Astronomical Optics
第1回

6/20 長谷川

2.0 光学系(Optical System)のAnalysis

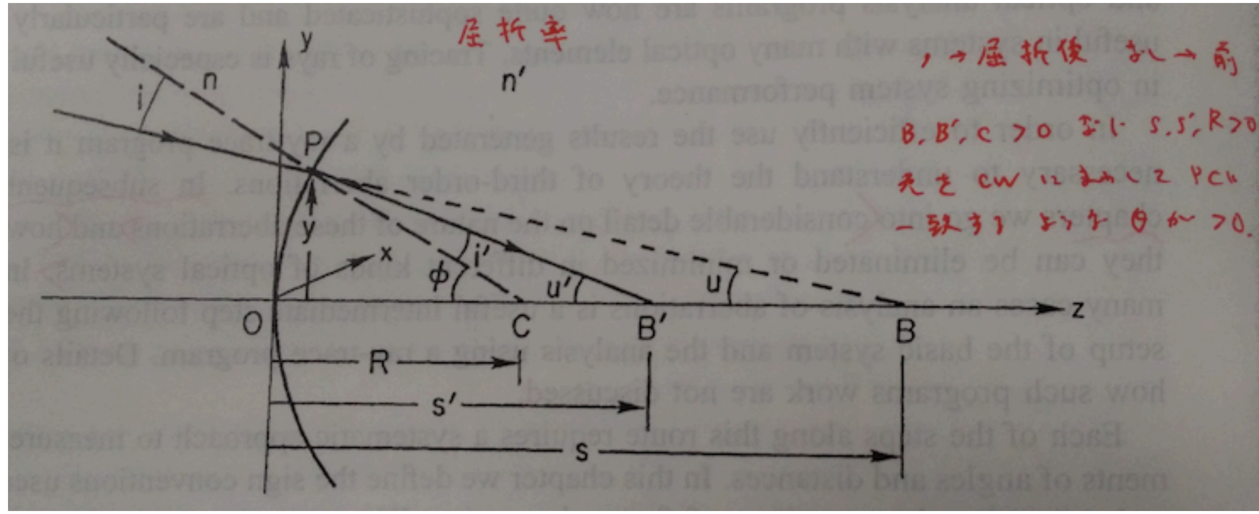
- レイアウト
  - レンズ・鏡・プリズム・格子…
- 光学系を記述する量
  - 焦点距離・倍率・瞳位置…
- 光路の追跡、収差の計算(by コンピュータ)

- ray-trace prog.→3rd-order aberrationの理解
- 以降、収差の性質、収差をどう減らすかを念頭に置く

2.1 符号のつけ方

- 右手系、z軸=光学軸
- 入射光:左から右
- 屈折率:n、n’
- PC:入射点での球面の方線
- 光と光軸のなす角:u、u’

符号のつけ方



- 図2.1において、符号の決め方は以下;
  - C、B、B'が原点より右側なら、R、s、s'>0
  - 光軸より上方向の点-光軸間の距離>0
  - u→光路をCCWに回して光軸に一致させたときの動かした角度>0
  - i→光路をCWに回して線PCに一致させたときの動かした角度>0
- こうすると、反射・屈折を同じように扱える

2.2 屈折について :近軸近似(1次近似)

- <u>**光が光軸(z軸)に近く、ほぼ水平**</u>という近似
- →i,i',ϕ,y<<1、 sinθ~tanθ~θ (近軸近似)
- このとき、Snell's lawは

$$n \sin i = n' \sin i' \longrightarrow ni = n'i'$$

- $i + u = \phi$ より、

$$n'u' - nu = (n' - n)\phi$$

- $\sin\phi \sim \phi = y / R$(u,u'についても同様)なので、

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \left(\frac{n' - n}{R}\right)$$

