

光の計測と天文観測

1. イントロ：『作る』のは難しいが、『解る』のは易しい
2. 観測装置の見方
3. 光学素子 望遠鏡/回折格子/複屈折
4. 展開 3様式（撮像／分光／偏光）の組み合わせ

5. コラム ① F値の変換と収差 ②光線と波面が直行すること
③“OISTER”の位置 ④光とは何だろうか ⑤ 参考図

スライド

3

2

5

3

2

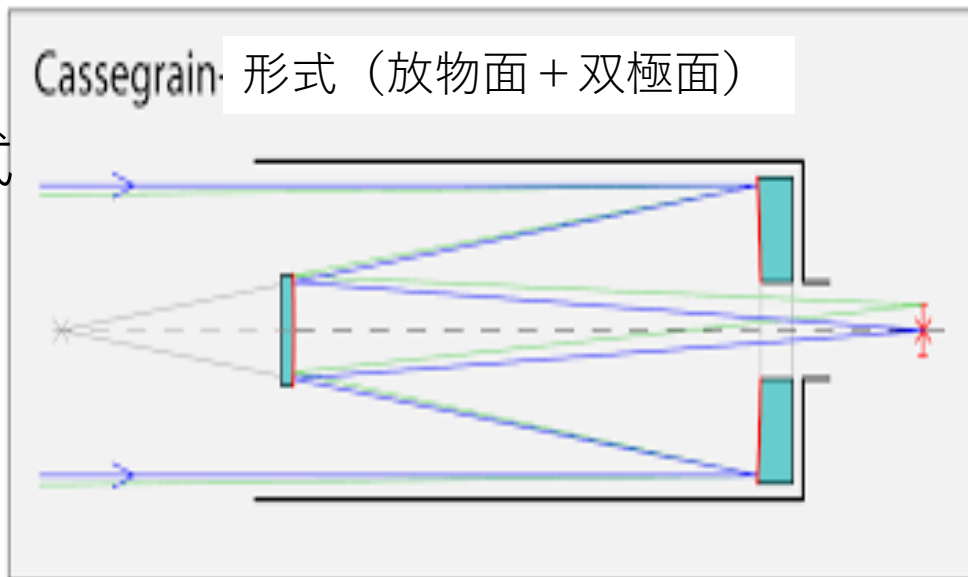
望遠鏡光学400年

スライド

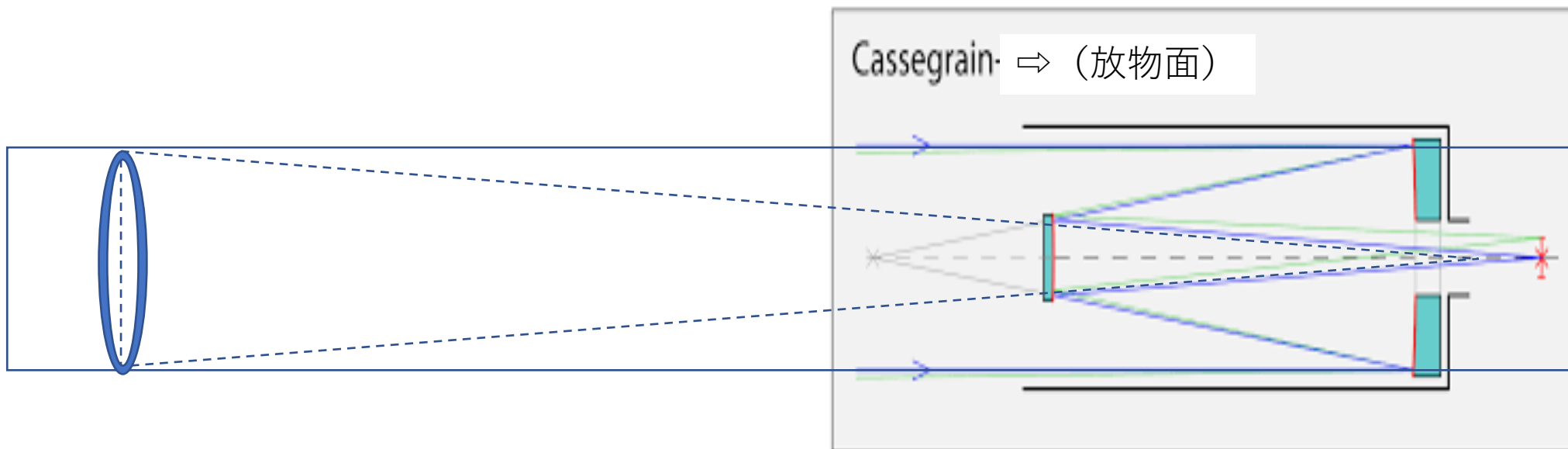
40

