

天動説

古代ギリシャの宇宙観

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（中世）
- ヨーロッパ（ルネサンス：15世紀ころ）



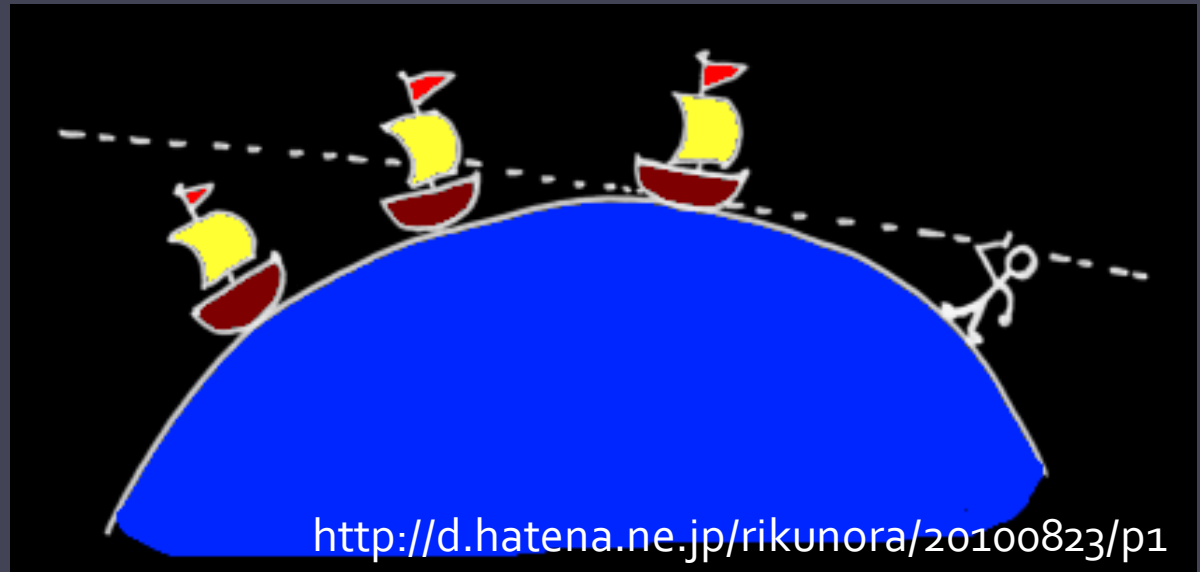
バビロニア
王国

黄がフェニキア人の都市、赤がギリシア人の都市(Wikipedia)

ギリシャの天文学

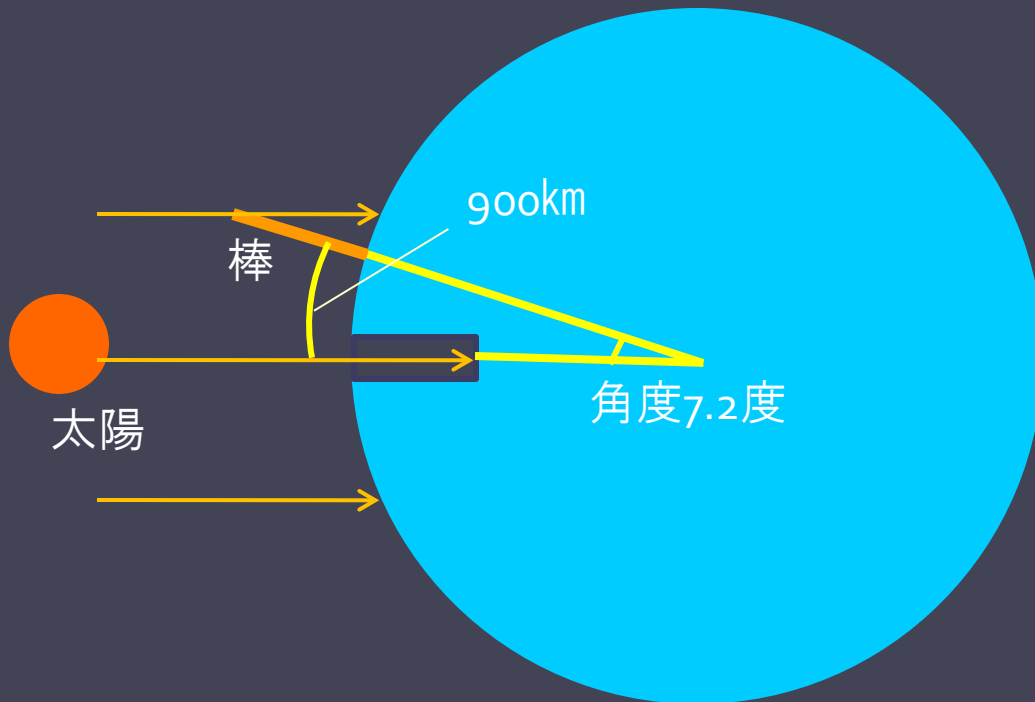
地球は丸い

- このことは、早くから知っていた。
 - 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、北極星が高くみえ、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

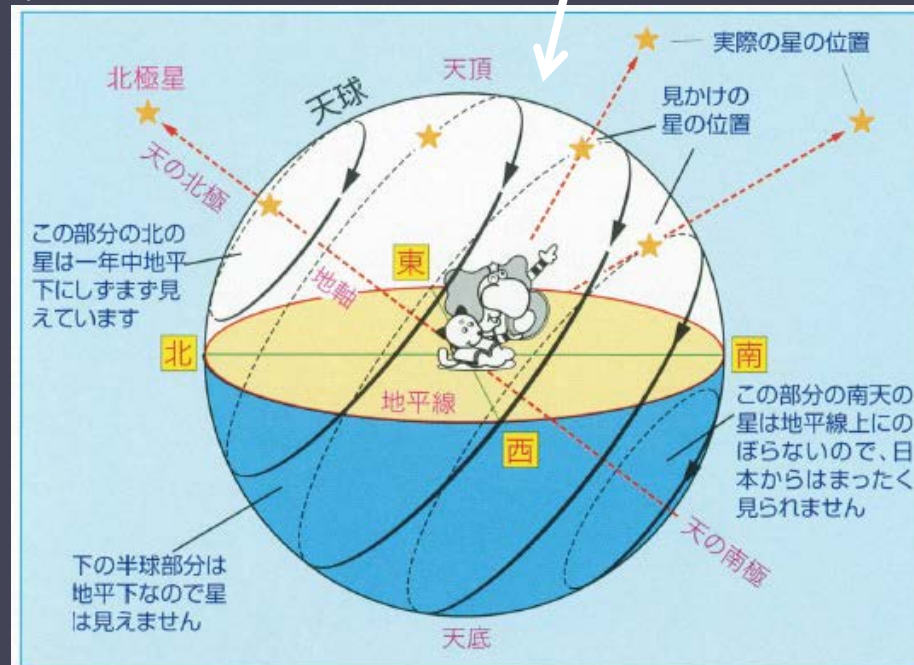


地球の円周は、 $900\text{km} \times 360 \div 7.2 = 45000\text{km}$

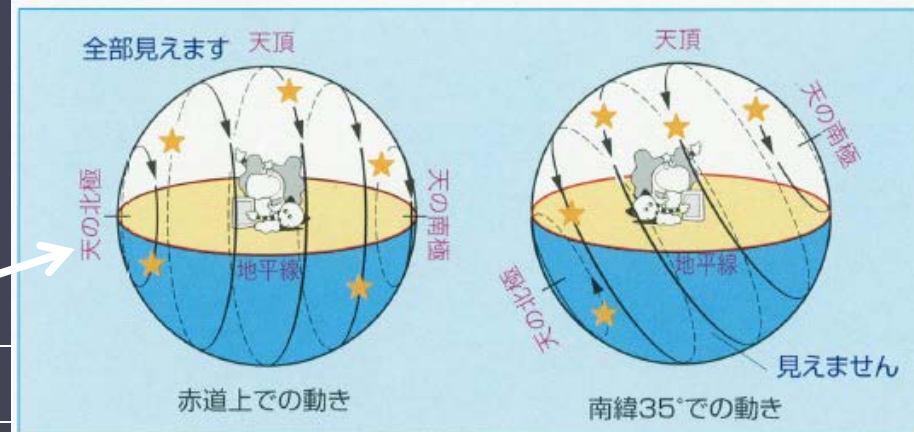
星の動き

- 1日で1周（地球の自転）
 - 1日に360度。
 - つまり1時間に $360 \div 24 = 15$ 度
 - 正確には、1週するのに23時間56分4.09秒かかる。この4分のずれは、公転運動のせい
- 1年で1周（地球の公転）
 - 1日約1度

