

広視野撮像とHSC

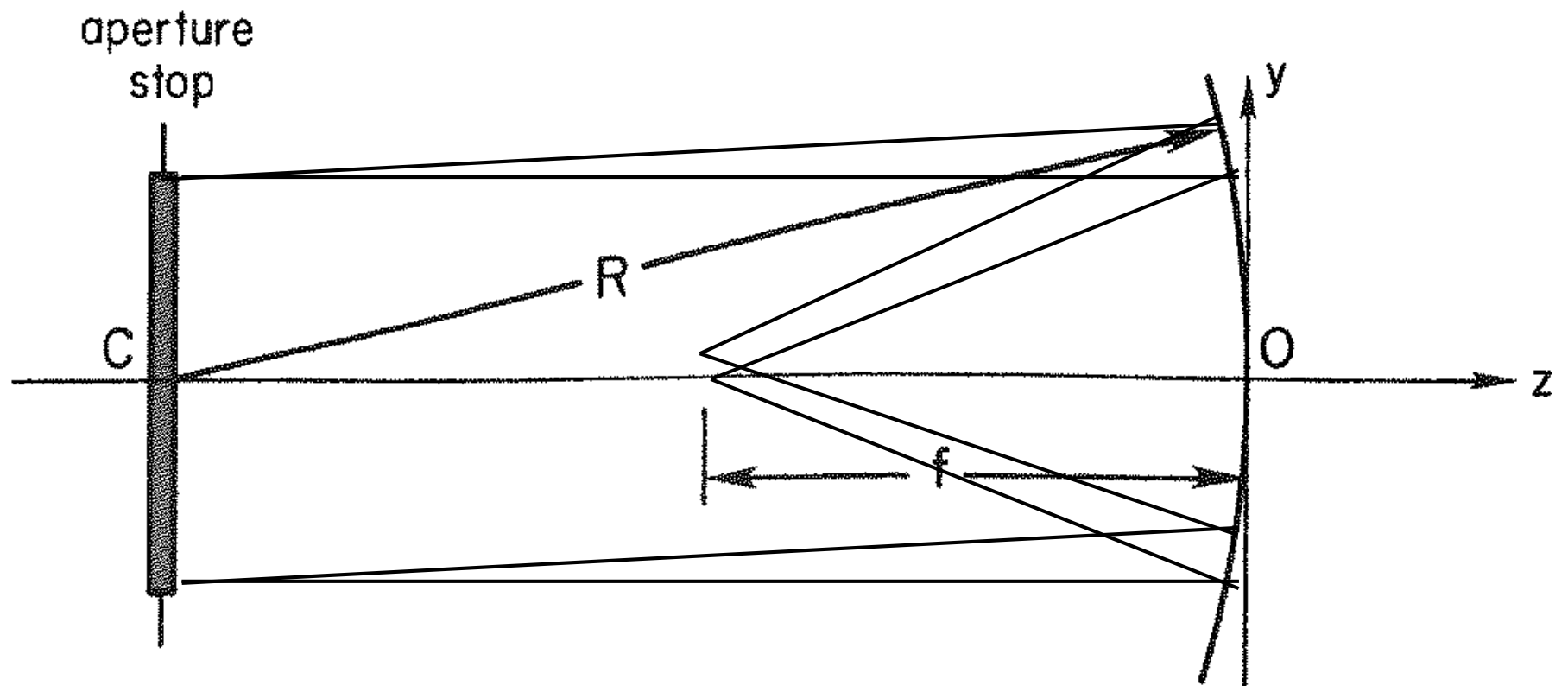
宮崎 聡
国立天文台

ダークマター秋の学校

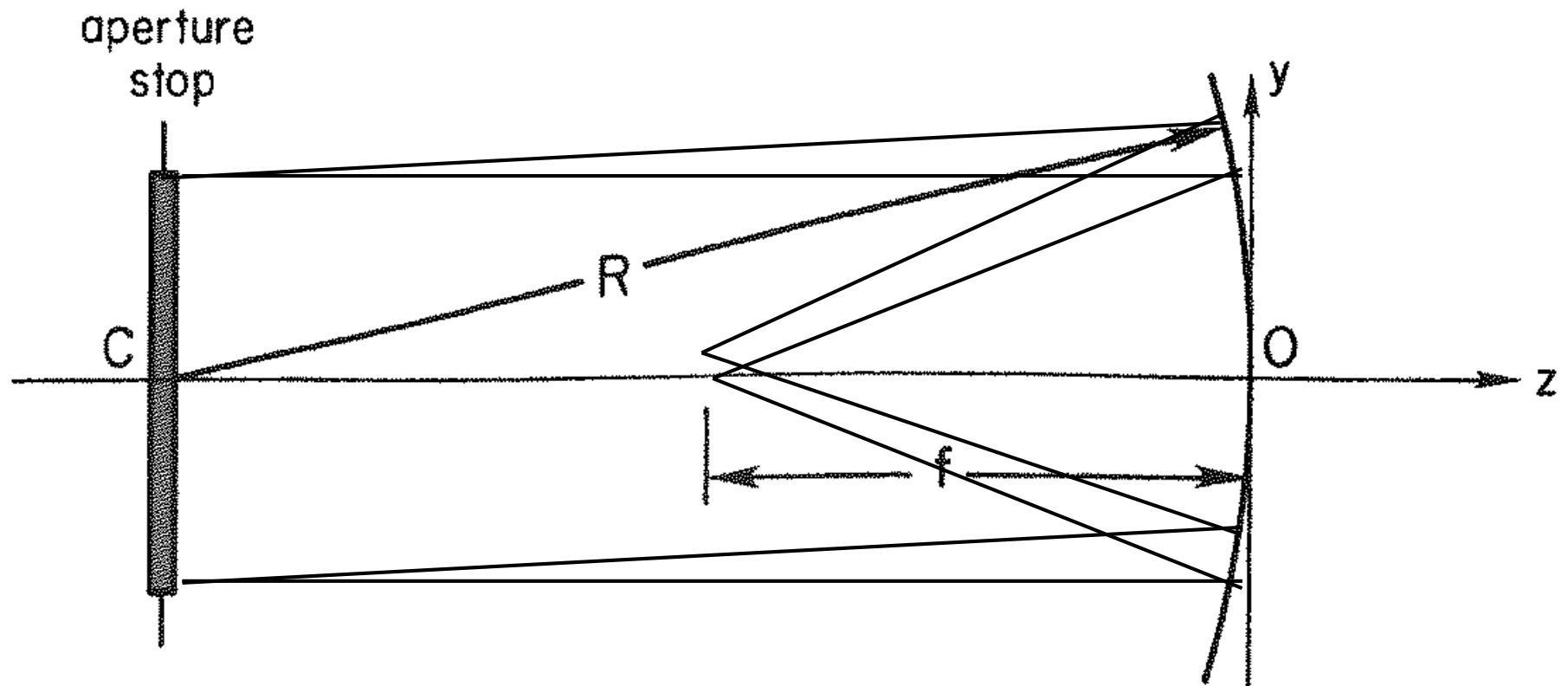
シュミット望遠鏡



シュミット望遠鏡



シュミット望遠鏡



Axis-free: コマ収差、非点収差が発生しない

残りは球面収差：これを**stop**に置く非球面板(4次)で取る

シュミット望遠鏡