1. イントロ：『作る』のは難しいが、『解る』のは易しい

望遠鏡の形式



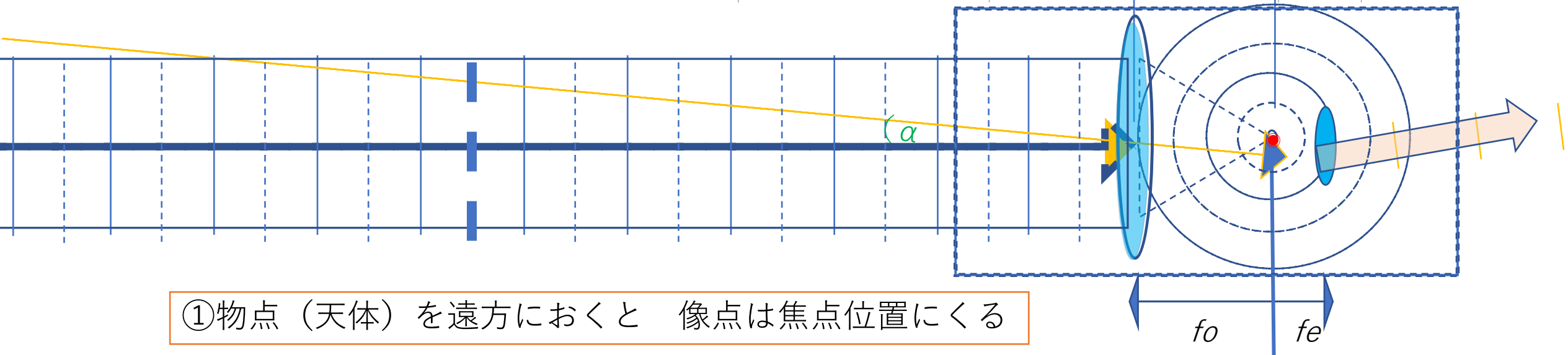
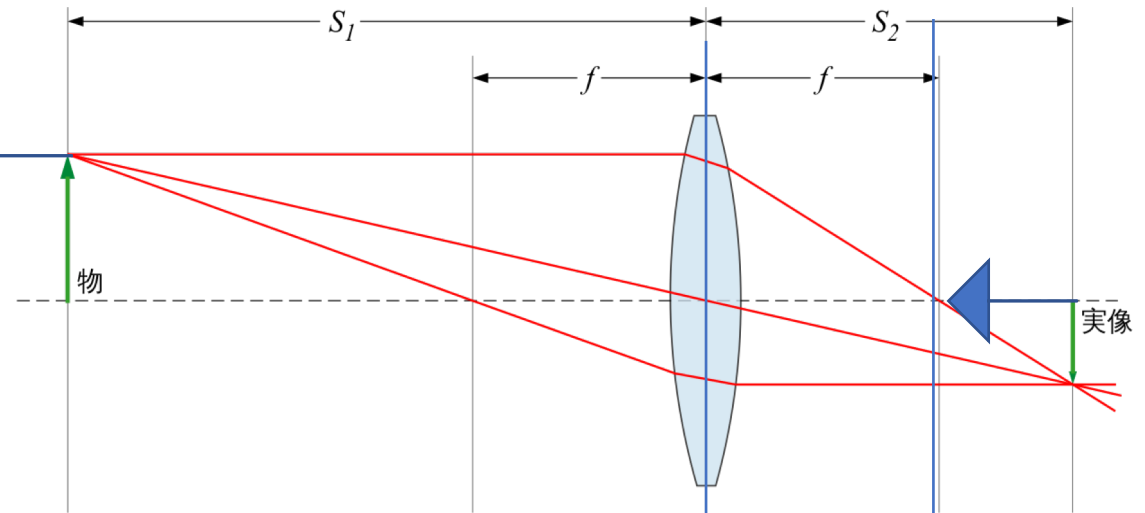
1 枚の鏡 / レンズ と 見 な す



望遠鏡は 遠い物体の実像を見る

レンズの式
ガウスの式

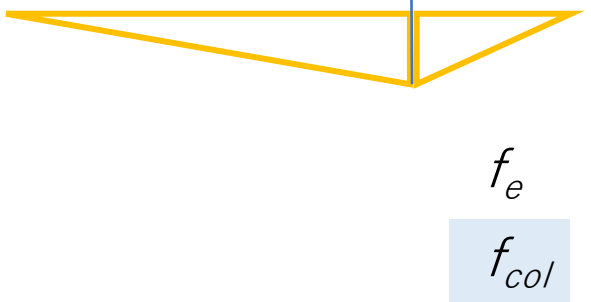
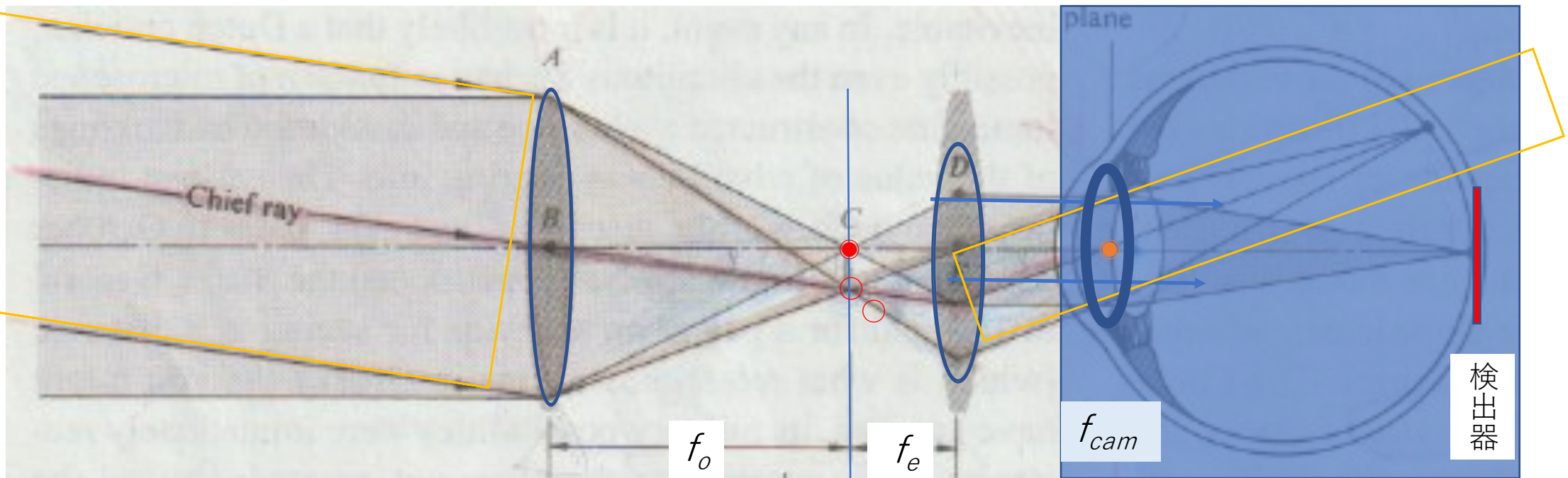
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$



