

近代宇宙観の成立

天動説と地動説

天文学の系譜

- 古代バビロニア王国(紀元前 2000-)
- ギリシャ(紀元前5世紀～紀元2世紀)
- アラビア
- ヨーロッパ (15世紀ころ)

—もちろん、中国やインドなど、あらゆるところで天文学は発達した

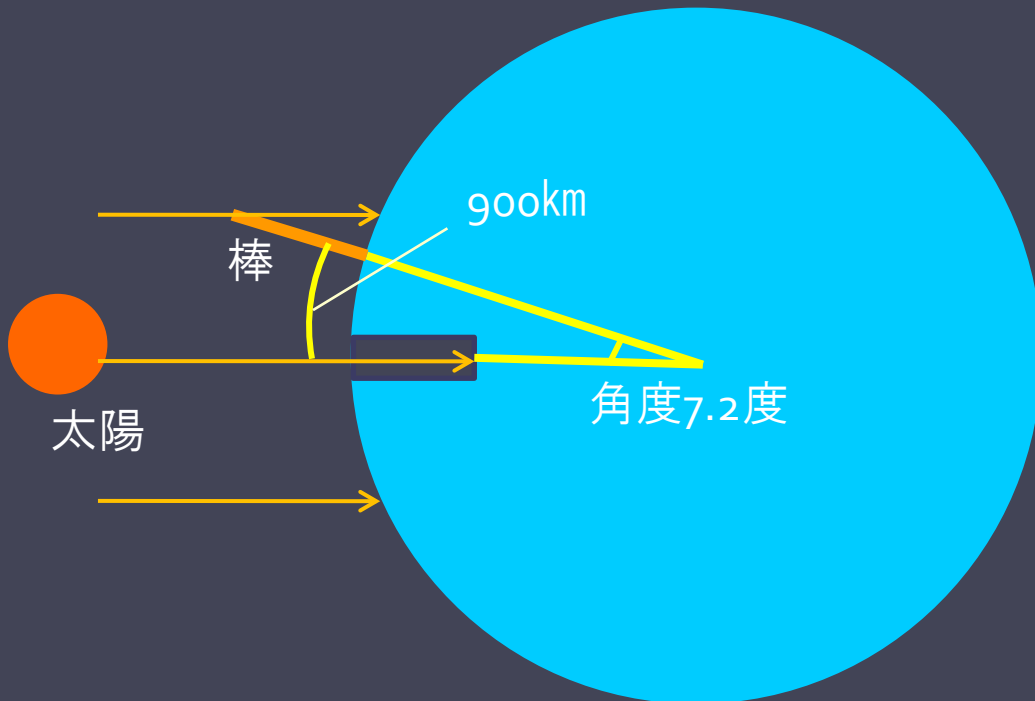
ギリシャの宇宙観

地球は丸い

- このことは、早くから知っていた。
- 「アルマゲスト」によると
 - 東に住んでいる人のほうが、太陽や星は先に昇る
 - 北にすんでいる人のほうが、北極星が高く見え、南の星が見えなくなる
 - 船で陸に近付くと、山などの高いところから見え始める

地球の大きさ

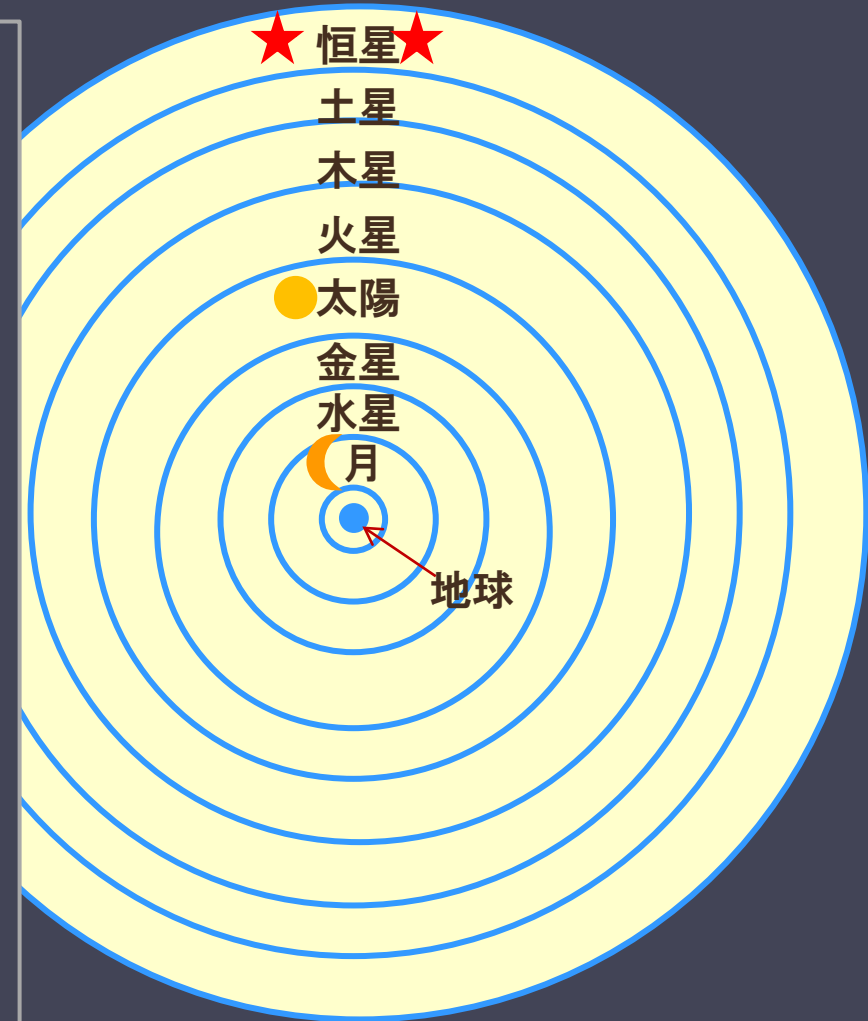
- エラトステネス (BC 276-196)
 - 同じ経度にある、2都市での南中時の太陽の高さを測る