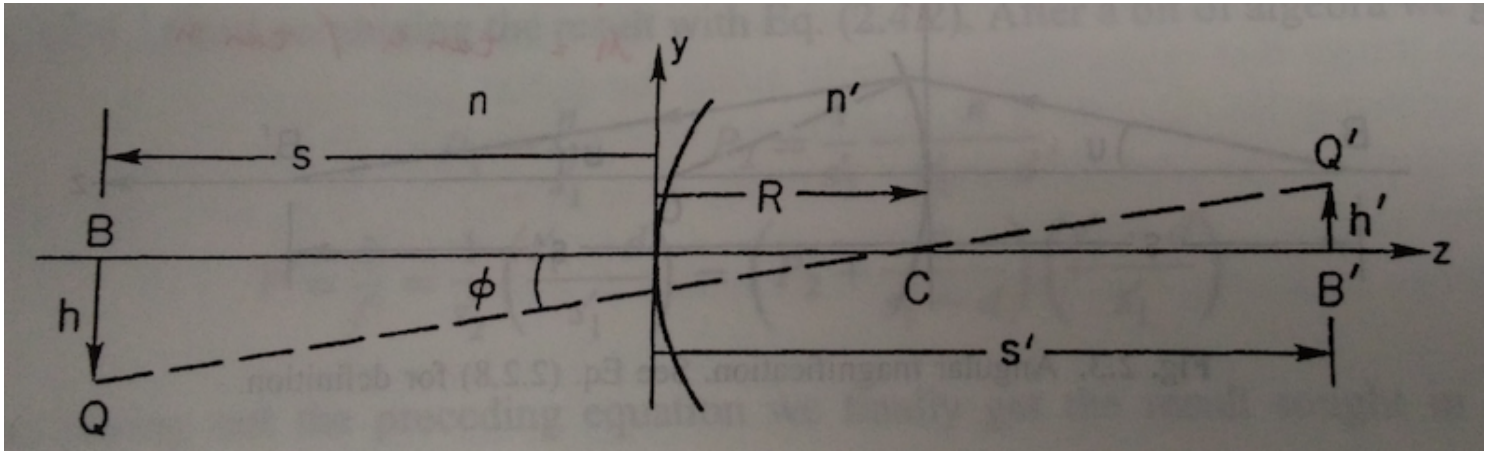
2.2.aパワー(屈折力)

- (2.2.4)は環境・屈折表面のみの関係式
  →パワーPを用いるのがよい

$$\frac{n'}{s'}-\frac{n}{s}=\frac{n'-n}{R}=P=\frac{n'}{f'}=-\frac{n}{f}$$

  →1つの屈折面の光学系に対するガウス光学
- Pは光が逆行(右から左)する場合でも、nとn'、s、s'を入れ替え、nとn'を負にすることで、不変である。

パワー(cont’d)



- (2.2.5)はyによらない→近軸近似の下、任意の(屈折なしでBを通る)光に適用可
- 光源点、結像点(図のQ,Q’)が光軸上にない場合にも適用可(図2.2)
- このとき、軸QCQ’が図2.1の軸PCと同様の役割、QとQ’が共役点

2.2.b 倍率

- 図2.2から、倍率mを、物体の高さと像の高さの比と定義：

$$m = h'/h$$

$$h' = -(s' - R)\tan\phi$$

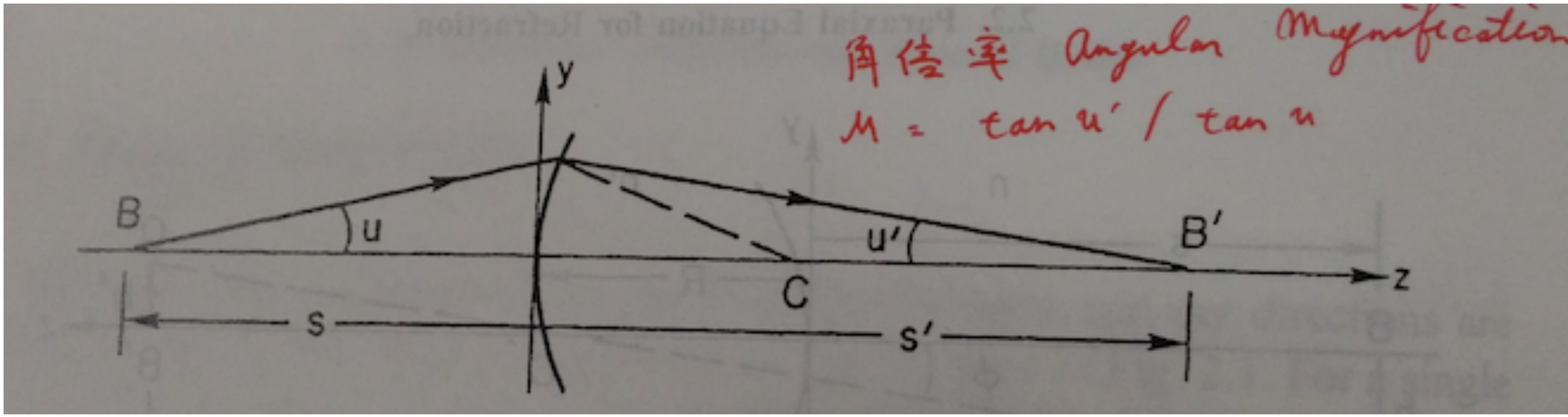
$$h = -(s - R)\tan\phi$$

- 近軸近似の下では

$$m = \frac{h'}{h} = \frac{s' - R}{s - R} = \frac{ns'}{n's}$$

- 図2.2では、s’,R>0でs,φ<0なので、hとh’は逆符号、よって**倍率**は負、このとき、**倒立像**
  - 倍率が正のときは正立像

倍率(cont’d)