①物点（天体）を遠方におくと 像点は焦点位置にくる

② 焦点を共有するようにレンズ L_e を追加する

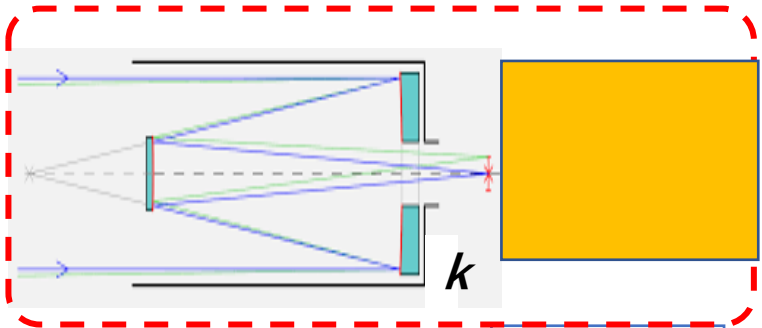
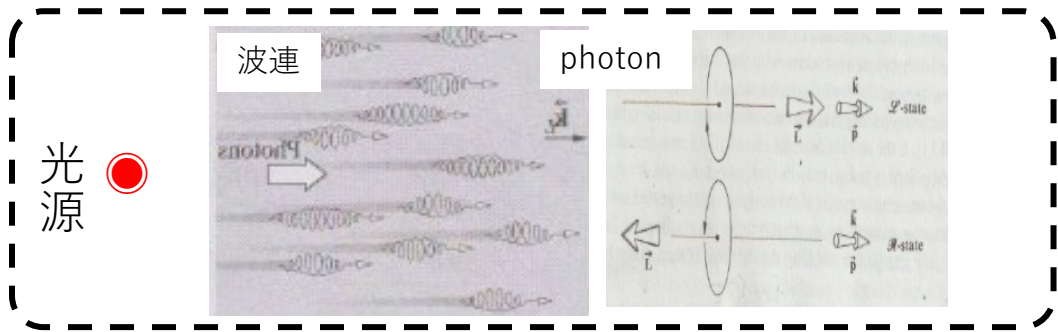
③ 細い平行光束がある位置（瞳）で束ねられるように射出する



$$\frac{f_o}{f_e} = \frac{D}{d} = \frac{\beta}{\alpha}$$

天文観測装置

2. 観測装置の見方



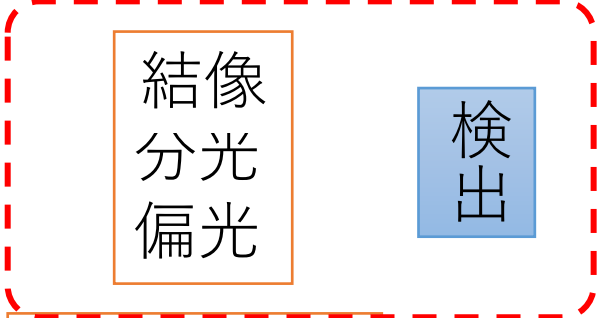
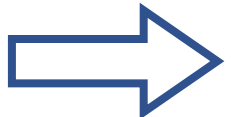
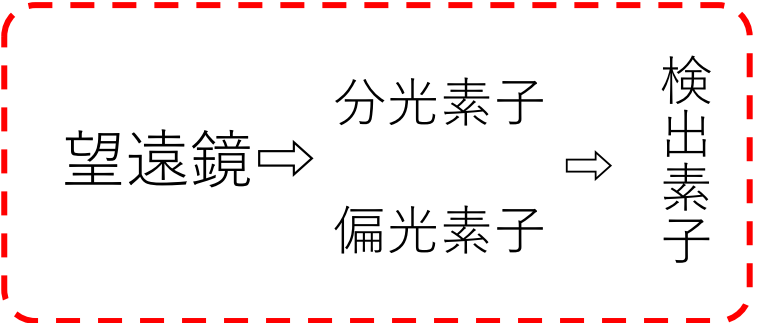
コンピュータ
(データ解析)

観測者

望遠鏡

観測器

分光器 偏光器 検出器

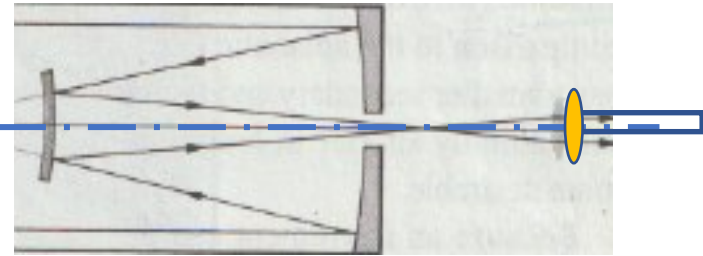
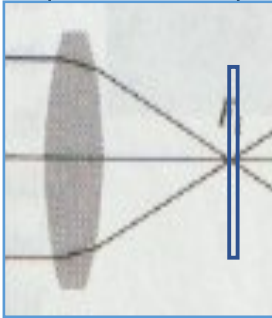

