

古代人の宇宙

天文学の簡単な歴史
星・惑星の動きと天動説

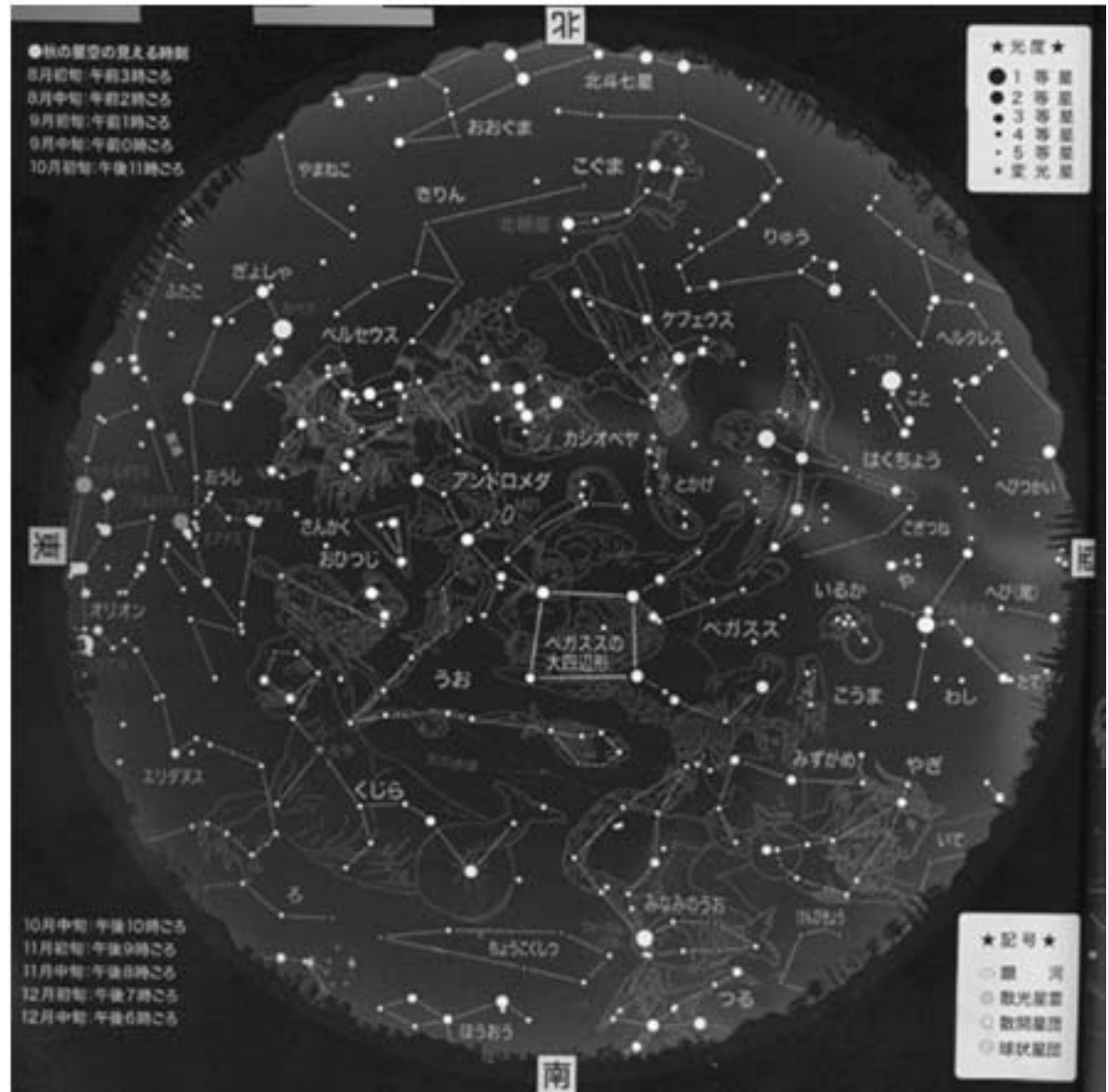
星空

- 肉眼で見える星の数：約6000
- 星空の姿は変わらない（数千年では）



星座

- 88の星座があり、すべての星がどこかの星座に属している



藤井旭の星座を探そう (誠文堂新光社)

星座はいつ頃できた？

- メソポタミア（現在のイラク） ・ シュメール人：紀元前3000年ころ？
- バビロニア王国(B.C.2000～)
 - － 粘土板による記録
- 季節を知る、星占い
 - － 黄道12星座は、惑星の予言を手伝う神々



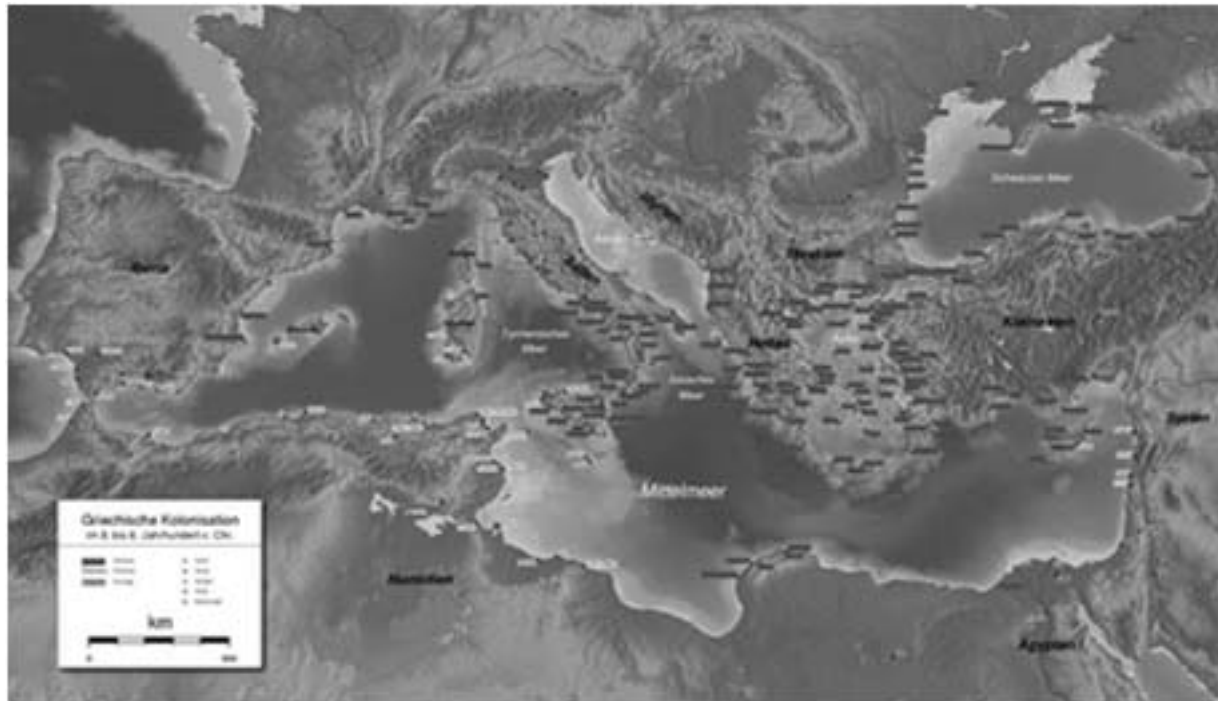
ムル・アピンの写し。
B.C.500ころ。望遠鏡以前の天文学、ウォーカー編。恒星社厚生閣



紀元前1100年ころの境界石
ここには、当時の神々が描かれている（星座かどうかは不明）
<http://members.westnet.com.au/Gary-David-Thompson/index1.html>

ギリシヤに伝わる

- 地中海のフェニキア人(B.C.15-8世紀ころ繁栄)に伝わる
 - 航海のため、星の知識を必要とした
- ギリシヤに伝わる(B.C. 5世紀ころ)
- ギリシヤ神話と結び付いた
 - さまざまな民族の神話が寄せ集められていた



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)

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個の星の目録を作成して、そのうち926の星を48個の星座にまとめた
 - これらの星座は現在まで伝わっている



Wikipedia

南天の新しい星座

- 大航海時代の到来(15-17世紀)
 - 南半球から見える星の知識が必要になった
- さまざまな人が、さまざまな星座を作った
 - すべての星座をキリスト教と関連づけたもの
 - その当時の王様をたたえる星座
 - などなど
- 18世紀にフランスのラカージュがまとめた
 - 当時の最新の理化学機器からとったものが多い
- 1928年の国際天文学連合の総会
 - すべての星座とその境界線が定められた。

その他の国の星座

- 中国の星座
 - 朝廷の組織や官名になぞられたものが多い
- 古代エジプトの星座

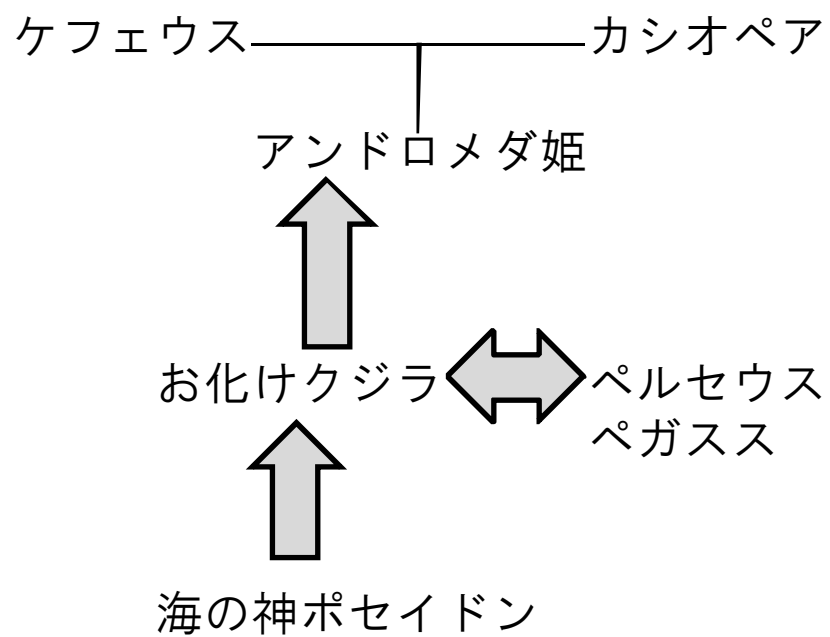


蘇頌（11世紀）の「新儀象法要」の星図
守屋誠司 京都教育大学教育実践研究紀要第10号2010



イシス神殿の天井に書かれた星図
<http://www.heavenlyascents.com/2009/12/11/sbl-notes-2009-april-deconick-early-jewish-and-christian-mysticism>

秋の星座と神話



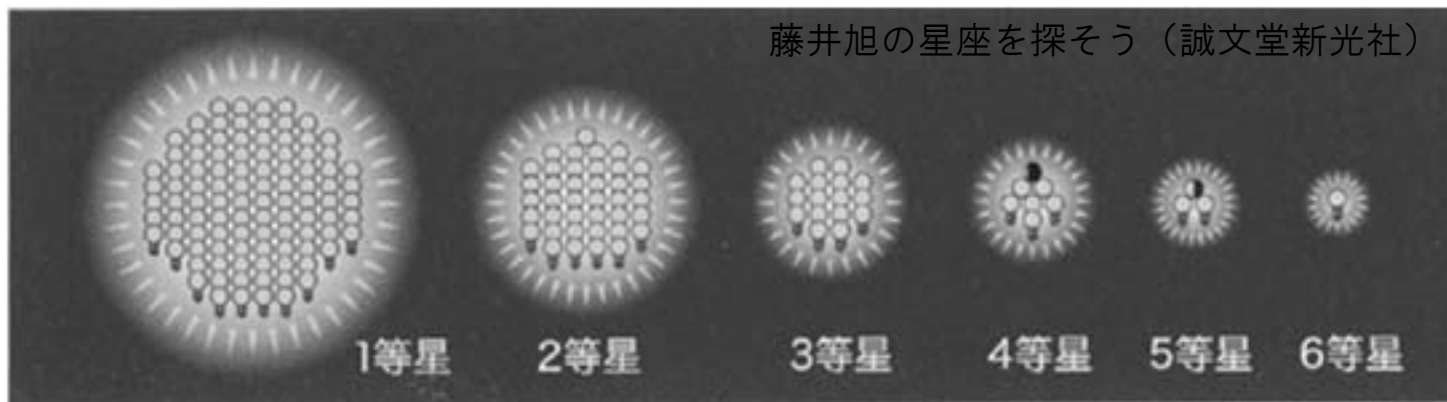
ステラナビゲータ AstroArts

星の呼び名

- 明るい恒星には、昔から名前がつけられていた
 - こと座の1等星
 - アル・ワーキ（アラビア）、ベガ（西欧）、織女（中国）、たなばた（日本）
- 1等星にはすべて名前が付いている
- 3等星までの星の69%
 - 2/3がアラビア語
 - 1等星については、ギリシャ語、ラテン語でつけられた名前が残っているものが多い

