望遠鏡ー400年ー

佐藤修二
8月28日 2019

屈折　と　反射
レンズ　と　ミラー
（球面）と（２次曲面）

レンズ	屈折	色分散	n（色）
ミラー	反射	反射率 R 劣化	重量

『光学系』
の視点から　400年　＝1600～1900～2000 ＝300＋100(+25)

屈折①

ガリレオ
口径38mm
焦点距離1.3m
　凸＋凹

誰が発明したか？
↓
当時、多くの人々が発明できた。

『星界の報告』
ガリレオの説明
↓
ケプラーの著作
『屈折光学』

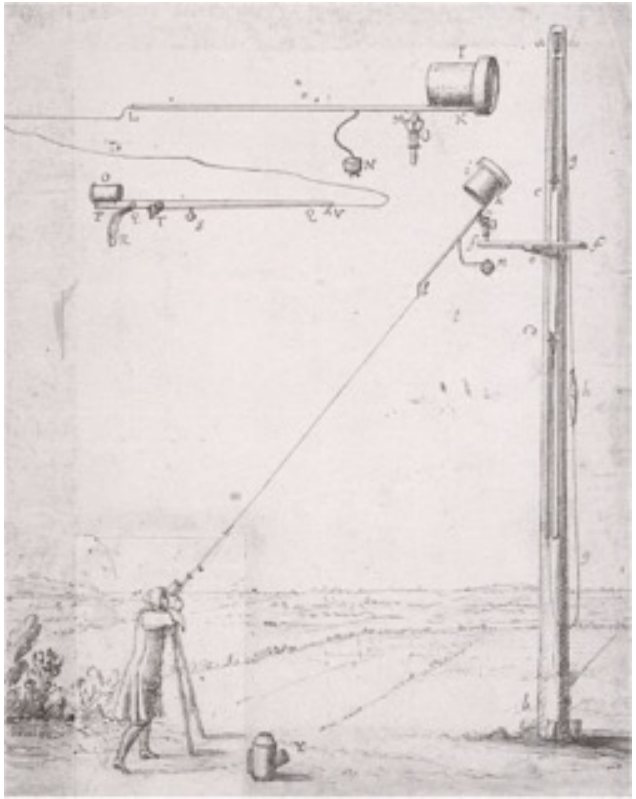
屈折②

ホイヘンス
カッシーニ

長い焦点距離

17世紀中の
天文学成果

ガリレオ
ホイヘンス
カッシーニ



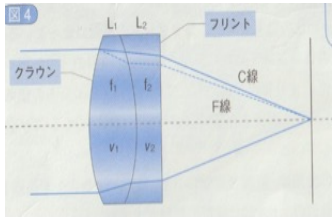
Huygens
土星の環と衛星1
オリオン ”Nebula”

An engraving of the **Paris Observatory** during Cassini's time. The tower on the right is the "*Marly Tower*", a dismantled part of the Machine de Marly, moved there by Cassini for mounting long focus and aerial telescopes.

Cassini
土星の環の隙間
衛星 4

屈折③
フラウンホーフェル

◎大口径色消



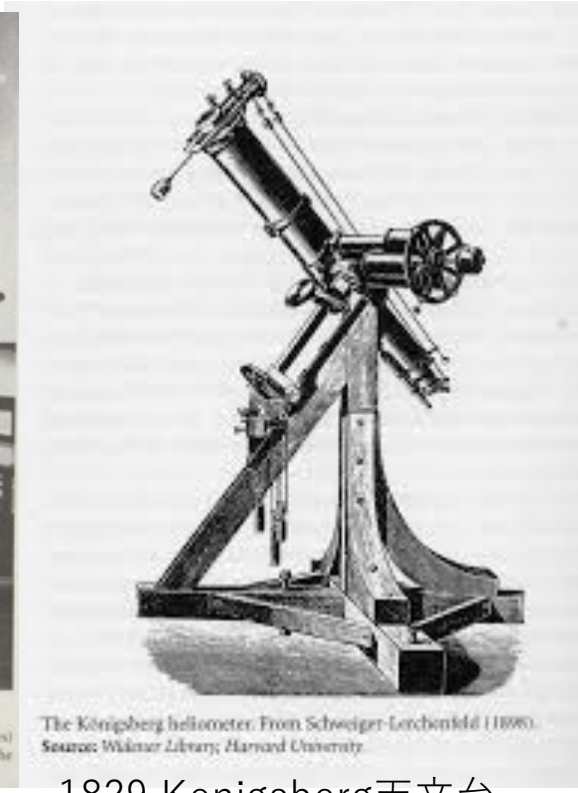
（球面・コマ）

〇架台
〇時計駆動

天文学の成果

1825 Dorpat天文台

1826 Berlin天文台



The Königsberg heliometer. From Schweiger-Lerchenfeld (1898).
Source: Widener Library, Harvard University

1829 Kenigsberg天文台

Mahler and Merz

Figure 1.3
Prince Maximilian Joseph IV at the site of Weichselberger's collapsed house with the rescued Fraunhofer. *(Deutsches Museum, Munich)*

大きな一様なフリントガラス
フラウンホーフェル線　600本
n(λ)　アッベ数
フラウンホーフェル回折
回折格子　$d\sin\theta = m\lambda$