東京からの見え方



▲北緯 35°付近での星の動きのようす

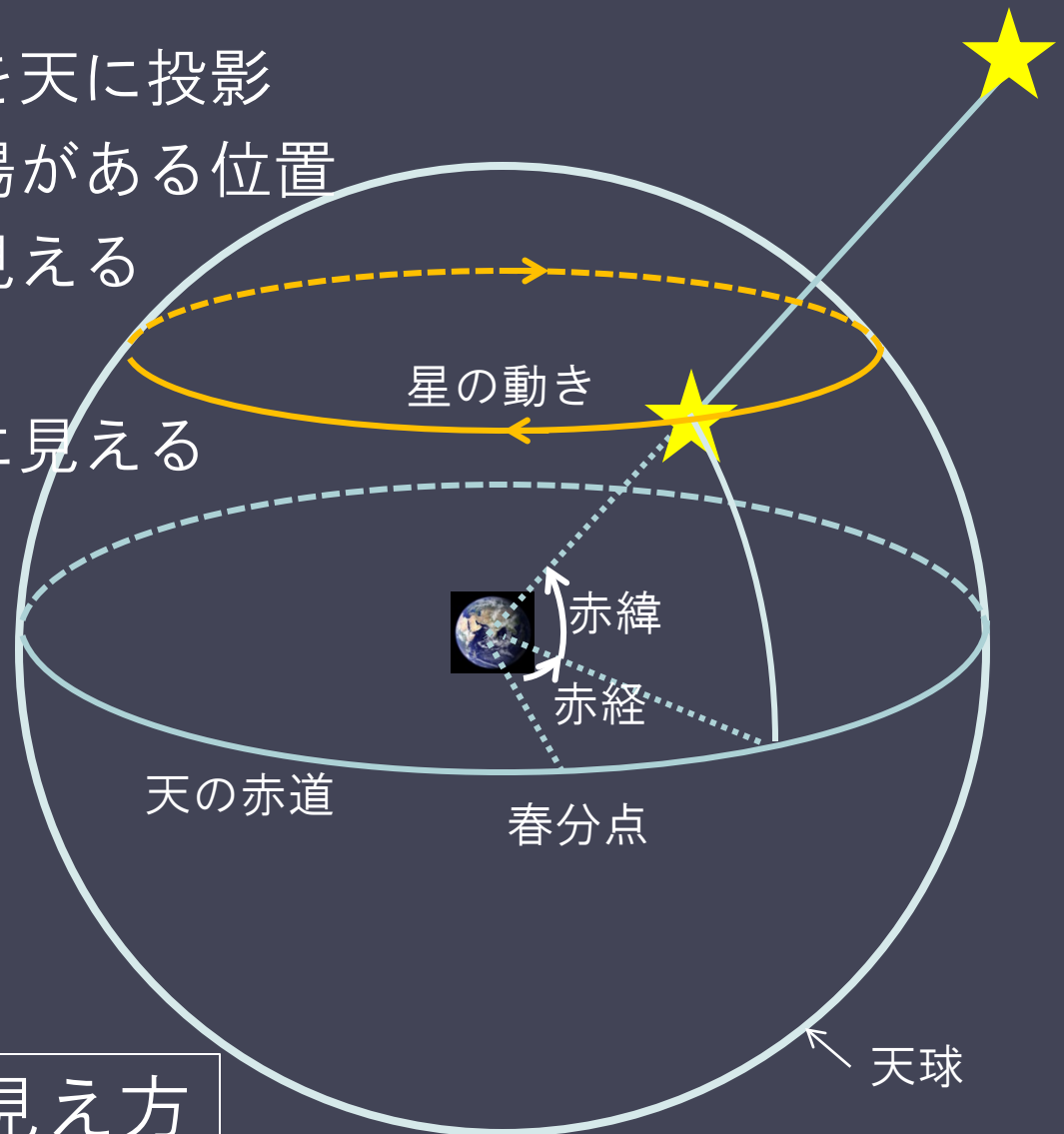


▲緯度のちがいによる星空の見え方や動きのちがい

赤道からの見え方

星の位置

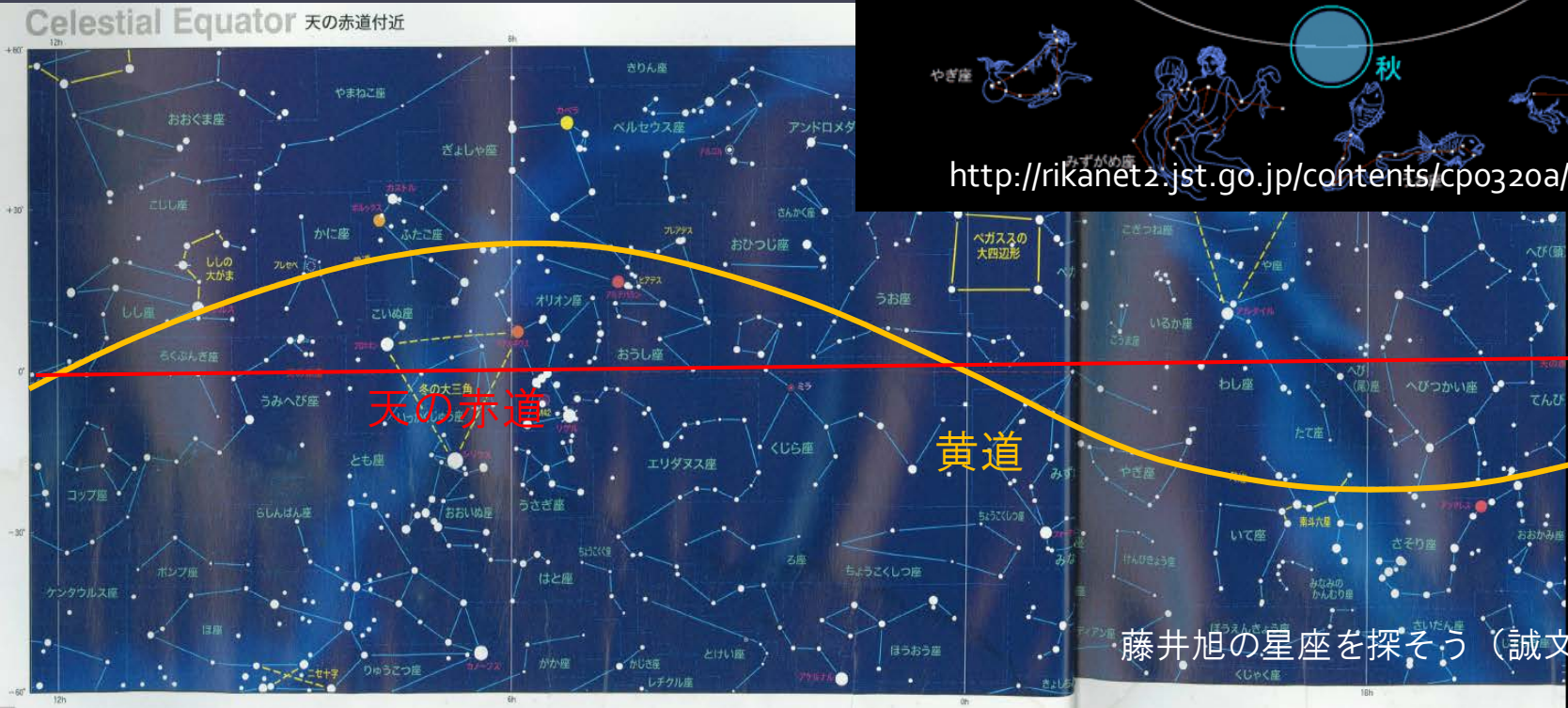
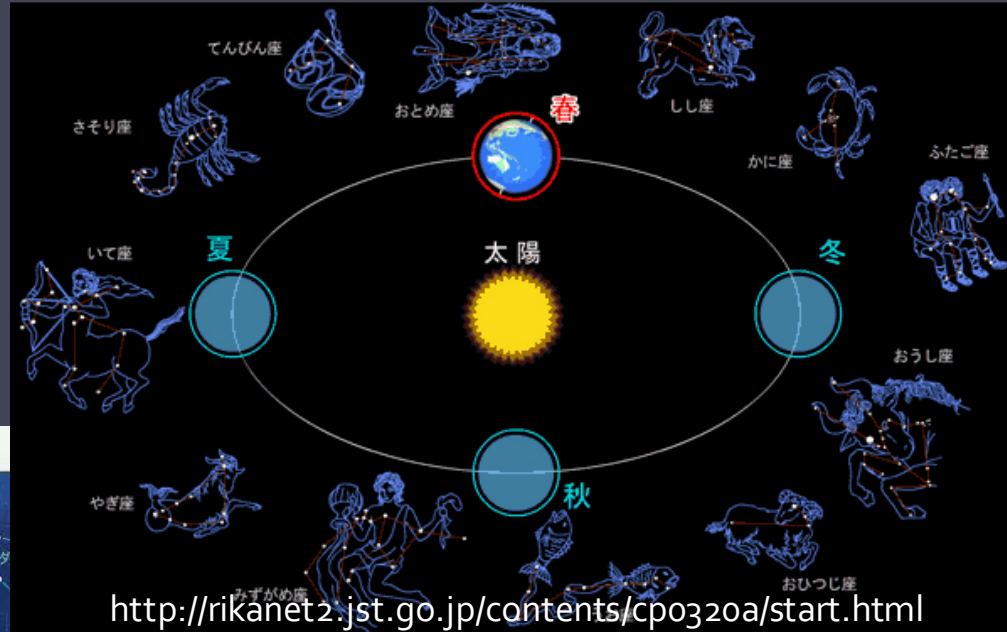
- 天の赤道：地球の赤道を天に投影
- 春分点：春分の日に太陽がある位置
- 星は天球に貼り付いて見える
- 地球の自転で、星が動く
- 天球が動いているように見える