星の明るさ

- 1等星は6等星の100倍明るい
 - 1等級違うと、約2.5倍明るさが違う。
 - $2.5 \times 2.5 \times 2.5 \times 2.5 \times 2.5 = 2.5^5 = 100$ (だいたい)



こうじゃないことに注意



星の数

- 暗い星ほど、たくさんある
- 太陽とかの明るさ
 - 太陽：-27等
 - 満月：-12.5等
 - 金星：-4等

等級	数	累計
-1	2	2
0	7	9
1	12	21
2	67	88
3	190	278
...	...	...
6	5600	8600

参考文献

- 「藤井旭の星座を探そう」 藤井旭、誠文堂新光社
- 「星空への招待」 藤井旭、河井出書房新社
- 「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
- 「星座の神話—星座史と星名の意味」 原 恵、恒星社厚生閣
- 「星座」 野尻 抱影編、恒星社厚生閣

天動説

ギリシャの科学を味わう

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)

ー 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

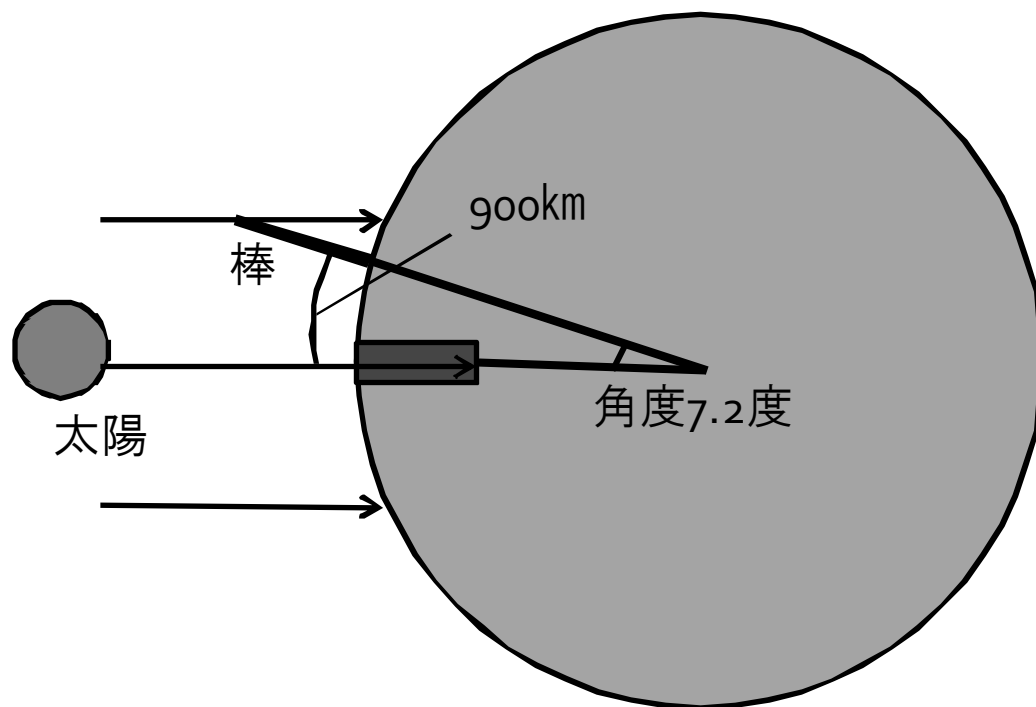
ギリシャの宇宙観

地球は丸い

- このことは、早くから知っていた。
- プトレマイオスの「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



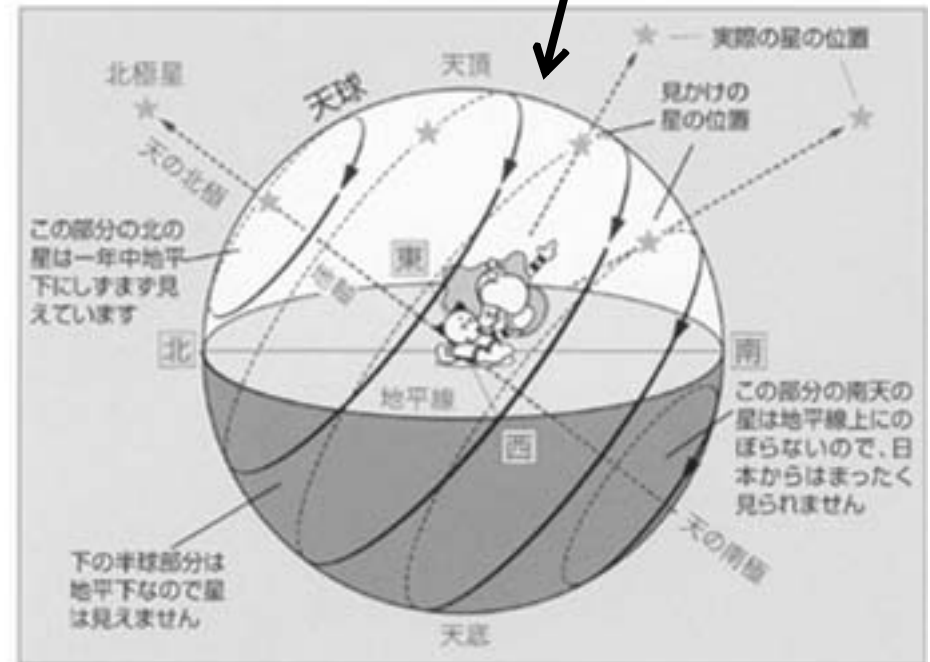
地球の円周は、 $900\text{km} \times 360 \div 7.2 = 45000\text{km}$