大きさの限界：透過型の補正プレート

大望遠鏡での広視野撮像



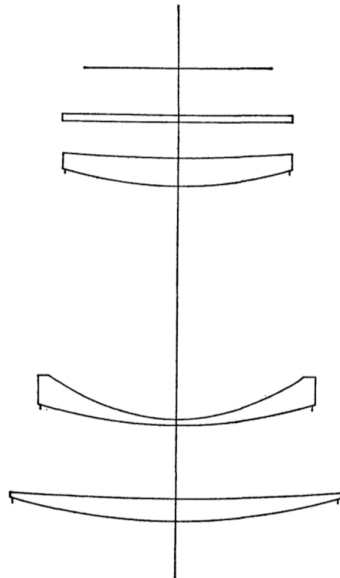
1 回反射の主焦点：焦点距離最短 → 広視野

主焦点での撮像

主鏡：双曲面

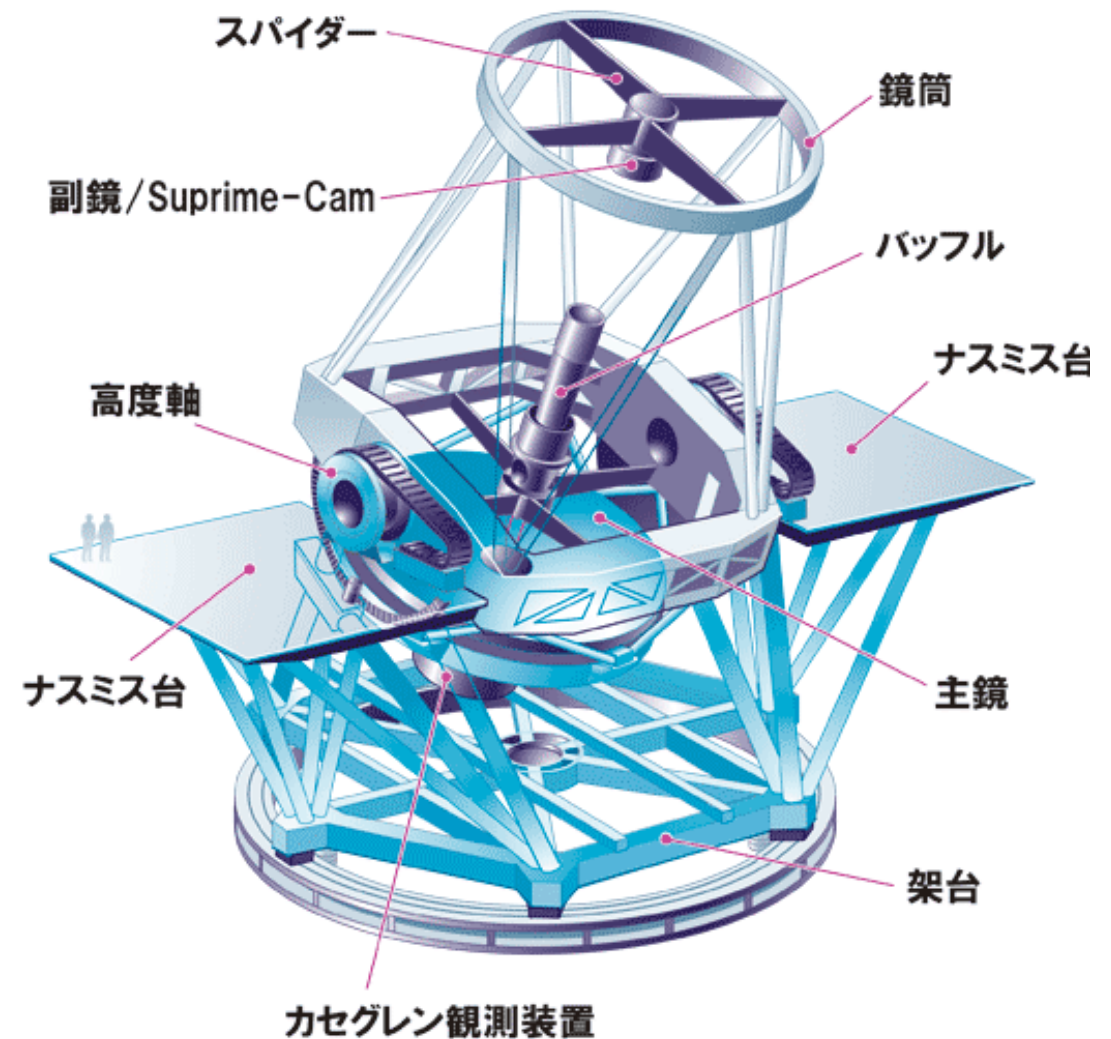
そのままでは（軸上ですら）あらゆる収差が発生

補正光学系



- Wynne Triplet (1968)
- Kitt Peak 4 m望遠鏡用 (F/2.8)
- 全て球面 UBK7ガラス
- 結像性能 0'' .5 ($\phi=30'$) 1'' .0 ($\phi=1$ deg)
400-500nm

すばるの主焦点



遠藤孝悦・画 日経サイエンス1996年2月号より
Illustration by Takaetsu Endo, taken from Nikkei Scienc

口径が大きい

口径比(焦点距離/口径= F)が小さい (明るい)

