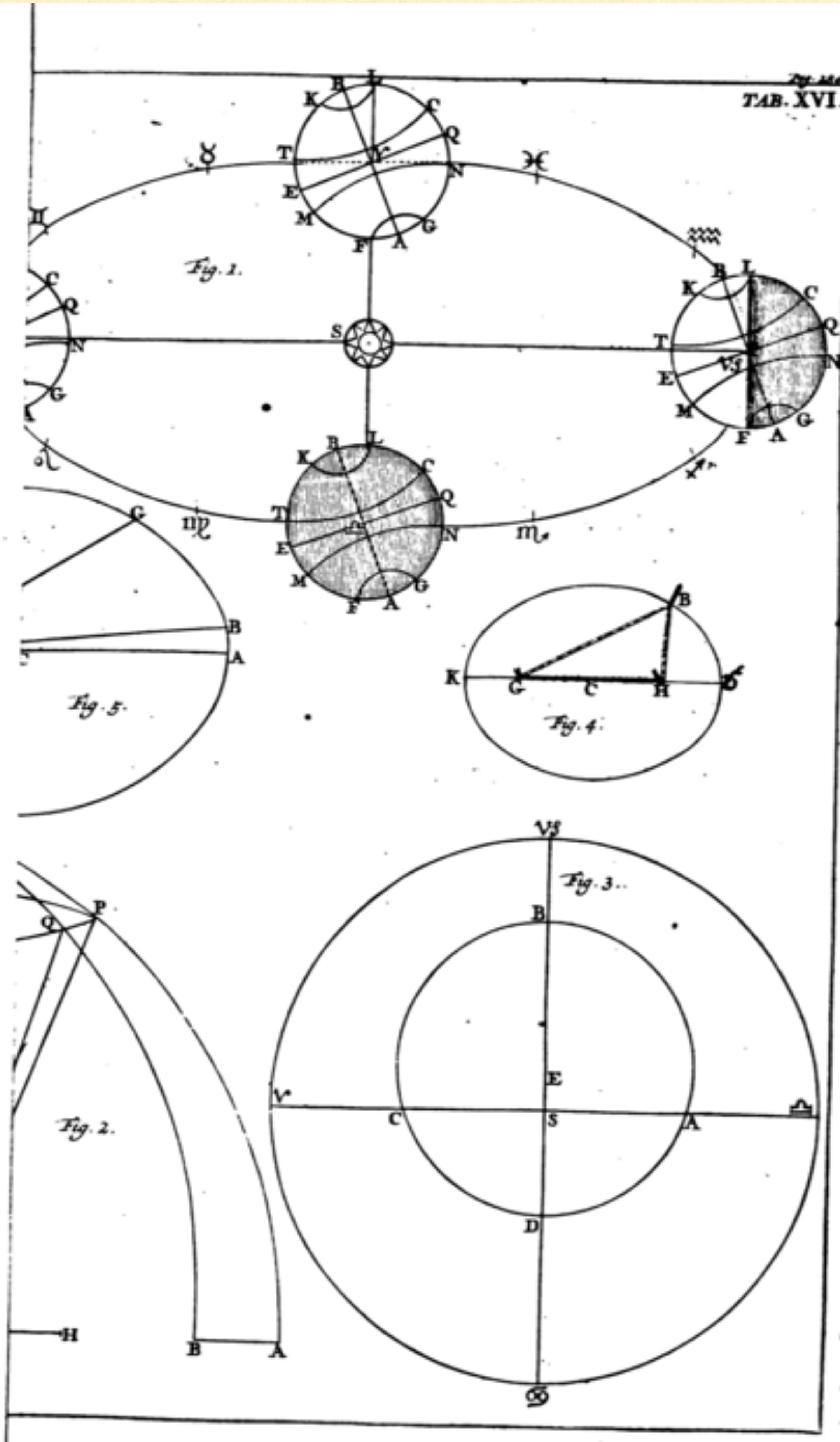


J.Keill, Introductiones ad veram physicam et veram astronomiam (1725)

tinet, cujus eſt aſſecla & indivulſa Comes. Adeo quidem in viciniâ Terræ ſemper commoratur, ut è Sole ſpectata, nunquam arcu decem Minutis primis majore à Tellure diſcedere videretur. Sed terræ perpetuo juncta, ipſique quaſi ſatelles data, una cum eâ revolutionem annuam circa Solem perficit, & interea etiam in orbita circa Tellurem ſpatio menſtruo periodum abſolvit. Planetæ primarii Solem ut Centrum Motus atque Rectorem reſpiciunt, & nunc longiſſime à Terra digrediuntur, nunc ad eam propius accedunt. Luna tanquam terreſtre corpus in noſtra viciniâ propriâ propenſione ſeu gravitate detinetur; ejuſque vi à motu rectilineo continuo retrahitur, & circa terram revolutionem perficere cogitur, ſpatio viginti ſeptem dierum, horarum circiter ſeptem. Varias continuo Luna ſubit Phaſes, Varias induit formas, adeo ut multiformi ambage ſemper torqueat contemplantium ingenia, creſcens ſemper, aut ſeneſcens, modo curvata in cornua, modo æquâ portione diviſa, modo ſinuata in orbem, mox fulgens orbe pleno, ac deinde repente nulla; alias pernox, alias ſera, deficiens, & in defectu tamen aliquando conſpicua, uti Plinius notavit, jam vero fit humilis, jam excelſa, nunc in Aquilonem elata, nunc in Auſtros dejecta, quæ ſingula deprehendit primus *Endymion*, ob quod eum amore Lunæ captum fuiſſe fama traditur.

Eſt autem Luna corpus ſphæricum, Terræ inſtar, ſcabrum, opacum, & denſum; Solis luce, non ſua, reſplendens; Sol quippe Fons luminis, perpetuo dimidiam corporis Lunaris partem, quæ ipſi obvertitur, illuminat, dum altera averſa à Sole medietas, tenebris obvolvitur; Lunæ autem ſuperficies à Terricolis ſpectabilis, eſt ea quæ Terræ obvertitur, adeoque pro vario Lunæ reſpectu Solis Terræque ſitu, variæ videntur Lunæ illuminationes, & Luminis viciſſitudines; & nunc major, nunc minor, aliquando nulla illuſtratæ faciei pars, ex Terra videtur, & aliquando etiam tota Terræ obvertitur, quæ ut melius intelligantur, libet
TAB. 17. fig. 1. Diagrammate declarare. Sit S Sol, T Terra, RTS portio orbitæ Telluris, quam motu annuo circa Solem deſcribit;

ABC



J.Keill, Introductiones ad veram physicam et veram astronomiam (1725)

fertur, ad idem Eclipticæ punctum semper dirigitur, utpote sibi semper parallela manens, sed linea Nodorum continuo situm mutare deprehenditur, & ab Oriente in Occidentem contra seriem signorum motu retrogrado fertur, circulumque absolvit spatio annorum fere novemdecim, post quod tempus nodus utervis ab aliquo Eclipticæ puncto digressus, ad idem redit, seu in eodem quo prius Eclipticæ gradu è Terra videtur.

Nodi moventur motu retrogrado.

Ex dictis constat Lunam non nisi bis in qualibet periodo in Eclipticâ videri, scilicet cum in nodis versatur, in aliis orbitæ suæ locis nunc magis nunc minus ab Eclipticâ distare, prout nodorum alicui remotiorem aut propriorem esse contigerit; maxime autem ab Ecliptica distat Luna cum est in E vel F, quæ media sunt à nodis puncta; & *Limites* vocantur. Distantia Lunæ ab Ecliptica ejus Latitudo vocatur, hanc metitur arcus circuli per locum Lunæ in cælo transeuntis, & ad Eclipticam perpendicularis, arcus inquam ille inter Lunam & Eclipticam interceptus, metitur Lunæ ab Ecliptica distantiam; seu Latitudinem, & idcirco tales Circuli ad Eclipticam perpendiculares *Circuli Latitudinum* dicuntur, & Latitudo Lunæ, cum maxima est, ut in E vel F, æqualis est quinque gradibus cum octodecim minutis primis, estque illa Latitudo mensura angulorum ad nodos.

Latitudo Lunæ.

Circuli Latitudinum qui?

LECTIO X.

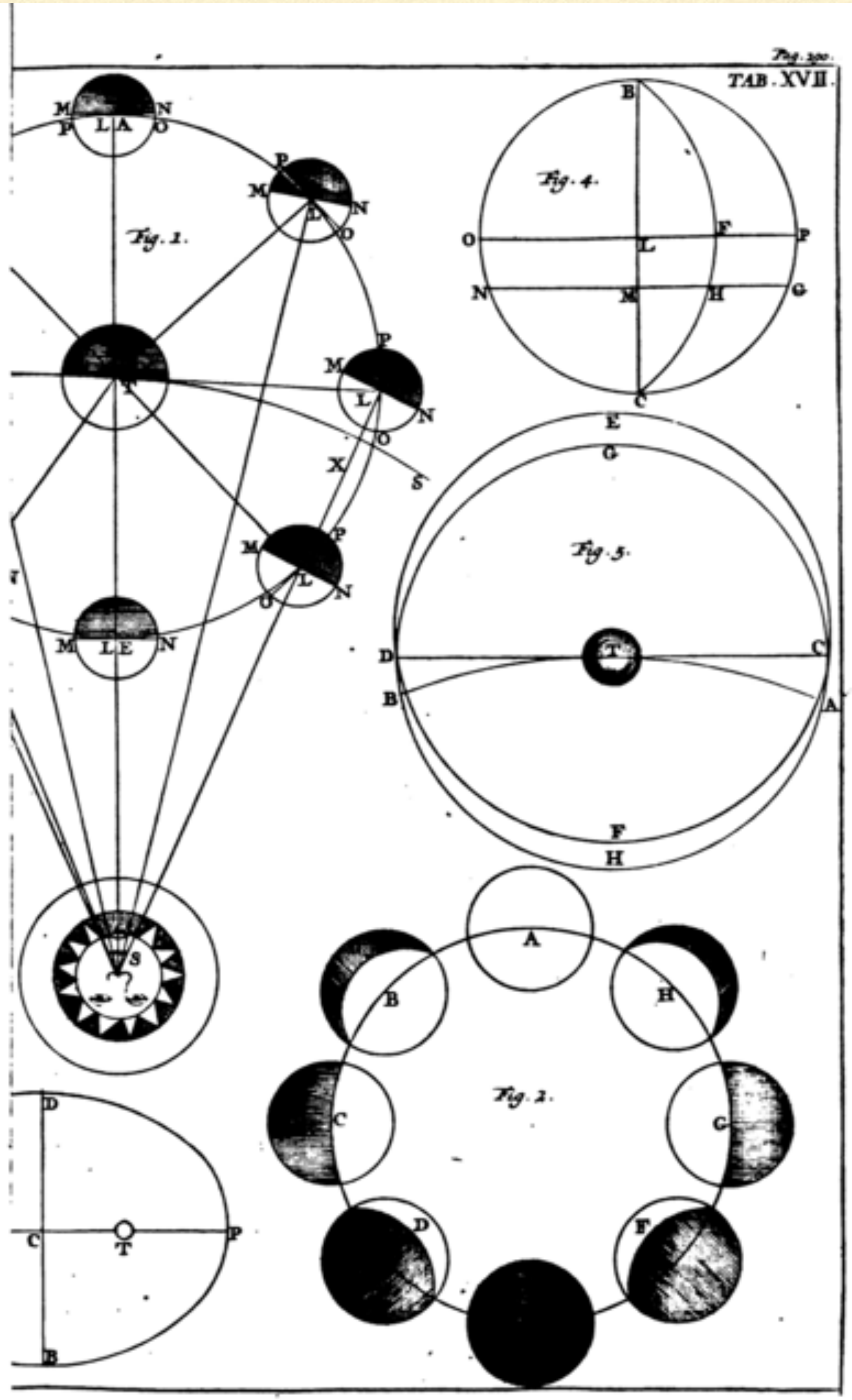
De Inæqualitate motuum Lunarium, de Lunæ facie, ejusque Montibus & Vallibus.