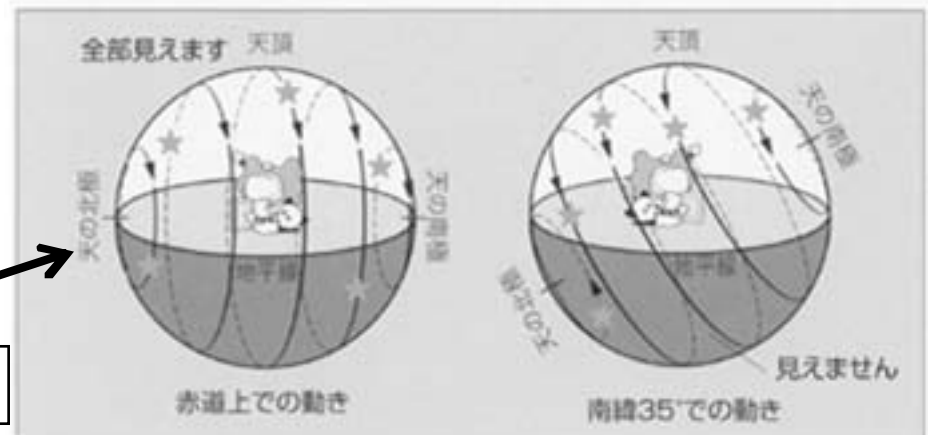
星の動き

- 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

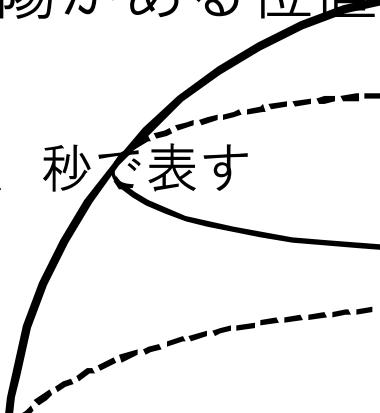


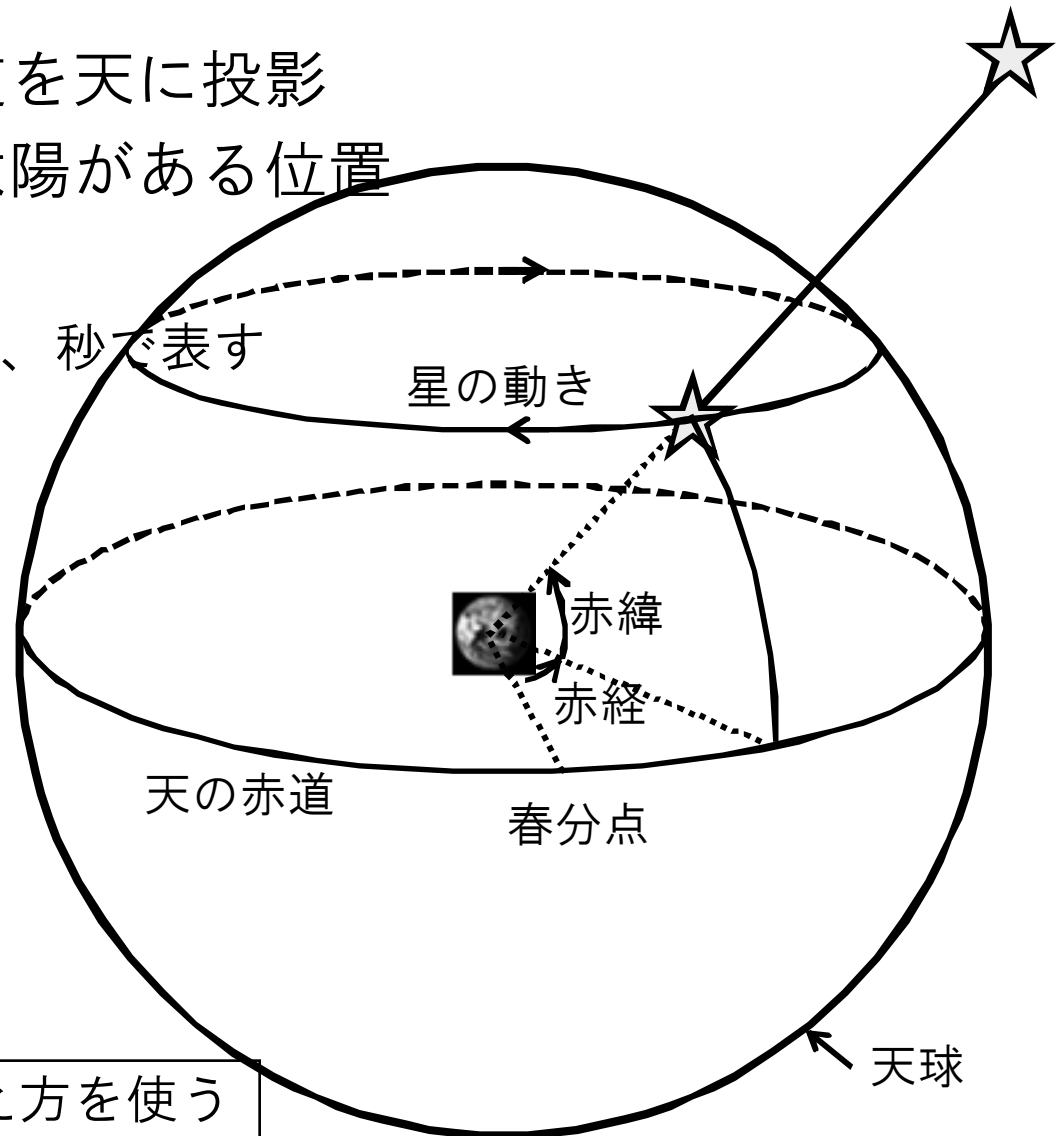
▲緯度のちがいによる星空の見え方や動きのちがい

赤道からの見え方

藤井旭「星空への招待」（河井出書房新社）

星の位置

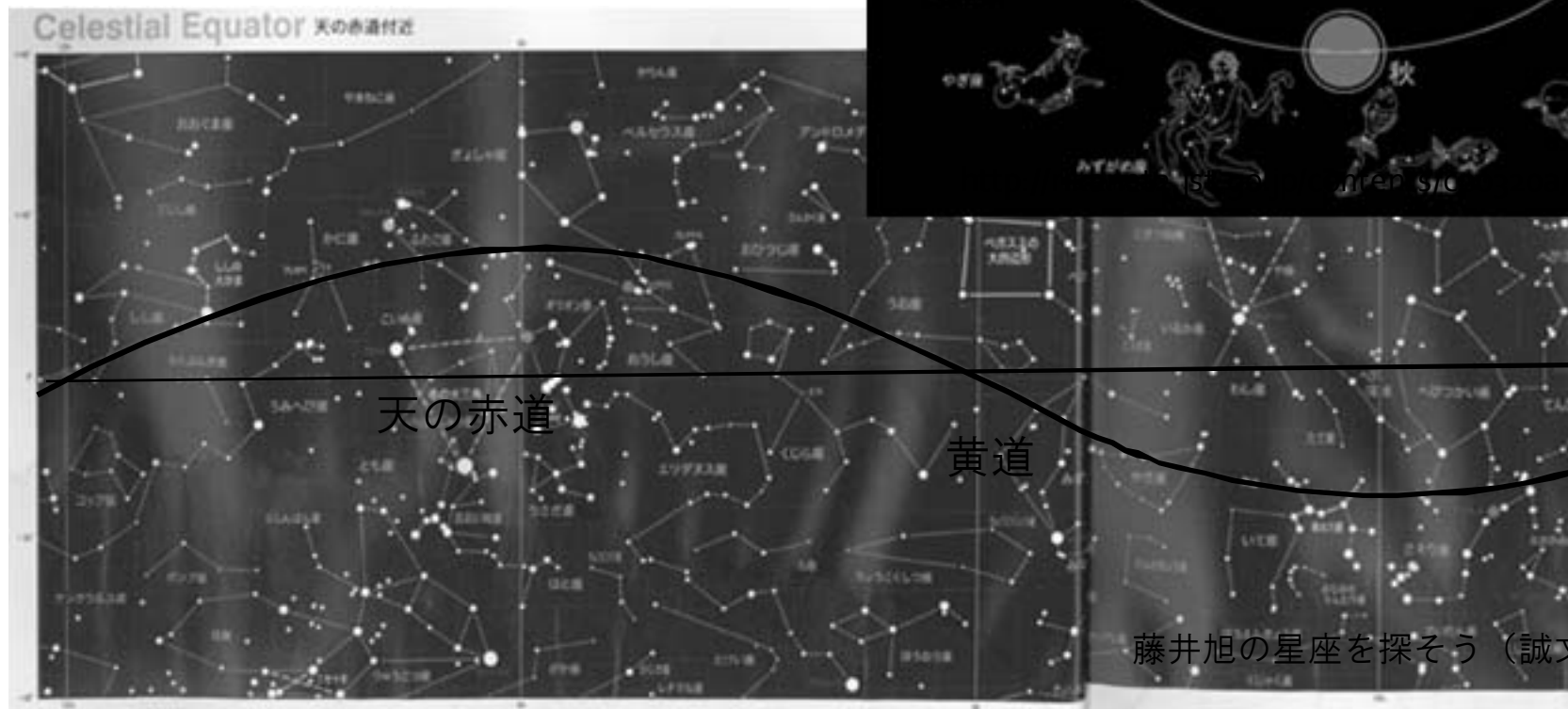
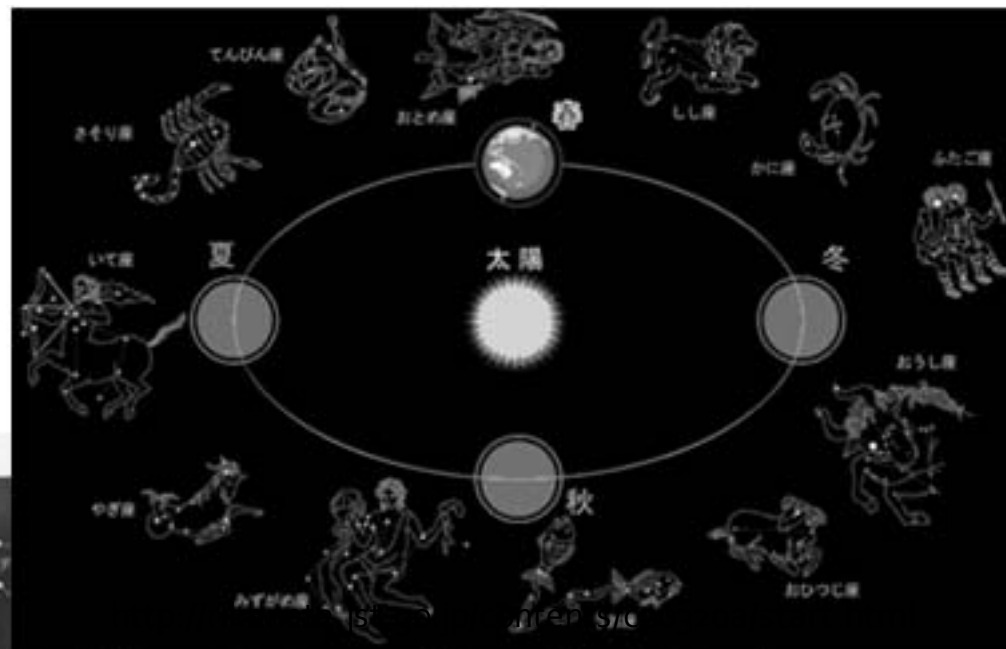
- 天の赤道：地球の赤道を天に投影
 - 春分点：春分の日に太陽がある位置
 - 赤経、赤緯
 - 経度は、時 (15°)、分、秒で表す
 - 6h 10m 15s
 - 緯度は、角度で表す
 - 北緯 $15^{\circ} 20' 33''$
- 



北極からの星の見える方を使う

太陽の動き

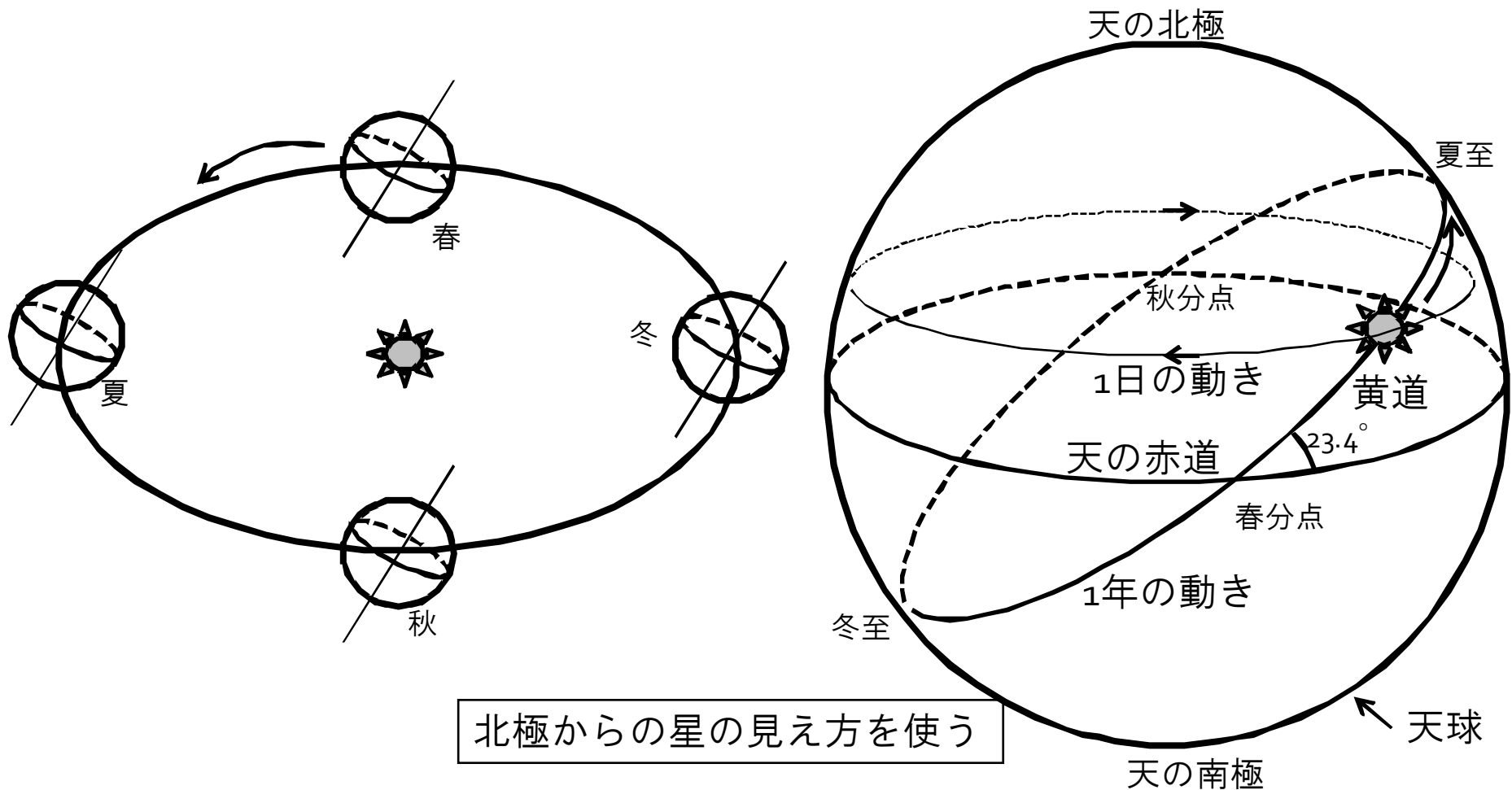
- 太陽は、天球面上の決まった軌道を通る
- 黄道12星座



藤井旭の星座を探そう (誠文堂新光社)