設計・製作が難しい

すばるの主焦点

初期のデザイン

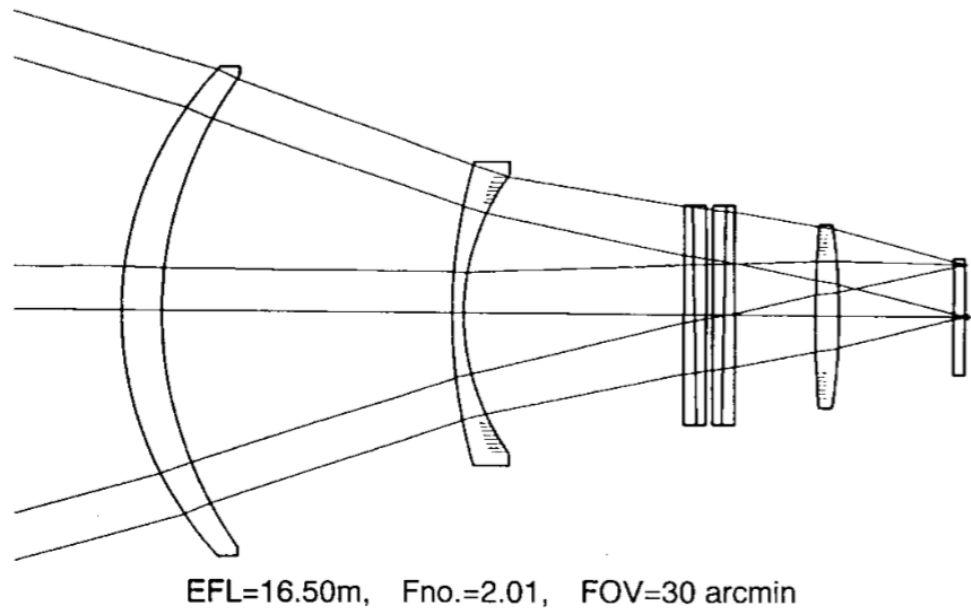
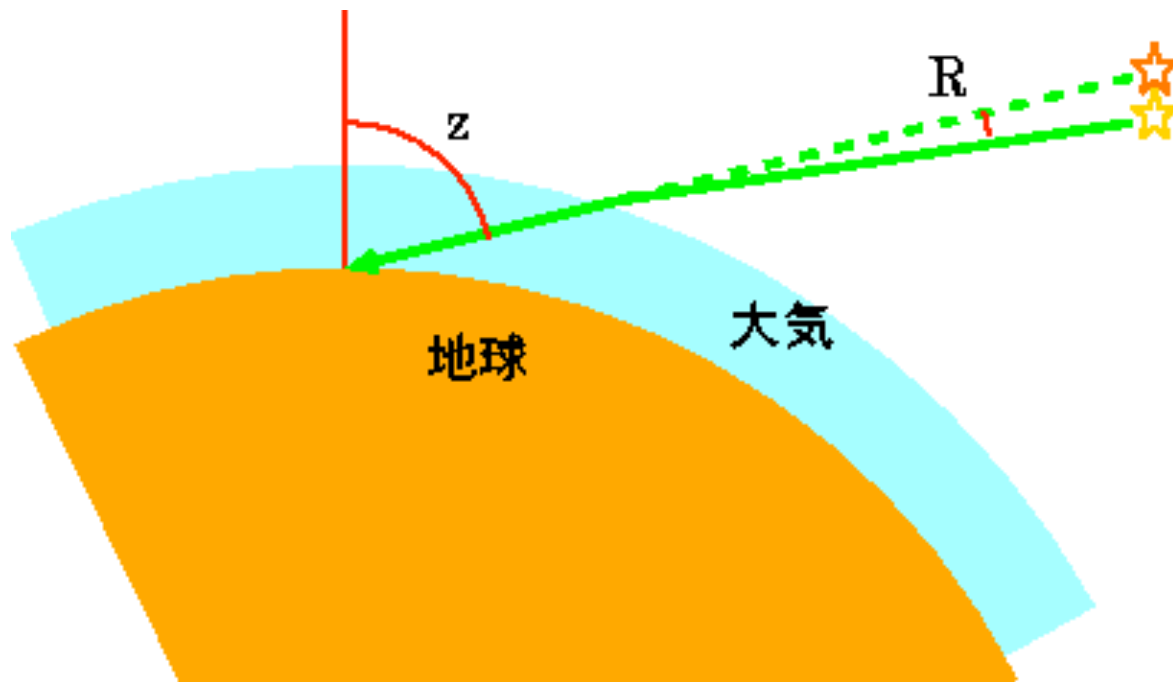