地球の円周は、 $900\text{km} \times 360 \div 7.2 = 45000\text{km}$

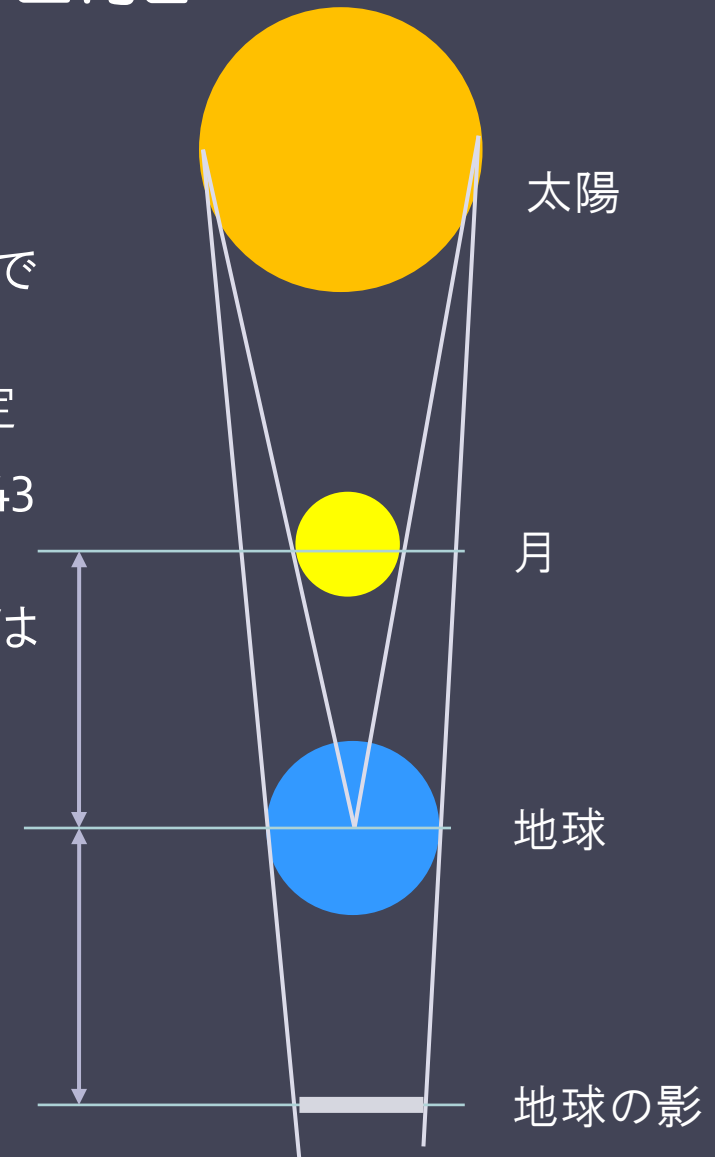
アリストテレス(BC384-322) の宇宙観

- 有限の宇宙
- 天は、神聖で完全なもの → 円や球
- 地球は宇宙の中心
- 球殻が玉ねぎ状に取り囲む
- 球殻は、実体。エーテル
- 太陽や月、惑星、恒星が埋め込まれている
- 球殻は、違った軸の周りを違った回転速度で回る
- 惑星の順番は、地球の周りを回る周期の順
 - 太陽・水星・金星？
- このような宇宙観を示すことにより、後世の天文学者が、惑星軌道を計算する上での土台を与えた
- これらの概念は、現在ではほとんど否定されている



月、太陽の距離

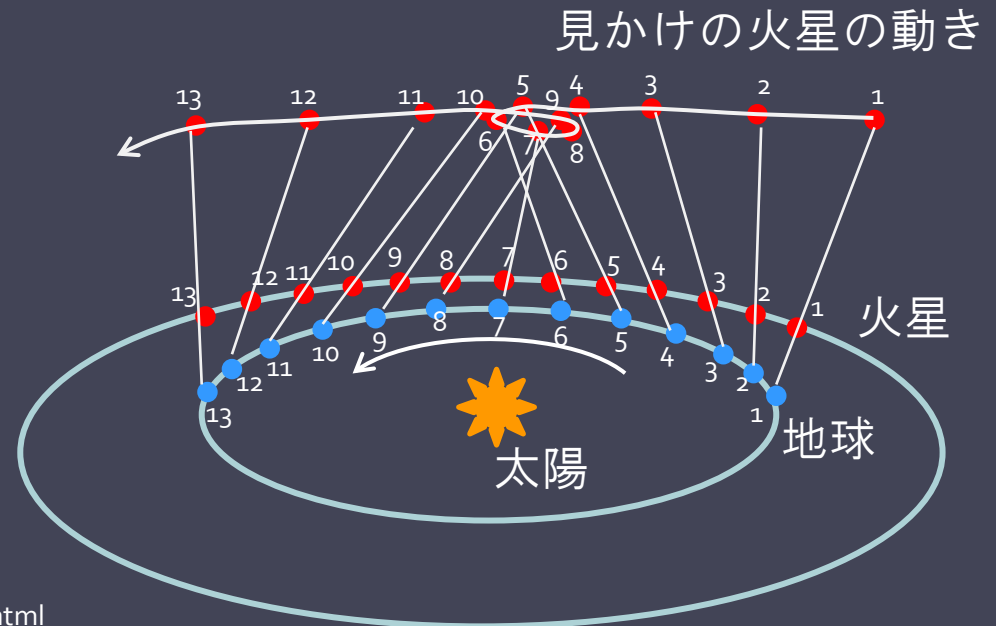
- 月食を用いた、月の距離の測定
- ヒッパルコス(B.C. 190-120頃)
 - 月と太陽の見かけの大きさがほぼ同じであることを利用
 - 太陽までの距離を、490地球半径と仮定
 - 月までの距離は、67地球半径となる。43万km。実際は、38万km
 - 太陽の距離が無限大でも、月との距離は59地球半径となる。



