

# 恒星-変光星と食連星の世界-

E-3 大田 魁斗

S-3 杉本 輝

# 序論 1年間を振り返って

- 美星天文台で、変光星(V1848 Ori)の測光観測をした際に光の量が変わる理由や仕組みを知りたいと思った。
- 恒星についてもっと理解を深めたい。
- 変光星とは何なのかを知りたい。
- 連星がどのような構造なのかを知りたいと思った。



# 目次

1. 恒星・・・ 恒星について  
等級-ポグソンの式-
2. 変光星・・・ 変光星の種類  
HR図と変光星の関係
3. 食連星・・・ 食連星について  
質量光度関係



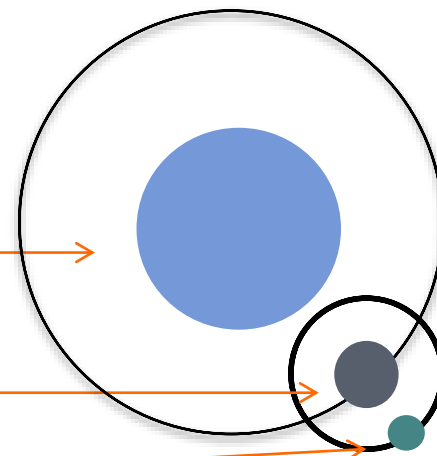
# 恒星、惑星、衛星の違い

星には大きく分けて恒星、惑星、衛星がある。

自ら光を放っているのが「恒星」

恒星の周りを公転しているのが「惑星」

惑星の周りを公転しているのが「衛星」



例としては太陽系。

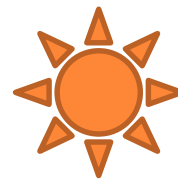
写真は  
木星

10/08 皆既月食時の月



# 恒星について

- 恒星とは…自ら光を発していてエネルギーを持つ星のこと(核融合反応)である。
- 天球上の相互の位置をほとんど変えない星
- 星座を作っている星
- 身近な代表的な恒星は太陽である。



右の写真は北斗七星



# 等級

- 等級とは…さまざまな星の明るさの違いを表すために定められた数値のことである。等級が小さいほど星の明るさは明るい。
- 太陽、-26.7等級
- シリウス(おおいぬ座)、-1.47等級

等級	星の明るさ
-4等星	100
-3等星	40
-2等星	16
-1等星	6.3
0等星	2.5
1等星	1
2等星	0.40
3等星	0.16
4等星	0.063
5等星	0.025
6等星	0.01



# ポグソンの定義

1等星と6等星の違いは100倍。  
では、1等星と2等星の違いは何倍か？

ポグソンの式より

$$m_1 - m_2 = 2.5 \log\left(\frac{l_1}{l_2}\right)$$

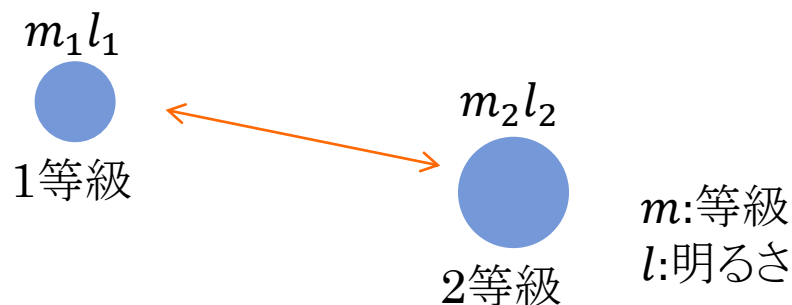
$$\frac{l_1}{l_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)}$$

↓

一等級違うので  $m_2 - m_1 = 1$

$$\frac{l_1}{l_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)} = 10^{0.4} = 2.51188 \dots \doteq \underline{2.512}$$