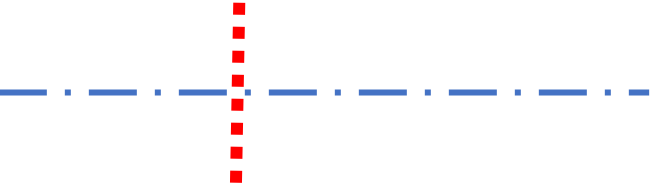
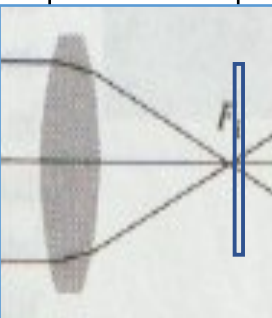

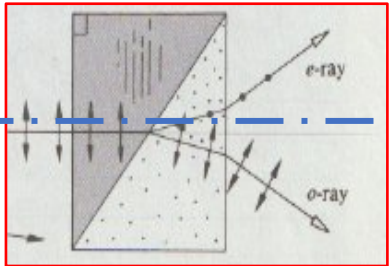
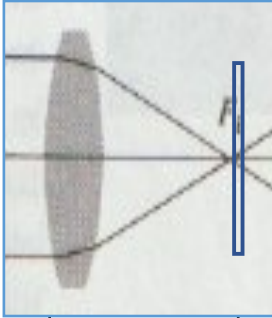



3+1

Imaging Spectroscopy Polarimetry

Detection Photometry

測定の原理

				レンズ	検出器
Im	望遠鏡 $(\theta_x \theta_y)$ $\frac{f_o}{f_e} = \frac{D}{d} = \frac{\beta}{\alpha}$		進行方向		
Sp	回折格子 $d \sin \Theta = m \lambda$		波長方向		
Pol ✖	複屈折 $d \frac{ n_o - n_e }{\lambda}$ 複像		※振動方向		

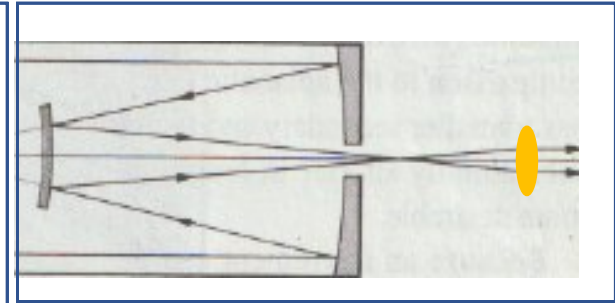
3. 光学素子 望遠鏡/回折格子/複屈折

光源
★

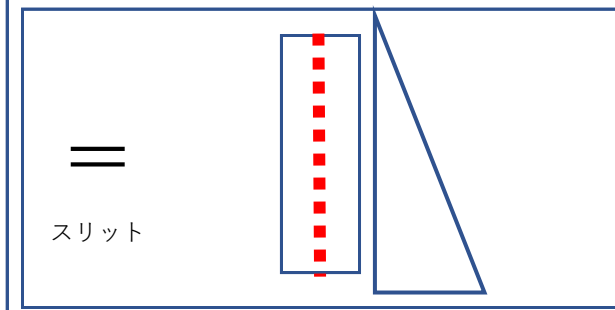
自然光

いろいろな
方向
いろいろな
波長
いろいろな
偏光方向

仕分け

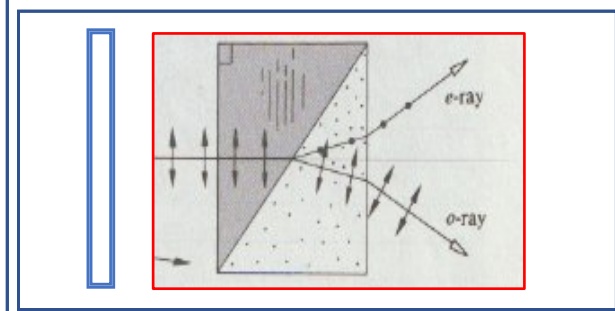


大小
レンズ対
= 望遠鏡



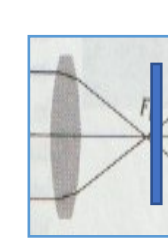
=
スリット

回折格子
↓
グリズム

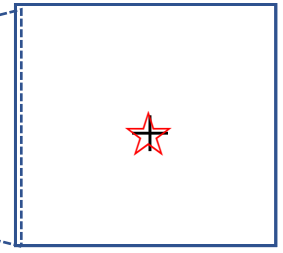


複屈折
貼り合わせ
+
位相板
一回転

カメラ
レンズ

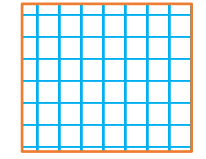
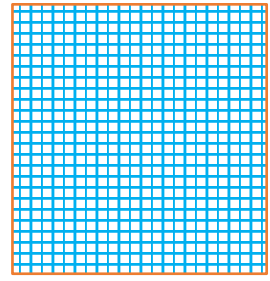


単独星
(視野中心)

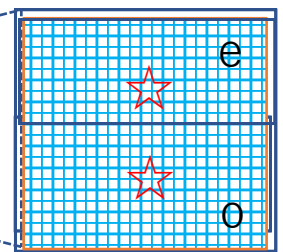
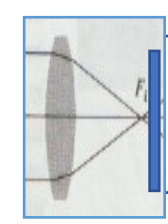
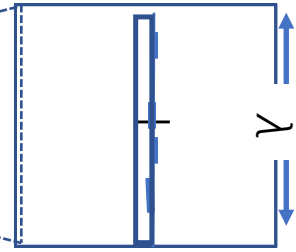
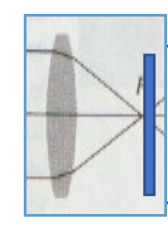