大きな一様なフリントガラス
望遠鏡　精密光学機器
光学　分光学
フラウンホーフェル機構

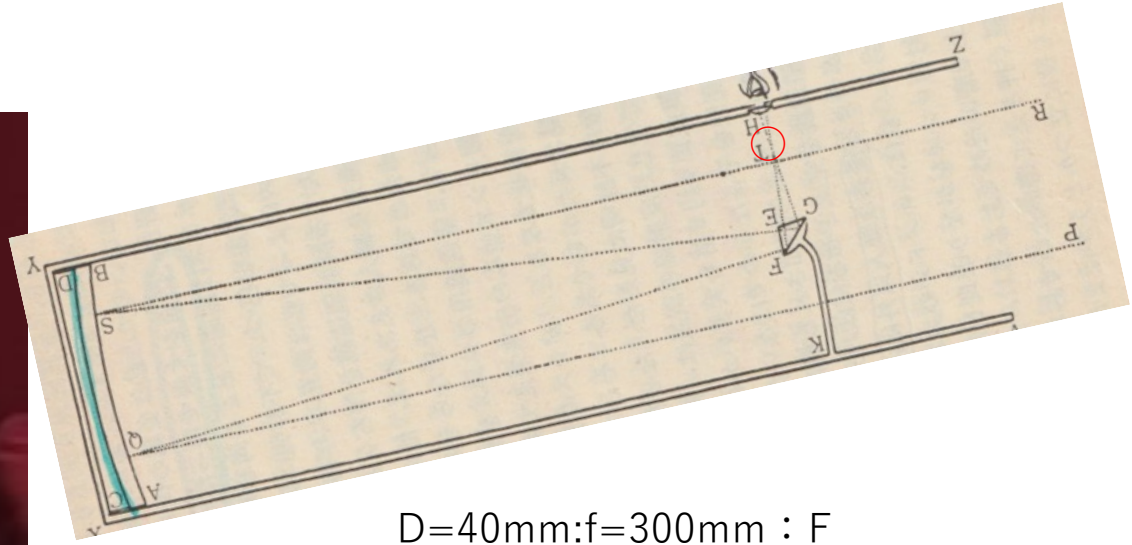
屈折④

リック天文台
91cm 屈折

ヤーキス天文台
100cm 屈折

リック天文台
91cm 反射

反射①
ニュートン
　1668



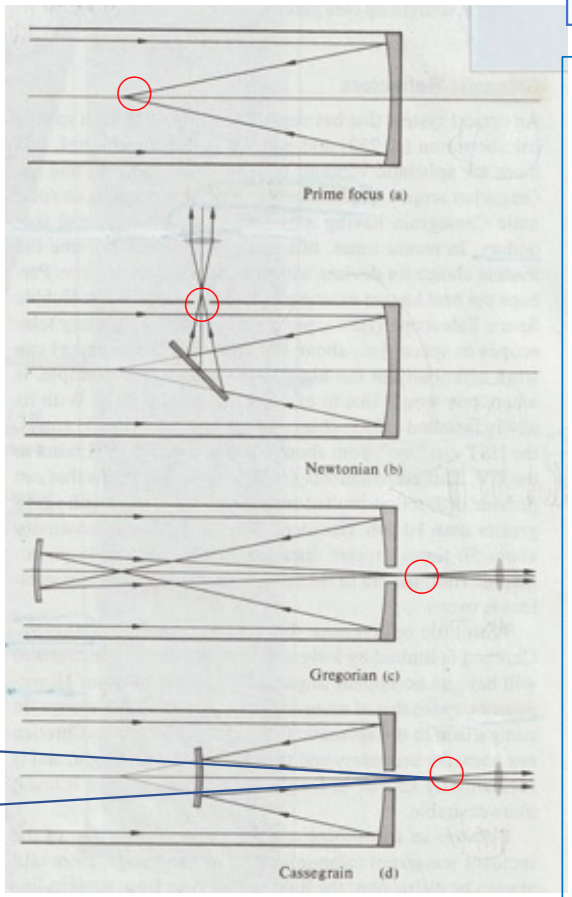
D=40mm:f=300mm：F

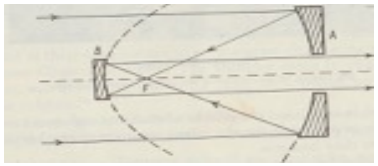
① 球面
② 色収差
③ 平面鏡（プリズム）
　⇨焦点位置をサイドに
④ 反射ミラーの材料
⑤ 研磨法 （形状と粗さ）

実験の“天才”