よって一等星分の明るさの違いは2.512倍である。



1等星と6等星の違いは100倍、をポグソンの式で定義する。

また、明るさから等級の差を求めることもできる。

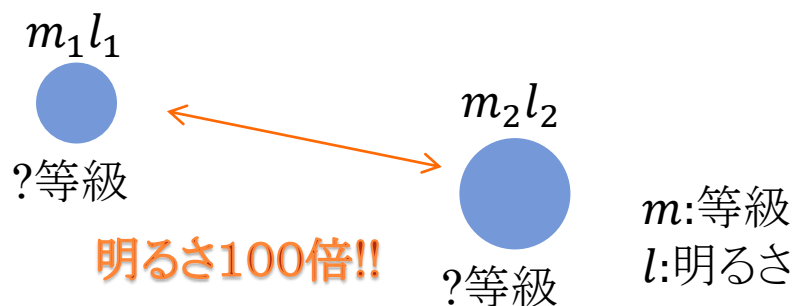
(例)

明るさが100倍違う星の等級の差を求めるには

$$\frac{l_1}{l_2} = 100$$

$$m_2 - m_1 = 2.5 \log\left(\frac{l_1}{l_2}\right) = 2.5 \log(100) = 2.5 \times 2 = \underline{5}$$

5等級の差であると分かる。





ポグソンの式によって整数でしか表せなかった等級を少数を使って表せるようになった！

- ・星の明るさから分かること・
  - 見かけの等級と、絶対等級が分かるとその星までの距離が計算できる。
  - 星の明るさとその質量には一定の関係があり、星の明るさからその質量を求めることができる。



# 目次

1. 恒星・・・ 恒星について  
等級-ポグソンの式-
2. 変光星・・・ 変光星の種類  
HR図と変光星の関係
3. 食連星・・・ 食連星について  
質量光度関係



# 変光星とは

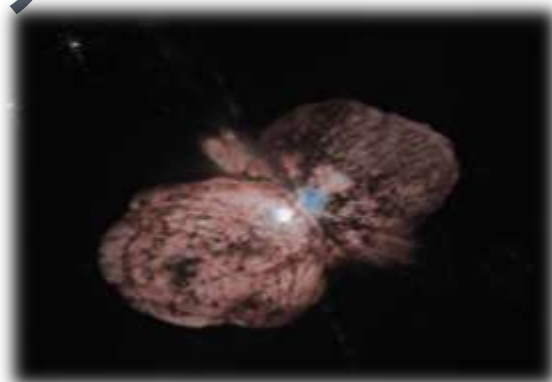
- 恒星の中で、時間とともに明るさを変えるものを変光星という。
- 変光の周期は数時間から数年まであり、不規則なものもある。
- 全天で2万個を越える変光星が発見されていますが、変光の原因や光度関係の様子によっていくつかのタイプに分類される。

その変光星の種類について...



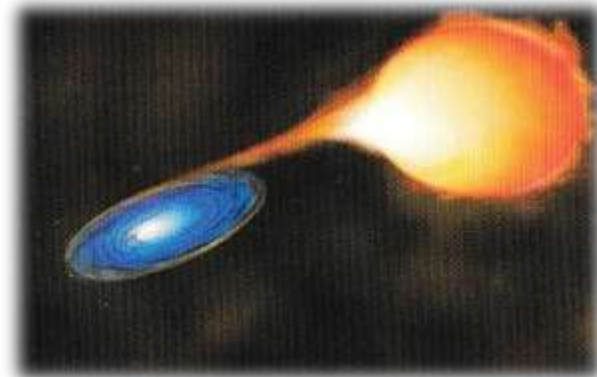
# 変光星の種類(見かけ上)