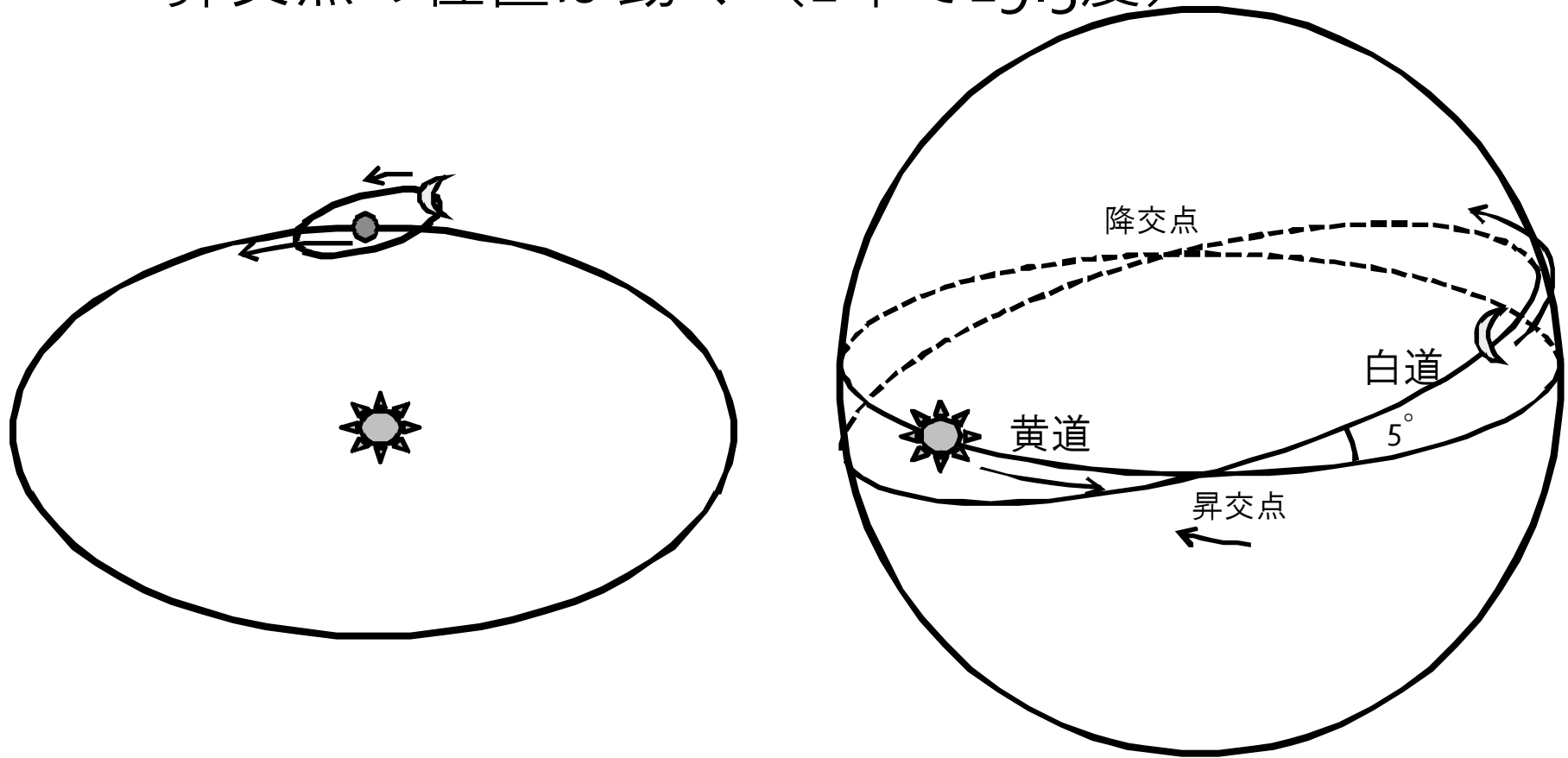
太陽の動き

- 天球面上で黄道という大円を描く



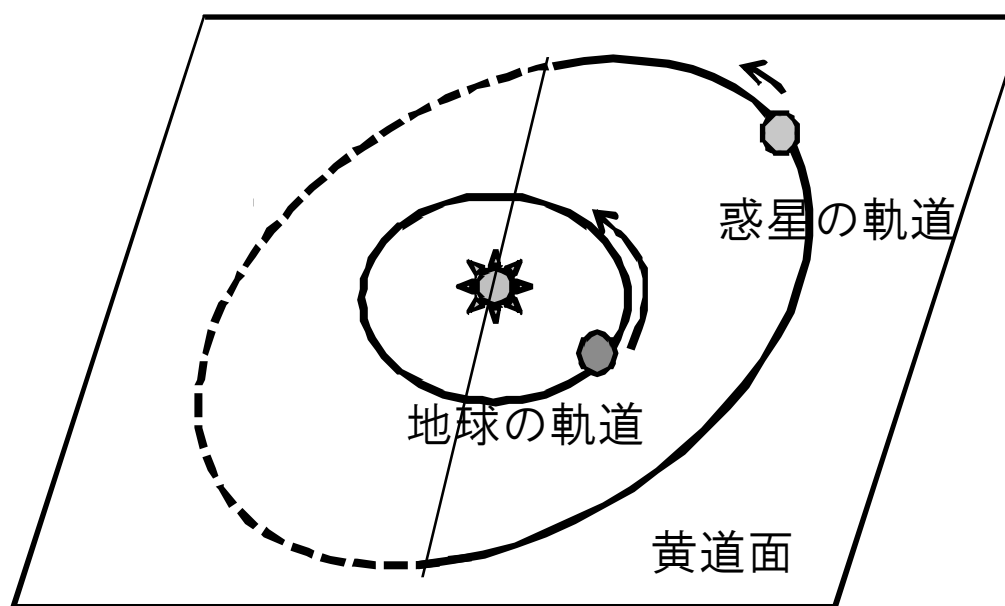
月の動き

- 天球面上で白道を描く
 - 1ヶ月で1回まわる
 - 昇交点の位置は動く（1年で19.5度）



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



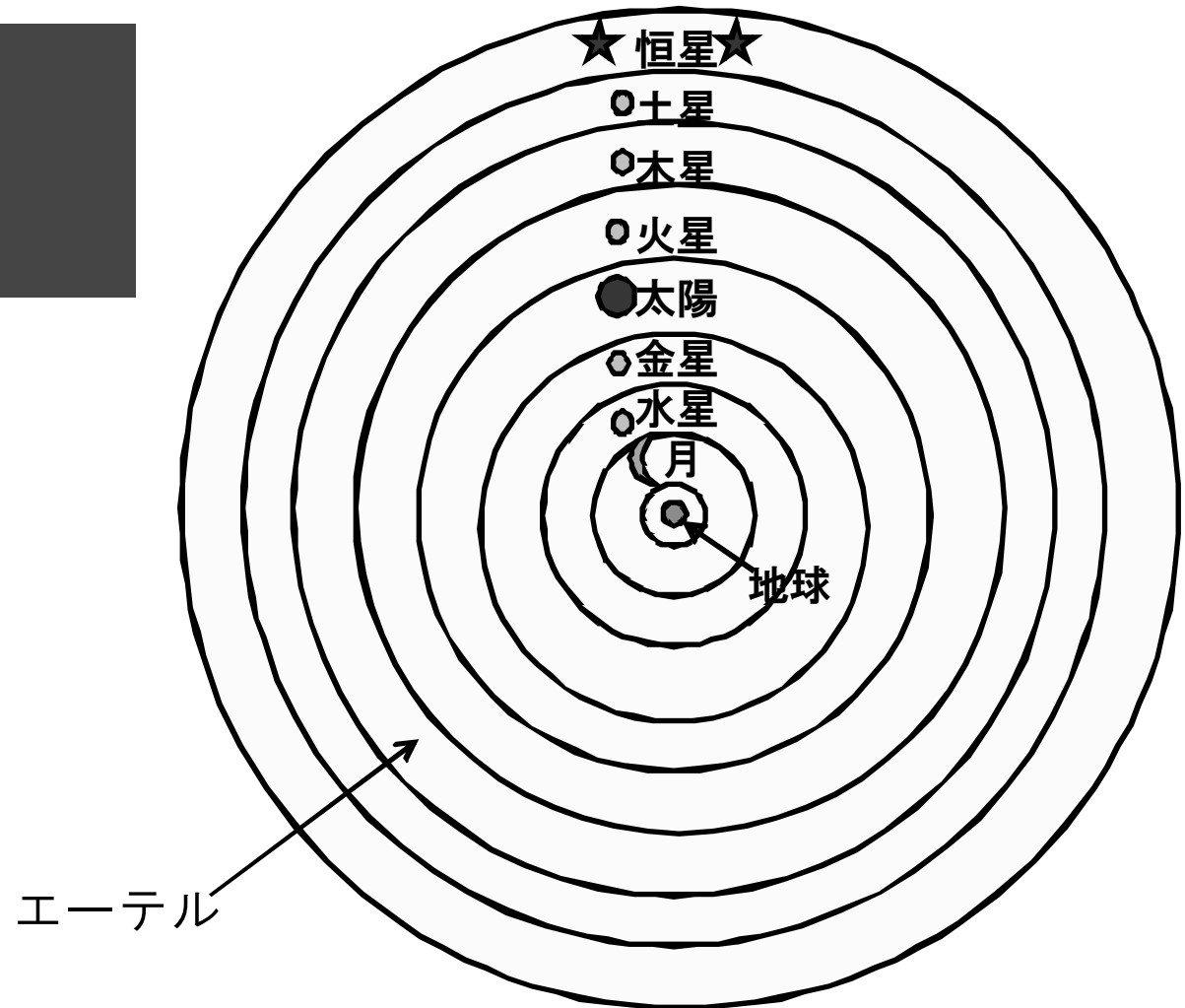
火星の複雑な動き



<http://www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/mirrors/apod/apo80511.html>