『光学』ニュートン　岩波文庫

反射光学系





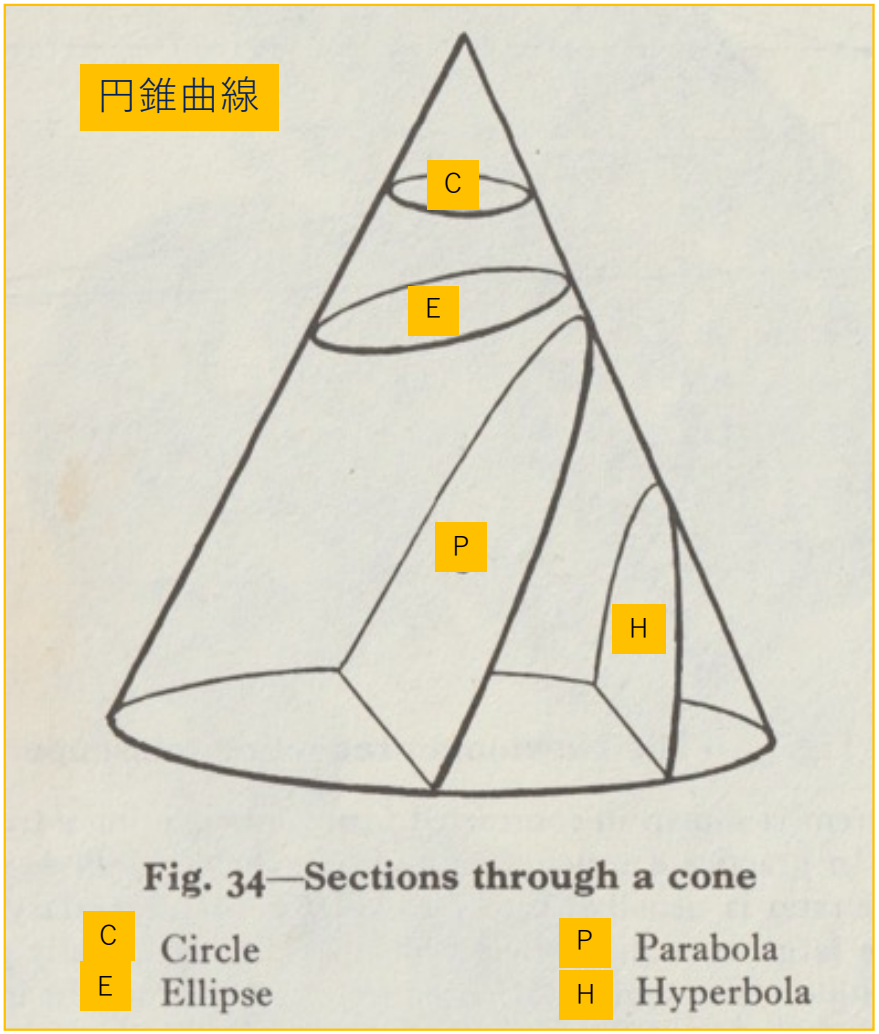
Direct(Prime)
C

ニュートン
C + Flat
1668

グレゴリー
C + B

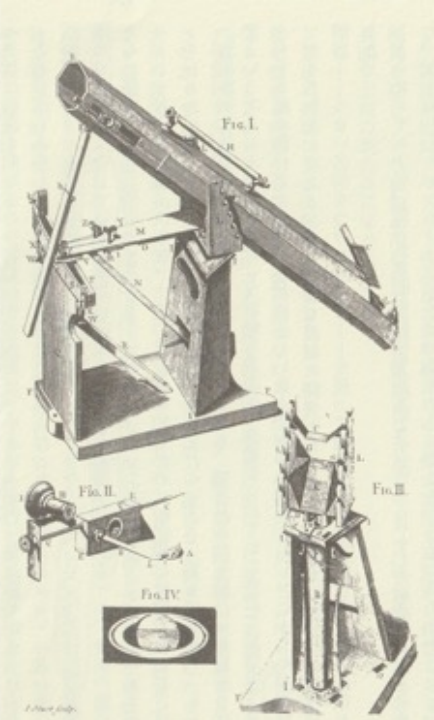
カセグレン
C+ D

メルセンヌ
C + C



反射②

ハドレー
放物面　反射望遠鏡
6 in F10　1721



ハドレーの1721年の反射望遠鏡。直径6インチ（15センチ）の鏡を持つこの望遠鏡は、ニュートンの1668年の小型望遠鏡をおもちゃに見せたほどだった

反射③

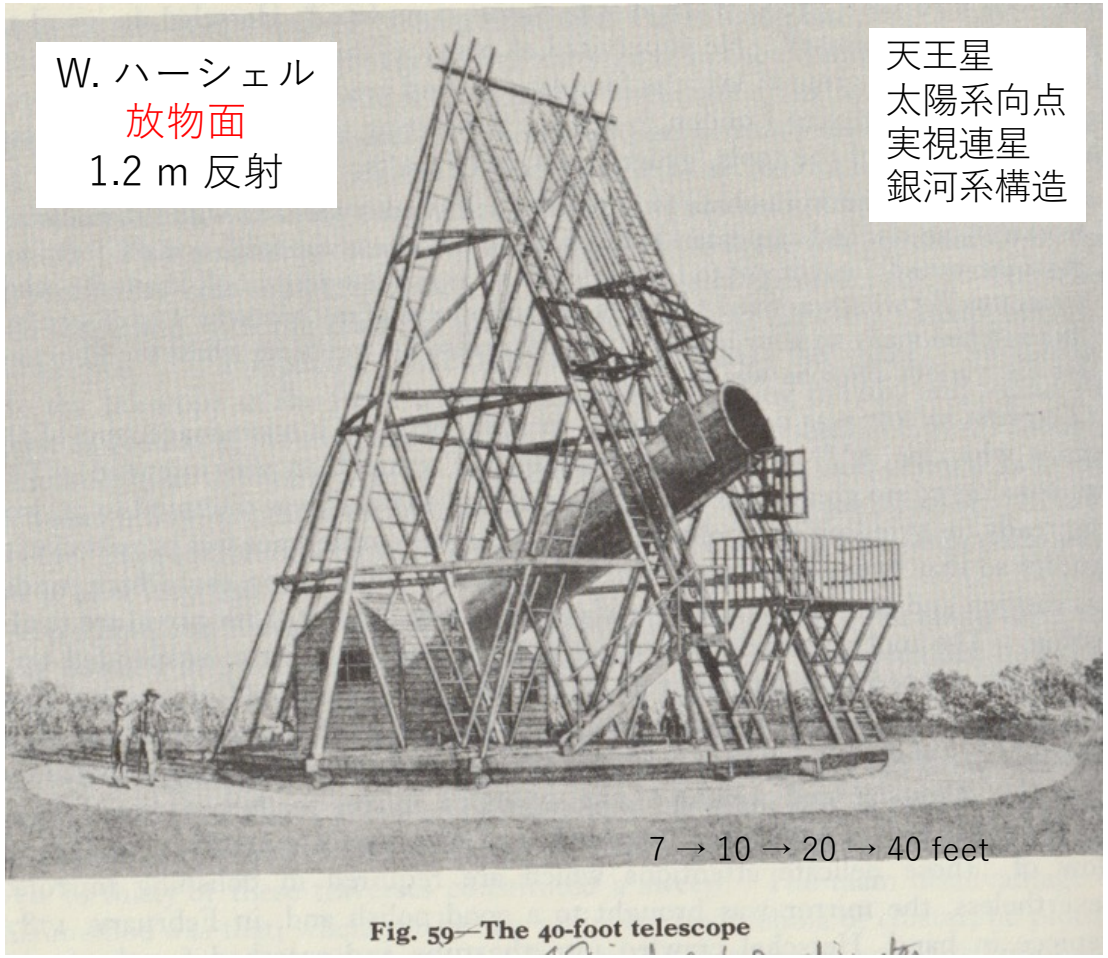


Fig. 59—The 40-foot telescope

反射④

フーコー33cm
反射望遠鏡
赤道儀　N焦点

銀＋ガラスミラー