- 爆発変光星…恒星の外層や大気の爆発によって変光する星で、変光に規則性が見られない。

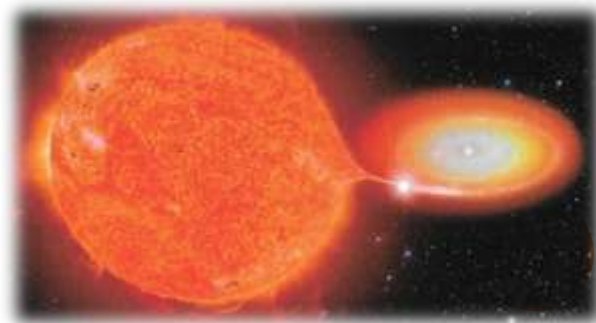


引用: 広島大学植村教授・講義資料

- 脈動変光星…星の表層が周期的に膨張・収縮することにより、変光する星。縮んだ時に明るくなり、膨らんだ時に暗くなる。

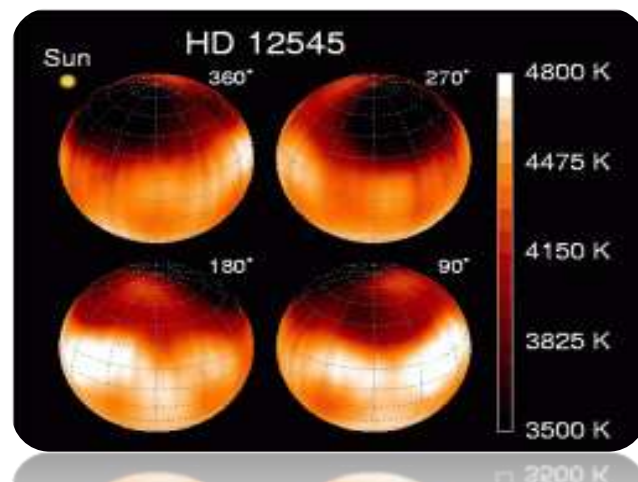


- 激変変光星…突発的に増光する星。



引用: 誠文堂新光社  
天体観測の教科書 変光星観測編

- 回転変光星…星の表面の明るさの分布が一様でないとき、星の自転に伴って明るさが変化して見える星。



引用: 広島大学植村教授・講義資料

- 食変光星(食連星)…共通重心の周りを回る2つの星が互いの光を覆い隠し合うことによって見かけの明るさが変わるタイプの変光星。

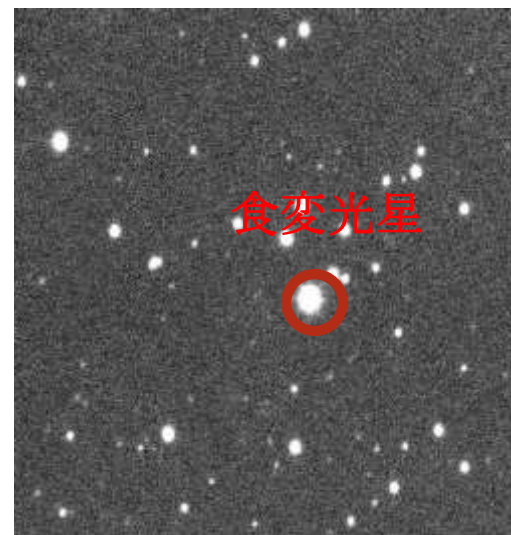


引用:ESO/L. Calçada 食連星の情報より

# 変光星の例

- 食変光星の代表としては、ペルセウス座<sup>ベータ</sup> $\beta$  星アルゴル  
V0523 Cas
- 脈動星の代表としてはくじら座<sup>オミクロン</sup> $\omicron$  星ミラ
- 爆発変光星の代表としては  
新星や超新星

写真はV0523 Cas (食変光星)