⇒星団⇒星雲

区分け



観測者
の意図



位相板 / 回転 ✖

0°

90°



Im バンドパス フィルター	誘電体 薄膜 多層	フレネル反射 半波長/1波長 積層: glass(HLHL--)air
Sp グリズム	回折格子 + <u>プリズム</u>	細いスリット列 回折⇨干渉 回折効率+直進
Pol❌ ウォラストン プリズム	1軸性結晶 <u>位相板</u> <u>プリズム</u>	位相板(遅延板)回転 複屈折プリズム

切り取り方の違い

吸収なし

➔フィルターを傾けてみる

スリット間に位相差を付けて
意味のある干渉方向を直進にする

➔もう一つスリットを焦平面に

1軸性結晶の軸(optic-axis)

と切断の仕方/方向で

進行速度や屈折角が変えられる

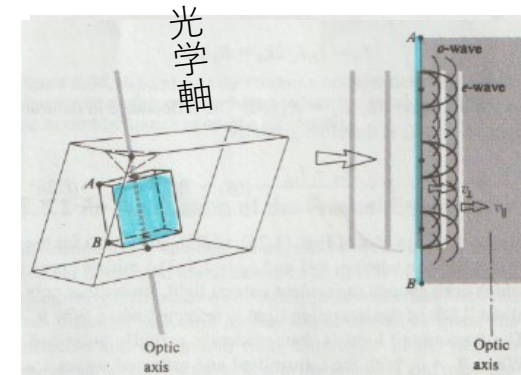
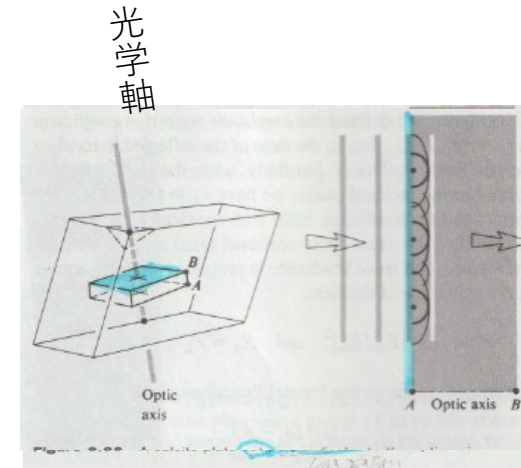
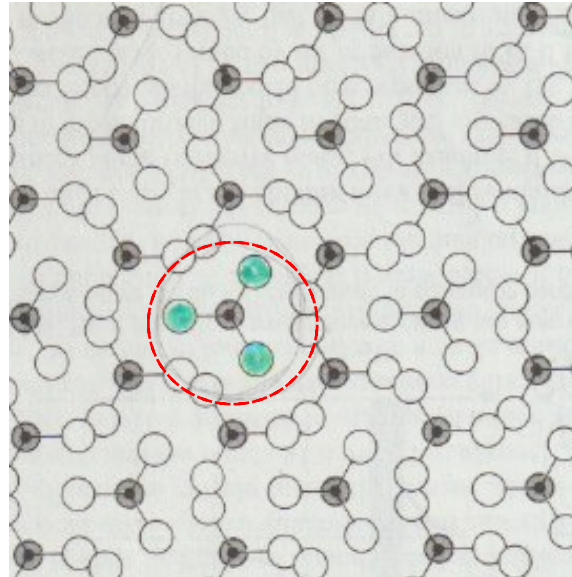
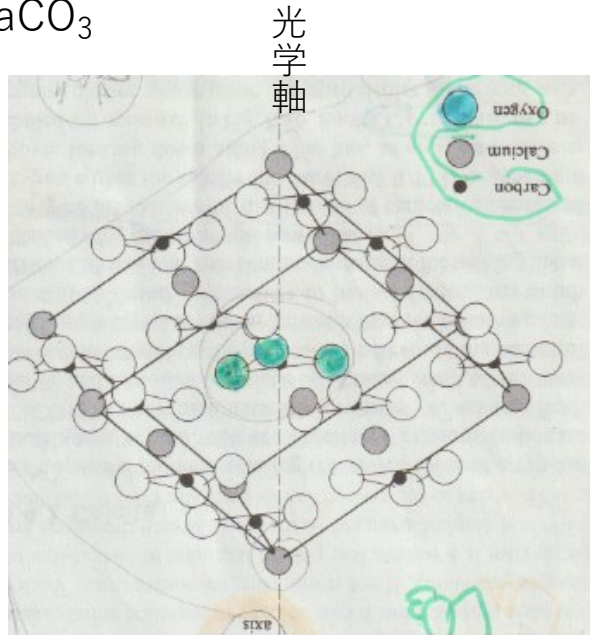
ウォラストンプリズム=上下対称