図は北極からの星の見える方

太陽の動き

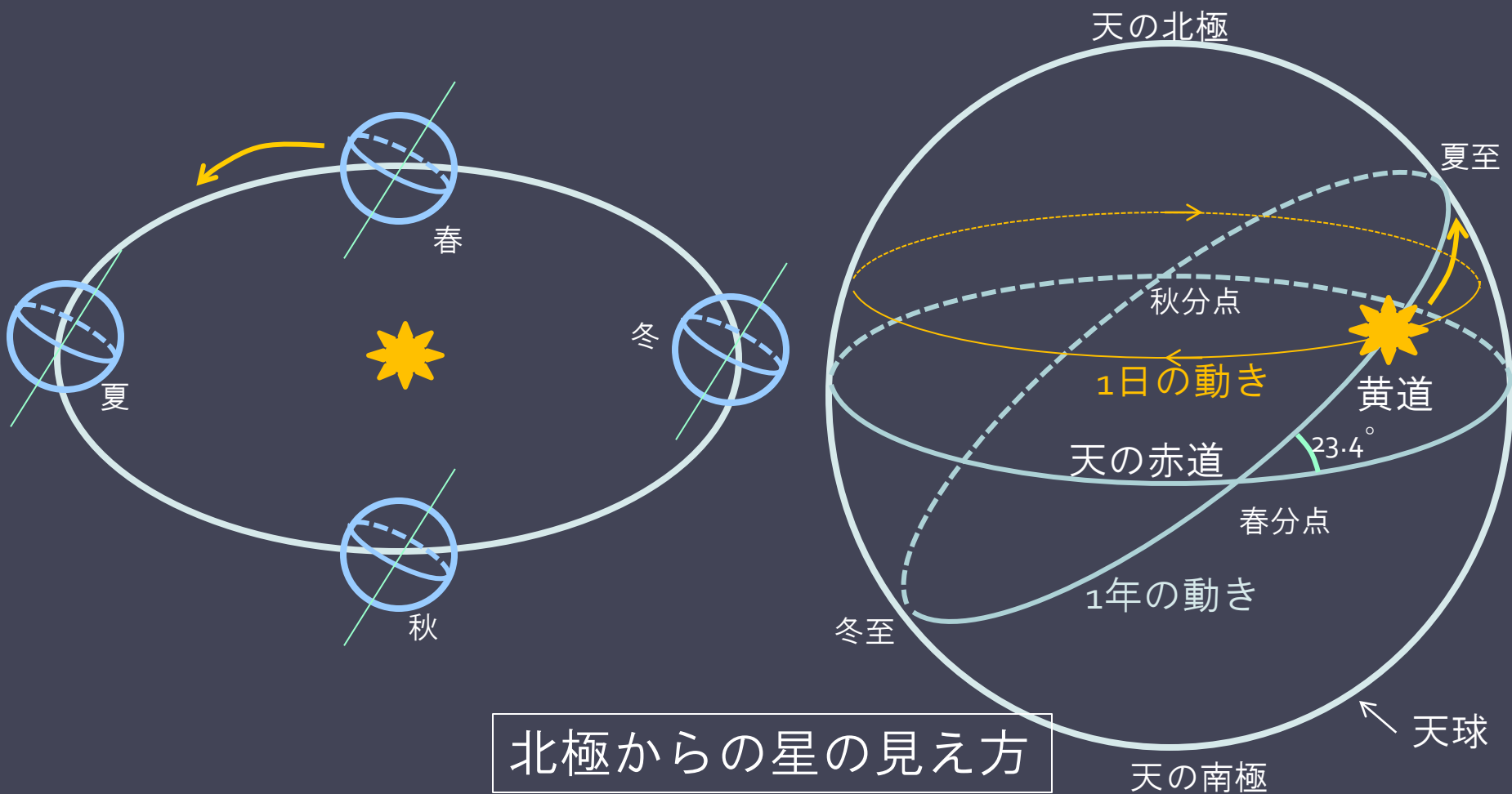
- 太陽は、天球面上の決まった軌道を通る
- 黄道12星座



藤井旭の星座を探そう (誠文堂新光社)