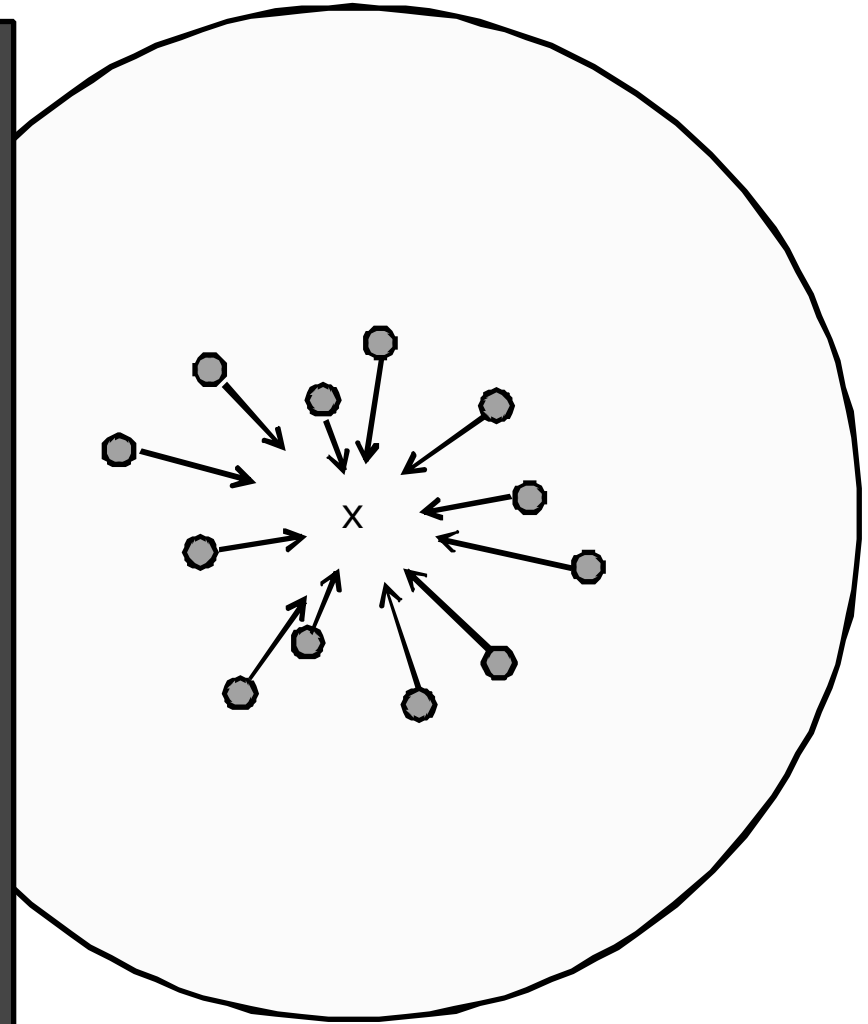
アリストテレス(BC384-322) の宇宙観

- 玉ねぎ状の宇宙
- 有限の大きさ



有限の宇宙

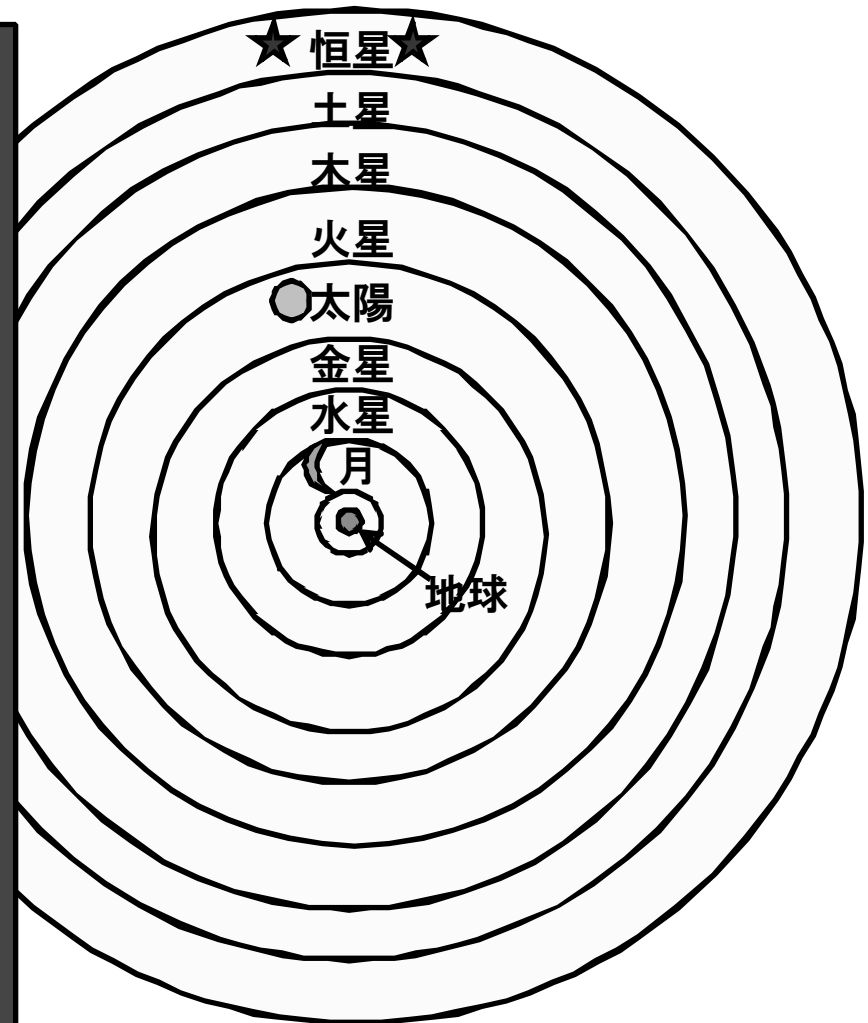
- 有限の宇宙
 - 中心がある
- 地上の物理学
 - 土、水、空気、火の4元素
 - 止まっているのが自然
 - 下に落ちる（火は上へ）
→ あるべきところに移動
- 地球は宇宙の中心
 - 土の性質の帰結



回転する球体の宇宙

- 天の物理学

- 完全な永久運動 → 円や球
- 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？

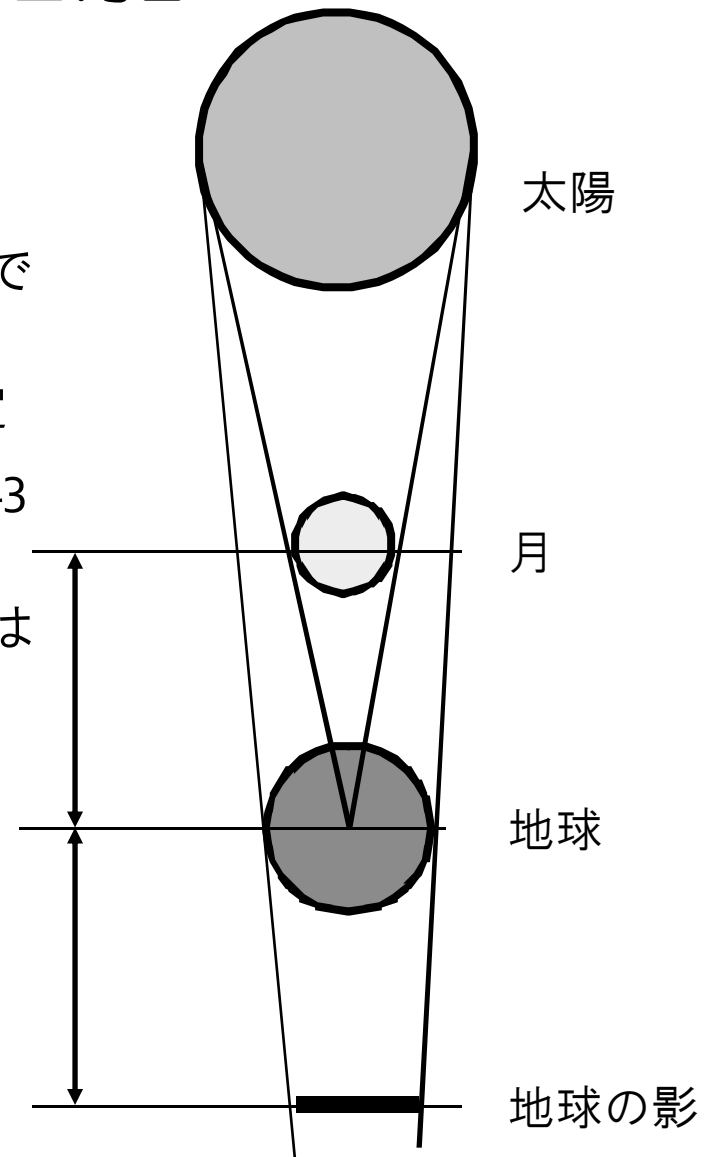


地動説への反論

- 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
- 天動説は、首尾一貫した世界観を与えただけでなく、実用的なご利益もあった