1856

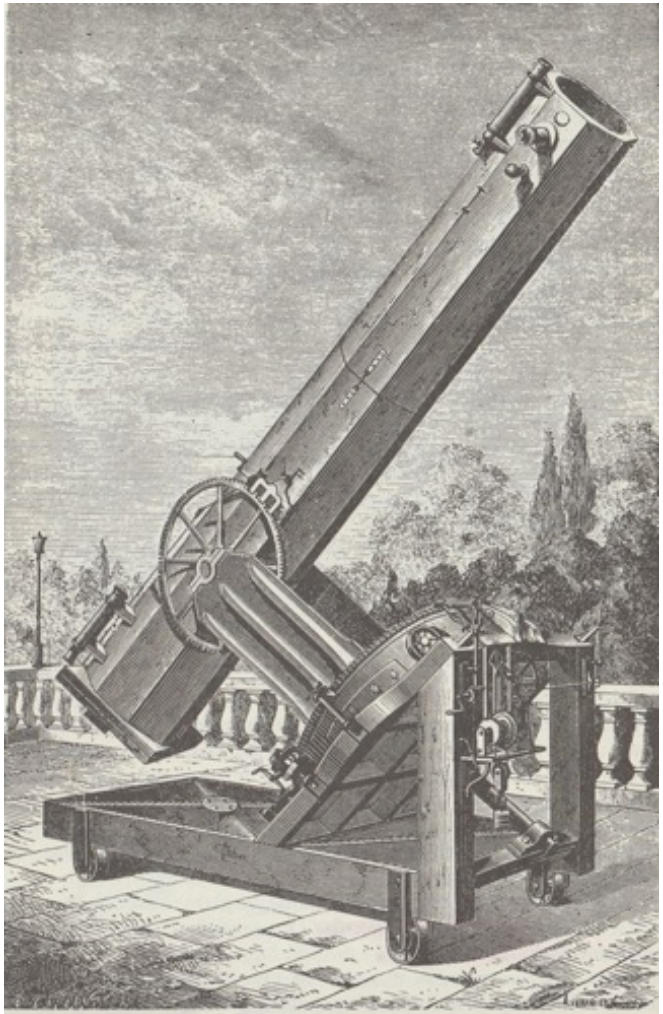


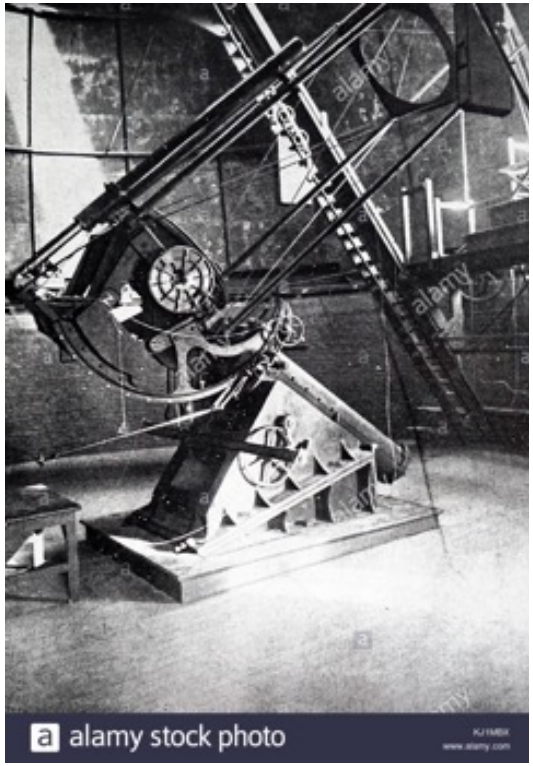
Fig. 108—Foucault's 13-inch reflector

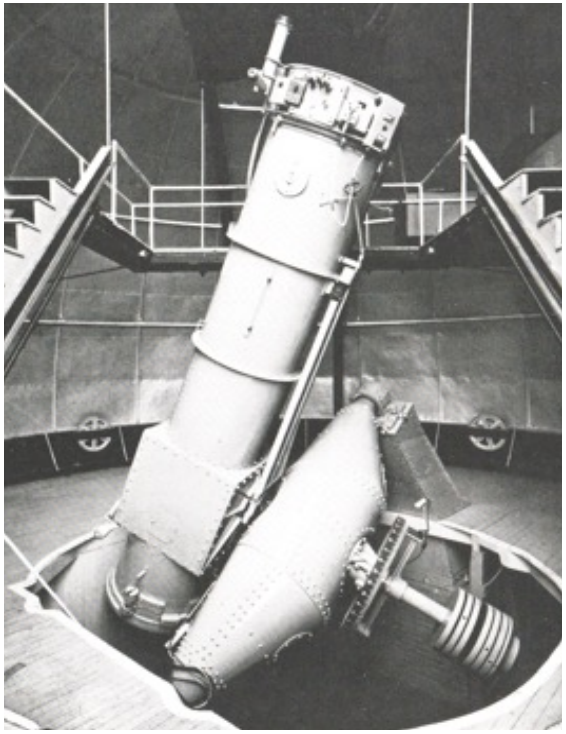
Mounted by Eichens

33cm

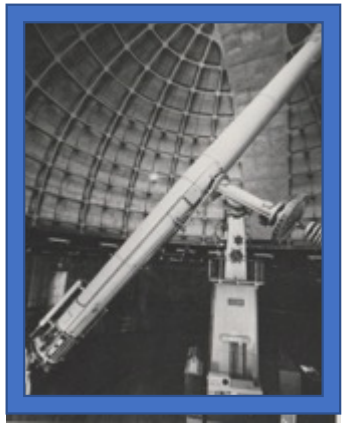
反射⑤
Lick天文台
クロスリー
91cm＝36インチ

銀（＋ガラス）⇨アルミ
1880⇨1883⇨1885
⇨1895／1933／2010





Lick天文台
91cm屈折



望遠鏡の始まりと歩み　300年間

19世紀	屈折望遠鏡	レンズ：色分散	n（色）		色消
	反射望遠鏡	ミラー：反射劣化	R	再研磨	銀メッキ