ASTronomorum observationes testantur, Lunæ distantiam à Terra multum variari, & nunc propius nobis accedere Lunam, nunc longius recedere; hoc ideo fit quod Luna non in Orbita circulari, circa Terram fertur, sed in Ellipticâ, qualem repræsentat figura ABPD, cujus focorum alterum tenet Terra, & Axis Ellipseos major AP est linea Apsidum; TC Excentricitas, Punctum A summa Apsis vocatur *Apogeon* Lunæ, ubi scilicet maximè à Terrâ distat, Punctum P ima Apsis, ubi maximè ad Terram accedit, *Perigeon* nominatur. Et si Orbita Lunæ non alium haberet motum

Luna in orbitâ Ellipticâ movetur.

TAB. 17. fig. 6.

Apogeon Lunæ. Perigeon.



J.Keill, Introductiones ad veram physicam et veram astronomiam (1725)

te quam est ea, quæ in partibus asperioribus conspicitur; intra has tamen partes quædam vividiore lumine fulgent, cæterisque antecellunt. Sed neque nubes ullæ, unde pluviæ generantur; si enim essent, viderentur nunc has, nunc illas Lunæ regiones obtegere, atque visui nostro occultare, quod

Nullæ nubes.

Nulla Atmosphæra.

Astronomi selenographi. TAB. 18. 19.

Eclipsis Quid est.

J.Keill, Introductiones ad veram physicam et veram astronomiam (1725)

Sit jam motus æquabilis, ſeu angulus circa S deſcriptus tempori proportionalis CSM, capiatur Area ASP æqualis ſectori CSM, & locus Planetæ in propria orbita erit P, angulusque MSD differentia inter motum Planetæ verum & medium erit Æquatio ſeu Proſthaphæreſis, & Area ACDP erit æqualis ſectori DSM; eſt itaque Area ACDP Proſthaphæreſi ſeu Æquationi proportionalis. Adeoque ubi hæc Area eſt maxima, ibi æquatio erit maxima, ſed Area illa eſt maxima in puncto E, ubi circulus & Ellipſis ſe mutuo ſecant, nam ulterius deſcendente Planeta ad R, Æquatio fit proportionalis differentiæ Arearum ACE & *m*ER; ſeu Areæ GBR*m*; ſit enim V locus puncti peripheriam circularem æquabiliter deſcribentis, & erit ſector CSV æqualis Areæ Ellipticæ ASR, unde ablatis ſpatiis communibus, erit Area ACE demptâ Areâ RE*m* æqualis ſectori VS*m*, ſeu Æquationi. In Perihelio B coincidit motus æquabilis cum motu vero, nam eſt ſemicirculus CEG æqualis ſemi-ellipſi AEB.

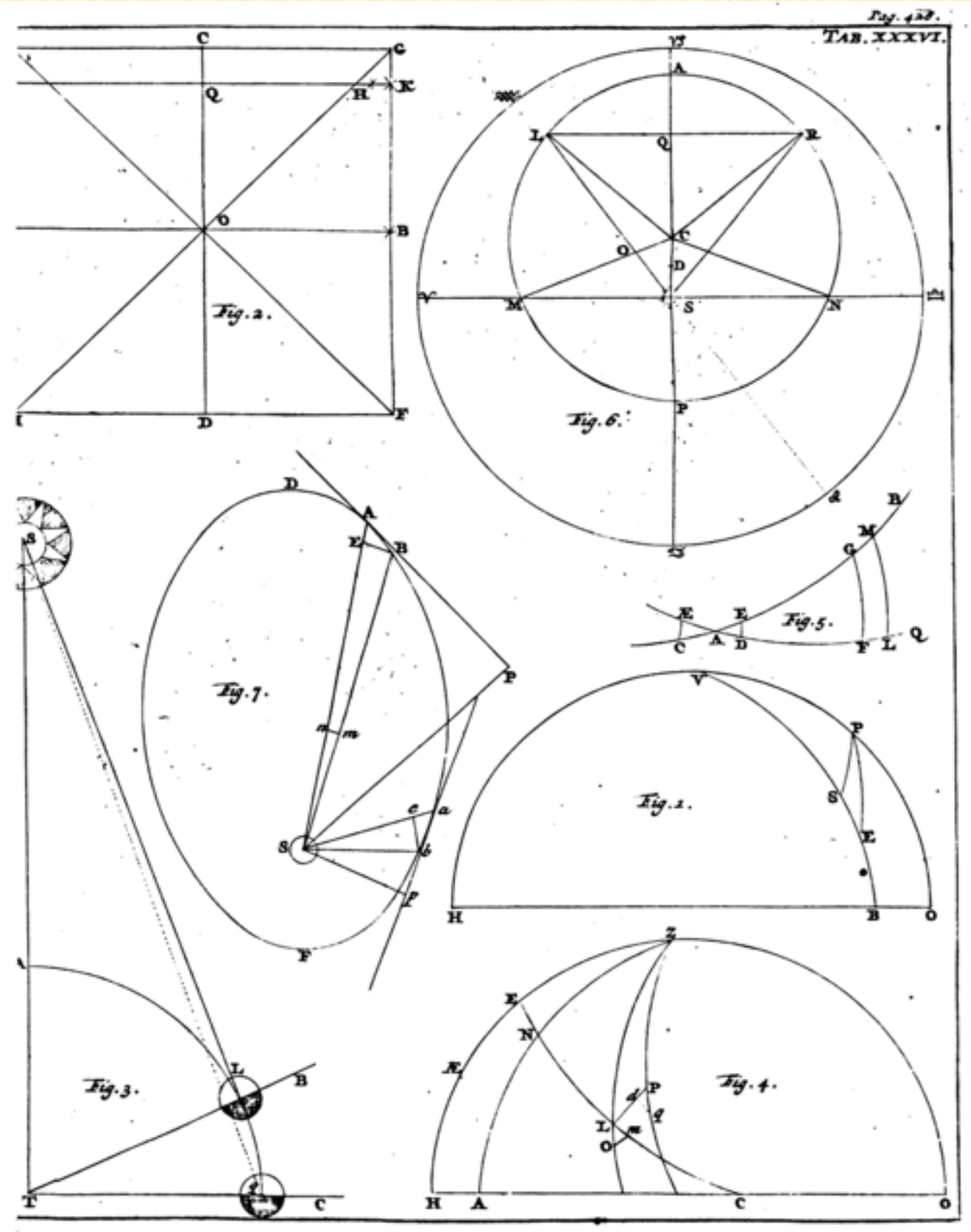
Ubi Æquationes ſeu Proſthaphæreſes ſunt maximæ.

Poſt deceſſum Planetæ à Perihelio B, ejus motus motum medium ſemper antecedet; ſit enim angulus GSZ tempori proportionalis. Capienda eſt Area BSY æqualis ſectori GSZ, & erit Y locus Planetæ in ſua orbita; unde angulus BSY major erit angulo GSZ, & Area GBYL æqualis erit ſectori ZSL, qui Æquationem deſignat, & ubi Area GBYL ſit maxima, ibi æquatio erit maxima, ſcil. in puncto F, ubi circulus & Ellipſis ſe mutuo ſecant. In A velocitas Planetæ eſt omnium minima, ob diſtantiam SA omnium maximam, deinde continuo creſcit Planetæ velocitas, manet tamen velocitate media minor, uſque dum ad E interſectionem circuli & Ellipſeos pervenit Planeta, ubi ejus velocitas angularis ſit mediæ æqualis, quod ſic oſtendo. Cum Planeta eſt in E, ſit punctum medio motu in circulo incedens in *m*, ſintque Areæ circa S eodem tempore quam minimo deſcriptæ *n*SE, & ſector IS*m*, erunt illæ æquales, unde *h*E × ES æqualis I*m* × S*m*, quare ob S*m*, ES æquales, erit arcus E*h* = arcui I*m*, & angulus *n*SE æqualis angulo IS*m*, ad punctum itaque E eſt velocitas Planetæ angularis æqualis velocitati mediæ. exinde deſcendente Planeta

Ubi velocitas eſt omnium minima.

Ubi Planetæ velocitas ſit velocitati mediæ æqualis.

Ubi velocitas ſit maxima.



J.Keill, Introductiones ad veram physicam et veram astronomiam (1725)

motus ratio habenda eſt. Et motus Præceſſionis Æquinoctiorum motuſque Apheliorum, (qui quantum conſtat præterquam in Luna ſunt omnes æquabiles,) pro ſingulis Annis; Annorum Decadibus, centenariis, & millenariis ſunt ſimiliter computandi, & in Tabulis diſponendi, ut pro dato tempore habeantur diſtantiæ fixarum & Apheliorum ab Æquinoctio.