—偏光ビームスプリッタ

波長板— **$E_x E_y$** 間の位相差を変える

位相板／遅延板／波長板

方解石
CaCO₃

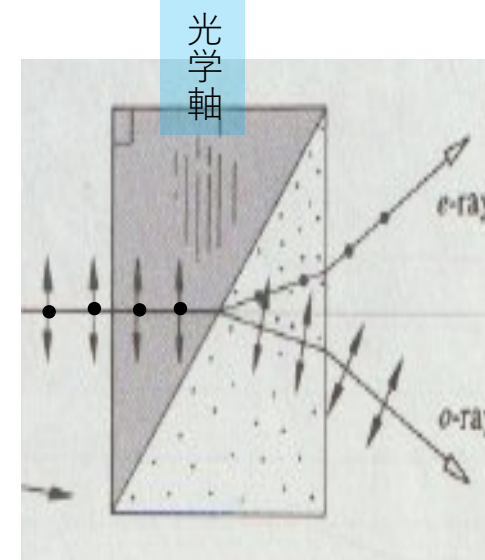
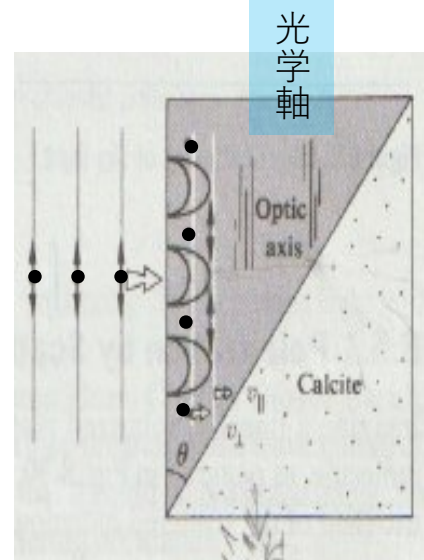
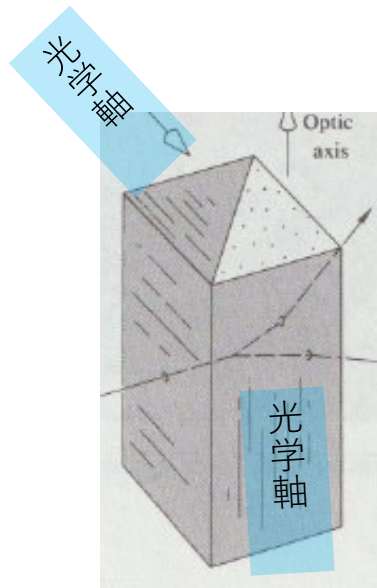
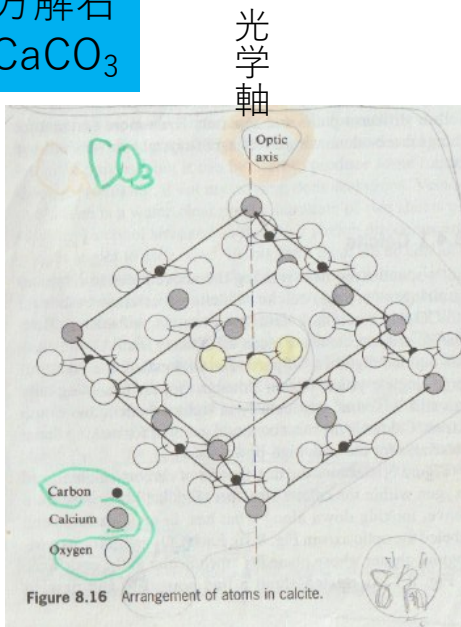


1 軸性結晶：電子の雲の拡がり → バネ定数の差 → 屈折率の差 = 電磁波の速度の差 → 位相差： ϵ
屈折の角度の差

偏極率 p の差 → 誘電率の差 $\sqrt{\epsilon} = n$

ウォラストンプリズム 偏光ビームスプリッター

方解石
CaCO₃



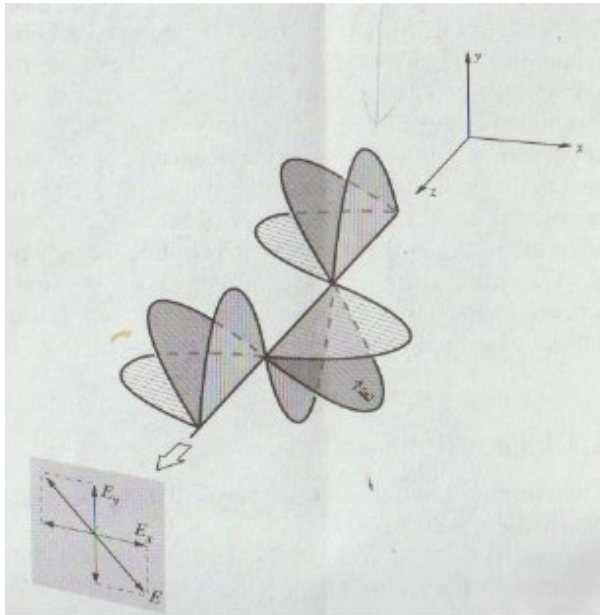
1 軸性結晶 光学軸と垂直面に異方性（軸方向に強いk、面方向に弱いk）のあるバネ