惑星の逆行

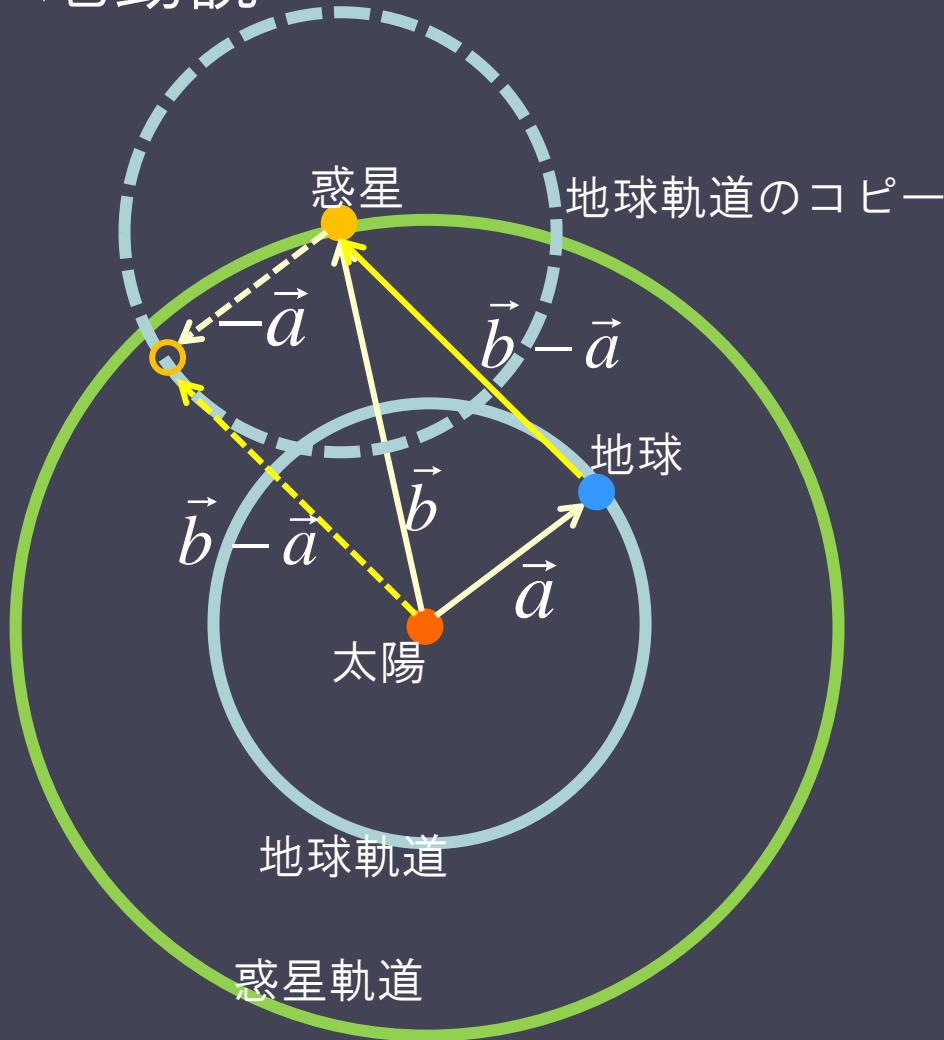
- 不規則な惑星の動き
 - 逆行
 - ほぼ黄道の上を動くが、緯度が変化
 - 逆行などの現象が起こる周期と、恒星との位置関係が元に戻る周期が違う