⇨ 大口径へ

II. 望遠鏡の進展　19世紀から20世紀へ

口径：D 焦点距離（位置）：f	写真 *L*	視野：Ω　*L*/f 焦点比：F=f/D

屈折ー大口径ーは口径1mで行き止まり　← 材料および支持方法
　　ー小口径および“カメラ”　　星雲／星野写真　星表　銀河構造

反射は古典カセグレン望遠鏡から

シュミット望遠鏡 and/or リッチークレチェン望遠鏡へ

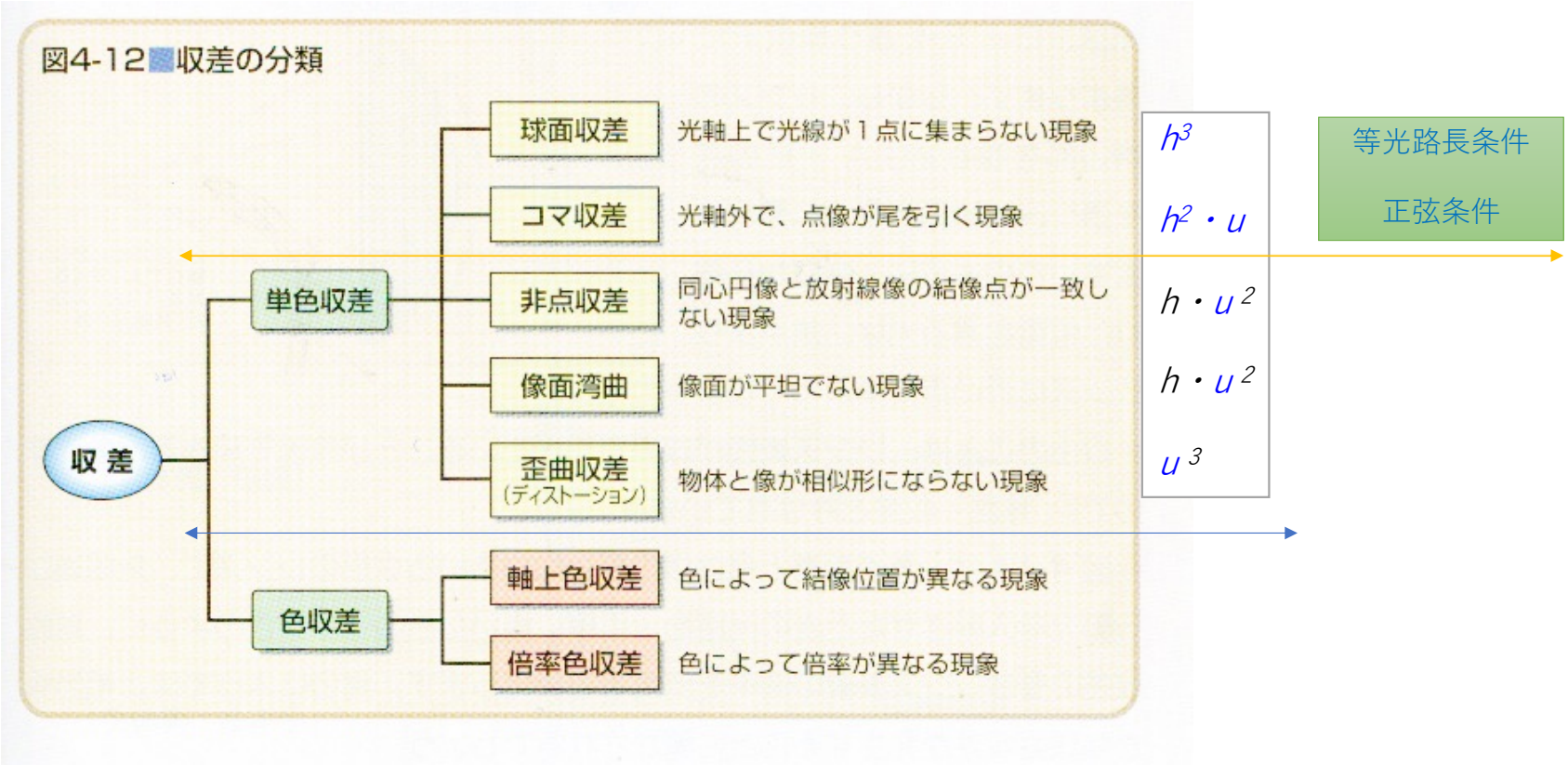
古典カセグレン	R－C	Schmidt
～3’	～ 30’	～ 5°

カメラ
50°

収差

$$\sin u = u - u^3/3! +$$

ザイデルの 5 収差



Sir David Gill (デービッド・ギル)
"Her Majesty's Astronomer"
南アフリカのケープ天文台で南天の星。
写真技術を天文観測に利用した先駆者。