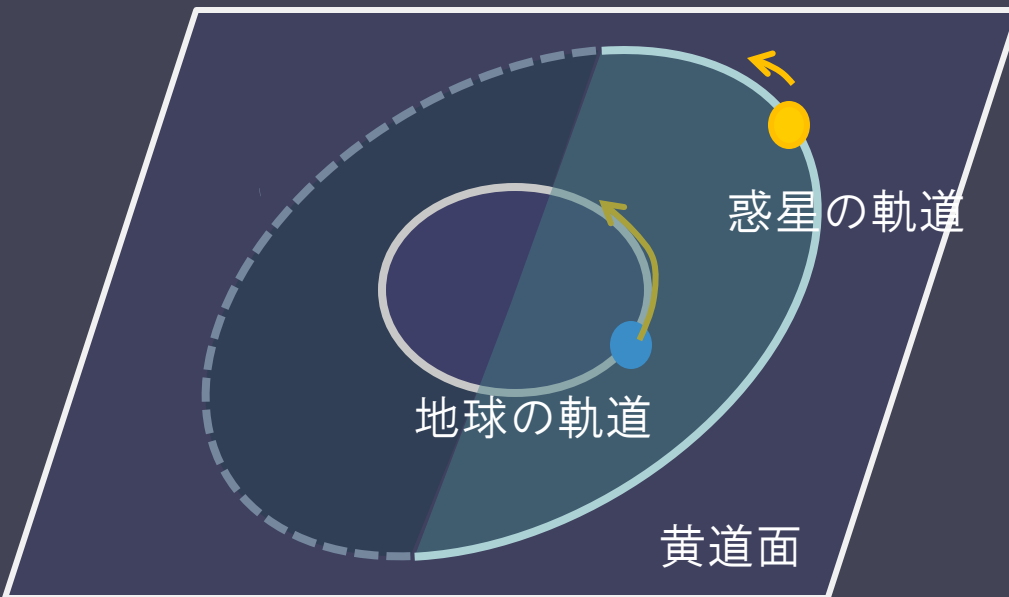
太陽の動き

- 天球面上で黄道という大円を描く



惑星の動き

- 黄道（太陽の通り道）のまわりを複雑に動く
 - 地球が惑星を追い越す
 - 逆行 ほぼ1年ごとに起こる
 - 惑星の軌道面が傾いている



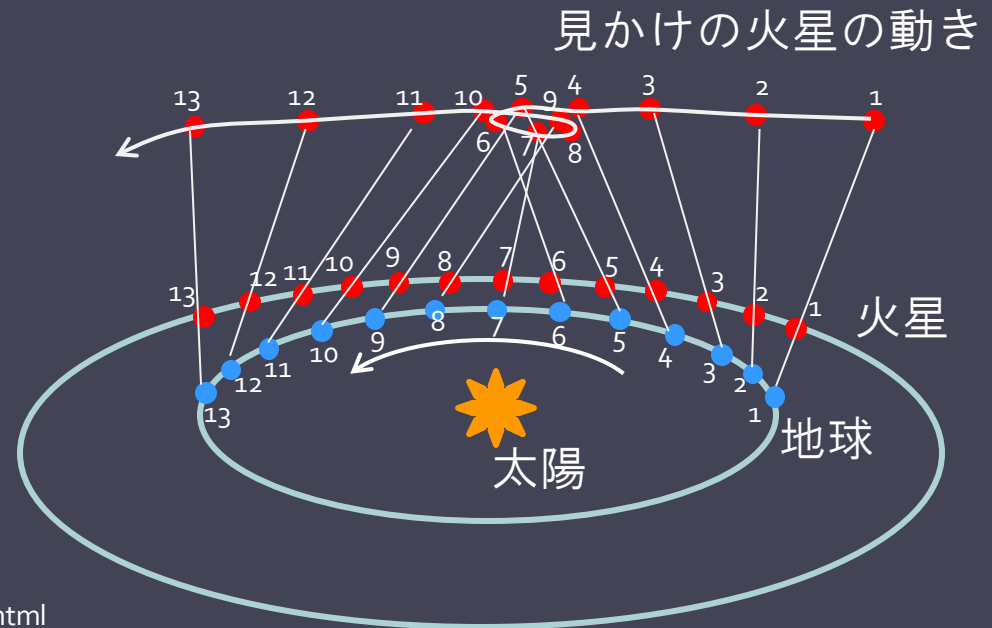
火星の複雑な動き



惑星の逆行

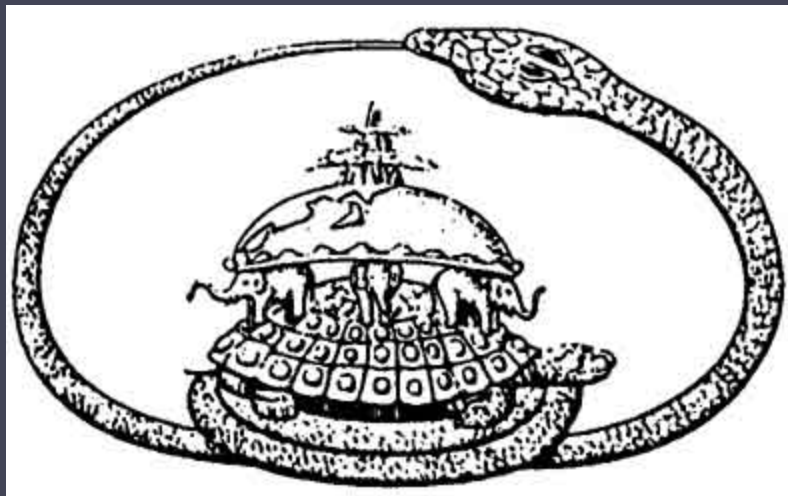
- 地球が火星などを追い越すためにおこる
- 金星や水星は、地球を追い越す

火星の逆行

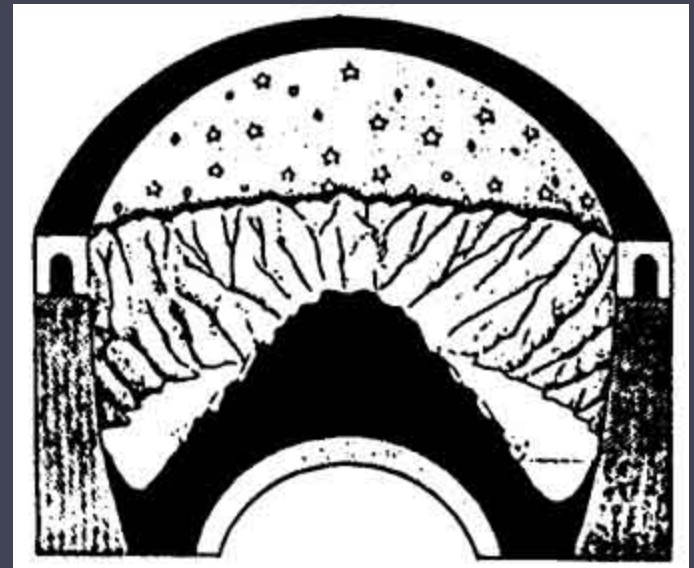


アリストテレス(BC384-322) の宇宙観

宇宙はどのようなになっているのだろうか？



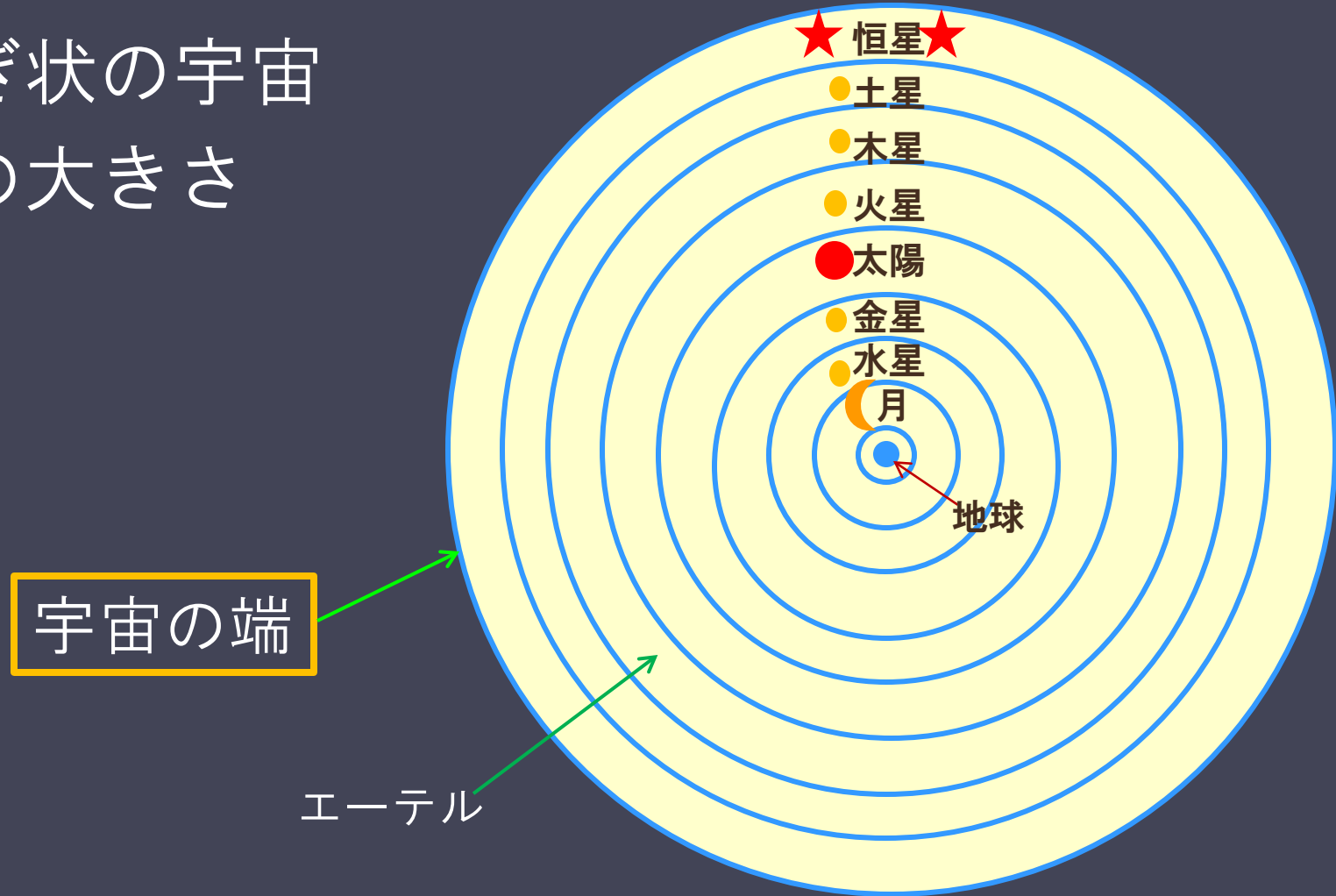
古代インドの宇宙



古代バビロニアの宇宙

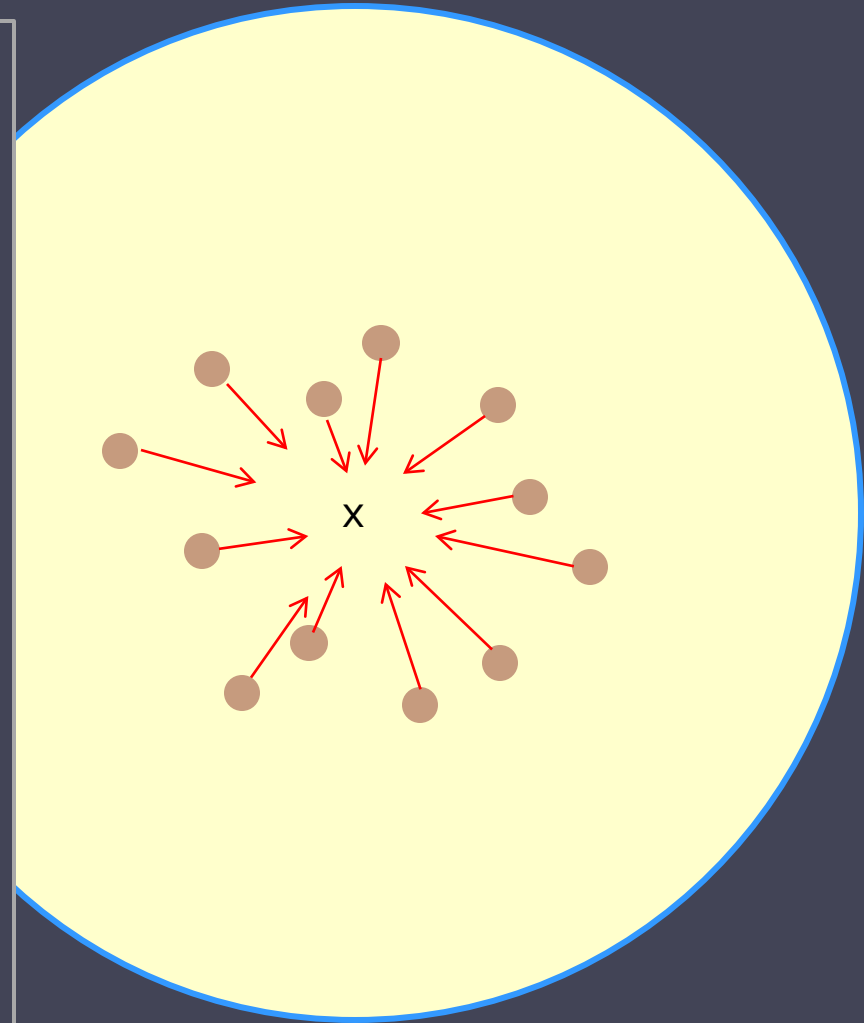
球体の宇宙

- 玉ねぎ状の宇宙