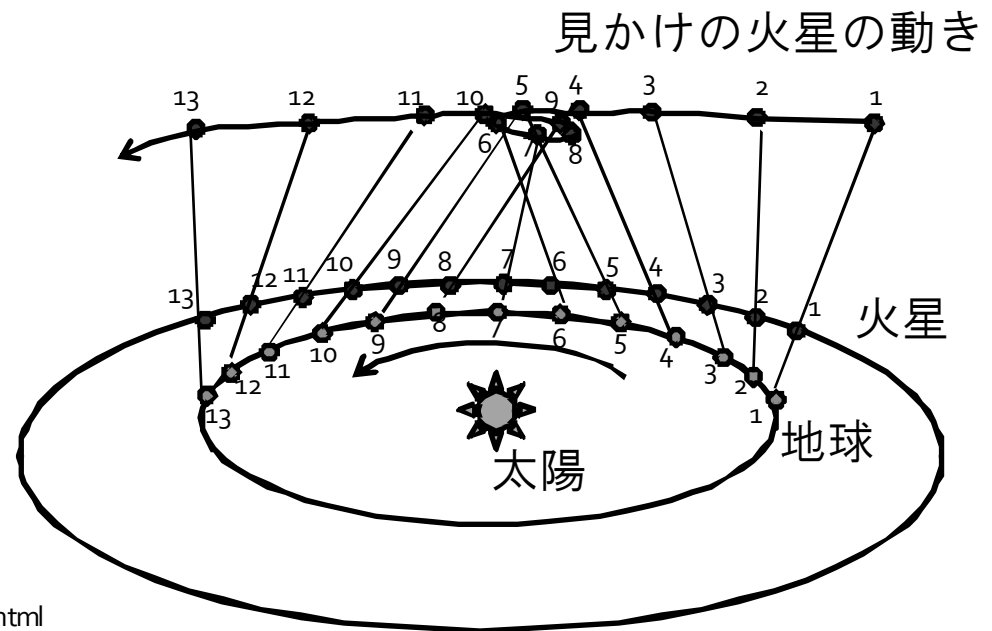
月、太陽の距離

- 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。



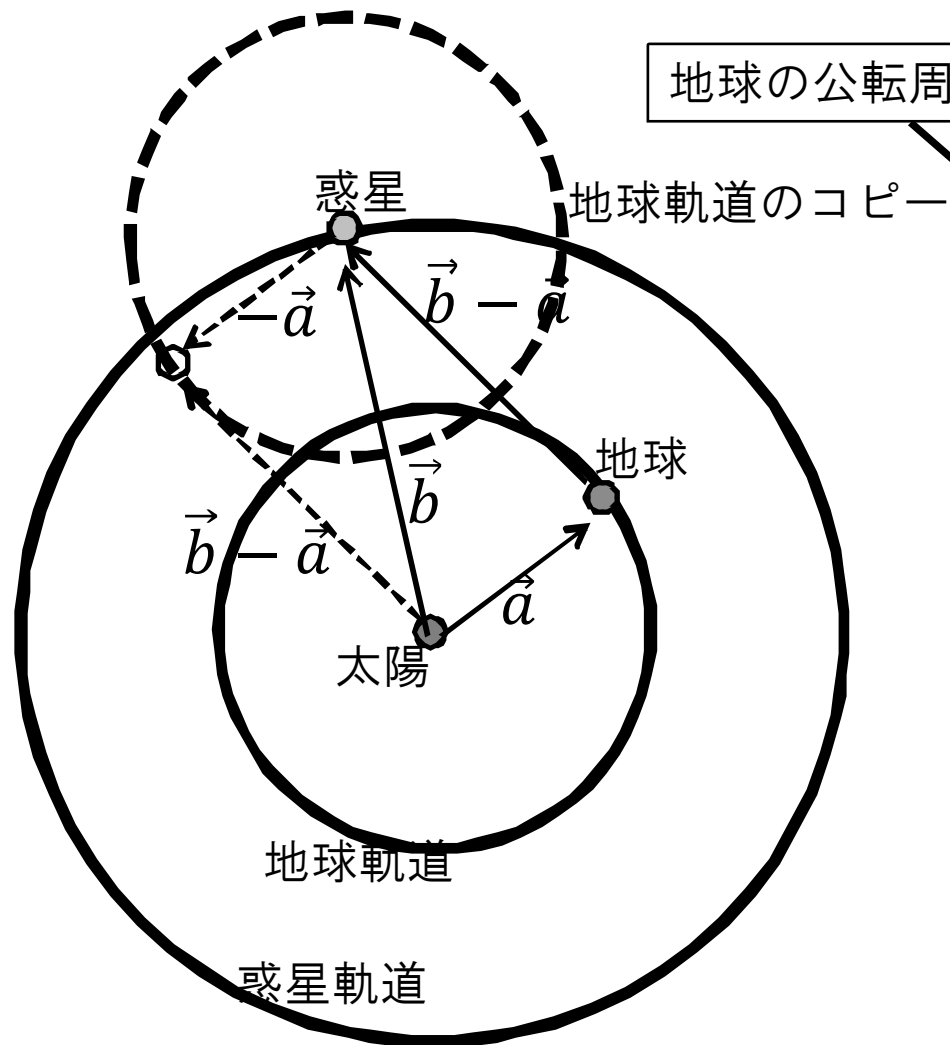
惑星の逆行

- 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

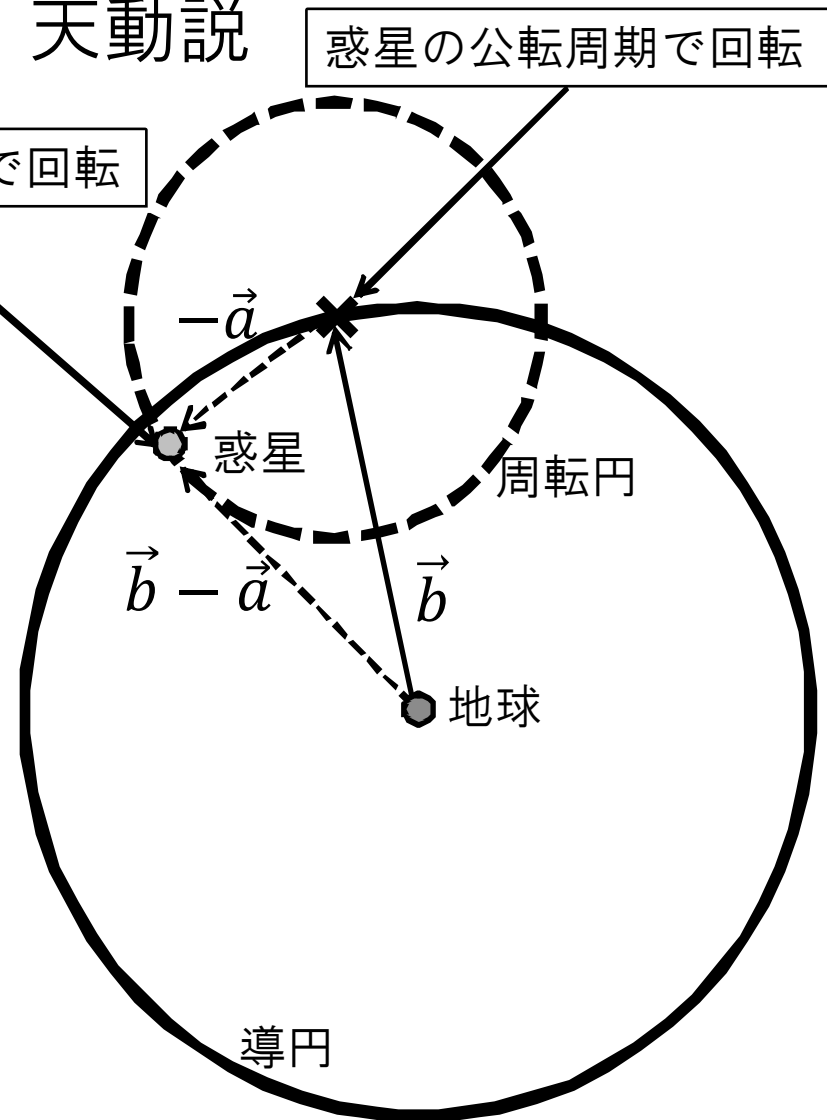


地動説と天動説の数学的同等性

地動説（外惑星の場合）

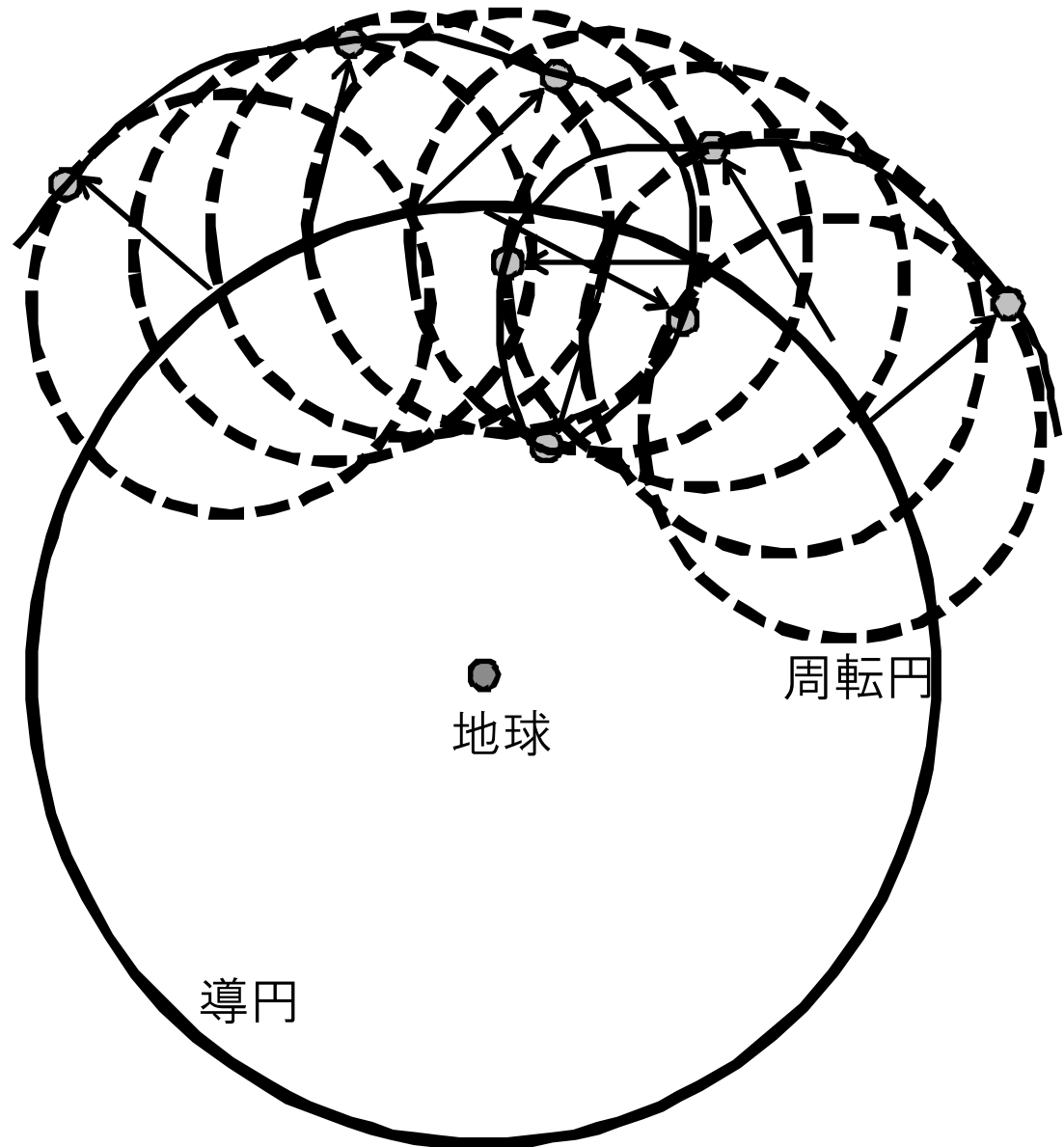


天動説



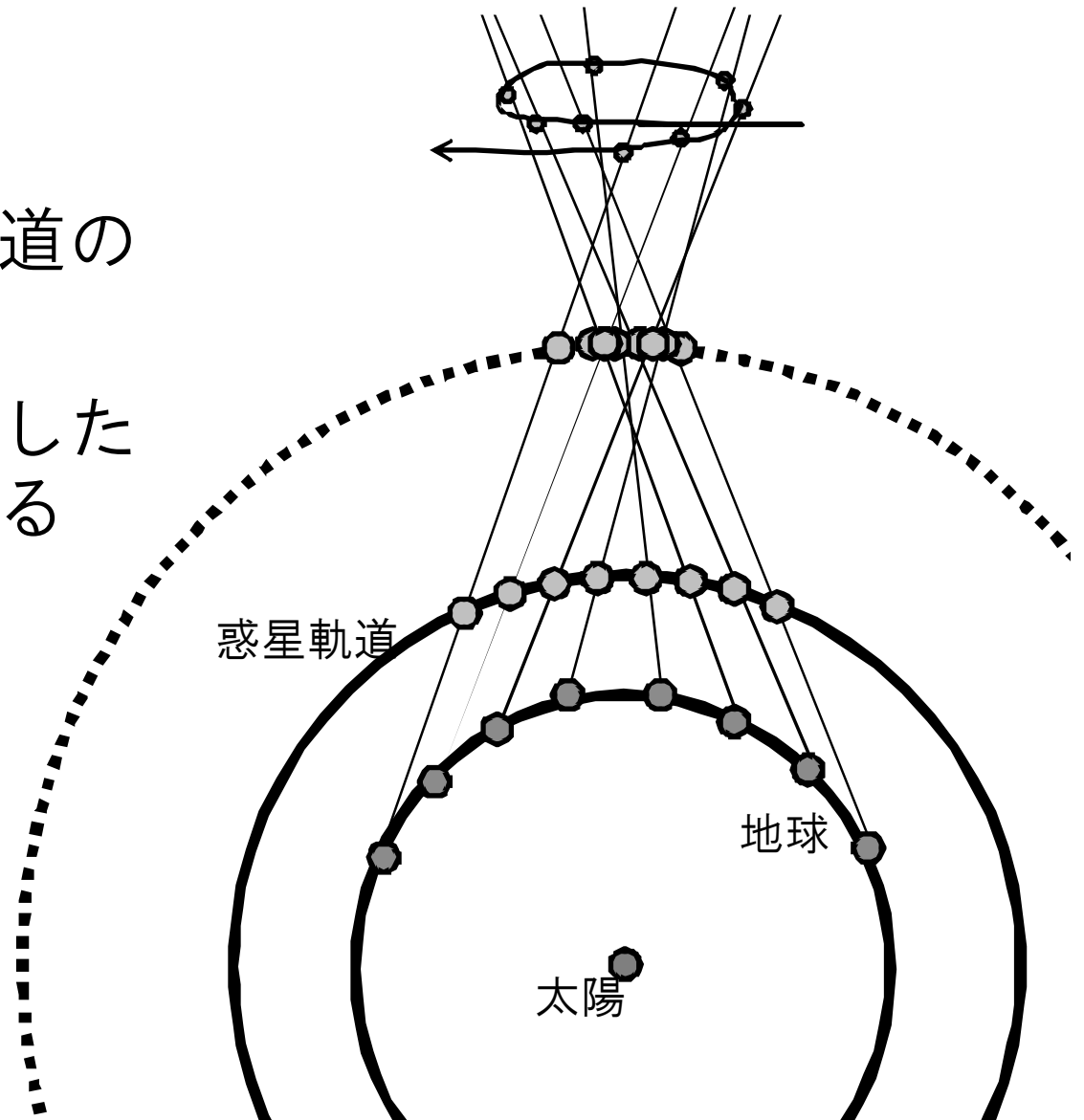
天動説による逆行

- 求まるもの
 - 導円と周転円の半径の比
 - 惑星軌道と地球軌道の比に対応
 - そのことは天動説ではわからない



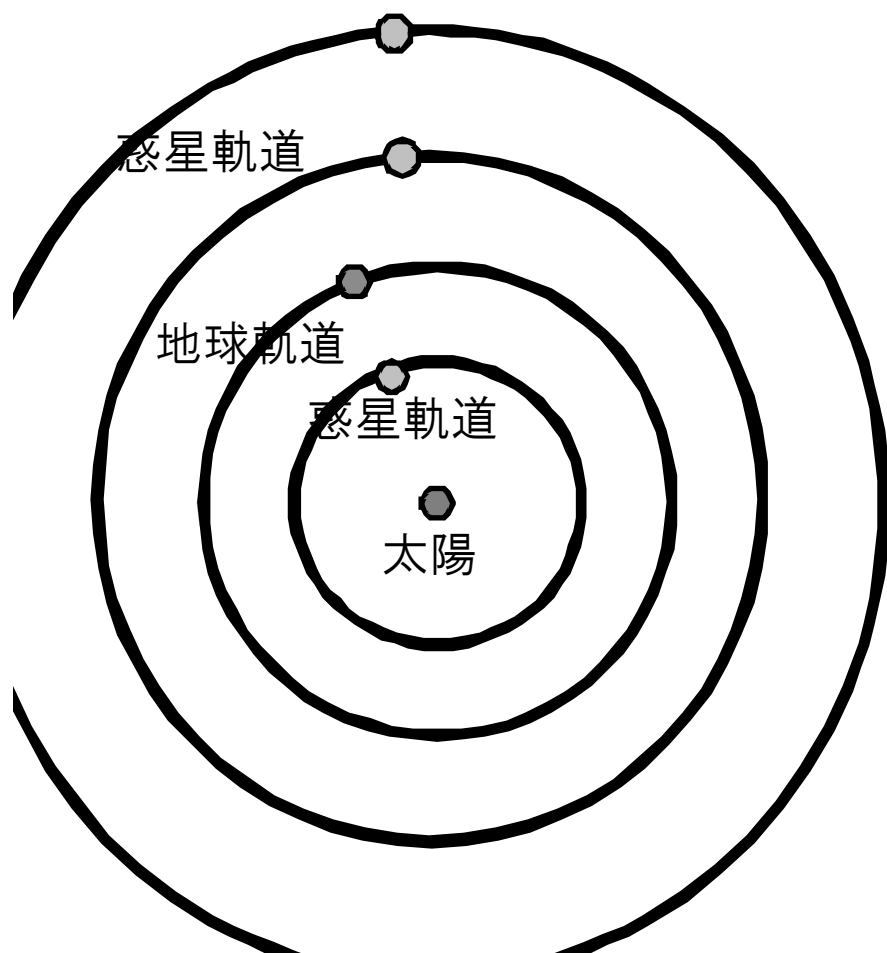