His adjungunt Aſtronomi alias quoque pro ſingulis Anomaliæ mediæ gradibus Tabulas, quibus Anomaliæ veræ correſpondentes habentur, & computari poſſunt per methodum à nobis traditam in Lectione de ſolutione Problematis Kepleri, ſi minuta & ſcrupula ſecunda adjiciantur mediis motibus, capienda eſt differentia inter Anomalias veras uno gradu à ſe invicem diſtantes, & elicienda eſt pars proportionalis addenda Anomaliæ Tabulari proxime minori, aut ab ea ſubtrahenda.

Pro Solis Lunæque motibus vulgo computantur Proſthaphereſes ſeu Æquationes, quæ ſunt differentiæ inter Anomaliam veram & mediam. Hæ ab Anomalia media vel ſublatæ, vel eidem additæ, prout Planeta fuerit in primo vel ſecundo Anomaliæ ſemicirculo, dant Anomaliam veram.

Ex notis Aphelii, Nodique locis, dabitur eorum diſtantia, adeoque ex data Planetæ Anomalia vera, dabitur ejus

Argumentum Latitudinis. diſtantia à Nodo, quæ *Argumentum Latitudinis* dicitur. Per quod & calculum Trigonometricum, facile innoteſcit Planetæ Latitudo centrica, ejuſque diſtantia à Sole curtata, quæ eſt diſtantia inter Solem & rectam à Planeta ad planum Eclipticæ perpendiculariter demiſſam. Atque hac ratione locus Planetæ centricus, Latitudo, & à Sole diſtantia calculo inveniuntur. Quibus inveſtigatis poſſumus locum Planetæ Geocentricum ſeu è Tellure viſum hac ratione exquirere.

Calculus loci Geocentrici Planetæ. TAB 40. fig. 3. Inveniendus eſt primo, locus Telluris in Ecliptica è Sole viſus, ejuſque à Sole diſtantia; item locus Planetæ Heliocentricus, Latitudo, & diſtantia curtata. Sit TCF orbita Telluris, in qua ſit Tellus in T, APE orbita Planetæ, cujus locus ſit P, & S Sol, SN Nodorum linea. Ex Pla-

Planetæ loco demittatur ad Planum Eclipticæ normalis recta PB, ducta SB & producta occurret Eclipticæ in loco Planetæ ad Eclipticam reducto, qui locus, ex dato arcu PN, & inclinatione Planorum orbitæ & Eclipticæ datur. Sed datur locus Telluris è Sole viſus, adeoque dabitur differentia locorum Terræ & Planetæ, ſeu angulus TSB qui Commutatio dicitur. Deinde in triangulo TSB, datur TS ex Theoria motus Telluris, & SB diſtantia Planetæ à Sole curtata, quare dabitur angulus STB Elongatio Planetæ à Sole, ſeu arcus Eclipticæ inter locum Solis & Planetæ locum interceptus, & TB diſtantia Planetæ à Tellure curtata. At datur Solis locus, oppoſitus eſt enim loco Terræ è Sole viſo; quare dabitur locus Planetæ in Ecliptica è Tellure viſus. Præterea in duobus triangulis rectangulis PSB, PTB, eſt Tangens anguli PSB ad Tangentem anguli PTB, ut TB ad SB, ſed ut TB ad SB, ita ſinus TSB anguli Commutationis ad ſinum anguli Elongationis STB. Quare erit ut ſinus anguli commutationis ad ſinum anguli Elongationis, ita Tangens Latitudinis Heliocentricæ, ad Tangentem Latitudinis Geocentricæ. Q. E. I. Sic hac ratione invenire poſſunt Aſtronomi ad quodlibet datum Temporis momentum Locum Planetæ Geocentricum, ejuſque Latitudinem è Tellure viſam.

Comparando Planetarum Periodos cum ipſorum à Sole diſtantiis mirabilem videmus eos ubique obſervare Harmoniæ legem, ſcil.

Quadrata Temporum Periodicorum ſunt in omnibus, proportionalia Cubis diſtantiarum mediarum à Sole.

Sunt enim Periodi & diſtantiæ mediæ illæ quas exhibet annexa Tabula.

	Periodi				Diſtantiæ mediæ.
	Dies	h.	′	″	
♄	10759:	6:	36:	26	953800
♃	4332:	12:	20:	25	520110
♂	686:	23:	27:	30	152369
☉	365:	6:	9:	30	100000
♀	224:	16:	49:	24	72333
☿	87:	23:	15:	53	38710

Pla-

J.Keill, Introductiones ad veram physicam et veram astronomiam (1725)

Planetarum Diametros veras, & magnitudines, eos cum Sole comparando, optime determinavit illustris Mathematicus *Hugenius*, in Systemate suo Saturnino; idque methodo sequenti.

Docuit nos novo suo & Divinitus invento Systemate Copernicus, quamnam inter se proportionem servant, singulorum à Sole Planetarum distantiæ. Apparentes vero eorundem diametri, quanto aliæ aliis majores sunt, Telescopii ope innotescit, collatis ergo invicem rationibus utrisque, tum distantiæ, tum magnitudinis apparentis, vera inde Planetarum ad se mutuo nec non ad Solem magnitudo cognoscitur, per principia in Lectione prima à nobis explicata.

Et ad Saturnum quod attinet primum, Annuli ejus diameter, quum in minima à nobis distantia, comprehendatur angulo 68 scrupulorum secundorum, talis enim ad summum reperitur, cumque minima hæc Saturni distantia sit ad mediocrem Solis distantiam fere octupla, sequitur, si tam propinquus nobis fieret Saturnus quam Sol in distantia mediocri, apparituram tunc Annuli diametrum octuplam ejus quæ nunc apparet, hoc est 9′ : 4″. Solis autem diameter in media distantia est 30′ : 30″; ergo revera, ea erit proportio diametri Annuli Saturni ad diametrum Solis quæ 9′ : 40″, ad 30′ : 30″; hoc est, fere quæ 11 ad 37. Diameter vero Saturni ipsius, ad Annuli diametrum se habet ut 4 ad 9; hoc est, fere ut 5 ad 11, adeoque ad diametrum Solis ut 5 ad 37.

Jovis diameter cum proxime nobis adest, 64 scrupula secunda comprehendere videtur, cumque hæc ejus distantia sit ad mediam Solis distantiam ut 26 ad 5. Si fiat ut 5 ad 26, ita 64″ ad aliud, invenientur 5′ : 35″ amplitudo anguli quem obtineret Jovis diameter, si tam propinquus nobis fieri intelligatur, atque Sol in distantia mediocri. Sol autem hic apparet diametro 30′ : 30″. Ergo Jovialis diametri ad Solarem proportio erit, quæ 5′ : 35″, ad 30′ 30′ hoc est, paulo major quam 1 ad 5½.

Venus cum Terris proxima est, non majorem subtendit angulum quam 85 scrupulorum secundorum. Est autem distantia hæc Veneris Perigea, ad mediam Solis à Tellure distantiam circiter ut 21 ad 82. Ergo si apud Solem Venus consisteret, appareret ejus diameter duntaxat 21″ : 46‴; unde constat ita esse diametrum Veneris ad Solarem ut 21″ : 46‴ ad 30′ ½, hoc est, ut 1 ad 84.

At Martis diameter Terris proximi non excedere 30″ deprehenditur. Unde cum distantia Martis minima sit ad mediocrem Solis, ut 15 ad 41, colligitur ratio diametri Martis ad diametrum Solis, ea quæ est circiter 1 ad 166, unde Mars duplo minor Venere secundum diametrum, hac ratione efficitur.

Præterea ex observationibus Hevelii constat, Mercurii diametrum ad Solis diametrum comparatam, se habere ut 1 ad 290.

Terræ magnitudinem ad Solem comparatam diversi auctores diversam ponunt; qui parallaxim Solis Horizontalem quindecim secundorum fingunt, Solem à Terra 13750 semidiametris distare volunt, quo posito diameter Solis erit ad diametrum Terræ ut 30′ : 30″ ad 30″; hoc est, ut 61 ad 1. Sed est argumentum probabile, quod hanc proportionem paulo majorem facit; nempe quoniam Lunæ diameter paulo major est quam quarta pars diametri Terræ: si parallaxis Solis ponatur quindecim secundorum, fieret Lunæ corpus corpore Mercurii majus; Planeta scil. secundarius primario major, quod concinnati Systematis Mundani contrariari videtur. Ponatur itaque Terræ semidiameter è Sole visa, seu quod idem est, Solis parallaxim Horizontalem 10 secundorum; unde Luna minor erit Mercurio, ac provenit Solis à Terra distantia plus quam 20000 semidiametris Terræ; & Solis diameter erit 91½ vicibus major Telluris diametro; cui proportioni convenit in præsentiarum, assensum præbere, usquedum per observationem Veneris in Solis disco visæ, quod Anno 1761. continget, de eadem certiores simus facti. Est itaque diameter Solis ad Planetarum diametros, in ratione quæ sequenti Tabella exprimitur.

Dia-

J.Keill, Introductiones ad veram physicam et veram astronomiam (1725)

Diameter Solis eſt ad diametrum,	Saturni	ut 1000 ad	137
	Jovis		181
	Martis		6
	Terræ		9
	Veneris		12
	Mercurii		4

Adeoque cum Sphæræ ſint ut Cubi à diametris

erit Sol ad	Saturnum	ut 1000000000 ad	2571353
	Jovem		5929741
	Martem		216
	Tellurem		343
	Venerem		1728
	Mercurium		64

Hinc ſequitur, Solem omnes Planetas ſimul ſumptos, pluſquam centies & ſedecies magnitudine ſuperare; Saturnus autem quadringentis vicibus eſt Sole minor. At quantitate materiæ bis mille & quadringenis vicibus ei cedit. Jupiter Planetarum maximus plus 160 vicibus Sole minor eſt, at quantitate materiæ, ejus partem milleſimam trigeſimam tertiam non adæquat; at Terra noſtra ſi cum Sole comparetur, minima res eſt, & puncti fere inſtar; nam trecentis millenis vicibus eſt illo minor. Præterea comparando Planetas inter ſe; ex his rationibus conſtat, Jovem reliquis Planetis omnibus ſimul ſumptis majorem exiſtere. Terram autem noſtram pluſquam 2000 vicibus ſuperare, ſed & Stella Veneris quinquies noſtra Tellure major eſt. Sunt tamen duo ex ſex Planetis, Mars ſcil. & Mercurius, quos Tellus magnitudine ſuperat.

Jupiter reliquos omnes Planetas ſimul ſumptos magnitudine ſuperat.

LECTIO XXVII.
De Planetarum Stationibus.