- 有限の大きさ



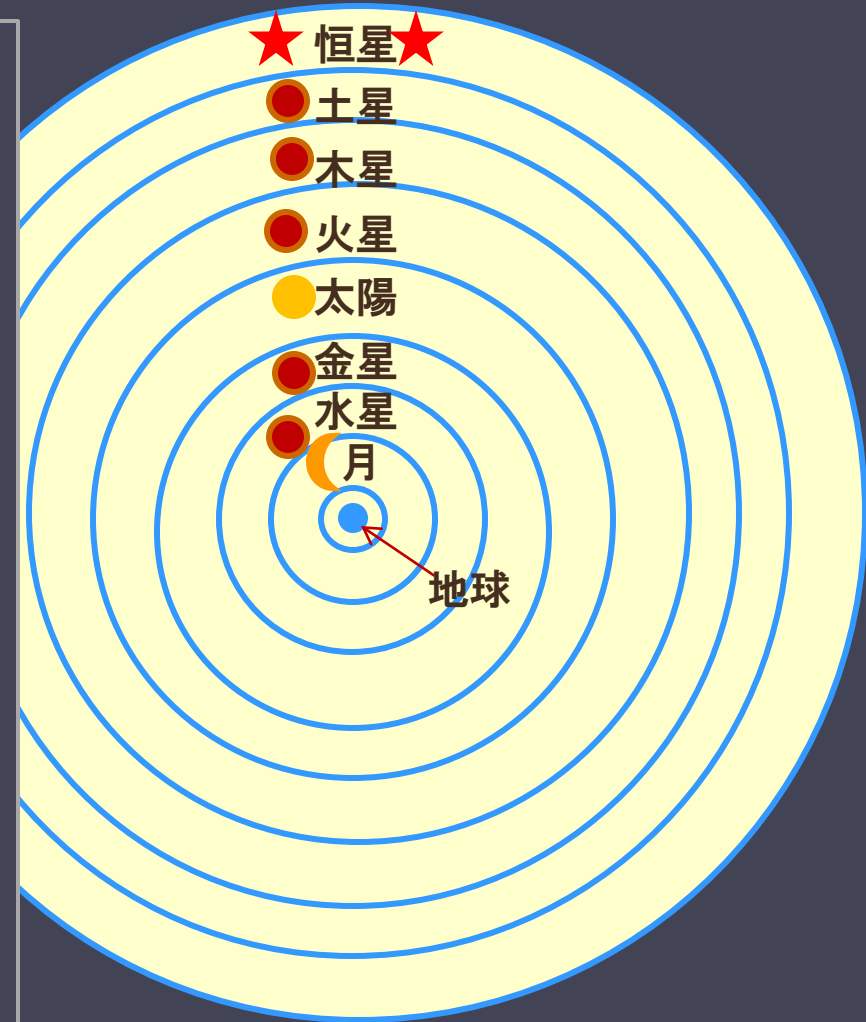
有限の宇宙

- 有限の宇宙
 - 中心がある
- 地上の物理学
 - 土、水、空気、火の4元素
 - 止まっているのが自然
 - 下に落ちる（火は上へ）
 - あるべきところに移動
- 地球は宇宙の中心（に落ちてできた）
 - 土の性質の帰結



回転する球体の宇宙

- 天の物理学
 - 中心を取り囲む球
 - 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
 - 球体の回転 → 円運動
 - 惑星の順番は、地球の周りを回る周期の順
(便宜的に置いた)

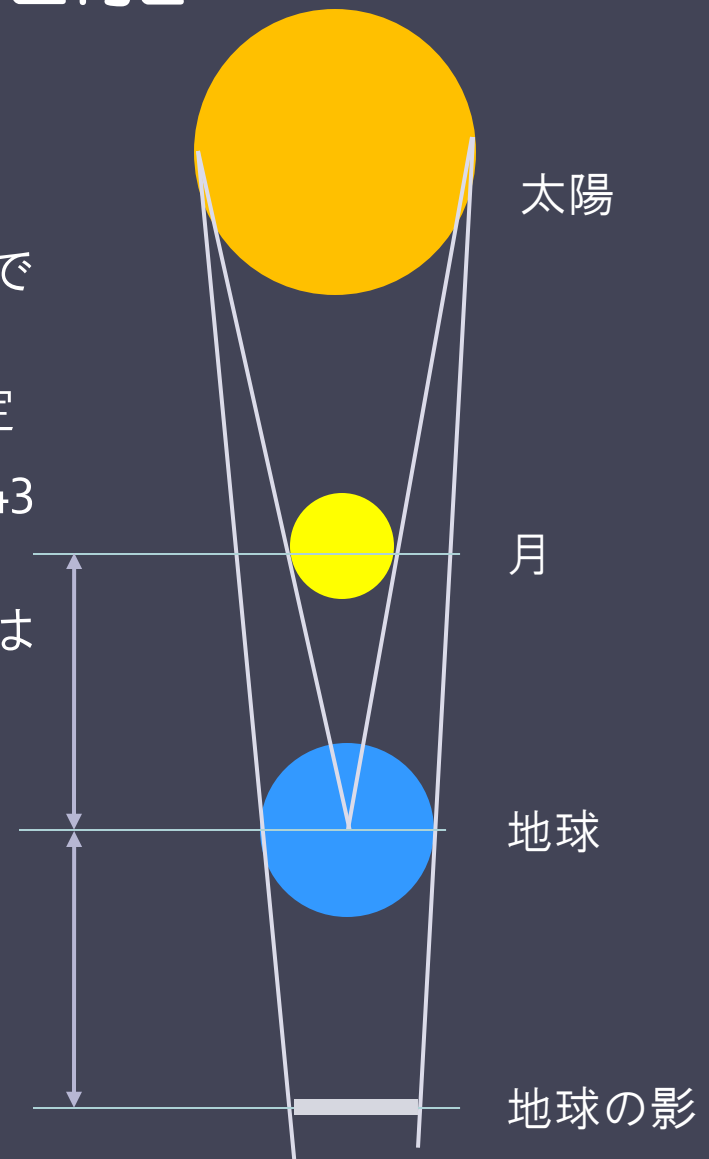


地動説への反論

- 物質は止まっているのが自然
 - 地球が動いていたら、激しい風が生ずる
 - 石を投げれば後ろに飛ぶ
- 地動説側は、この考えに明快に反論できなかった
 - 慣性の法則が認識されるのはずっと後
- アリストテレスは、首尾一貫した世界観を与えた
 - 理論を構築するには、まず世界観が必要