地動説での逆行

- 求まるもの
 - 地球軌道と惑星軌道の半径比
 - 天文単位を基準とした惑星の距離が求まる

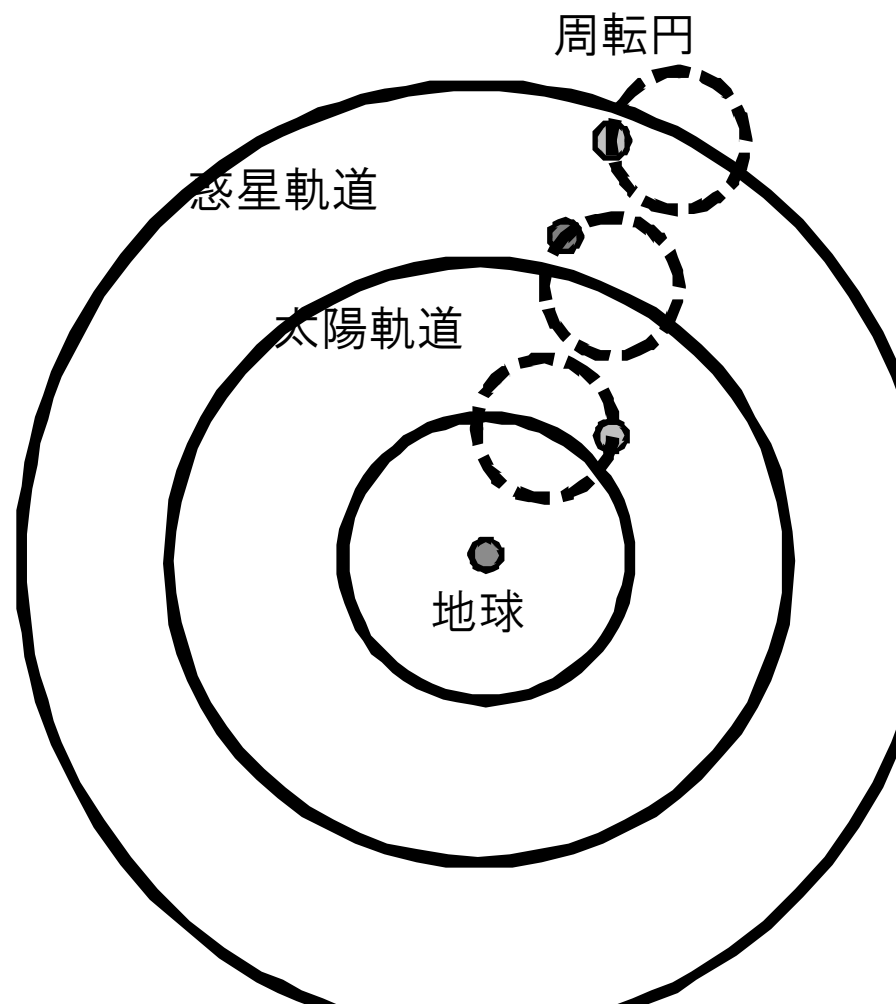


惑星の距離

地動説：自動的に決まる



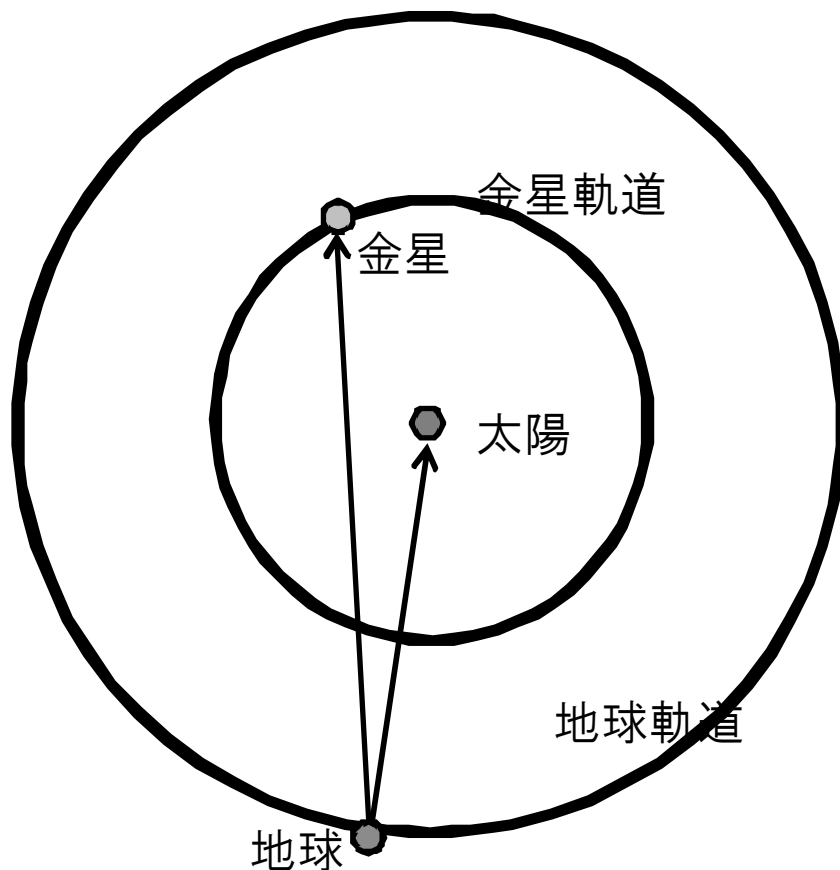
天動説：周転円が交わらないように



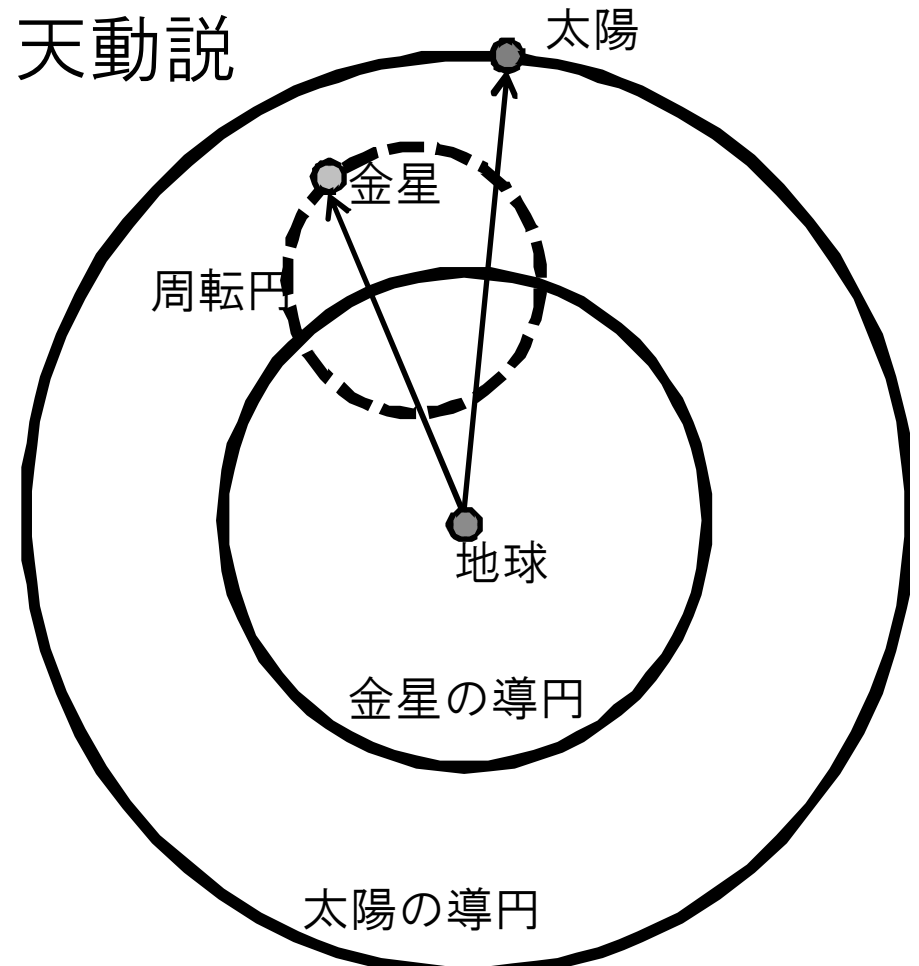
内惑星と太陽の距離

- 惑星の距離の測定が、地動説の直接的証拠となる

地動説

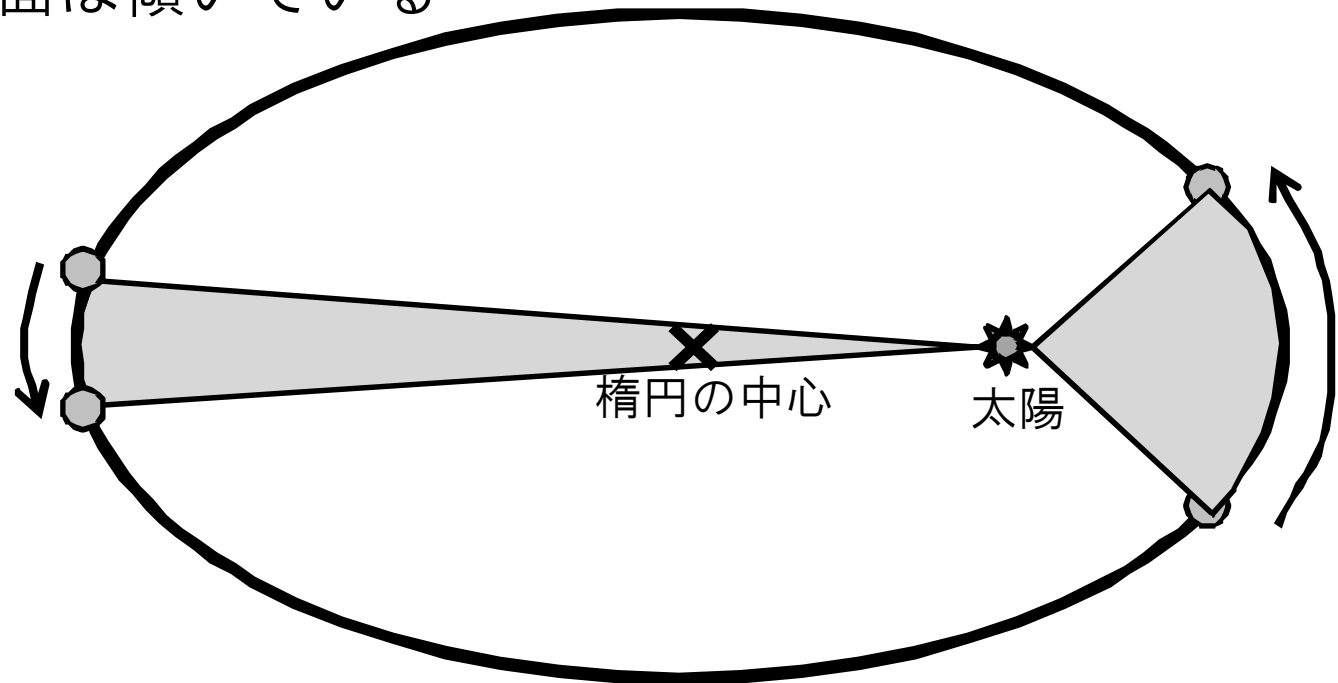


天動説



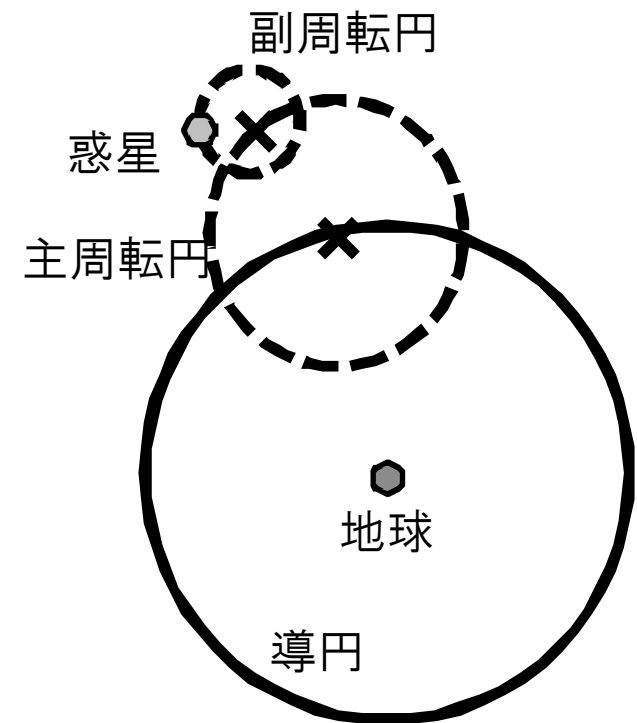
惑星の運動（現代の理解）

- 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、惰円だった。
 - 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。