Figure 4-2. Narai's Primary Corrector with direct-vision prism ADC (Narai et al. 1985)

$\text{rms} < 0''.2$
350 - 1000 nm

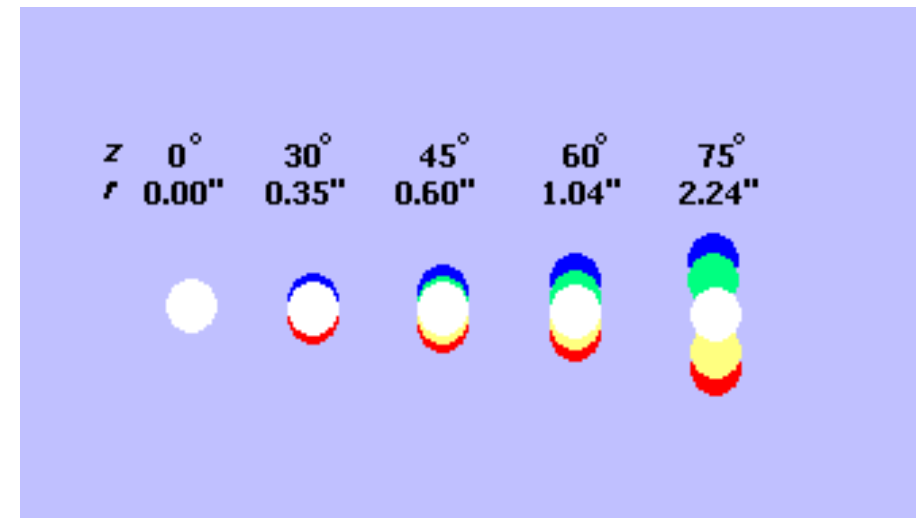
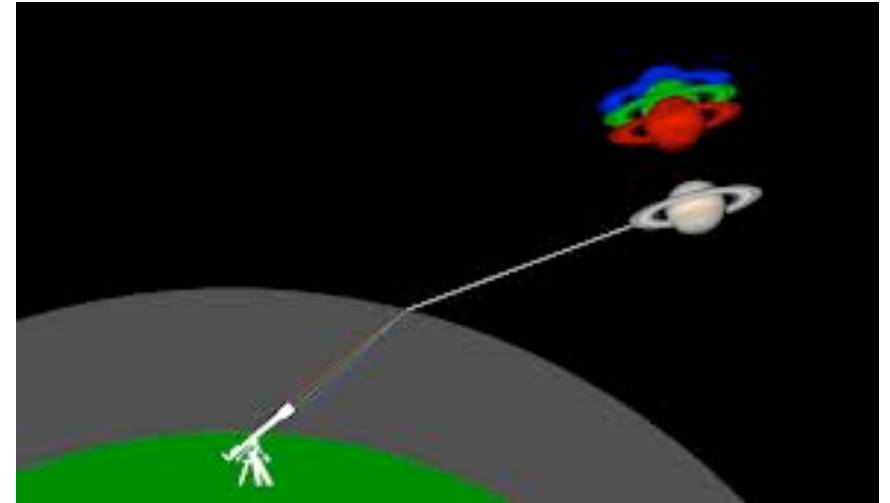
大気分散