SI Tellus quieſceret, in eo orbitæ ſuæ puncto nobis ſtare appareret Planeta inferior ſeu Soli propior, ubi rectâ è Tellure ad Planetam ducta, ejus orbitam tangit. Nam cum Planeta circa illud punctum verſatur ſi Terra quieſceret, rectâ ad illam accederet, ejuſque motus viſibilis eſſet nul-

nullus, vel certè omnium minimus. Similiter ſi Planeta ſuperior, vel à Sole remotior quivis quieſceret, is e Tellure in orbitâ ſuâ delata ſpectatus ſtare videretur, ubi recta è Planetâ ad Terram ducta Telluris orbitam tangit; at quia tam Terra quam Planetæ continuò circa Solem moventur, quando Planeta inferior in recta tangente ejus orbitam videtur, tunc etiam motus Terræ interea factus locum ejus viſibilem mutabit, adeoque nondum ſtare videbitur Planeta; ſicuti ob ſimilem cauſam, quando Terra in Tangente orbitæ ſuæ per Planetam ſuperiorem tranſeunte reperitur, ſeu dum percurrit arcum exiguum qui cum tangente illa ferè coincidit, Motus tamen ſuperioris Planetæ interea factus, ejus locum viſum mutabit. Adeoque neque Planeta inferior videtur ſtationarius, quando conſpicitur in recta quæ tangit ejus orbitam. Neque ſuperior ſtare videtur, cum eſt in recta quæ tangit orbitam Terræ, & per Terram quoque tranſit.

Planeta inferior non ſtationarius quando videtur in rectâ, quæ ejus orbitam tangit.

Neque ſuperior Planeta ſtare apparet, cum in recta videtur quæ tangit orbitam Terræ.

At cum Planetæ omnes nunc directè incedere, nunc retrogredi videntur; neceſſe eſt ut inter motum progreſſus & regreſſus, quilibet Planeta fiat Stationarius, & eundem in cælo locum per aliquod tempus (licet illud ſit exiguum) conſervare videatur; eundem autem locum in cælo viſibilem obtinet, quando linea Planetæ atque Terræ centra connectens ad idem cæli punctum continuo dirigitur; at recta illa ad idem cæli punctum dirigitur, quando ſibi parallela manet. Nam rectæ è quibuſvis orbitæ Telluris punctis ſibi parallelæ ductæ, ad eandem in cælo ſtellam diriguntur: iſtarum enim linearum diſtantia reſpectu diſtantiæ ſtellarum evaneſcit.

Quando Planetæ ſtare videntur.

Ut itaque inveniantur Stationum puncta, inquirendum erit, ubi linea in quâ videtur Planeta, è Terrâ, ſibi parallela manet. Quod ut fiat, notandum eſt, ſi centra Solis, Planetæ, & Terræ rectis conjungantur, formari triangulum, cujus duo crura ſunt ubique æqualia diſtantiis Planetæ & Terræ à Sole, Baſis autem eſt recta quæ Planetæ atque Terræ centra connectit: cumque crura hujus Trianguli in orbitis circularibus concentricis eâdem ſemper magnitu-

麻田剛立は，ケプラーの第3法則を独自に発見していた？

根拠とされる文献

- 『五星距地之奇法 (1796–98 頃?)』（図 5 に全文掲載）．麻田が著したと考えられるものを麻田の門人である西村太沖[14]による写本と考えられている．
- 『新修五星法図説 (1802)』麻田の門人である高橋至時による著の一部（図 5〔右〕の解説文中にあり）．同じ記載が『新修五星法 (1822)』渋川景佑[15]による著の一部（図 6）にもある．
- 『ラランデ暦書管見 (1804)』高橋至時
- 『星学続稿』5 の 1224 章，間重富
- 『寛政暦書続録』巻 3，渋川景佑

麻田派の身内による文章のみ

本人は著作が少ない

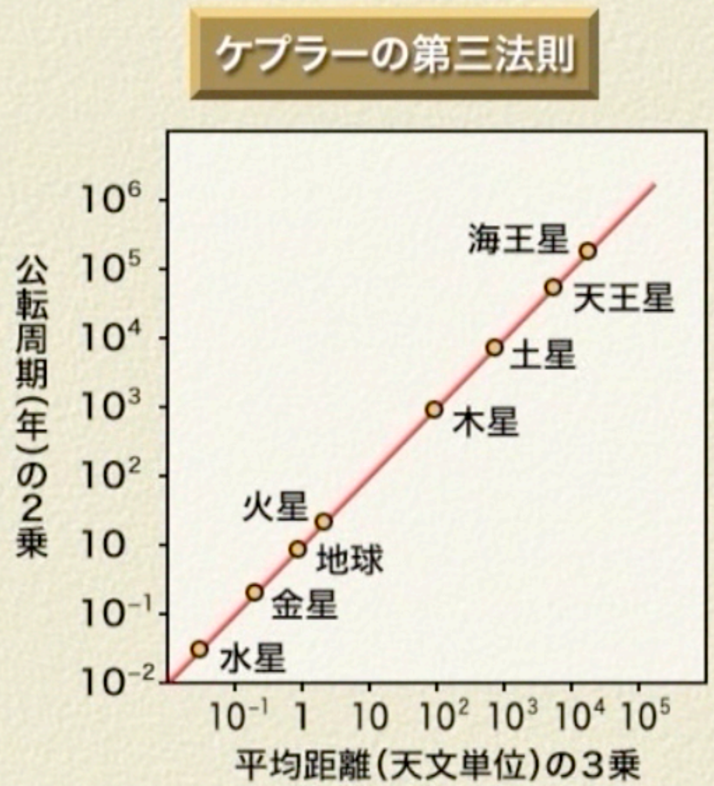
同時期に蘭学書の翻訳すすむ

中山 [10] は，次のように記している．

> 志筑忠雄は寛政改暦以前にあって『暦象考成』を批判し，中国の水準をすでに抜いていたということができる．麻田一統が『暦象考成』を有難がって読んでいる間に，志筑忠雄はケイルをマスターした上で，『暦象考成』を批判できたのである．

内容を理解していたのか？

天行方数諸曜帰一之理 (間重富, 1796?)



- 麻田の見つけた「五星距地之奇法」は,

$$「周期，自乗之，立方開之，得半径」 \tag{3.6}$$

すなわち，惑星の公転半径を R, 公転周期を T として

$$R = \sqrt[3]{T^2}, \quad \text{あるいは} \quad R^3 = T^2 \tag{3.7}$$

という法則である．ケプラーの第 3 法則の形で書けば，$T^2 = k_1 R^3$ (k_1:定数) という式である．ここで，惑星が一定速度で公転していると考えて角速度を ω とすれば，$T = 2\pi/\omega$ より，

$$\omega^2 R^3 = (\text{定数}) = \omega_1^2 R_1^3 = \omega_2^2 R_2^3 = \cdots \tag{3.8}$$

と書ける．添え字は 1 番目，2 番目の惑星の意味である．

五星距地之奇法（麻田剛立著？1797?　西村太沖蔵）

五星距地之奇法

諸曜ノ運行地ヲ距ル（地動ノ説ニ由レハ即チ日ヲ距ル也）遠近ニ依テ其行ノ遅速齊シカラサル猶垂球ノ長短ニ依テ其往来齊シカラサルカ如シ夫ノ垂球往来ノ比例ヲナス長球往来ノ方数ト短球往来ノ方数トハ短球ノ尺ト長球ノ尺トノ如シ蓋シ諸曜ノ運行ハ猶球ノ往来ノ如ク地ヲ距ル遠近ハ猶垂尺ノ如シ唯球ト天行ト氣質ノ同シカラサル故ニ其勢ヒ齊シカラサルニ似タリ然リト雖モ其往来運行ノ方数ヨリ變化シ遂ニ其準ヲナス」(1オ)ニ至テハ天行球行俱ニ同キ所ロアルカ如シ故ニ数ノ自乗開方ヨリ變化シ來ルモノハ皆著明ノ巨数ニシテ其数ノ実測ニ近キモノハ必ス真数トナリ未タ其真ヲ淂サルモノハ實測ト相離ル必ス遠シ紛々タル細数交リ出テ、崇リヲ真假ノ間ニナスノ類ニハ非ス蓋シ日ト五星ト俱ニ地ヲ心（地動ノ説ニ由レハ地ト五星ト俱ニ日ヲ心トス）トスル故其本天半径ヲ淂ル俱ニ一法ニヨル然シテ月ハ全ク地ニ属ス（地動ノ説ニ由テ之ヲ観レハ月ノ地ヲ環行スル猶四小星ノ木星ヲ環行スル」(1ウ)カ如シ）故ニ地トノ比例又自ラ一法トナル其開乗ノ易簡ニシテ最モ奇ナルモノハ木星ノ四小星ニシクナシ然シテ月ハ一物ニシテ外ニ徴スヘキノ類ナシ故ニ開乗中其真数ヲ淂ルト云トモ法ノ杲シテ真ナルカ徹底シカタシ木星ノ四小星ノ如キ類ヲナスモノ四ニシテ其法ノ真假僅ニ徴スルニ足ルト雖モ其実測未タ密ナラサレハ亦確據トナシカタシ唯五星ト日トハ古今ノ実測略備リ其類亦多シ故ニ其法ノ必ス真ニシ」(2オ)テ実測ト其準ヲ淂ルモノヲ左ニ記スノミ

日一周天（地動ノ説ニ由レハ地一周天トス）為一

日本天半径（地動ノ説ニ由レハ地本天半径也）為一

或ハ水星ヲ用テ一トシ土星ヲ用テ一トスルモ其法皆同シ

土星一周天、日二十九周四二一七余、（合伏ヨリ合伏ニ距ル日分秒ト日ノ平行トヲ用テ之ヲ淂ル下四星亦同シ）自乗之、立方開之、淂九五三〇四二、即本天半径、（次輪心地心ヲ距ル数ナリ地動ノ説ニ）（ヨレハ星日ヲ距ル数也）」(2ウ)