火星の逆行

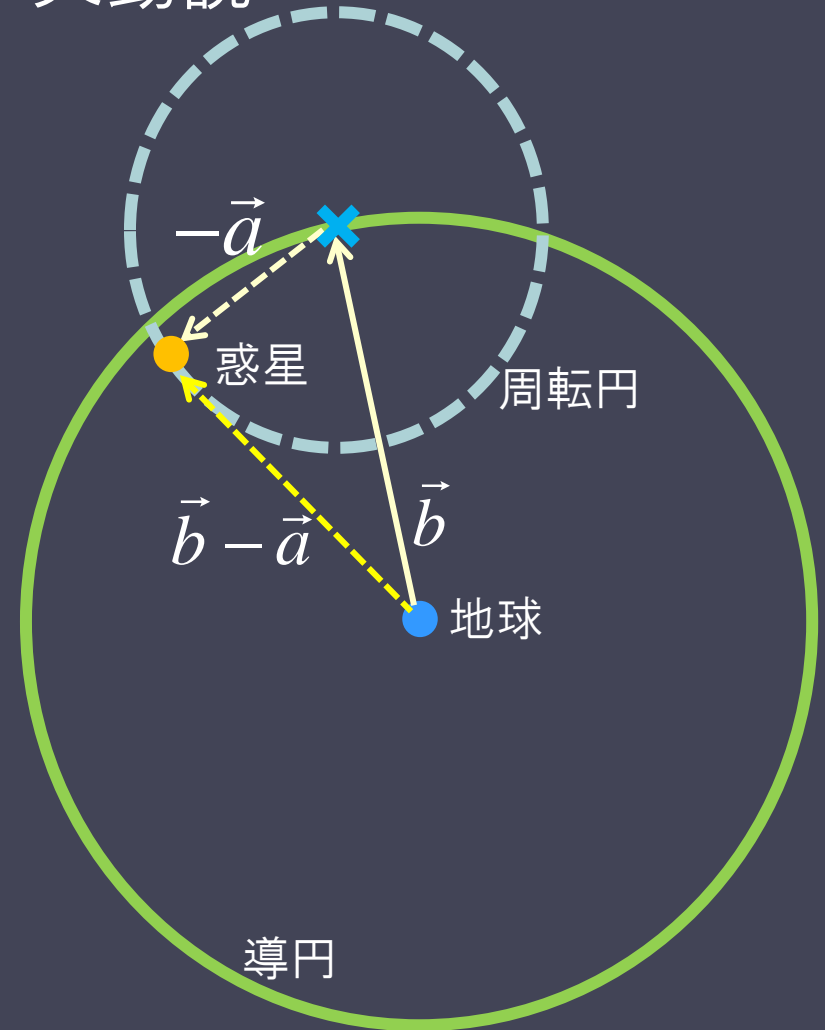


地動説と天動説の数学的同等性

地動説



天動説



惑星の距離

- 惑星の距離の測定が、地動説の直接的証拠となる

地動説

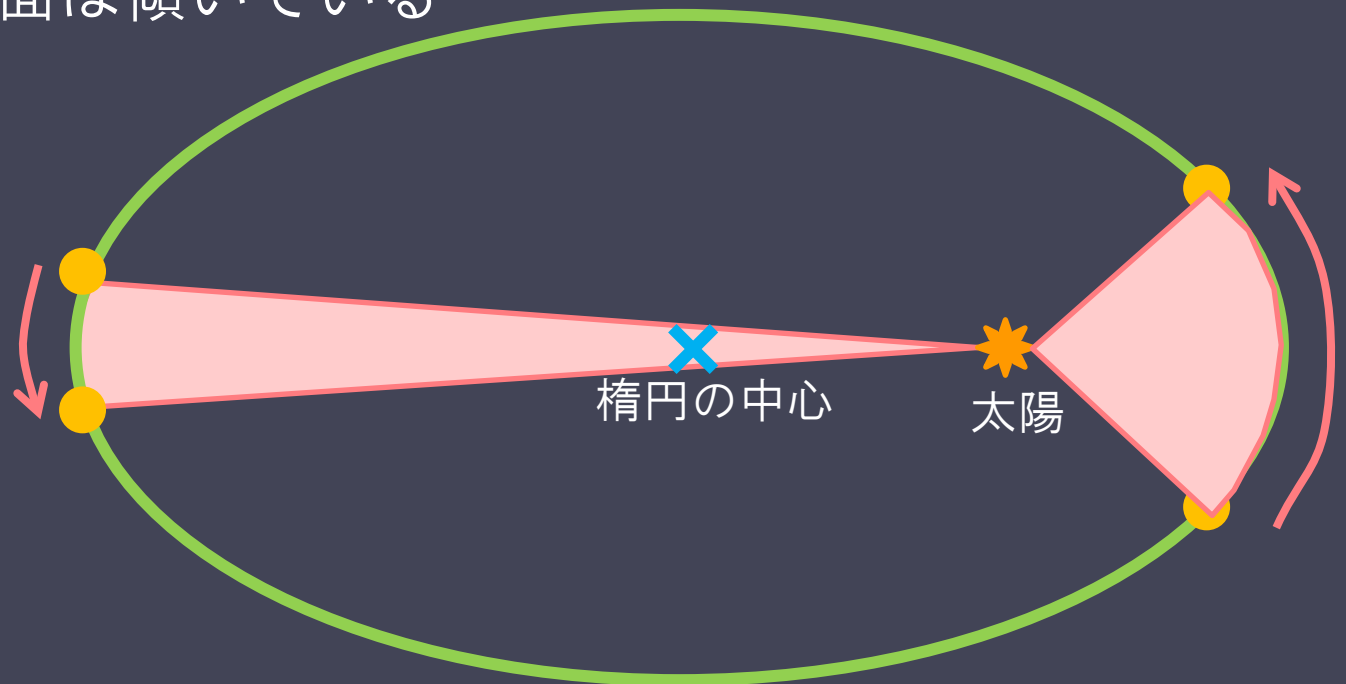


天動説



惑星の運動（現代の理解）

- 惑星は楕円運動をしている -----ケプラーの第1法則
- 太陽は、楕円の中心ではなく、焦点にある
- 太陽に近いとき、惑星は速く、遠いとき、ゆっくり動く ----- ケプラーの第2法則
- 惑星の軌道面は傾いている



惑星運動の問題

- 惑星の軌道は、楕円だった。
 - 惑星の速度は、一定ではなかった。
- 惑星の軌道面は傾いていた。
- もし惑星が円軌道、同一面であれば、天動説は成功していた。
- 現実には、複数の周転円など、複雑な工夫を重ねなければならなかった。



プトレマイオス(A.D.83-168頃) の理論

- 導円(離心円) + 周転円
 - 逆行などを説明
- 周転円の中心は、エカント点の周りを一定速度で回る
 - 太陽に近いと速く回る現象を説明
- 説明できなかったこと
 - 水星(軌道が歪んだ楕円)
 - 惑星の緯度の変化



アリストテレスとプトレマイオスの不一致

- アリストテレス
 - 地球を中心とした球殻の回転
 - 不変の回転運動 → 速度一定の円運動
- プトレマイオス
 - 離心円、周転円
 - 速度が一定でない円運動

自然学と天文学の乖離

- 自然学
 - 世界の成り立ちや、本質、原因などを追及して、それを理解する
 - 天文学
 - 惑星の運動を計算するための道具にすぎない
 - とにかく正しく計算できればよい
 - 新たなモデルを作るための基準の喪失
 - さまざまな惑星理論が乱立
 - 天文学と自然学を一致させる必要性
 - アリストテレスを超えた宇宙観
 - アリストテレスを基準として、天文学を再構成
- 一見、矛盾している