- 大気差の波長依存性



$$R(z, \nu, P) \nearrow as \ z \nearrow, \nu \nearrow, P \nearrow$$

赤外線ではほとんど気にならないが、可視光では光学系で補正する必要がある。



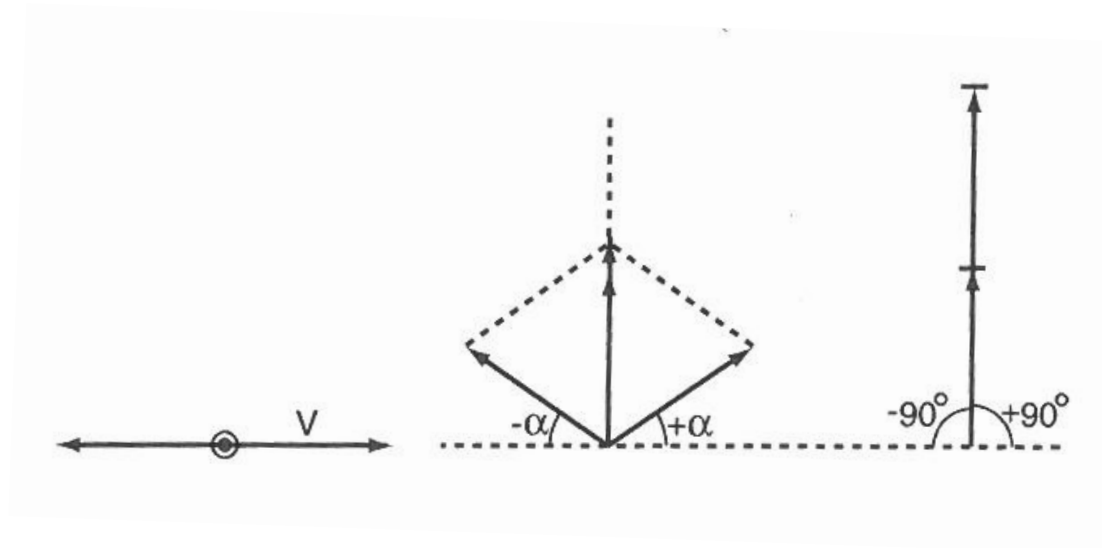
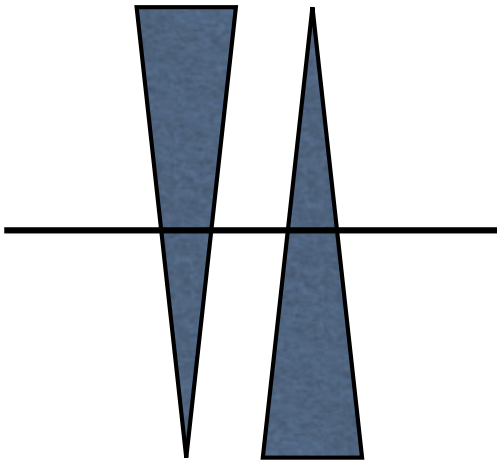
Atmospheric Dispersion