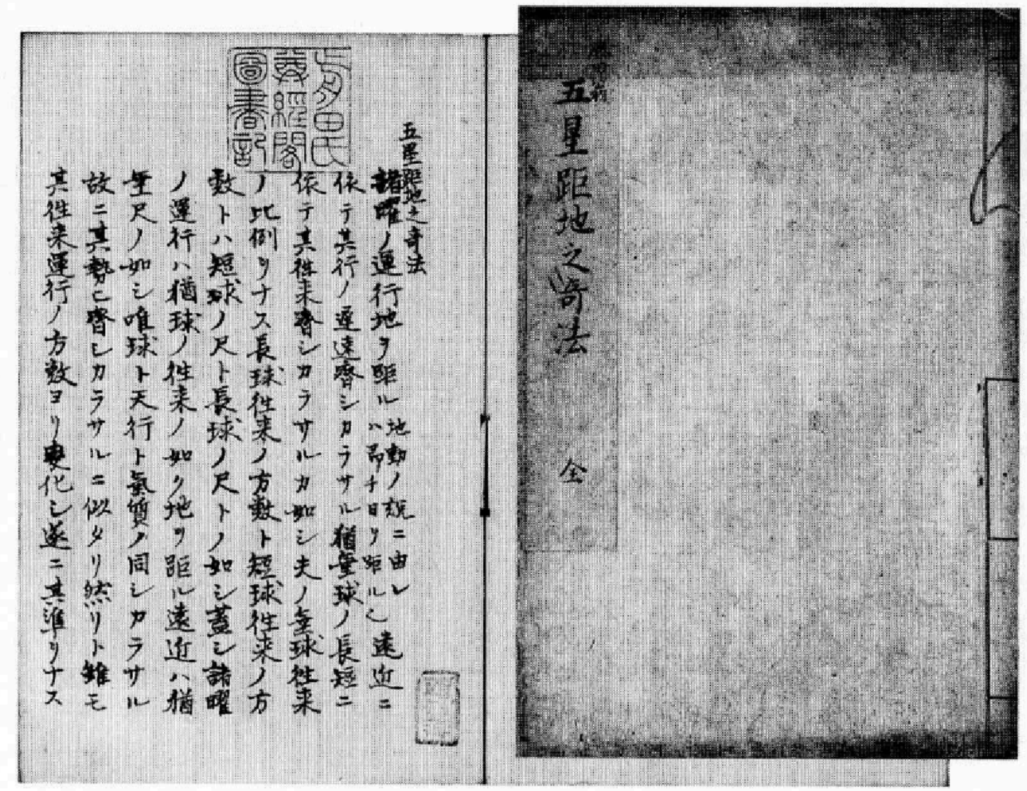
木星一周天、日一十一周八五六〇余、自乗之、方立開之、淂五一九九四七、即本天半径、

火星一周天、日一周八八〇七二余、自乗之、立方開之、淂一五二三六五、即本天半径、

金星一周天、日〇周（一周ニ満タス）六一五二一余、自乗之、立方開之、淂〇七二三三五、即本天半径、

水星一周天、日〇周（一周ニ満タス）二四〇八五余、自乗之、立方開之、淂〇三八七一一、即本天半径、

右ハ唯其法ヲ記スノミ細尾ノ数ヲ必トセス」(3オ)



ドイツの天文学者ケプラーは、一六一九年、「惑星の公転周期の二乗は、太陽からの平均距離の三乗に比例する」とするいわゆる第三法則を発見した。麻田剛立は、この学説が日本に伝わる以前から、独自にその法則を発見していたと言われる。その根拠の一つが、剛立の門人高橋至時による「以五星一周日数及歳周求五星本天半径、置本星一周日数以歳周除之、得本星一周之年数、立方開之、得商、自乗之、得本星本天半径與日天半径比例数是麻田翁所創法」（『新修五星法図説』）との記述である。

『五星距地之奇法』は、この「麻田翁所創法」の内容を今日に伝える唯一の書物であり、同じく剛立の門人である西村太沖による写本と考えられている。

天行方数諸曜帰一之理 (間重富, 1796?)

- 間は，ふりこ（垂球）の周期（往復する時間）T が，ひもの長さ ℓ によって決まることを知っていた．ガリレオが見つけた

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \tag{3.2}$$

という関係式である．g は重力加速度 (=9.8 m/s^2) である．全体を 2 乗して，$T^2 = k_1\ell$ (k_1:定数) という式になる．周期の逆数が振動数 f であるので，$f = 1/T$ を用いると，

$$f^2\ell = (\text{定数}) = f_1^2\ell_1 = f_2^2\ell_2 = \cdots \tag{3.3}$$

となる．添え字は 1 番目, 2 番目のひもを考えたときも同様に成り立つことを明示したものである．

天行方数諸曜帰一之理 (間重富， 1796?)

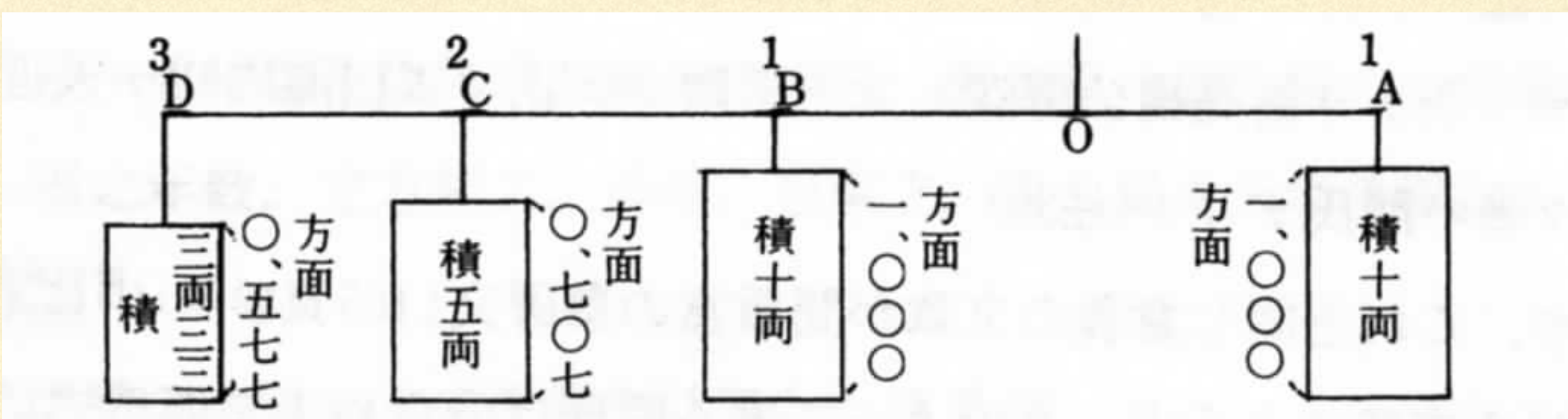
- 間は，天秤ばかり（衡器）において，支点からの距離 L_1, L_2 とそこに吊り下げられるおもり M_1, M_2 の間にはモーメントの式

$$M_1 L_1 = M_2 L_2 = (\text{定数}) \tag{3.4}$$

が成り立つことに思い至る．おもりの大きさを正方形（一辺の長さをそれぞれ x_1, x_2）としてその面積で測るとすれば，

$$x_1^2 L_1 = x_2^2 L_2 = (\text{定数}) \tag{3.5}$$

が成り立つ．



天行方数諸曜帰一之理 (間重富， 1796?)

- 間は，ふりこ（垂球）の周期（往復する時間）T が，ひもの長さ ℓ によって決まることを知っていた．ガリレオが見つけた

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \qquad (3.2)$$

という関係式である．g は重力加速度 $(=9.8\,\mathrm{m/s^2})$ である．全体を 2 乗して，$T^2 = k_1\ell$ (k_1:定数) という式になる．周期の逆数が振動数 f であるので，$f = 1/T$ を用いると，

$$\boxed{f^2\ell = (\text{定数}) = f_1^2\ell_1 = f_2^2\ell_2 = \cdots} \qquad (3.3)$$

となる．添え字は 1 番目, 2 番目のひもを考えたときも同様に成り立つことを明示したものである．

- 間は，天秤ばかり（衡器）において，支点からの距離 L_1, L_2 とそこに吊り下げられるおもり M_1, M_2 の間にはモーメントの式

$$M_1L_1 = M_2L_2 = (\text{定数}) \qquad (3.4)$$

が成り立つことに思い至る．おもりの大きさを正方形（一辺の長さをそれぞれ x_1, x_2）としてその面積で測るとすれば，

$$\boxed{x_1^2L_1 = x_2^2L_2 = (\text{定数})} \qquad (3.5)$$

が成り立つ．

$$\sqrt{T^2}, \quad \text{あるいは} \quad R^3 = T^2 \qquad (3.7)$$

という法則である．ケプラーの第 3 法則の形で書けば，$T^2 = k_1R^3$ (k_1:定数) という式である．ここで，惑星が一定速度で公転していると考えて角速度を ω とすれば，$T = 2\pi/\omega$ より，

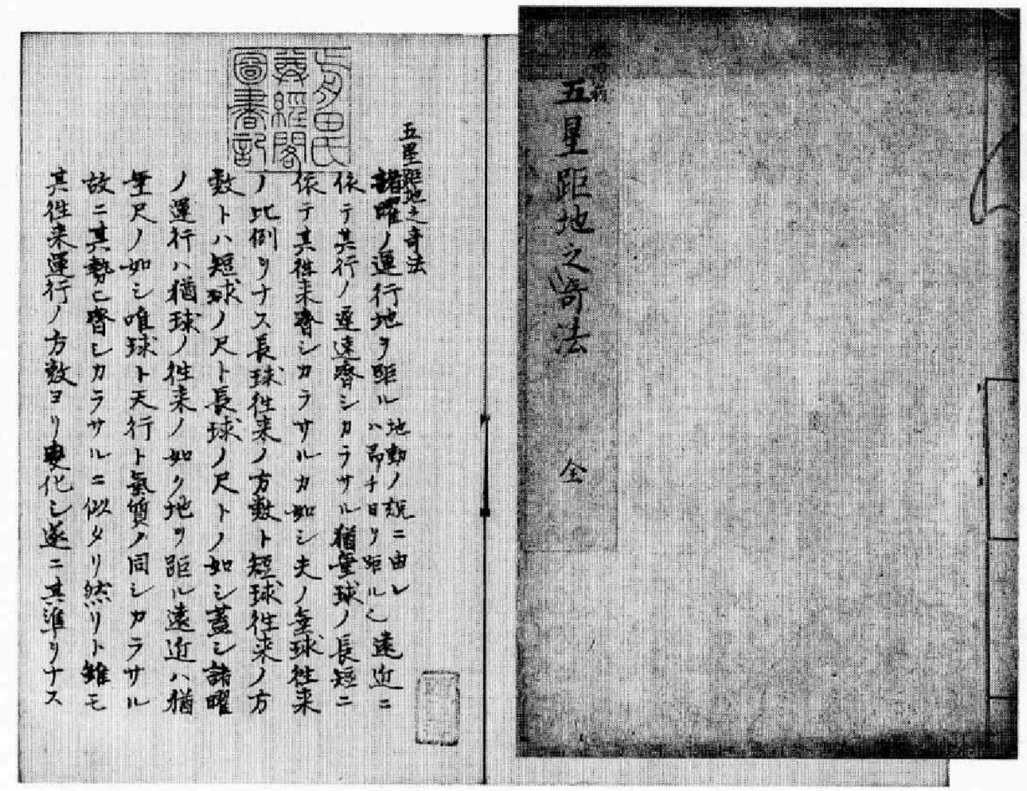
$$\boxed{\omega^2R^3 = (\text{定数}) = \omega_1^2R_1^3 = \omega_2^2R_2^3 = \cdots} \qquad (3.8)$$