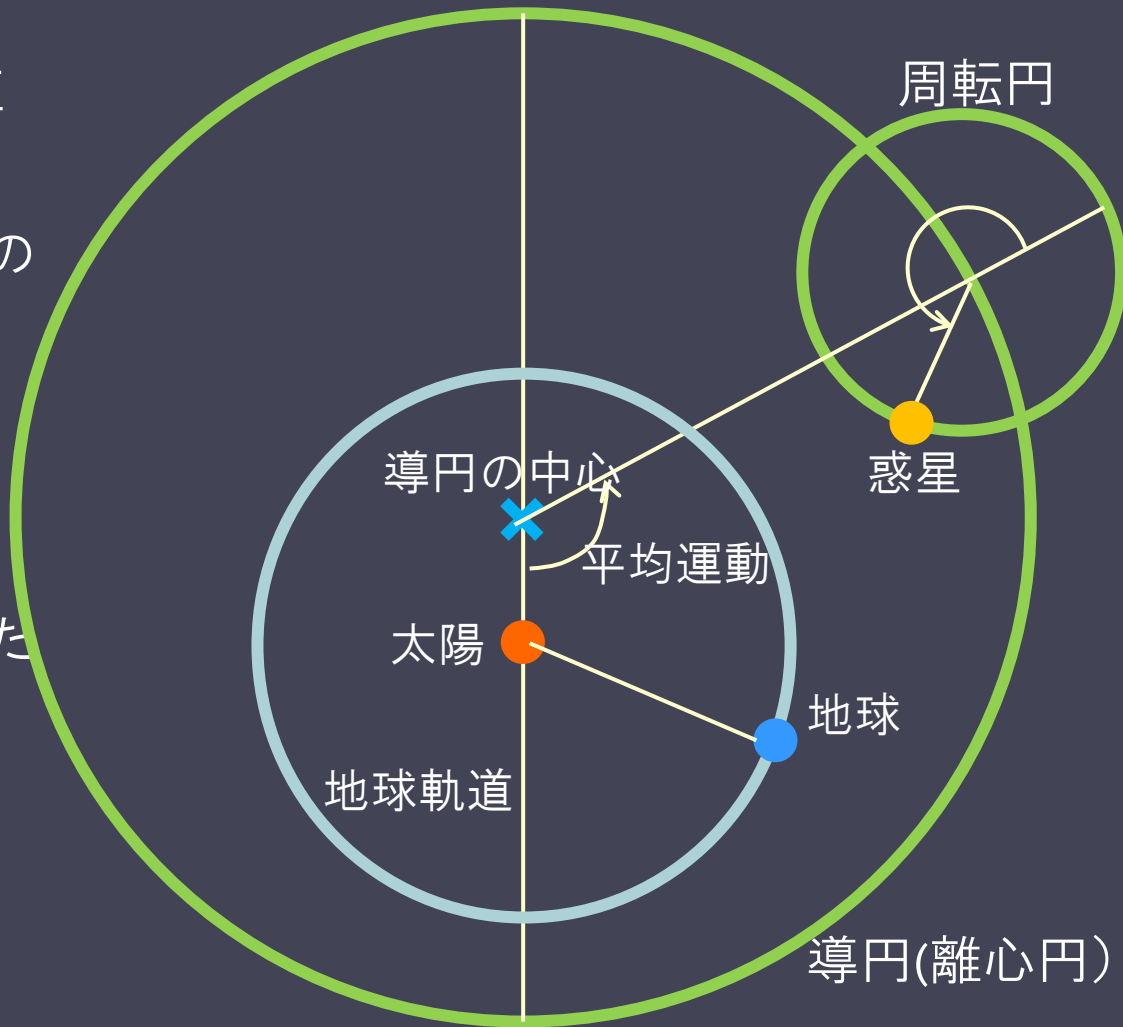
復習

- アリストテレスの宇宙観
 - 見たままを記述---- 直観的にわかりやすい
 - 首尾一貫した体系 ----- 地上の物理学との関連
 - 惑星運動を計算するための土台
 - 他の宇宙観とは一線を画す
 - 地動説・無限宇宙・・・
- プトレマイオスの惑星理論
 - 楕円軌道・非等速運動 から来る複雑さ

コペルニクス革命

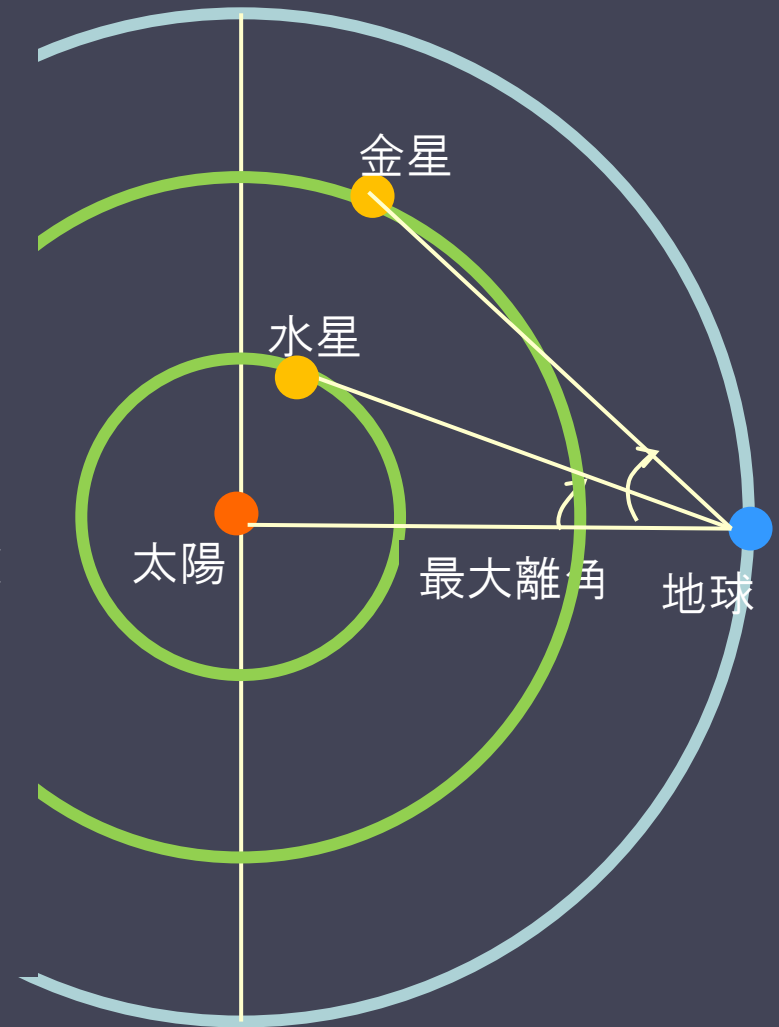
コペルニクス(1543)