# ヘルツシュプルング・ラッセル図

HR図とは・・・縦軸に絶対等級・光度、横軸にスペクトル型や有効温度をとった恒星の分布図  
右図は恒星の一生をHR図上で表したものである。

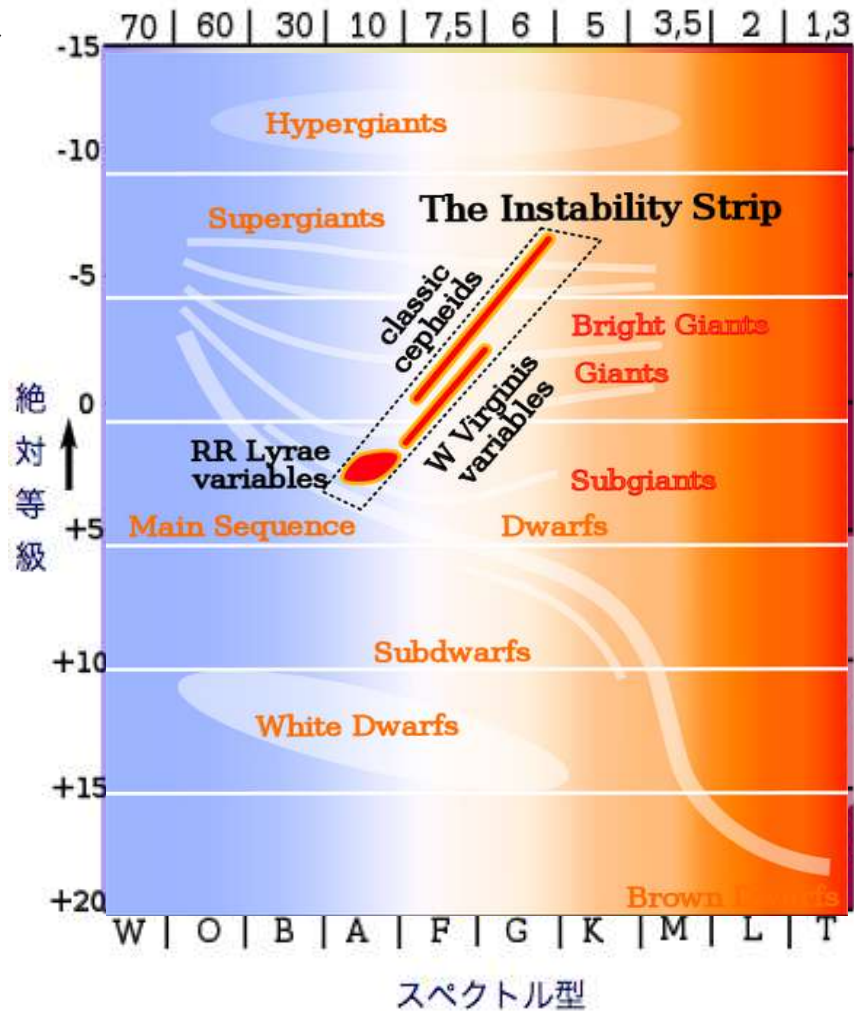
1番右下が最も暗く低温、1番左上が最も明るく高温。

恒星の質量が大きいほど、温度が高く、放出している光のエネルギーが多い。

核融合反応が進み恒星が徐々に膨張していく時に表面温度は低下するが、絶対等級はあまり変化しないためHR図上では主系列から外れて右側へ水平に移動していく。

その時途中で不安定帯を通過するためその時期に変光星となる。

脈動変光星の代表はミラ型変光星



高 ← → 低

# 目次

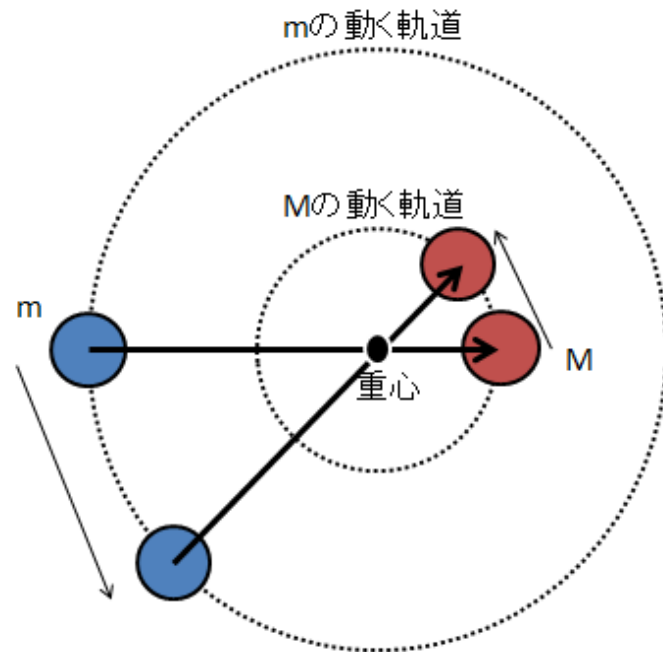
1. 恒星・・・ 恒星について  
等級-ポグソンの式-
2. 変光星・・・ 変光星の種類  
HR図と変光星の関係
3. 食連星・・・ 食連星について  
質量光度関係