と書ける．添え字は 1 番目，2 番目の惑星の意味

五星距地之奇法（麻田剛立著？1797?　西村太沖蔵）

五星距地之奇法

諸曜ノ運行地ヲ距ル（地動ノ説ニ由レハ即チ日ヲ距ル也）遠近ニ
依テ其行ノ遅速齊シカラサル猶垂球ノ長短ニ
依テ其往来齊シカラサルカ如シ夫ノ垂球往来
ノ比例ヲナス長球往来ノ方数ト短球往来ノ方
数トハ短球ノ尺ト長球ノ尺トノ如シ蓋シ諸曜
ノ運行ハ猶球ノ往来ノ如ク地ヲ距ル遠近ハ猶
垂尺ノ如シ唯球ト天行ト氣質ノ同シカラサル
故ニ其勢ヒ齊シカラサルニ似タリ然リト雖モ
其往来運行ノ方数ヨリ變化シ遂ニ其準ヲナス」（1オ）
ニ至テハ天行球行倶ニ同キ所ロアルカ如シ故
ニ数ノ自乗開方ヨリ變化シ來ルモノハ皆著明
ノ巨数ニシテ其数ノ実測ニ近キモノハ必ス真
數トナリ未タ其真ヲ淂サルモノハ實測ト相離
ル必ス遠シ紛々タル細数交リ出テ、崇リヲ真
假ノ間ニナスノ類ニハ非ス蓋シ日ト五星ト倶
ニ地ヲ心（地動ノ説ニ由レハ地ト五星ト倶ニ日ヲ心トス）トスル故其本
天半径ヲ淂ル倶ニ一法ニヨル然シテ月ハ全ク
地ニ屬ス（地動ノ説ニ由テ之ヲ観レハ月ノ地ヲ環行スル猶四小星ノ木星ヲ環行スル）」（1ウ）
カ如シ故ニ地トノ比例又自ラ一法トナル其開乗
ノ易簡ニシテ最モ奇ナルモノハ木星ノ四小星
ニシクナシ然シテ月ハ一物ニシテ外ニ徴スへ
キノ類ナシ故ニ開乗中其真数ヲ淂ルト云トモ
法ノ杲シテ真ナルカ徹底シカタシ木星ノ四小
星ノ如キ類ヲナスモノ四ニシテ其法ノ真假僅
ニ徴スルニ足ルト雖モ其実測未タ密ナラサレ
ハ亦確據トナシカタシ唯五星ト日トハ古今ノ
実測略備リ其類亦多シ故ニ其法ノ必ス真ニシ」（2オ）
テ実測ト其準ヲ淂ルモノヲ左ニ記スノミ
日一周天（地動ノ説ニ由レハ地一周天トス）為一
日本天半径（地動ノ説ニ由レハ地本天半径也）為一
或ハ水星ヲ用テ一トシ土星ヲ用テ一トスル
モ其法皆同シ
土星一周天、日二十九周四二一七余、（合伏ヨリ合伏ニ距ル日分秒トス日ノ平行トヲ用テ之ヲ淂ル下四星亦同シ）自乗之、立方開之、淂
九五三〇四一、即本天半径、（次輪心地心ヲ距ル数ナリ地動ノ説ニヨレハ星日ヲ距ル数也）」（2ウ）
木星一周天、日一十一周八五六〇余、自乗之、方立
開之、淂五一九九四七、即本天半径、
火星一周天、日一周八八〇七二余、自乗之、立方開
之、淂一五二三六五、即本天半径、
金星一周天、日〇周（一周ニ満タス）六一五二一余、自乗之、
立方開之、淂〇七二三三五、即本天半径、
水星一周天、日〇周（一周ニ満タス）二四〇八五余、自乗之、
立方開之、淂〇三八七一一、即本天半径、
右ハ唯其法ヲ記スノミ細尾ノ数ヲ必トセス」（3オ）



ドイツの天文学者ケプラーは、一六一九年、「惑星の公転周期の二乗は、太陽からの平均距離の三乗に比例する」とするいわゆる第三法則を発見した。麻田剛立は、この学説が日本に伝わる以前から、独自にその法則を発見していたと言われる。その根拠の一つが、剛立の門人高橋至時による「以五星一周日数及歳周求五星本天半径、置本星一周日数以歳周除之、得本星一周之年数、立方開之、得商、自乗之、得本星本天半径與日天半径比例数是麻田翁所創法」（『新修五星法図説』）との記述である。

『五星距地之奇法』は、この「麻田翁所創法」の内容を今日に伝える唯一の書物であり、同じく剛立の門人である西村太冲による写本と考えられている。

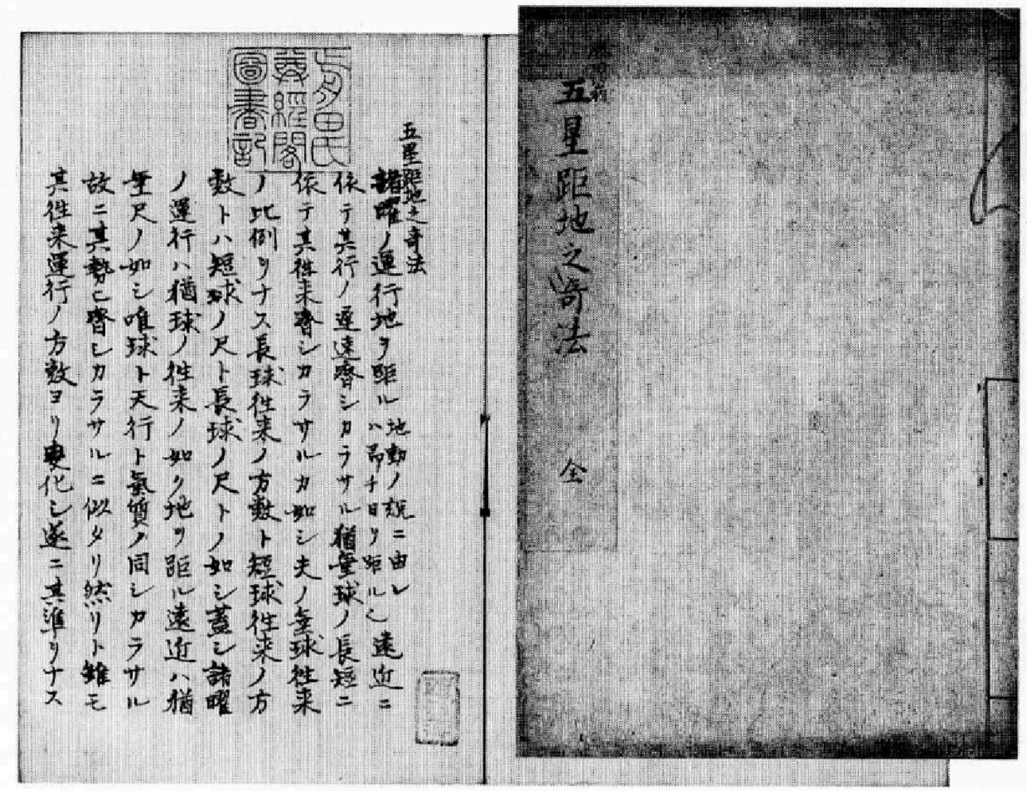
大分県先哲叢書　麻田剛立資料集　より

五星距地之奇法 (麻田剛立著？1797?　西村太冲蔵)

五星距地之奇法

諸曜ノ運行地ヲ距ル地動ノ説ニ由レハ即チ日ヲ距ル也遠近ニ
依テ其行ノ遅速齊シカラサル猶垂球ノ長短ニ
依テ其往来齊シカラサルカ如シ夫ノ垂球往来
ノ比例ヲナス長球往来ノ方数ト短球往来ノ方
数トハ短球ノ尺ト長球ノ尺トノ如シ蓋シ諸曜
ノ運行ハ猶球ノ往来ノ如ク地ヲ距ル遠近ハ猶
垂尺ノ如シ唯球ト天行ト氣質ノ同シカラサル
故ニ其勢ヒ齊シカラサルニ似タリ然リト雖モ
其往来運行ノ方数ヨリ變化シ遂ニ其準ヲナス」(1オ)
ニ至テハ天行球行倶ニ同キ所ロアルカ如シ故
ニ数ノ自乗開方ヨリ變化シ來ルモノハ皆著明
ノ巨数ニシテ其数ノ実測ニ近キモノハ必ス真
數トナリ未タ其真ヲ淂サルモノハ實測ト相離
ル必ス遠シ紛々タル細数交リ出テ、崇リヲ真
假ノ間ニナスノ類ニハ非ス蓋シ日ト五星ト倶
ニ地ヲ心地動ノ説ニ由レハ地ト五星ト倶ニ日ヲ心トストスル故其本
天半径ヲ淂ル倶ニ一法ニヨル然シテ月ハ全ク
地ニ属ス地動ノ説ニ由テ之ヲ観レハ月ノ地ヲ環行スル猶四小星ノ木星ヲ環行スル」(1ウ)カ如シ
故ニ地トノ比例又自ラ一法トナル其開乗
ノ易簡ニシテ最モ奇ナルモノハ木星ノ四小星
ニシクナシ然シテ月ハ一物ニシテ外ニ徴スヘ
キノ類ナシ故ニ開乗中其真数ヲ淂ルト云トモ
法ノ杲シテ真ナルカ徹底シカタシ木星ノ四小
星ノ如キ類ヲナスモノ四ニシテ其法ノ真假僅
ニ徴スルニ足ルト雖モ其実測未タ密ナラサレ
ハ亦確據トナシカタシ唯五星ト日トハ古今ノ
実測略備リ其類亦多シ故ニ其法ノ必ス真ニシ」(2オ)
テ実測ト其準ヲ淂ルモノヲ左ニ記スノミ