Great Comet of 1882

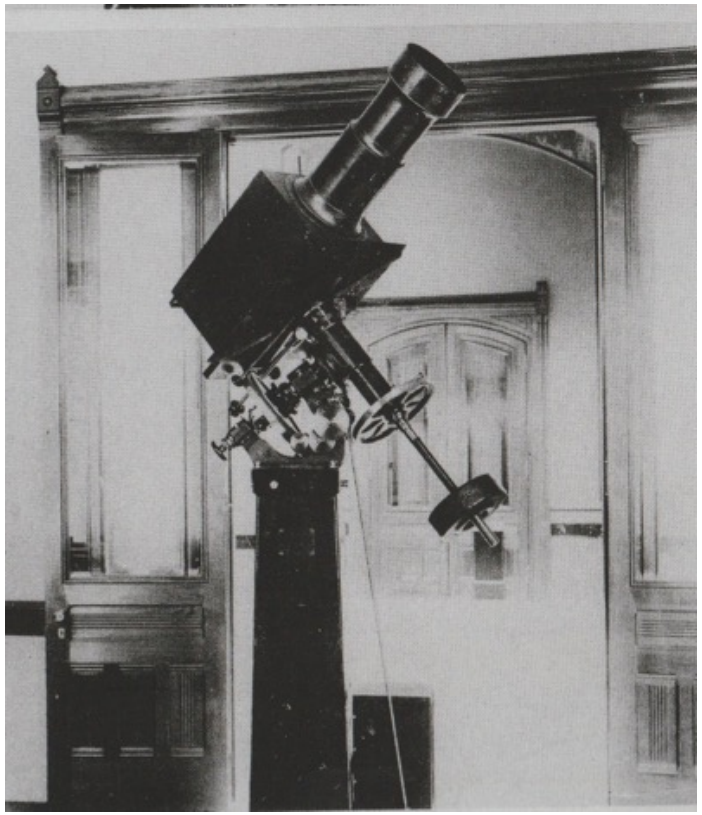
→ CPD カプタイン宇宙
→ Carte de Ciel X

19世紀末〜20世紀初

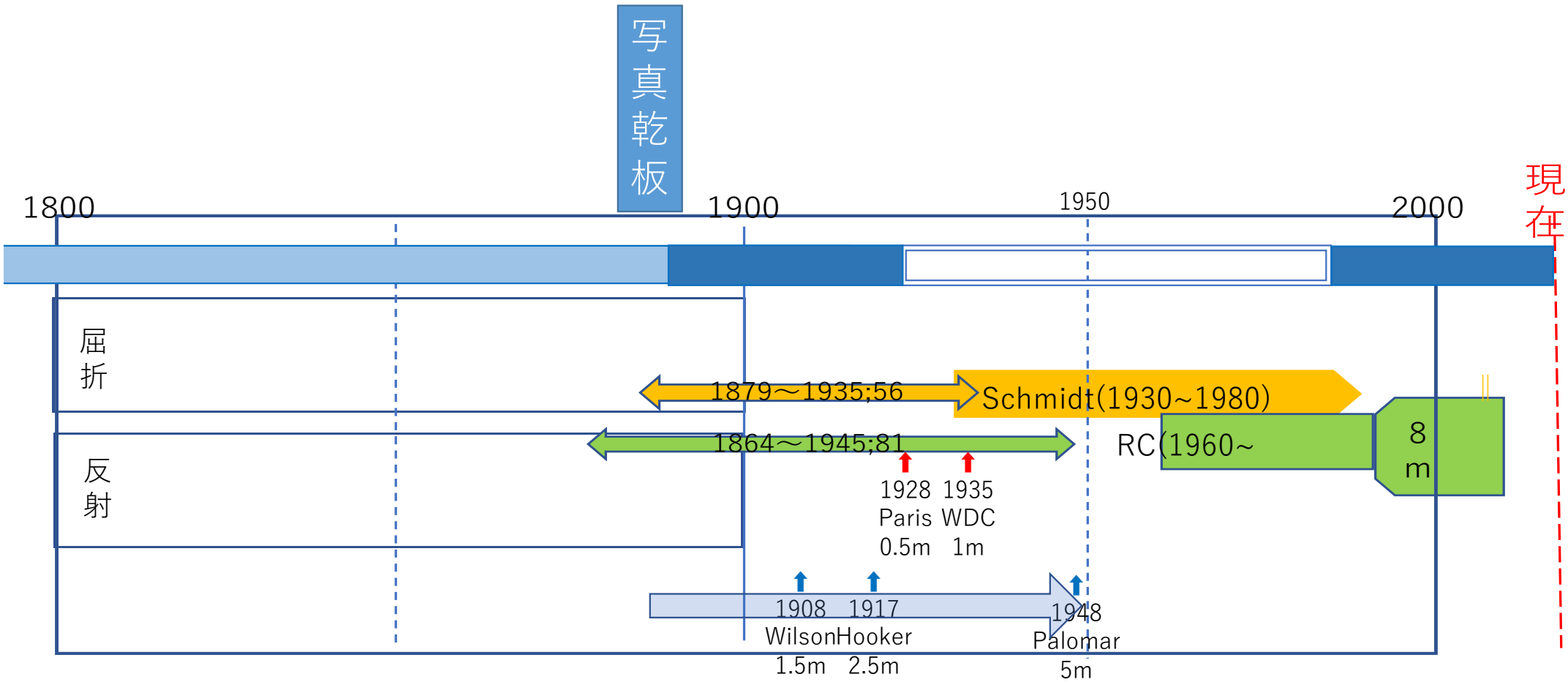
① Robert	18cm Cooke refractor 50cm Grubb reflector
② Barnard	Lick 91cm 15cm Willard lens
③ Common Keeler	Crossley 91cm reflector
④ Reynolds	Helwan 76cm MSSSO

E. E. Barnard

One of the greatest observers of all time,
Tycho, Cassini, and Herschel.