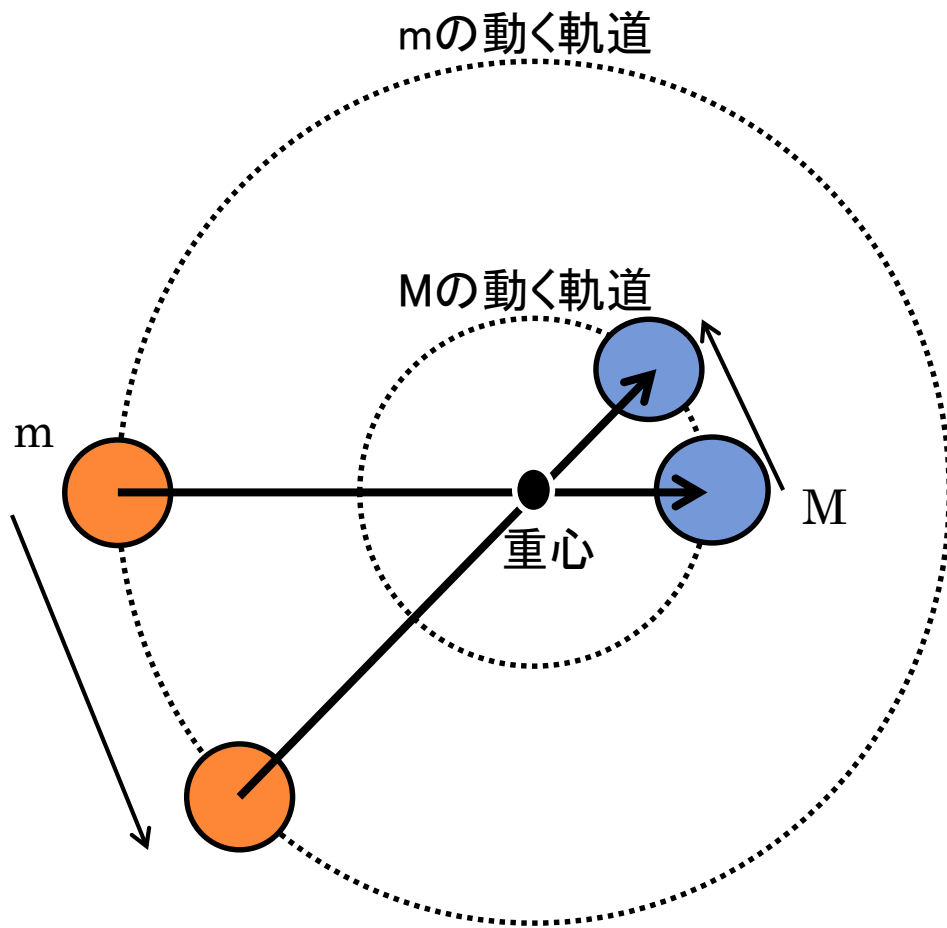




# 食連星

- 恒星の中にはお互い同士の引力で、回りあっているものがある。これを連星という。
- 連星の中には、地球からの距離が遠すぎるため、連星であるそれぞれの恒星がまとめて一つの恒星に見えるものがある。
- 連星の軌道面が地球と連星を結んだ直線を含む平面上に存在する場合、地球から見たときに2つの星が互いを隠しあうことで変光する。これが食連星である。
- 望遠鏡を使えば、二つの恒星に見える場合もある。





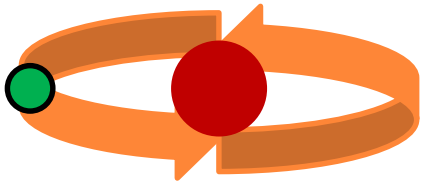
連星はこのように互いの星が重心を  
 起点としてその周りを円運動している。

連星でも肉眼では2つに見えない恒  
 星もある。  
 例えば、図1の場合Mが明るい星でm  
 が暗い星だとする。  
 このようなときは自分から恒星の距  
 離が遠いほど明るい星Mがよく見え  
 る。

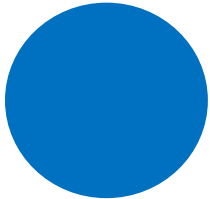
図1. 連星の公転軌道を真上から見た図



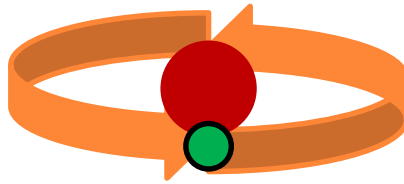
# 公転軌道を真横から見たとき(青丸は固定した状態)