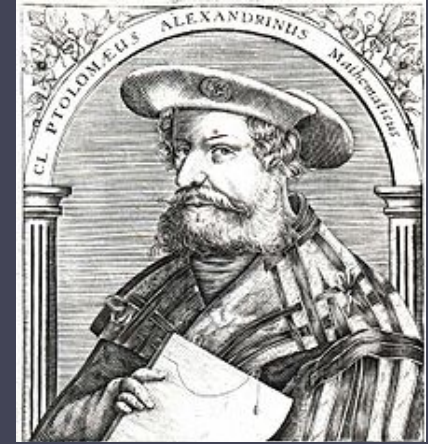
月、太陽の距離

- 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。



プトレマイオスの「天文学体系 (アルマゲスト)」

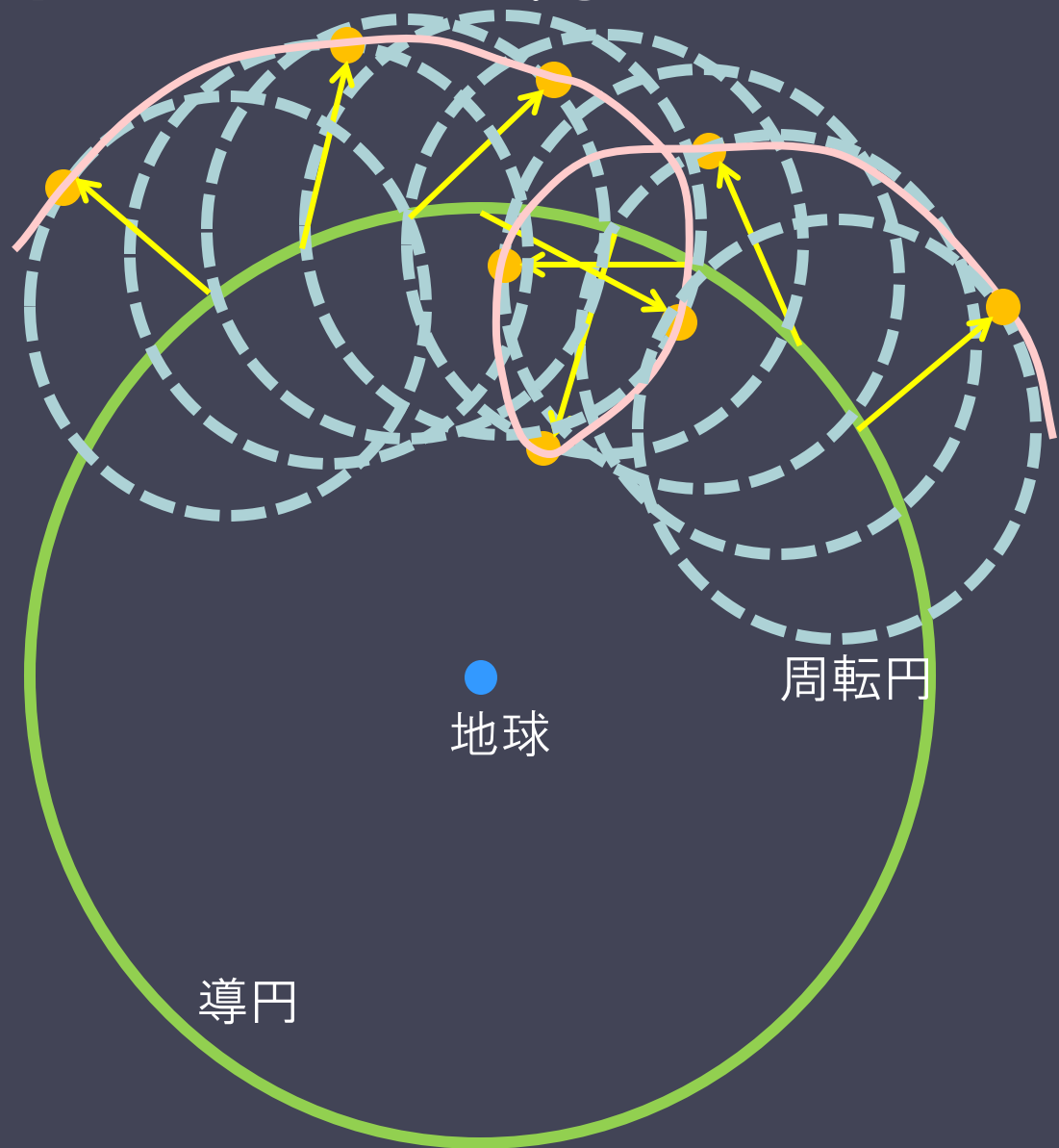
- プトレマイオス（トレミー）
 - － 紀元2世紀
 - － 13巻からなる古代天文学の集大成
 - － 1022個の星の目録、48個の星座
 - － 天動説による惑星運動の理論(計算法)