：電子雲の拡がり → バネ定数の差 → 屈折率の差 → 屈折角度の差
→ 位相速度の差

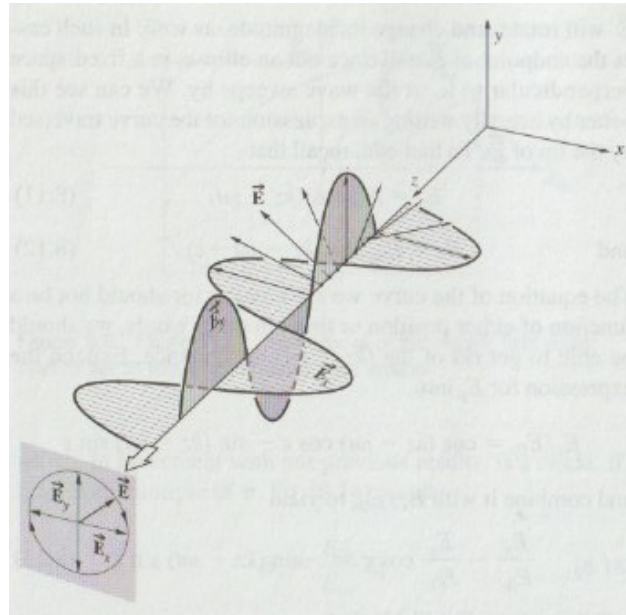
ウォラストンプリズム
位相（遅延）板

切り取り方の違い

$$E_x e^{-i(\omega t - kz)} + E_y e^{-i(\omega t - kz + \varepsilon)}$$



線偏光

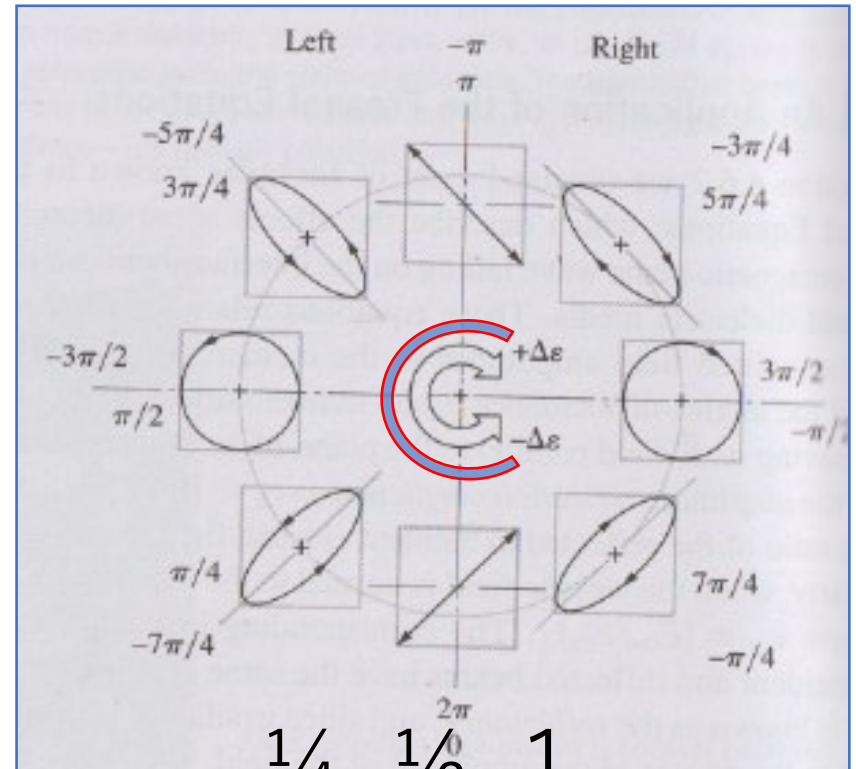


円偏光

位相板 / 遅延板 / 波長板を回転
光学軸が回転 → 光路長(o-e)に差

$$\Lambda = d(|n_o - n_e|) / \lambda:$$

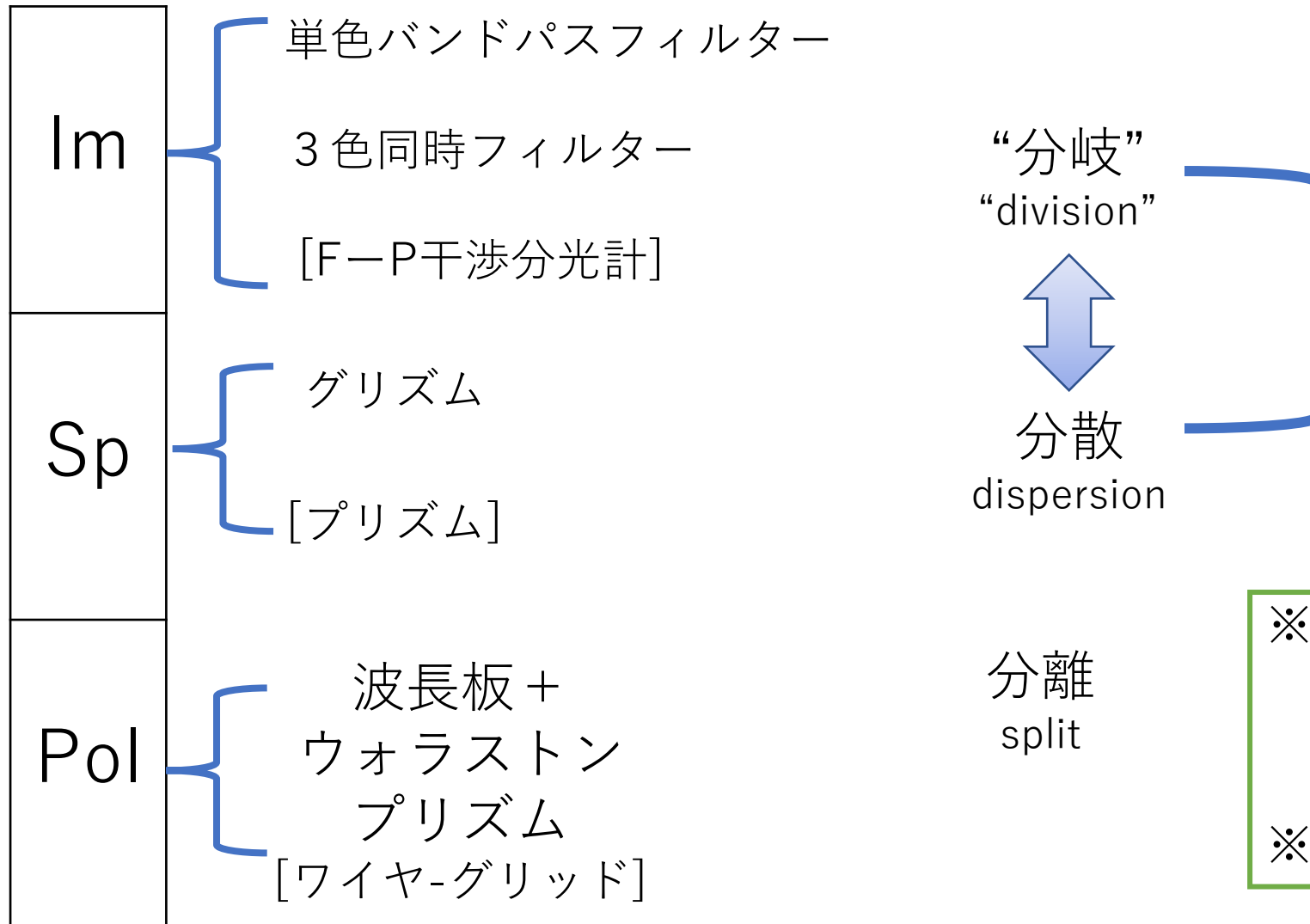
ε を変化 1, 1/2, 1/4 波長板



1/4, 1/2, 1

4. 展開 3 様式 (撮像 / 分光 / 偏光) の組み合わせ

⑧



※ $n = 2, 3, \dots, 16, \dots$

なぜ3色か？

※ “n” 色測光 vs グリズム分光

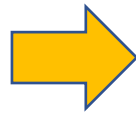
独自性をもつ

測定モード間 => 同時

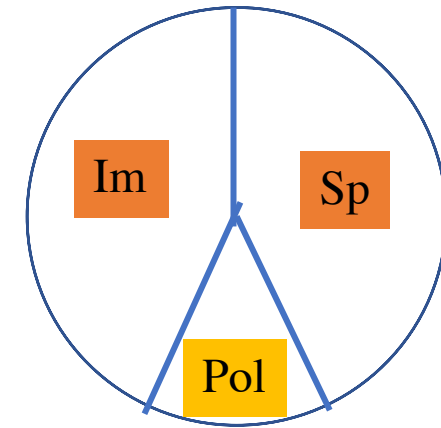
Im < = > Pol

Sp < = > Pol

Im < = > Sp



IFU ; Integral Field Unit
面分光 ?
3次元分光 ?



さらに Im-Sp-Pol 同時

さらにさらに Im-Sp-Pol x 広波長域 (1-CCD + 2IR-Array) 同時

Triple Range Imager and Spectrograph

with Polarimeter

Watanabe et al. 2005 PASPacific

SIRIUS with Polarimeter