His career and struggles prove;
It is never a large telescope alone,
which is the seed for the great discoveries.
Rather, it is the mind of the astronomer


写真乾板
1800
1900
1950
2000
現在
屈折
反射
1879～1935;56
Schmidt(1930~1980)
1864～1945;81
RC(1960~
8m
1928 1935
Paris WDC
0.5m 1m
1908 1917
WilsonHooker
1.5m 2.5m
1948
Palomar
5m

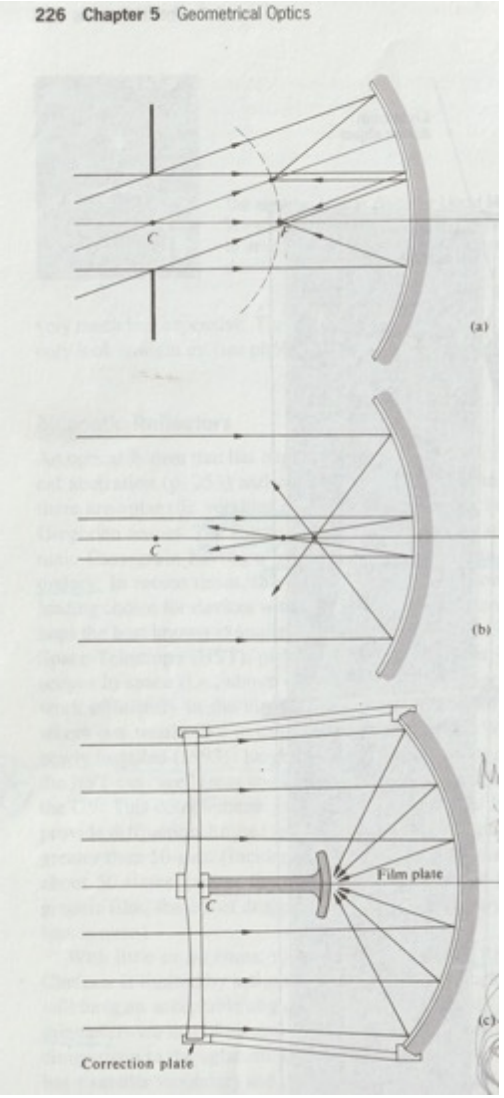
II. 望遠鏡の進展　20世紀

シュミット望遠鏡

(1) 球心にstop（絞り）を置く
　　光軸対称　正弦条件を満たす
　　※球面収差と像面彎曲が残る

(2) 球心に補正板を置く

幾何学



II. 望遠鏡の進展　20世紀

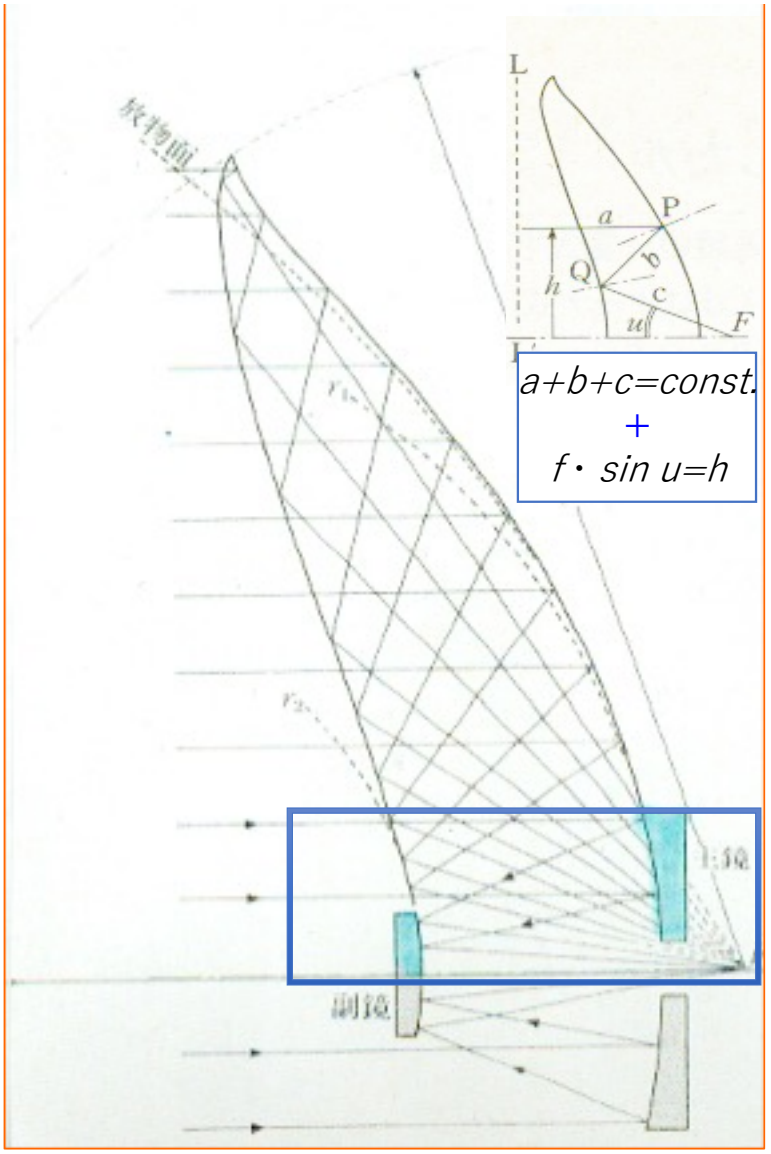
R-C望遠鏡

(1) 古典カセグレンとして、
　D_1 R_1 R_2 d 焦点位置を決める

(2)等光路長および正弦条件を満たすように
　主鏡と副鏡の曲率を解く　解析学

$$x=\frac{1}{2}cy^2-\frac{1}{4}\frac{c^3y^4}{R^3}\left\{\frac{1+R\cdot h_3/h_1}{1-h_3/h_1}\right\}$$

$$x=\frac{1}{2}cy^2-\frac{1}{4}\frac{c^3y^4}{R^3}\left\{\frac{1+R\cdot h_3/h_1}{1-h_3/h_1}\right\}$$