Wikipedia

天動説による逆行

- 実は、逆行現象は正確に説明できる
- 地球と惑星の2体しか考えていない



地動説と天動説の数学的同等性

地動説（外惑星の場合）

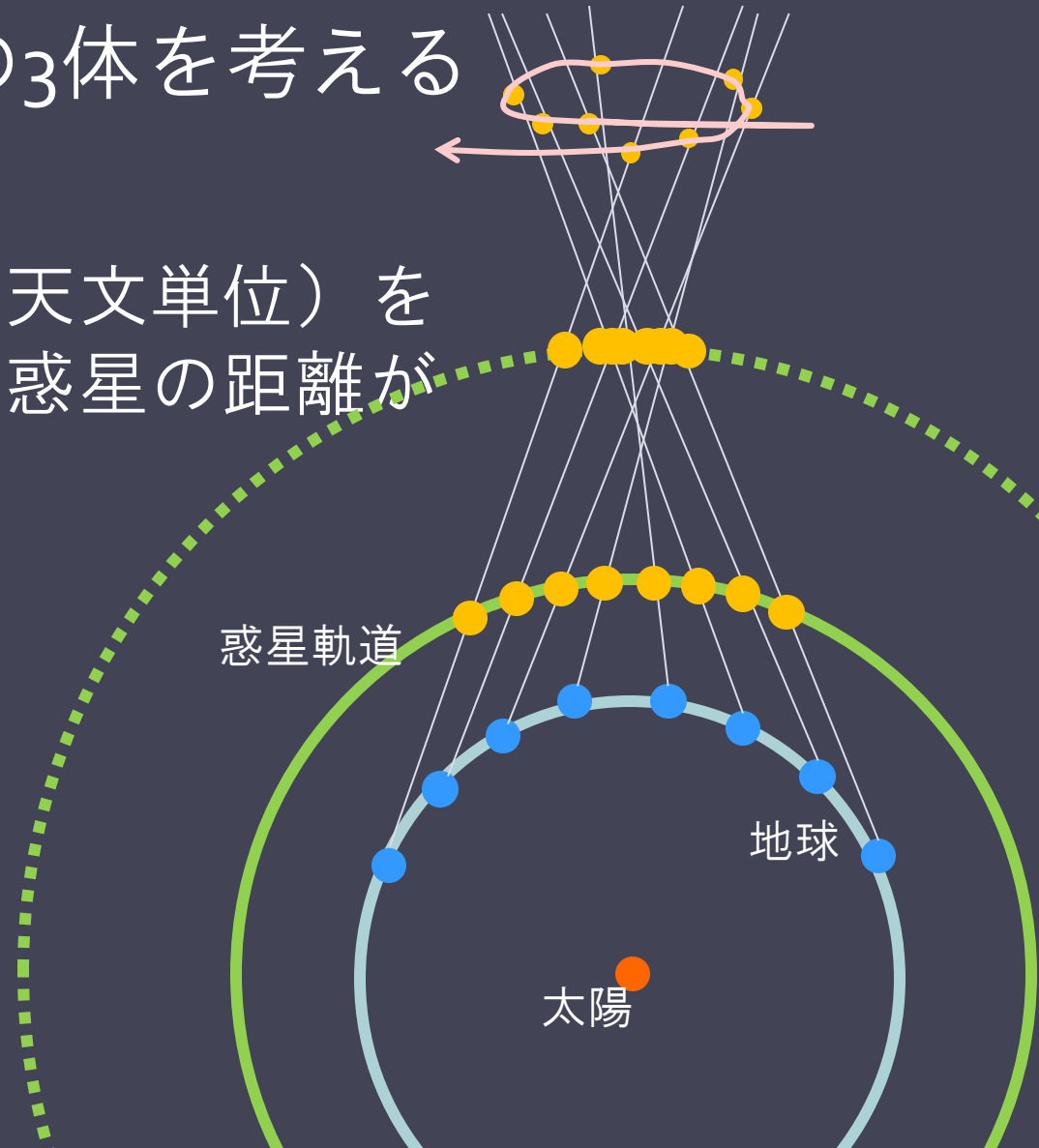


天動説



地動説での逆行

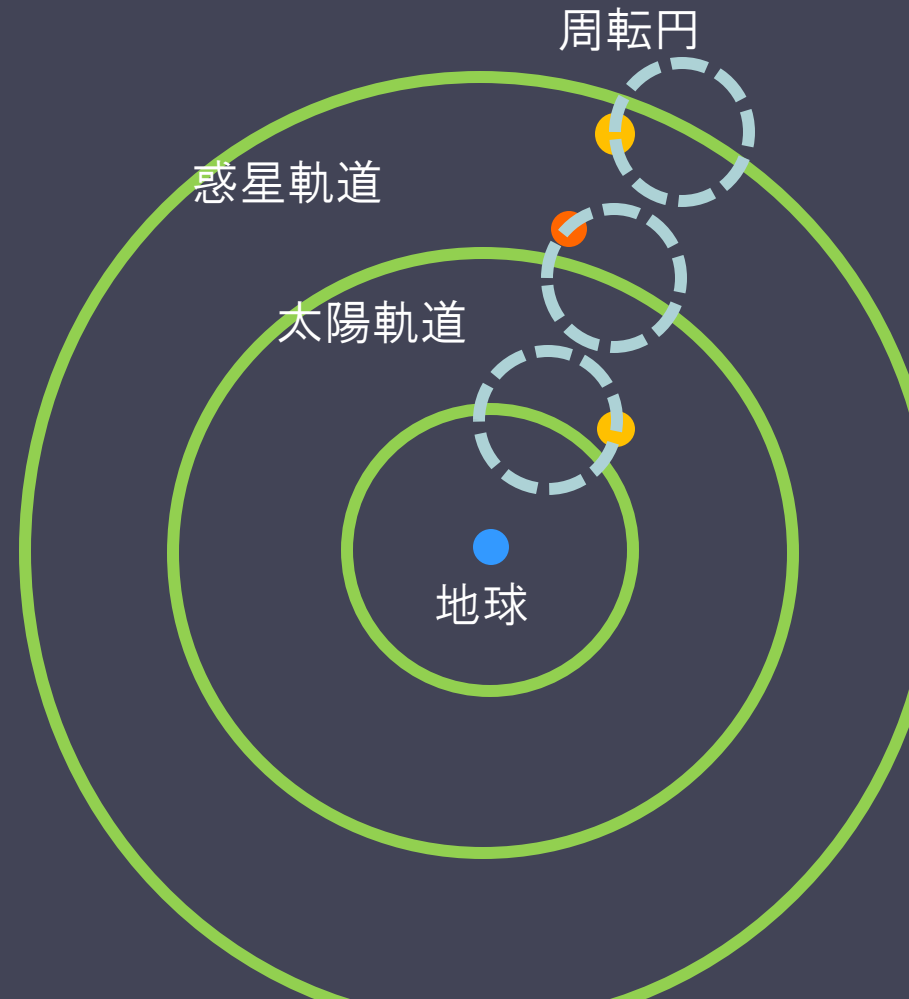
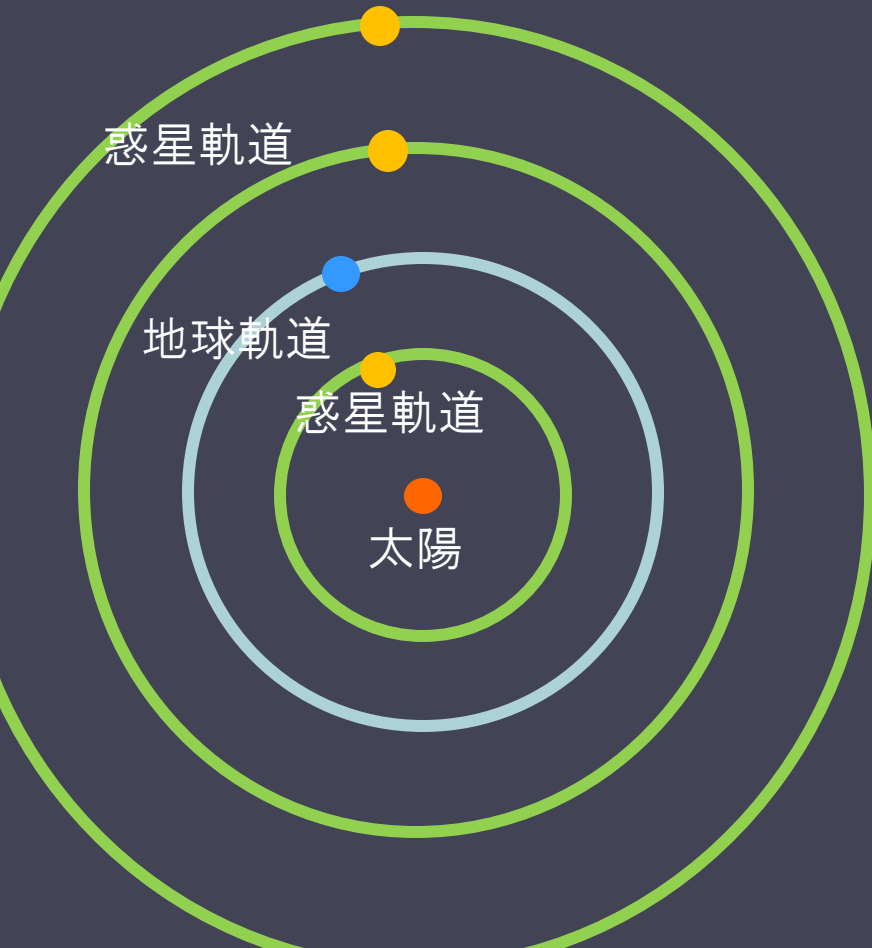
- 太陽、地球、惑星の3体を考える
- すると、
 - 太陽と地球の距離（天文単位）を基準として、太陽と惑星の距離が求まる。



惑星の距離

地動説：自動的に決まる

天動説：周転円が交わらないように



内惑星と太陽の距離

- 地動説：金星は太陽の向こう側に行く
- 天動説：金星は常に太陽より近い

地動説



天動説



地動説と天動説の違い

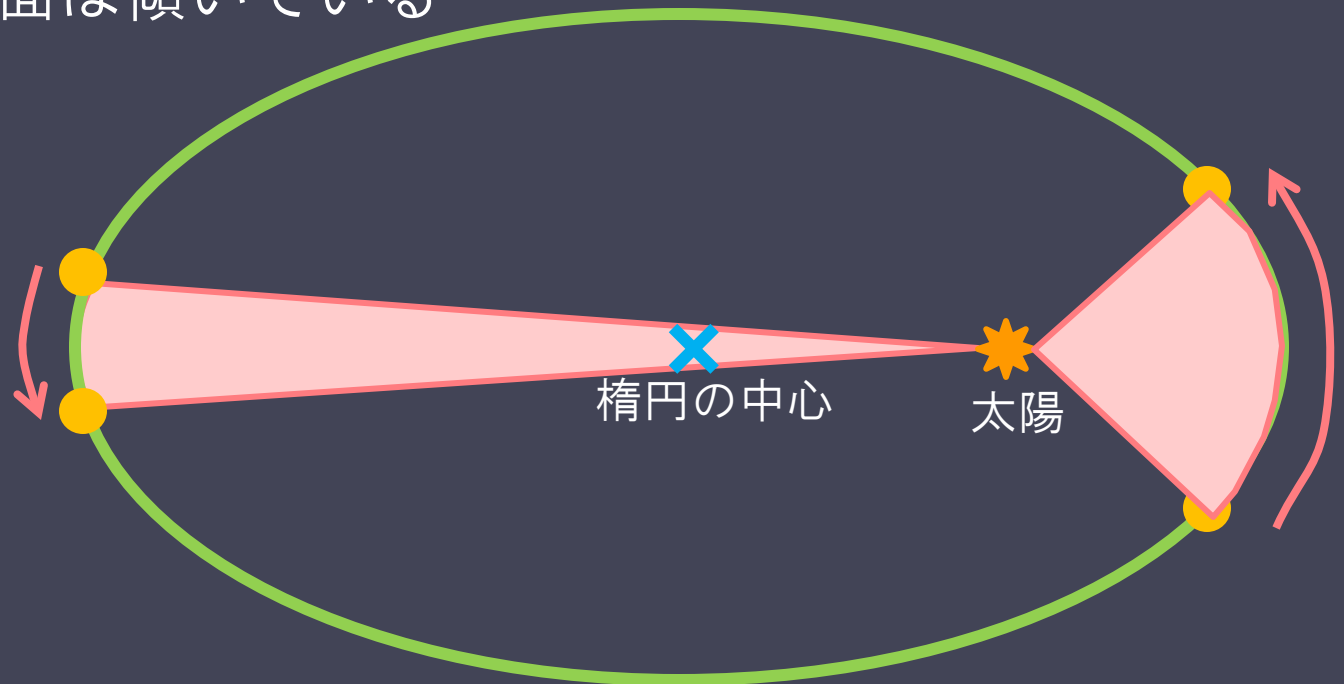
- 逆行など、「惑星の見える位置」については、天動説でも説明できる
- 違いが表れるのは、惑星との距離
 - 惑星の距離の測定が、地動説の直接的証拠となる
 - これが観測されるのは望遠鏡の発明以降（ガリレオ以降）