日一周天地動ノ説ニ由レハ地一周天トス為一
日本天半径地動ノ説ニ由レハ地本天半径也為一
或ハ水星ヲ用テ一トシ土星ヲ用テ一トスル
モ其法皆同シ
土星一周天、日二十九周四二一七余、合伏ヨリ合伏ニ距ル日分秒トス日ノ平行トヲ用テ之ヲ淂ル下四星亦同シ自乗之、立方開之、淂
九五三〇四二、即本天半径、次輪心地心ヲ距ル数ナリ地動ノ説ニヨレハ星日ヲ距ル数也」(2ウ)
木星一周天、日一十一周八五六〇余、自乗之、方立
開之、淂五一九九四七、即本天半径、
火星一周天、日一周八八〇七三余、自乗之、立方開
之、淂一五二三六五、即本天半径、
金星一周天、日〇周一周ニ満タス六一五二一余、自乗之、
立方開之、淂〇七二三三五、即本天半径、
水星一周天、日〇周一周ニ満タス二四〇八五余、自乗之、
立方開之、淂〇三八七一一、即本天半径、
右ハ唯其法ヲ記スノミ細尾ノ数ヲ必トセス」(3オ)



ドイツの天文学者ケプラーは、一六一九年、「惑星の公転周期の二乗は、太陽からの平均距離の三乗に比例する」とするいわゆる第三法則を発見した。麻田剛立は、この学説が日本に伝わる以前から、独自にその法則を発見していたと言われる。その根拠の一つが、剛立の門人高橋至時による「以五星一周日数及歳周求五星本天半径、置本星一周日数以歳周除之、得本星一周之年数、立方開之、得商、自乗之、得本星本天半径與日天半径比例数是麻田翁所創法」(『新修五星法図説』)との記述である。

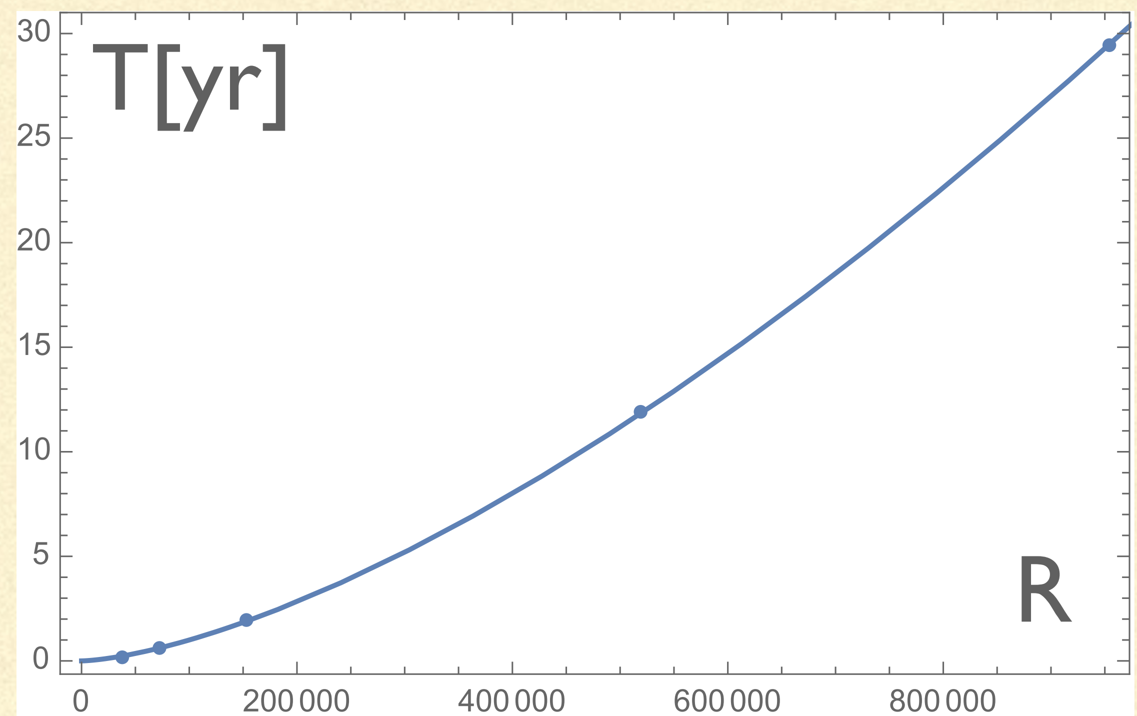
『五星距地之奇法』は、この「麻田翁所創法」の内容を今日に伝える唯一の書物であり、同じく剛立の門人である西村太冲による写本と考えられている。

大分県先哲叢書　麻田剛立資料集　より

五星距地之奇法 (麻田剛立著？1797?　西村太沖蔵)

日一周天地動ノ説ニ由レハ地一周天トス為一
日本天半径地動ノ説ニ由レハ地本天半径也為一
或ハ水星ヲ用テ一トシ土星ヲ用テ一トスル
モ其法皆同シ
土星一周天、日二十九周四二一七余、合伏ヨリ合伏ニ距ル日
分秒ト日ノ平行トヲ用テ之ヲ淂ル下四星亦同シ自乗之、立方開之、淂
九五三〇四二一、即本天半径、次輪心地心ヲ距ル数ナリ地動ノ説ニ
ヨレハ星日ヲ距ル数也（2ウ）」
木星一周天、日一十一周八五六〇余、自乗之、方立
開之、淂五一九九四七、即本天半径、
火星一周天、日一周八八〇七三余、自乗之、立方開
之、淂一五二三六五、即本天半径、
金星一周天、日〇周一周ニ満タス六一五二一余、自乗之、
立方開之、淂〇七二三三五、即本天半径、
水星一周天、日〇周一周ニ満タス二四〇八五余、自乗之、
立方開之、淂〇三八七一一、即本天半径、
右ハ唯其法ヲ記スノミ細尾ノ数ヲ必トセス（3オ）」

	周期T	T^2^(1/3)	R
水星	0.24085	0.387107068	38711
金星	0.61521	0.72335073	72335
地球	1		100000
火星	1.88073	1.523646791	152365
木星	11.856	5.199466612	519947
土星	29.4217	9.530415649	953042



FittedModel[$3.16225 \times 10^{-8} x^{1.5}$]

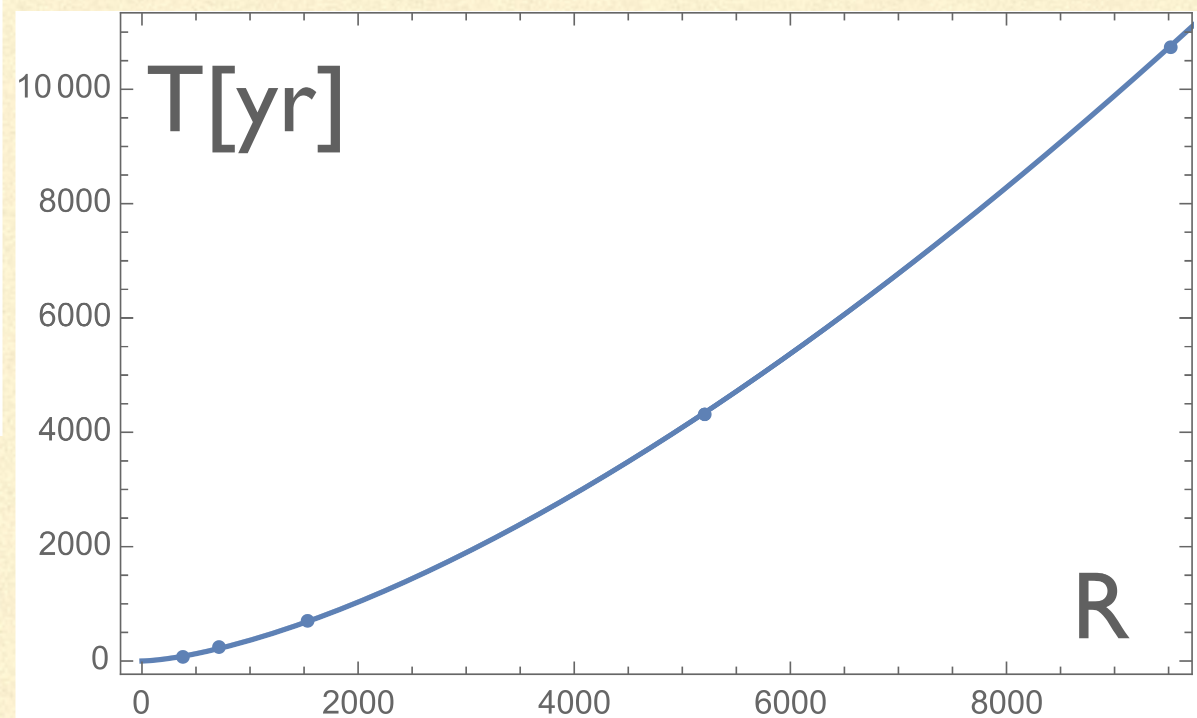
宇宙の調和 (Kepler, 1619)

★102

平均運動から得られる数値				〔m〕上掲の軌道半径〔前々表のc〕	〔n〕離心値		〔o〕出てくる極限距離	
	先の尺度による〔前表のj_2〕	〔k〕立方根を求めるための新たな逆数の尺度による	〔l〕立方根の平方数間に見出された軌道の比〔$k^{\frac{3}{2}}\times10^{-1}$〕		〔n_1〕固有の尺度による〔前々表のd〕	〔n_2〕共通の尺度による〔$n_1\div m\times l$〕	遠日点距離〔$l+n_2$〕	近日点距離〔$l-n_2$〕
土星	156917	29539960	9556	85	5	562	10118	8994
木星	390263	11877400	5206	85222	4222	258	5464	4948
火星	2467584	1878483	1523	55	5	138	1661	1384
地球	4635322	1000000	1000	95178	1647	17	1017	983
金星	7571328	612220	721	99295	705	5	726	716
水星	18864680	245714	392	80625	17375	85	476	308