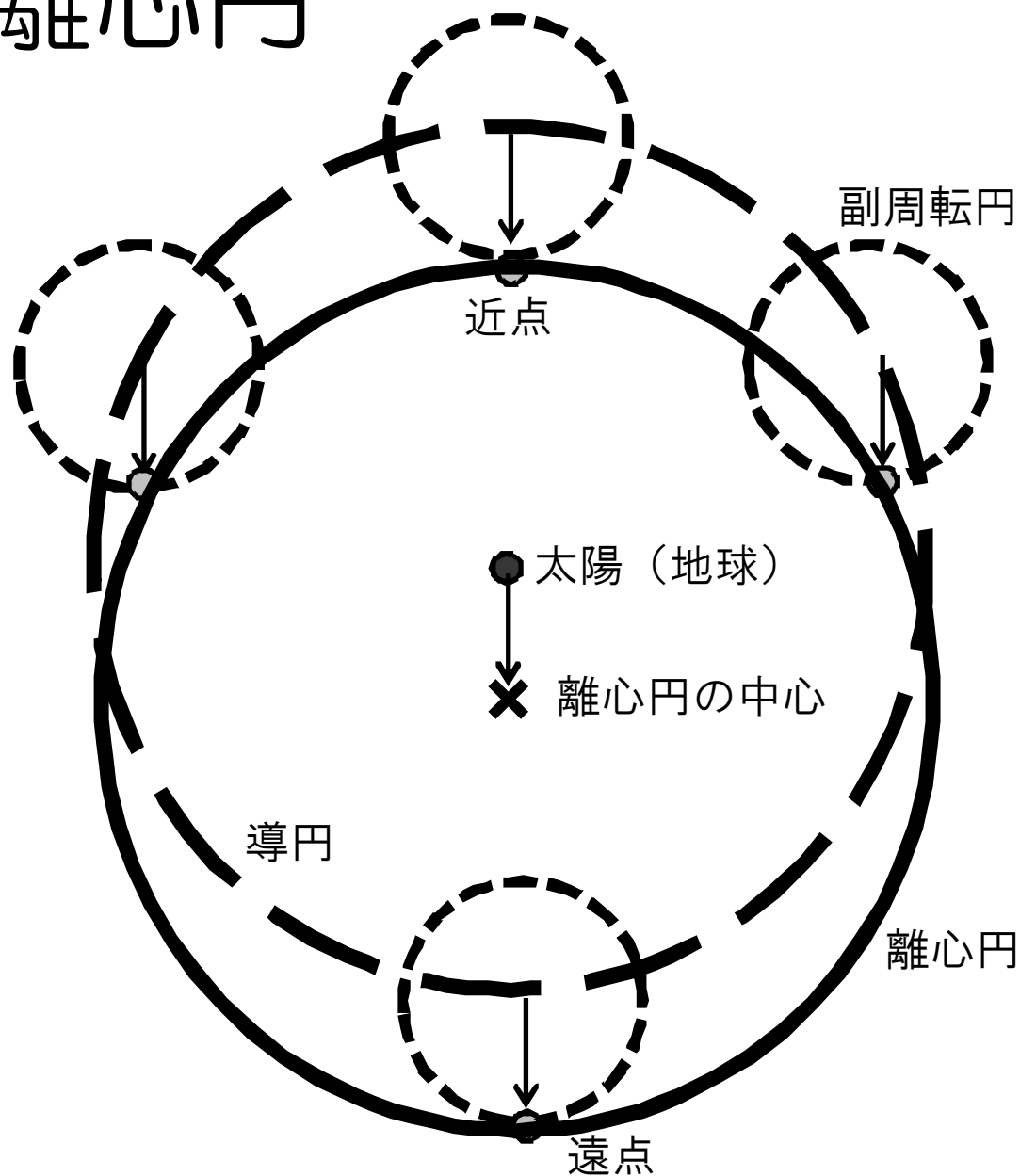


離心円

- 離心円によって太陽からの距離の変化を表現

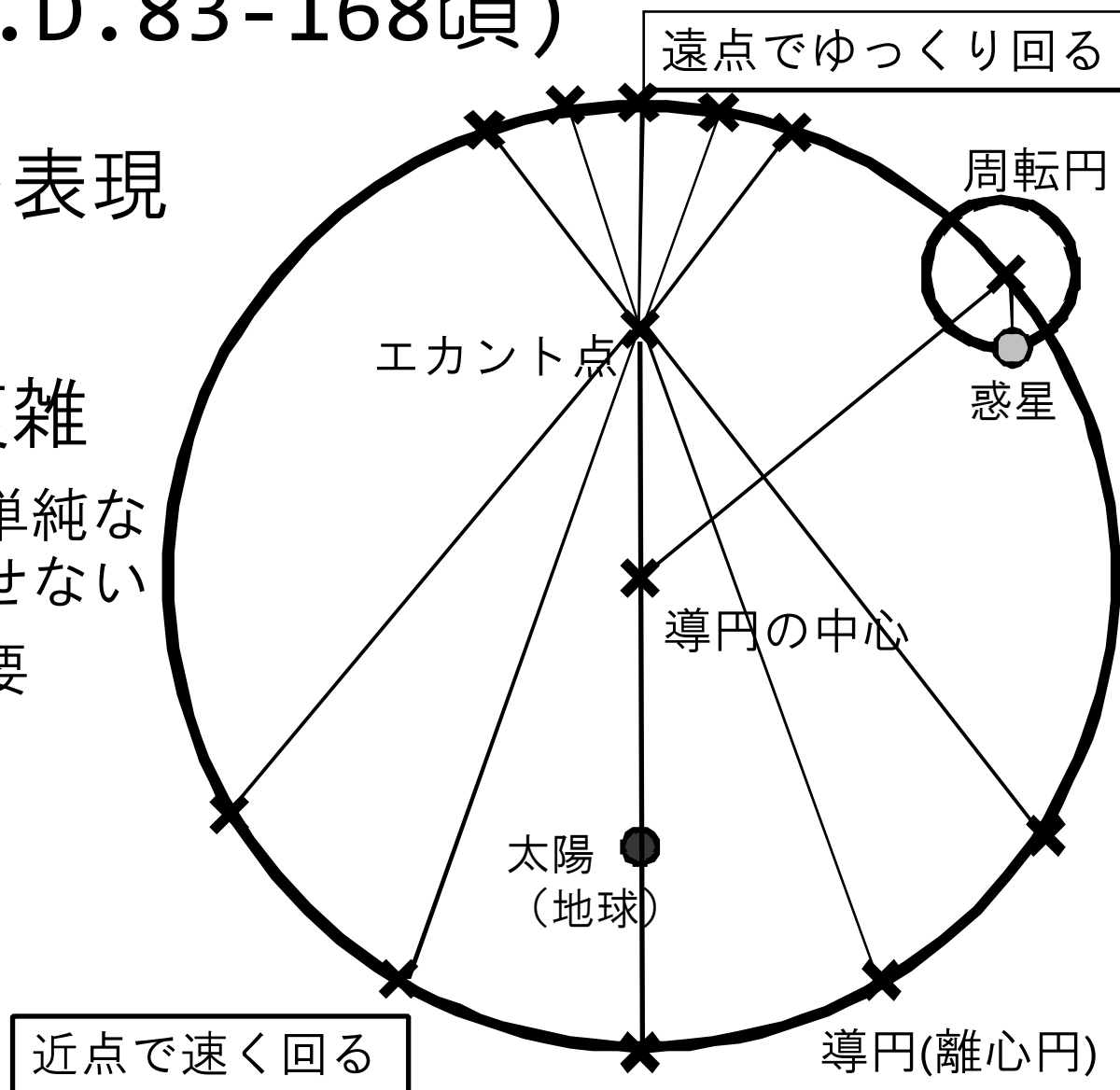
— 地球からの距離の変化は主周転円で

— 副周転円を1個省略できる



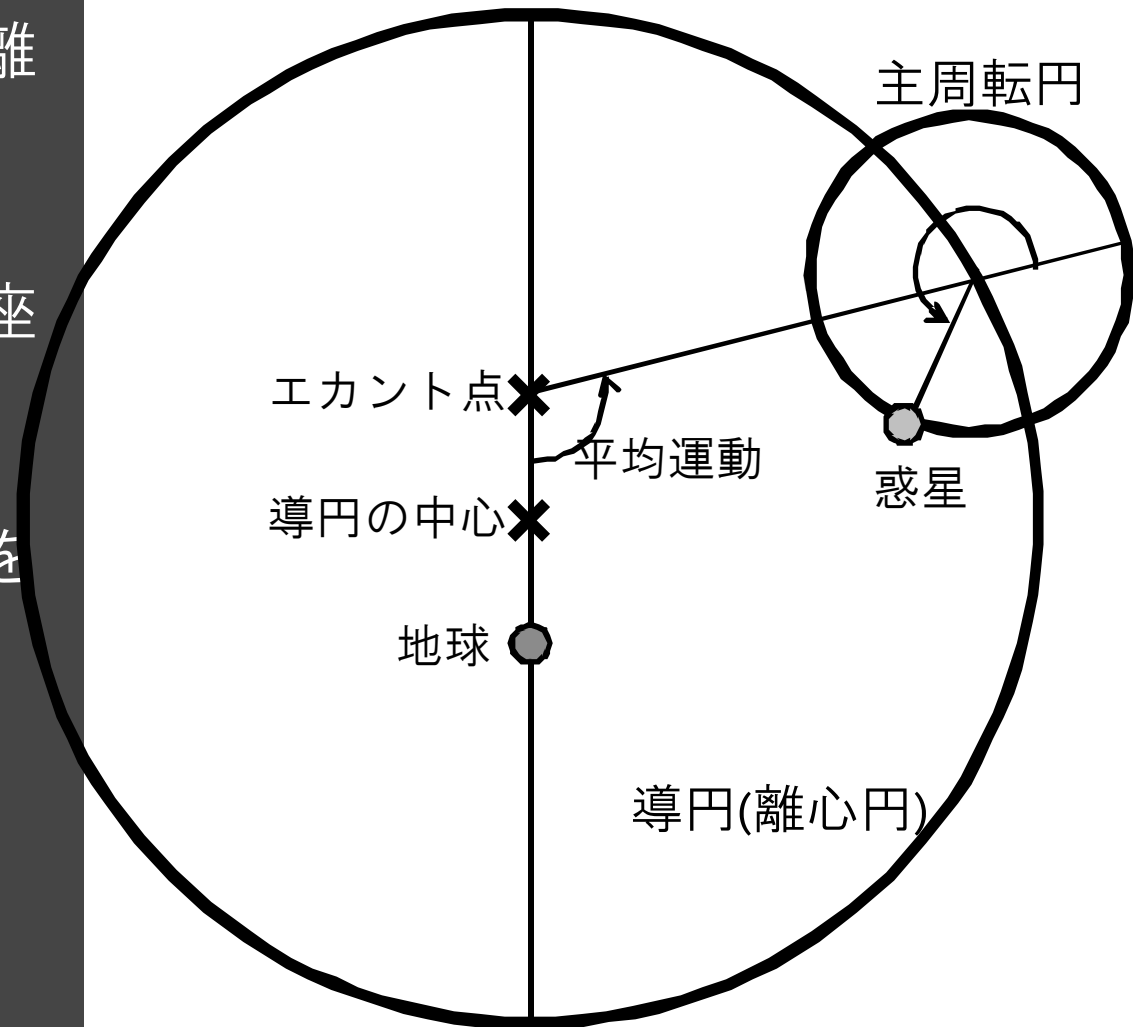
エカント点 (プトレマイオス、 A.D. 83-168頃)

- 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