- プトレマイオスの計算法の改良
 - 球殻の回転運動（一定の円運動）を残す
 - 離心円、周転円は必要
- 基本的にはプトレマイオスと変わらない
 - 太陽を中心に持ってきただけ
 - 正確でもなかった



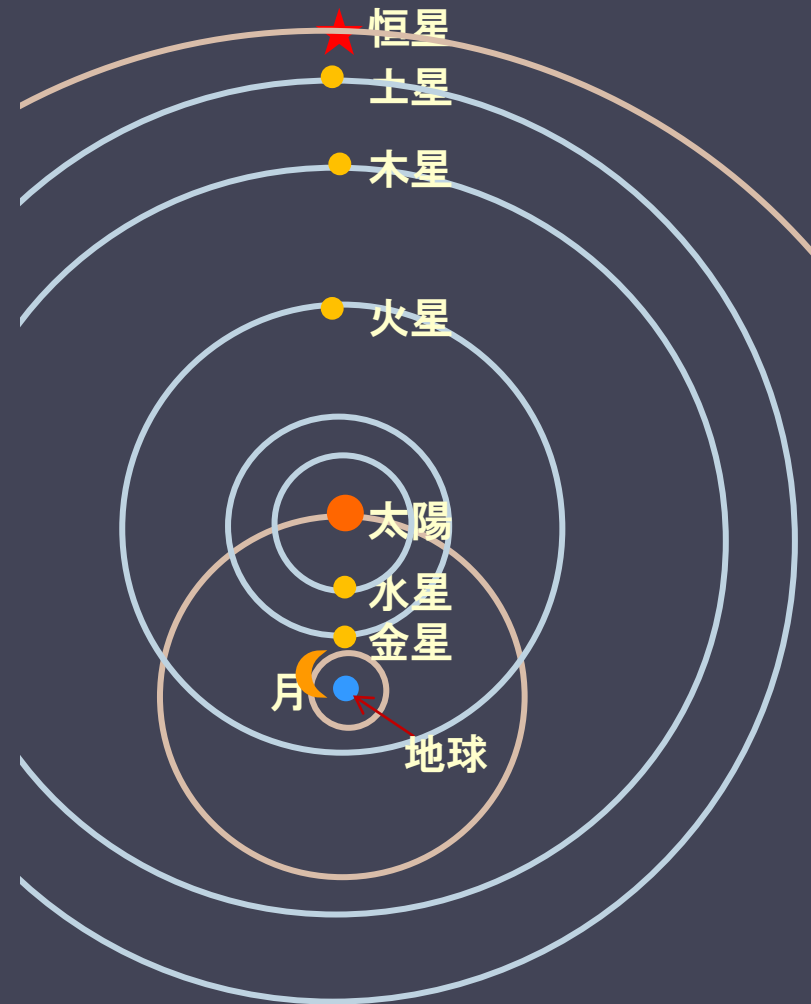
太陽中心説の利点

- 惑星の逆行の説明
 - 一定性的な理論の美しさ
- 惑星の並び順
- 太陽からの距離の決定
 - 理論の肥沃さ（予言可能性）



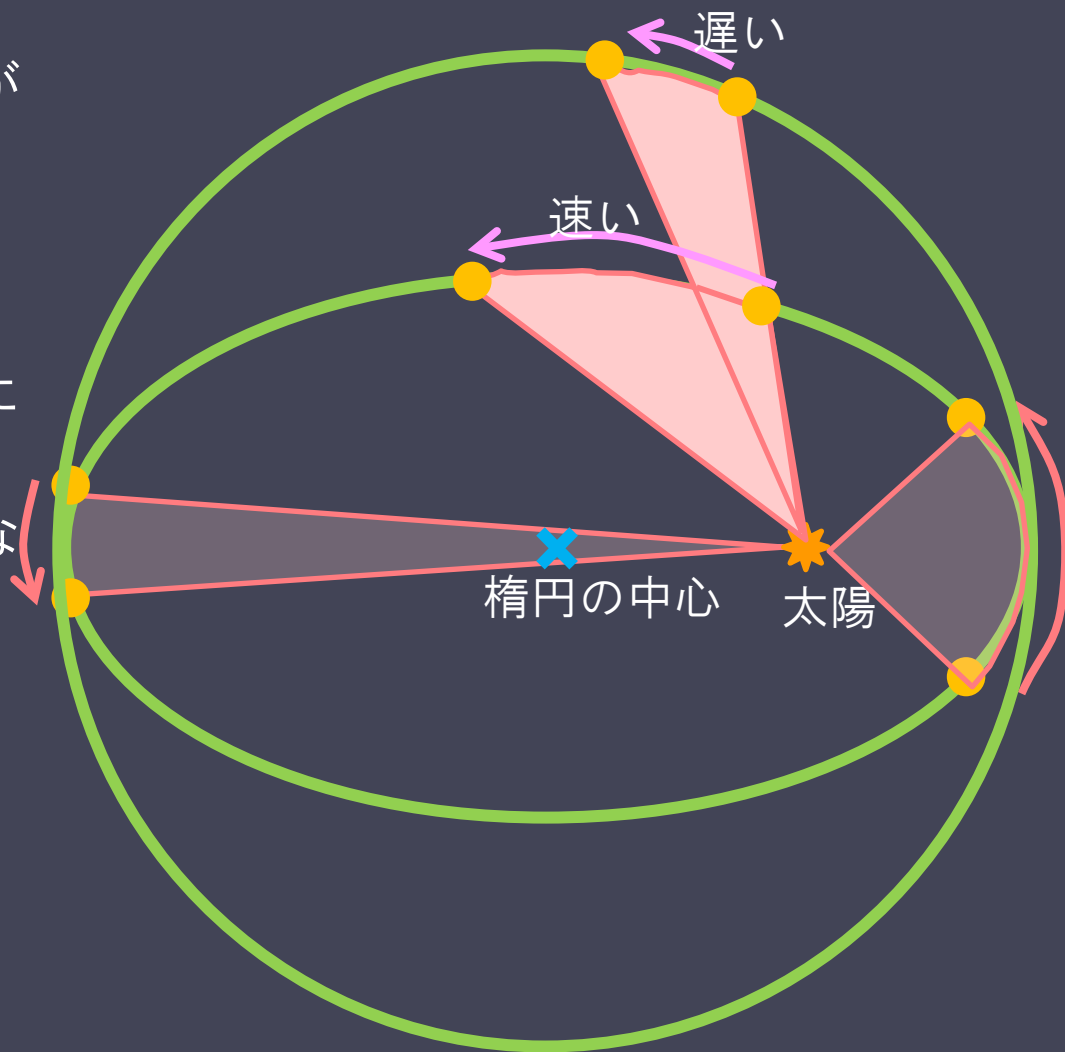