〔kは地球の値を1000000としたときの各惑星と地球の平均運動の比の逆数。
すなわち、(j_2の地球の値) ÷ (j_2の各惑星の値) × 1000000〕

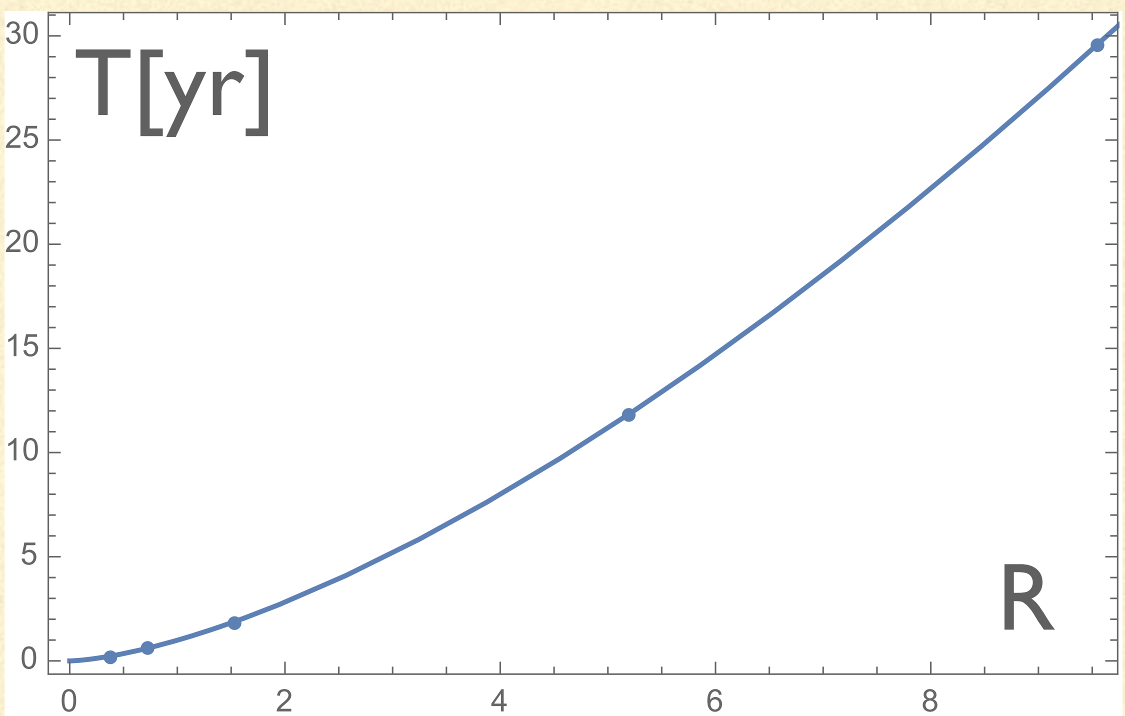
p508



FittedModel[$0.0111994\,x^{1.50369}$]

現在値

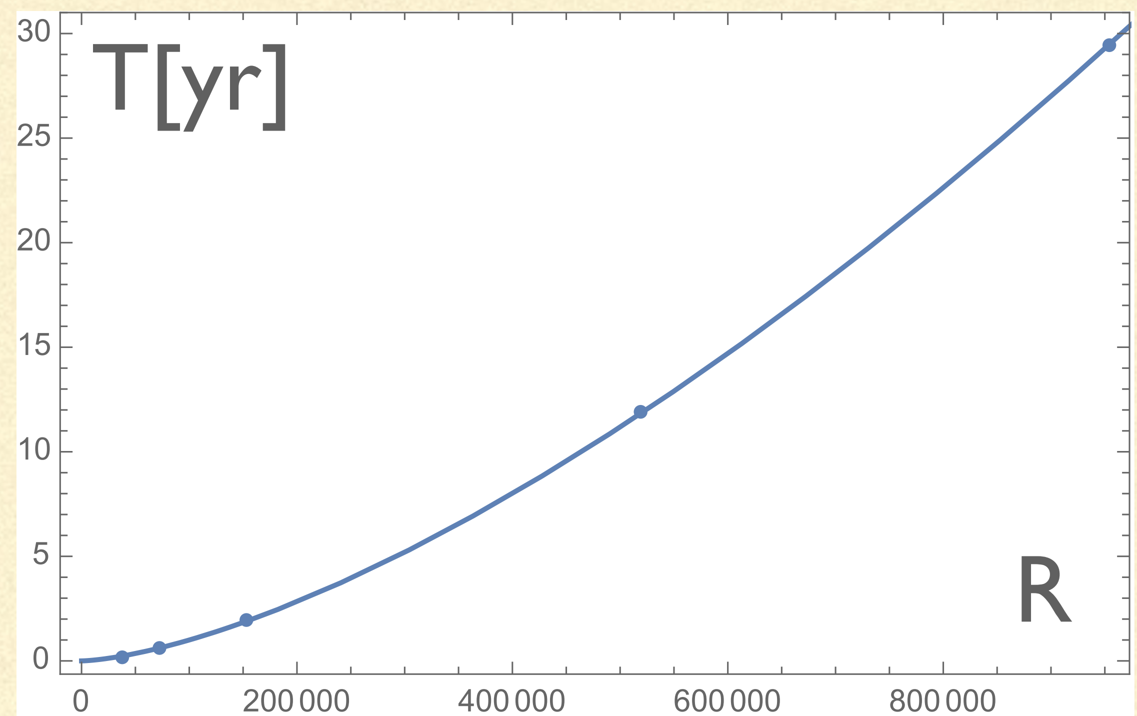
	周期T	R近日点	R遠日点
水星	0.240867	0.3075	0.4667
金星	0.615207	0.718	0.728
地球	1		
火星	1.880866	1.381	1.666
木星	11.86155	4.952	5.455
土星	29.53216	9.021	10.054



FittedModel[$0.992573\,x^{1.50444}$]

五星距地之奇法

	周期T	T^2^(1/3)	R
水星	0.24085	0.387107068	38711
金星	0.61521	0.72335073	72335
地球	1		100000
火星	1.88073	1.523646791	152365
木星	11.856	5.199466612	519947
土星	29.4217	9.530415649	953042



FittedModel[$3.16225\times10^{-8}\,x^{1.5}$]

天文学・物理学の受容

中国

春秋戦国時代：置閏法，連大配置法の暦

漢代：蓋天説，渾天説の宇宙論（論天説）

元：イスラム・アラビアの科学技術が伝わり，天体観測技術の水準が上がる

1281-1644（元・明）：授時暦
1太陽年=365.2425日，
1朔望月=29.530593日

★天動説，ティコ・ブラーエの説

1620？『崇禎暦書』すうていれきしょ

『暦算全書』

1645『西洋新法暦書』

1645-1911（清）：時憲暦
ドイツの宣教師アダム・シャール
中国最後の太陰暦（いわゆる旧暦）

1675『天経或問てんけいわくもん』

1680　日本に輸入され広まる
1730『天経或問』訓点本，
西川正休

1723，1738『暦象考成』上下編
『五星本天皆以地為心』
ティコ・ブラーエの観測値

★ケプラー，楕円軌道・不等速運動説
（地動説含まず）

1742『暦象考成後編』宣教師ケーグラー
ニュートンの歳実

1792

日本

862（貞観4）：宣明暦（せんみょうれき）

1639（寛永16）：鎖国

1643：宣教師キアラ(G.Chiara) 天文書持ち込む

C.Ferreira （沢野忠庵）・向井元升『乾坤弁説』
アリストテレスの4元素説を中国流の陰陽五行説で批評
地が円くて天の中央にあることを肯定

1685（貞享2）：貞享暦（じょうきょうれき），渋川春海

徳川吉宗，禁書令の緩和，西洋天文学を用いた改暦を指示
1733『暦算全書』翻訳，中根元圭

1755（宝暦5）：宝暦暦（ほうりゃくれき）
1763年の日食を外す．1771年修正宝暦暦．しかし，
閏月計算に不具合発生．

大坂暦学派

三浦梅園

麻田剛立 （1734-1799）
天文暦学研究，天体観測，消長法，『時中暦』
1786『実験録推歩法』，89? 奇法発見？
1797?『五星距地之奇法』

間　重富　1796？　天行方数諸曜帰一之理

高橋至時
1798（寛政10）：寛政暦
西洋天文学を取り入れた暦．
1802『新修五星法図説』
1804『ラランデ暦書管見』

1803

伊能忠敬
ガリレオ衛星の食観測

司馬江漢
1793『地球全図略説』
1796「和蘭天説」地動説に触れる
1808『刻白爾天文図解』地動説を紹介

山片蟠桃
1805？『夢の代』

渋川景佑　1822『新修五星法』
高橋景保　『新巧暦書』

帆足萬里　1836『窮理通』

1844（天保15）：天保暦
日本最後の太陰暦（いわゆる旧暦）
渋川景佑　1846『新法暦書続編』

1873（明治6）：太陽暦・グレゴリオ暦

長崎天文学派

本木良永 (1735-1794)
訳語として惑星・視差・近点・遠点など
1774『天地二球用法』
1792『星術本原太陽窮理了解新制天地二球用法記』

志筑忠雄 (1760-1806)　訳語として遠心力など
1798，1802『暦象新書』
巻末に『混沌分判図説』独自の太陽系起源説
ラプラス・カントの星雲説(1796)とほぼ同時

ヨーロッパ

1543：コペルニクス
『天球の回転について』

1609：ケプラー『新天文学』

1619：ケプラー『世界の調和』

1632：ガリレイ『天文対話』地動説擁護

1687：ニュートン
『自然哲学の数学的諸原理』
（プリンキピア）

コペルニクスの太陽系説

Newton力学
Kepler 3法則

W.J.Blaeu著
Tweevoudig onderwijs van de hemelse en adressen globen
1666

J.Keill 著 J. Lulofs蘭訳
Inleiding tot de ware Natuur en Sterrenkunde
1741

B. Martin 著 I.Tirion蘭訳
Natuurkunde
1744

G.Adams 著 J. Ploos蘭訳
Gronden der Starrenkunde
1770

J-J. L. de Lalande著 (A.B. Strabbe蘭訳)
Astronomia of Sterrkunde
1773-80

中東

BC45：ユリウス暦，
カエサル
1太陽年=365.25日

622：ヒジュラ暦
1年=354日

1587：グレゴリオ暦，
グレゴリウス13世
1太陽年=365.2425日

まとめ

- 麻田剛立がケプラーの第3法則に相当する関係を独自に見つけたどうかは不明.
- しかし，物理的な理解に至らなかったことは確か（その点ではケプラーと同じ）.
- 仮に法則を独自に発見していたとしても，元のデータにすでにケプラーの法則が適用されていた可能性も.

- たとえ麻田の五星距地之奇法が独自の発見ではなかったにしろ，間の天行方数諸曜帰一之理が的外れであるにしろ，当時の日本人としては仕方のない話.
  むしろ，科学的な態度が醸成されていく過程が見られることはもっと積極的に評価されるべき.