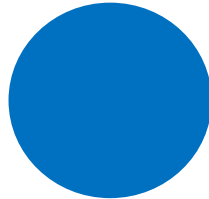
(1)両方見える  
極大



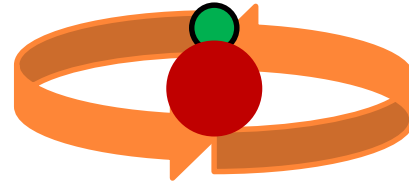
地球



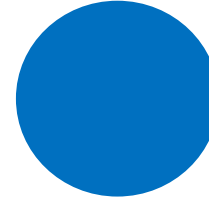
(2)暗い星が明るい星を隠す  
主極小



地球

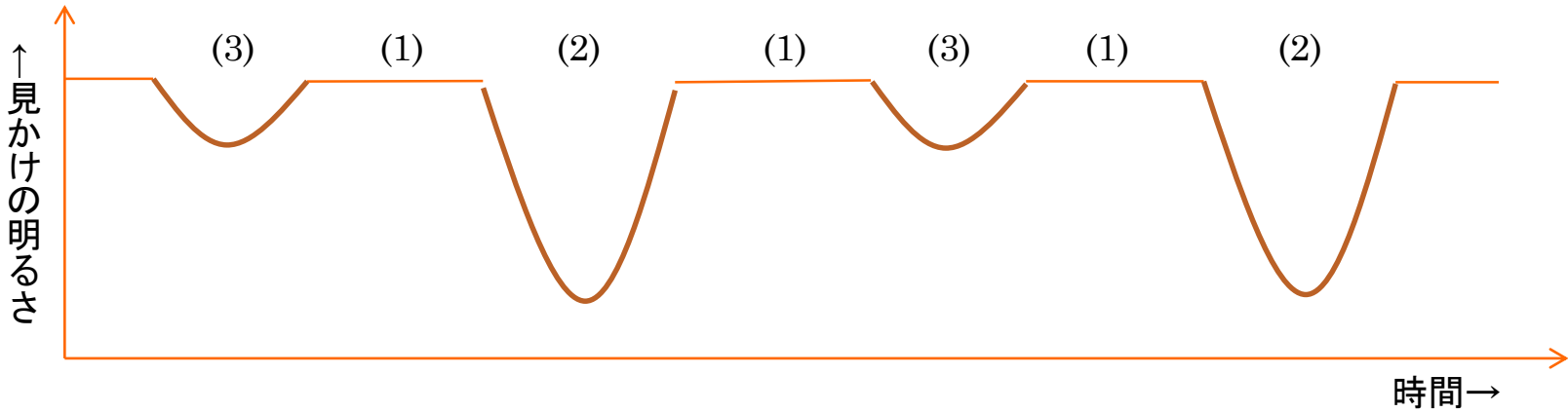


(3)明るい星が暗い星を隠す  
副極小



地球

(1)、(2)、(3)の位置関係のとき、地球から見た一つにしか見えない二つの恒星の明るさの変化の関係。



食連星を含めた連星は、その運動の様子から、連星を構成しているそれぞれの恒星の質量を求めることができる



質量がわかった恒星でその明るさを調べると...



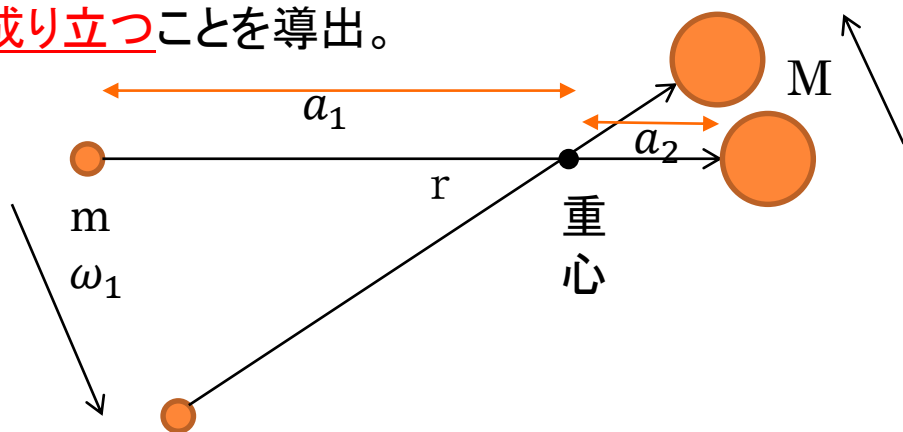
質量が大きいほど明るいという質量光度関係が求まる!!