望遠鏡のない時代に何が問題 だったのか？

「惑星の位置」に関して、天動説
の何が間違っていたのか。

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



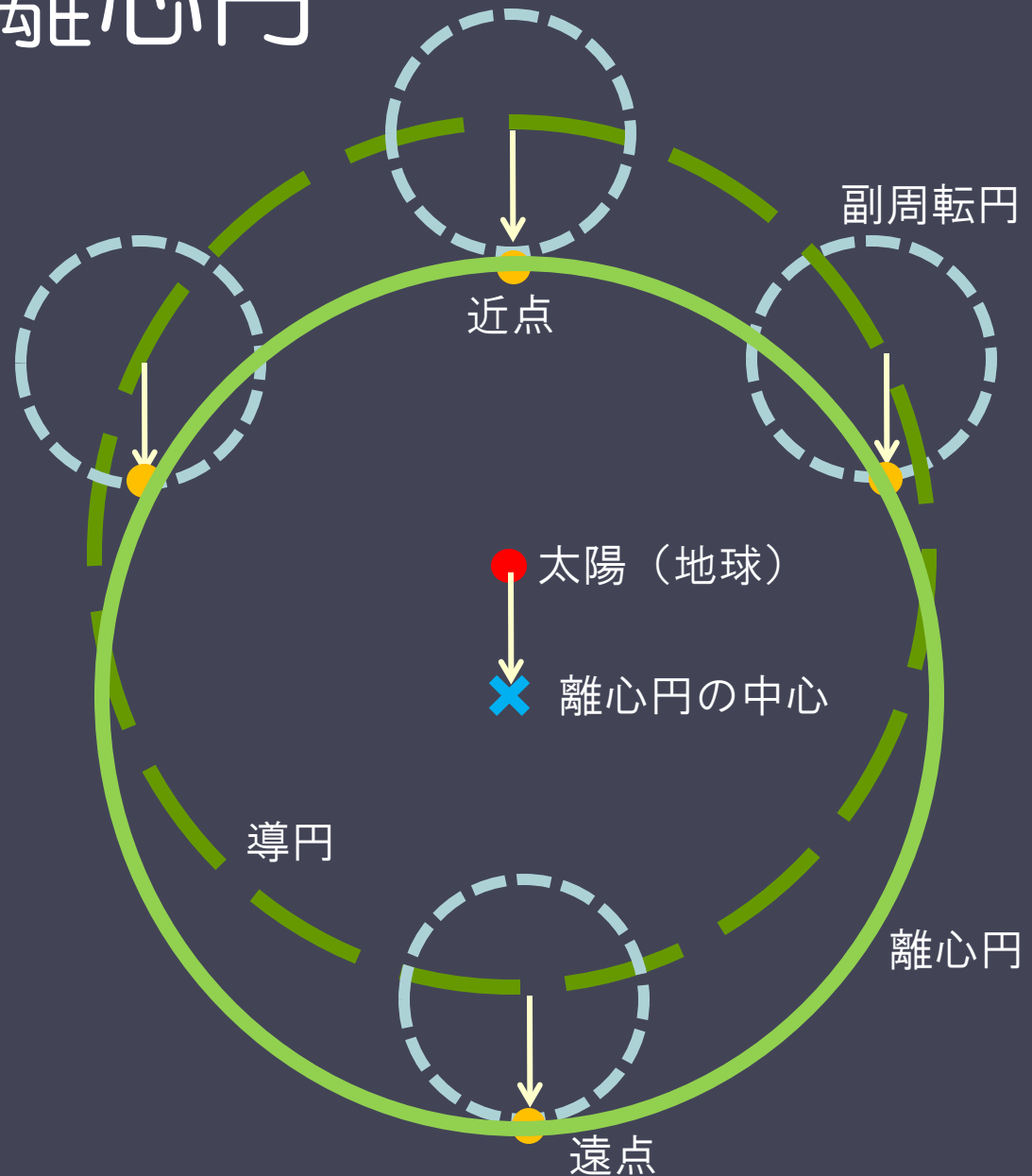
惑星運動の問題

- 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。
- このことが、複数の周転円など、複雑な工夫を必要とした真の理由
 - 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。



離心円

- 離心円によって太陽からの距離の変化を表現
 - 地球からの距離の変化は主周転円で
 - 副周転円を1個省略できる



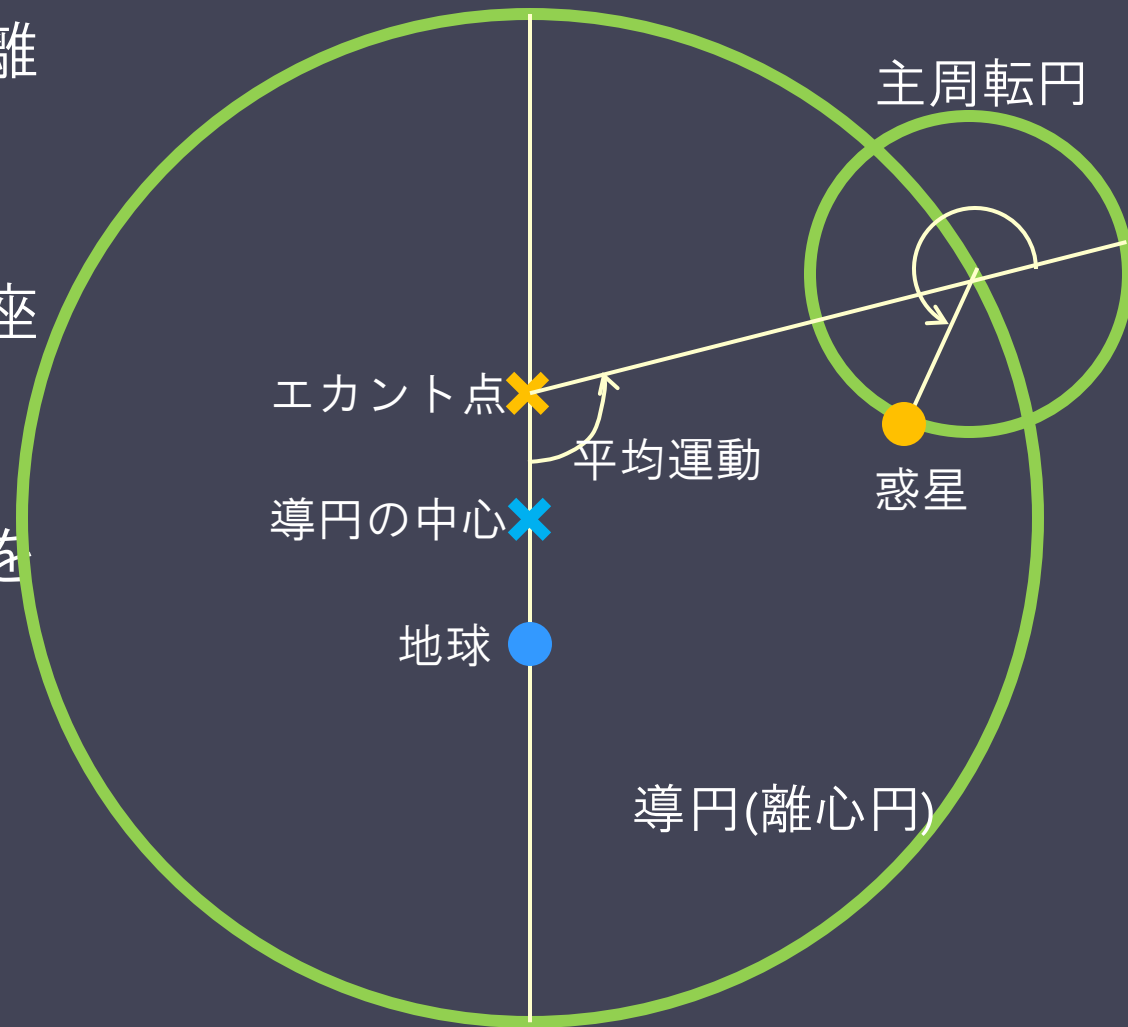
エカント点 (プトレマイオス、 A.D. 83-168頃)

- 速度の変化を表現
- 数学的には複雑
 - 惑星の座標が単純な三角関数で表せない
 - 反復解法が必要



天動説の惑星理論

- 離心円：太陽からの距離の変化
- エカント：速度の変化
- 主周転円：地球中心に座標変換
 - 逆行を説明
- 副周転円：さらに誤差を補正
- 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



天動説のまとめ

- アリストテレスの宇宙観
 - 宇宙は有限
 - 物質の性質 → 地球は宇宙の中心
 - エーテルに満たされ回転運動をしている天球
- 天動説による惑星理論
 - 問題の本質は、楕円で非等速な惑星の運動
 - 離心円、エカント点はこれらの問題解決のため導入された