ティコ・ブラーエ(1588)

- 地球は宇宙の中心
- 惑星は太陽中心
- アリストテレスの球殻の否定
- 軌道の交差



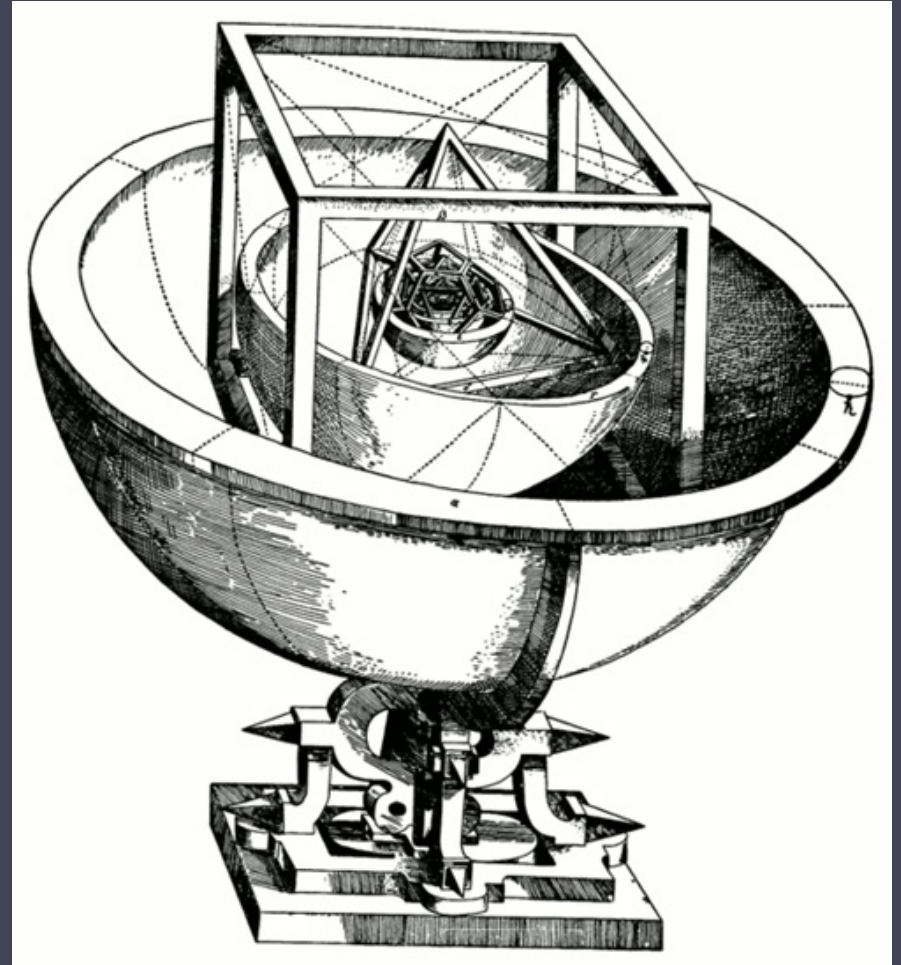
ヨハネス・ケプラー(1609)

- 太陽を原因とした運動
 - 距離が遠くなると、運動が遅くなる
 - 面積速度一定の法則
- 楕円の軌道
 - 面積速度一定の法則が常に成り立つとする
 - 円軌道では、うまくいかない → 円軌道模型の棄却