- 図2.3から、**角倍率M**を定義: $M = \tan u' / \tan u$
- 図2.3では、

$$M = \frac{\tan u'}{\tan u} = \frac{s}{s'} = \frac{n}{n' m} = \frac{nh}{n' h'}$$

倍率(cont’d)

- また、上式から、

$$nh\tan u = n'h'\tan u' \equiv H$$

$$\xrightarrow{paraxial\_approx.} nhu = n'h'u'$$

エネルギー保存則より、*<u>Hは屈折の前後で一定</u>*
(Lagrange invariant)

- ある光学系が、一様放射する光源から集める全フラックスは、H^2に比例する

2.3 反射について

- 反射についての近軸近似

$$i=\phi-u$$

$$i'=\phi-u'$$

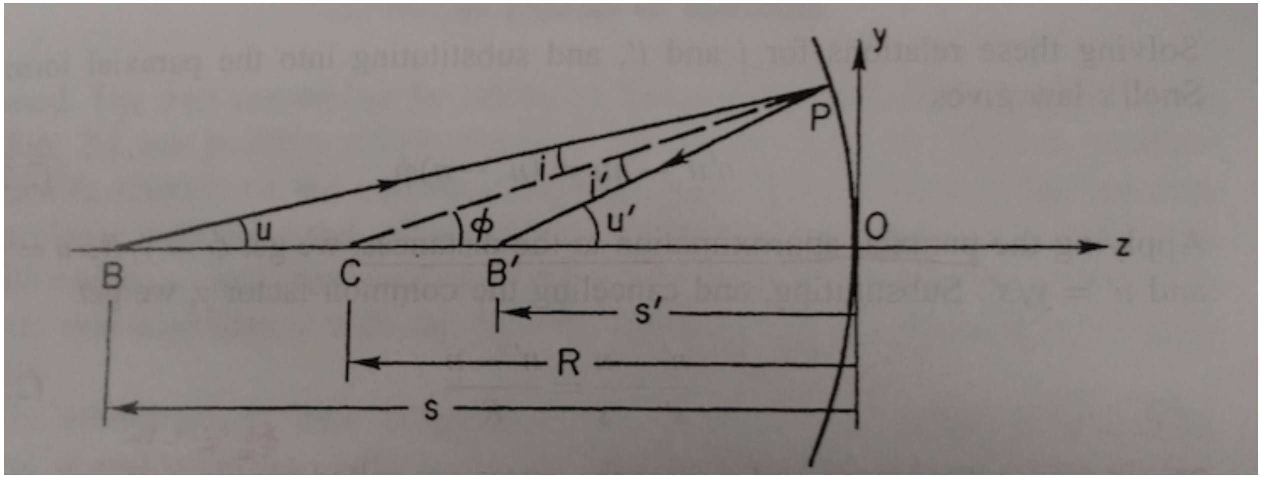
$$\phi=\frac{y}{R}$$

$$u=\frac{y}{s}$$

$$u'=\frac{y}{s'}$$

$and,$

$i=-i'$ (反射の法則)



Sign Convectionから、s,s’,R,i,ϕ,u,u’<0、
i’>0

$$\boxed{\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{2}{R}}$$

反射について (cont’d)

- (2.2.4)と同じく、(2.3.1)は任意の物体の配置に対して適用可能(符号の定義が適切ならば)。
- <u>反射の法則は、屈折に関するSnell ‘s lawから直接従う</u>。

つまり、(2.2.5~7)でn=-n’とおく(光の進行方向が変わるため)と、i=-i’。そして、

$$\frac{1}{s'}+\frac{1}{s}=\frac{2}{R}=-\frac{P}{n}=\frac{1}{f}=\frac{1}{f'} \qquad m=-\frac{s'}{s}$$

を得る。

反射について (cont’d)

- ここで、(2.3.2)から P>0 : 凹面鏡、 P<0 : 凸面鏡
  Pは光の方向によらず定数(他は符号かわる)
- n<0 (負の屈折率)は、単に右から左へ光が進むことを意味する
- 光の進行方向によらず、凹面鏡ではf>0、凸面鏡ではf<0とすると便利 (だが、strict sign conventionをこわす)
- (s,s’,Rに関するsign conventionは常に保たれる)