望遠鏡400年　　III. まとめ

1600～1900年

屈折：	色収差	色消	漸進	精密計測器	フラウンホーフェルの完璧
反射：	表面劣化	銀ガラス鏡	停滞	“放物面”	ニュートンの突破

1880年　写真乾板　視野（画角）　明るさ　と　広さ

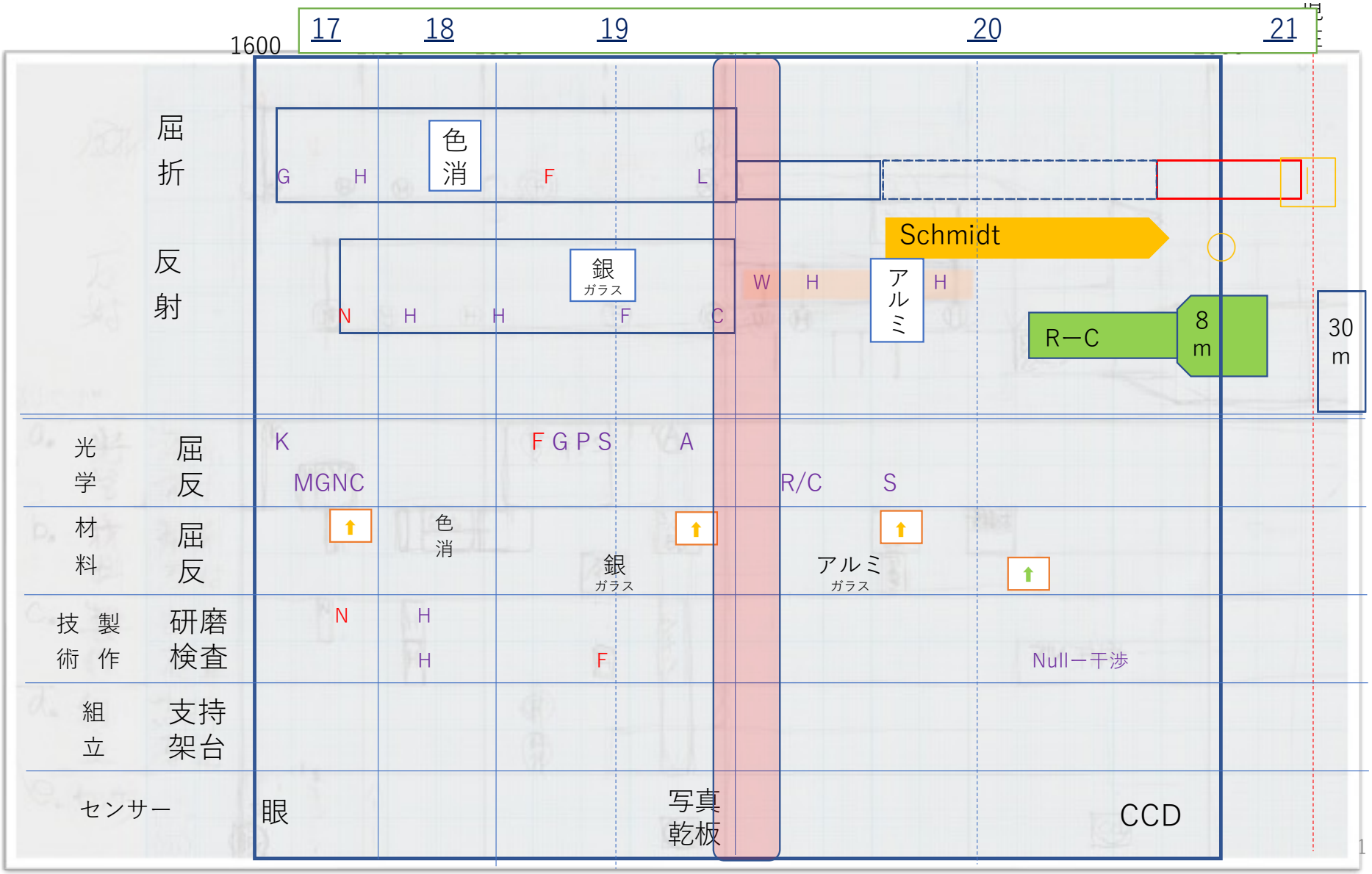
Ω　　***F***(=f/D)　L /f

1900～1980年

シュミット望遠鏡　球面＋補正板

R-C　望遠鏡　主鏡＋副鏡＋補正レンズ系

反射＋屈折：ハイブリッド　=> Catadioptics


1600
17
18
19
20
21
屈折
反射
色消
G
H
F
L
銀
ガラス
N
H
H
F
C
W
H
アルミ
H
Schmidt
R−C
8 m
30 m
光学
屈反
K
MGNC
F G P S
A
R/C
S
材料
屈反
色消
銀
ガラス
アルミ
ガラス
技術
製作
研磨
検査
N
H
H
F
Null−干渉
組立
支持
架台
センサー
眼
写真
乾板
CCD