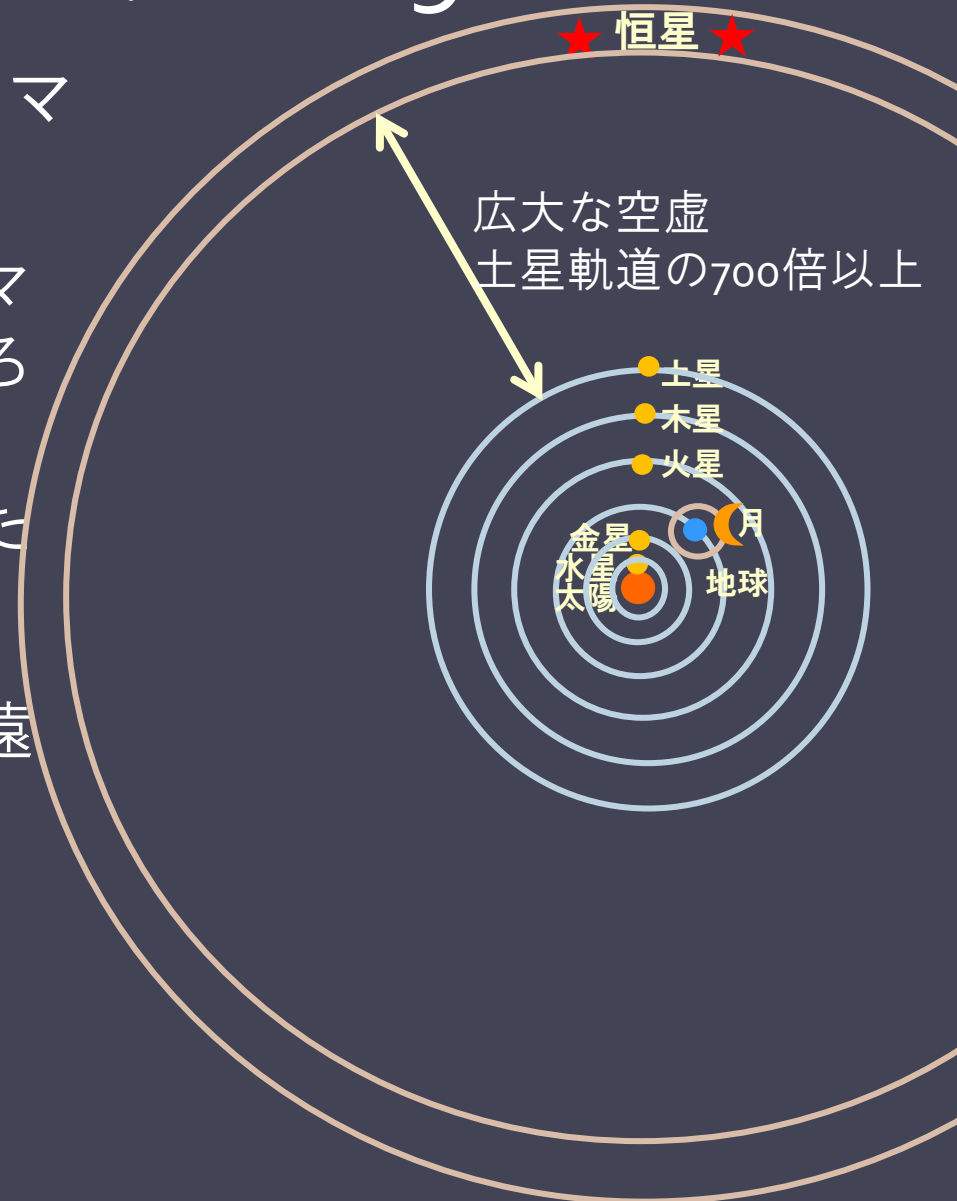
ケプラーが求めた宇宙の調和

- 惑星の軌道は、それに外接する多面体によって区切られている。
(1596年)
 - 水星—正8面体
 - 金星—正20面体
 - 地球—正12面体
 - 火星—正4面体
 - 木星—正6面体—土星



新しい宇宙観(1609)

- アリストテレス・プトレマイオスからの完全な脱却
 - アリストテレス・プトレマイオスを突き詰めるところから始まった
 - 「美」と「調和」を求めた
- 同じ年
 - ガリレオ・ガリレイが望遠鏡を天に向けた
 - 木星の周りを回る衛星
 - 金星の満ち欠け
 - 太陽の黒点と自転

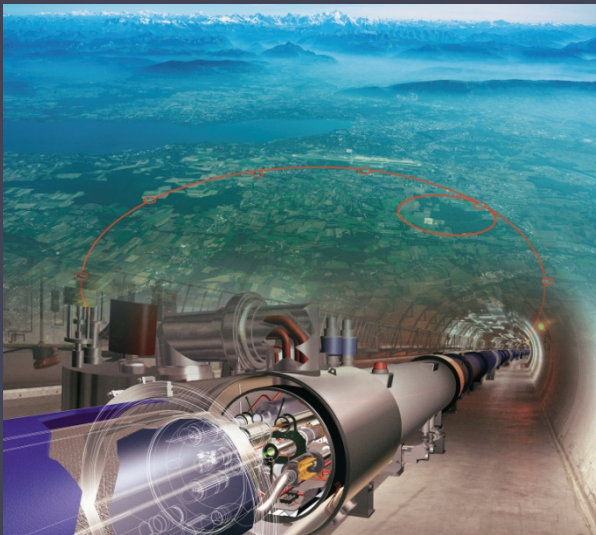


自然のより深い理解へ

- ニュートン（1687年）
- 万有引力の法則
 - 惑星は 太陽に
 - 月は 地球に
 - リンゴも 地球に 引っ張られる
- 力学
 - 力を受けた物質は速度が変化する

$$F = -\frac{GM_1M_2}{r^2}$$

$$F = ma$$



ヨーロッパのLHC（Large Hadron Collider）
陽子を7兆電子ボルトまで加速

参考文献

- 「コペルニクス革命」、トーマス・クーン、講談社学術文庫
- 「望遠鏡以前の天文学」クリストファー・ウォーカー編、恒星社厚生閣
- 「天文学史：現代天文学講座15」中山茂編、恒星社
- 「天文学史」桜井邦朋、朝倉書店