VLT-ESO

X-shooter

SPHERE

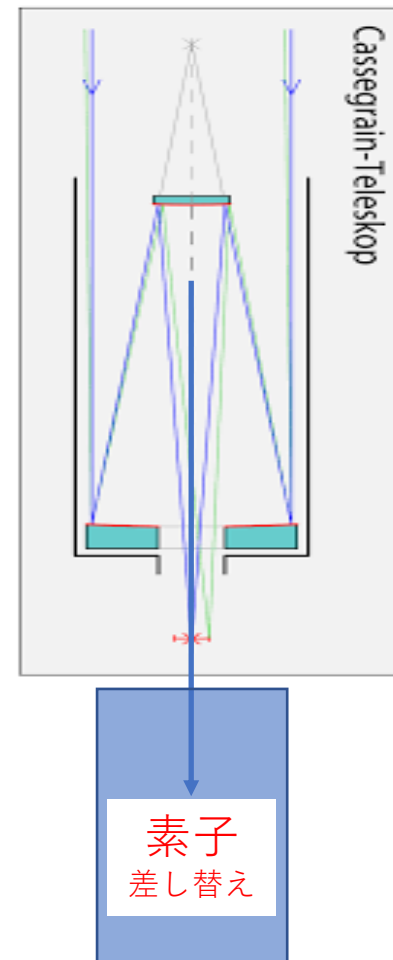
遊ぶ

① 3色同時フィルターを付加する

② 光学実験ベンチ
(平行光束～瞳)

on

カセグレン焦点



5. コラム：① ② ③ ④

F変換と収差 分解能と視野

D

Fを頂点とする三角形 (F_1D, F_2D, F_3D)

F比 f/D 小さい \rightarrow 明るい \rightarrow 収差がひどい
 大きい \rightarrow 暗い \rightarrow 収差はかるい

高さ h と傾き $\alpha \rightarrow$ 収差

平面波 \rightarrow 球面波

光線と波面が互いに直交すること
 接平面—接球面から等距離にある点の軌跡

平面波 \sim 平行光線
 球面波 \sim 収束点

なめらかな曲面 \sim 波面 Malus-Dupinの定理

幾何光学 \sim 波動光学
 (光線) (波面)

OISTER
 Optical-Infrared

X-ray Radio-wave

検出即分光 検出即偏光/分光

0.数 \sim 数 $100 \mu m$

仕分け—Im/Sp/Pol
 検出
 計数 N_{photon}

光とは 何だろうか?

電磁波

Photon

波連
 wave-train

5. 参考

観測様式
3つある
3つしかない

電磁波の
見方

<素>粒子的
見方

Im	方向 ($\theta_x \theta_y$)	光線		$p(\theta_x \theta_y)$
Sp	スペクトル λ	$A e^{-i(\omega t - kz)}$ 振幅 位相 スカラー		$p = k$ 運動量 波数
Pol	振動	$E_x e^{-i(\omega t - kz)}$ $E_y e^{-i(\omega t - kz + \epsilon)}$ 横波ベクトル		σ スピン