この質量光度関係を使って、主系列星ならばその明るさから質量を求めることができる



## 恒星の質量:

質量 $M$ と質量 $m$ の2つの恒星が $r$ という距離を、周期 $T$ で回っているとする。  
ここでのAUは天文単位で、地球—太陽間の距離を1とする距離の単位のことである。楕円軌道から万有引力の法則を用いてこの連星系でもケプラーの第3法則が成り立つことを導出。



- 恒星の質量:  $m \cdot M$
- 恒星の距離:  $r(\text{AU})$
- 公転周期:  $T(\text{s})$
- 万有引力定数:  $G$
- 角速度:  $\omega$
- 共通重心と $m \cdot M$ の距離:  $a_1 \cdot a_2$

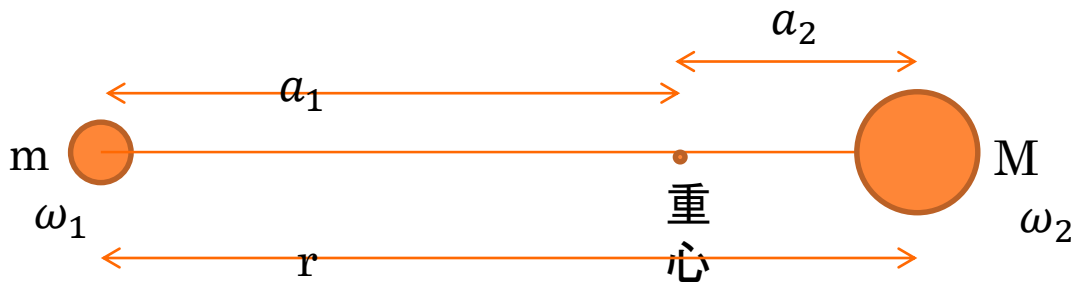
$M$ と $m$ は共通重心のまわりをお互いに公転している。  
質量や共通重心までの距離の間には次の関係がある。

$$M(r - a_1) = ma_1 \quad \text{よって} \quad a_1 = \frac{Mr}{(M+m)} \dots\dots\dots (1)$$

$m$ の角速度を $\omega_1(\text{rad/s})$ 、公転周期を $T(\text{s})$ とする。  
円運動の加速度の大きさは $a_1\omega_1^2$   
よって、 $m$ の公転による向心力 $F_1$ は

$$F_1 = ma_1\omega_1^2 = ma_1 \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2$$





$m$ と $M$ との引力 $F_2$ は万有引力の定数を $G$ とすると

$$F_2 = G \left( \frac{Mm}{r^2} \right)$$

$$F_1 = ma_1\omega_1^2 = ma_1 \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2$$

$m$ の向心力は $m$ と $M$ との引力なので  $F_1 = F_2$

$$ma_1 \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 = G \left( \frac{Mm}{r^2} \right) \dots\dots\dots (2)$$

(2)式へ(1)式を代入して $a_1$ を消去。

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{G(M+m)}{4\pi^2} \dots\dots\dots \text{ケプラーの第3法則}$$

$$a_1 = \frac{Mr}{(M+m)} \dots\dots\dots (1)$$

近くの連星で $M$ と $m$ の距離 $r$ と $m$ の公転周期 $T$ が観測できれば、 $M$ と $m$ の質量の和( $M+m$ )を求めることが出来る。

また共通重心までの距離 $a_1$ を観測すれば(1)式を使って $M$ と $m$ に分けることが出来る。



# 結論

- 恒星について理解を深めることができた。
- 変光星は時間とともに明るさを変え、見かけ上の変化があるということが分かった。
- 連星は非常に重要で明るさから質量を求めることができるということも分かった。
- 来年のゼミ生はこの資料を参考に測光観測での理解を深めてほしい。



ご清聴ありがとうございました。