- Green Flush



Atmospheric Dispersion Corrector

- a pair of oppositely rotating prism



すばるの主焦点

初期のデザイン

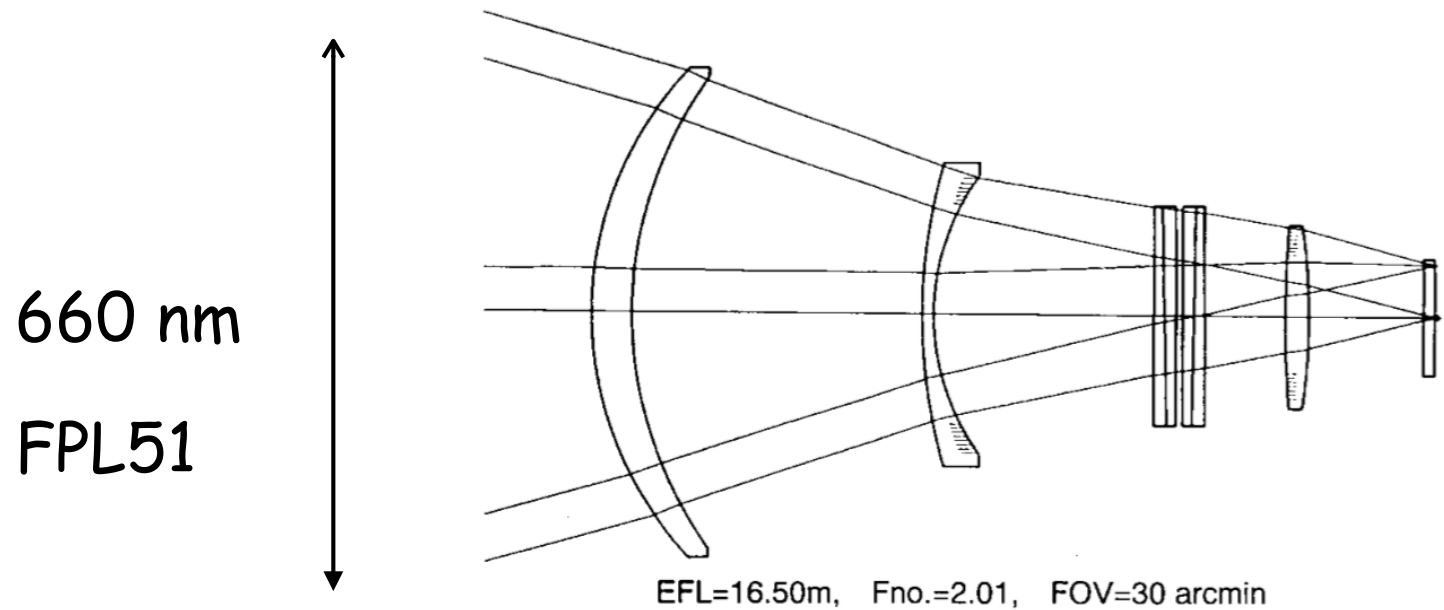


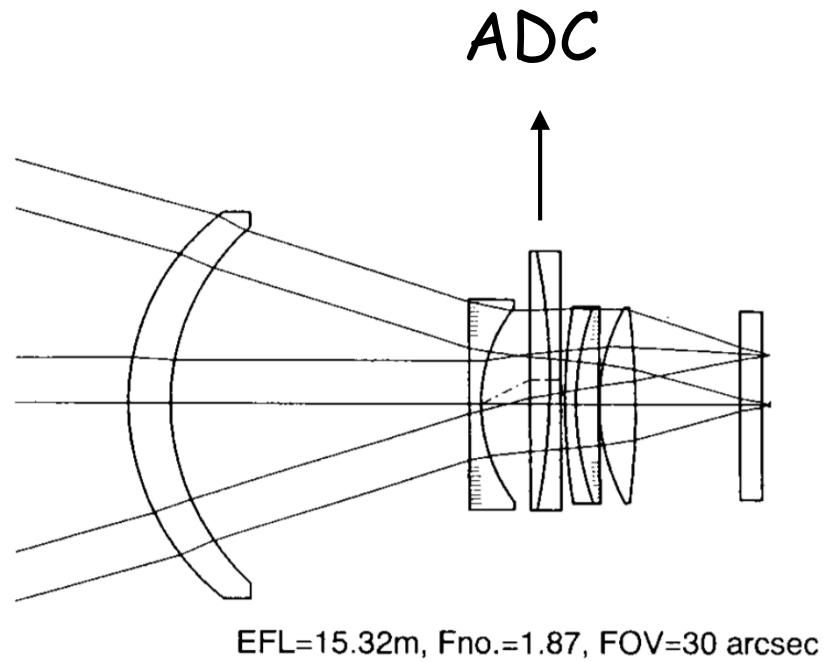
Figure 4-2. Narai's Primary Corrector with direct-vision prism ADC (Narai et al. 1985)

大口径ガラスの製造

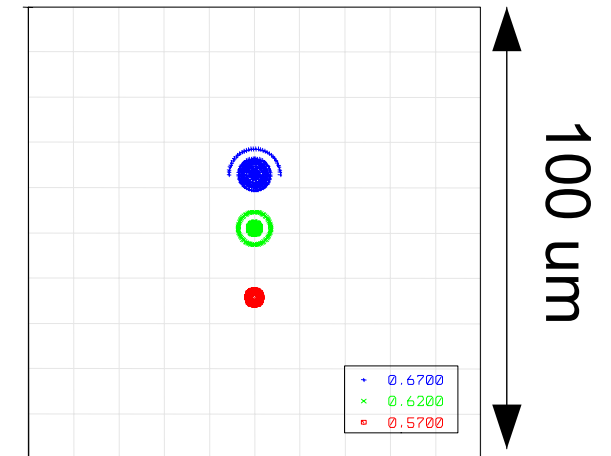
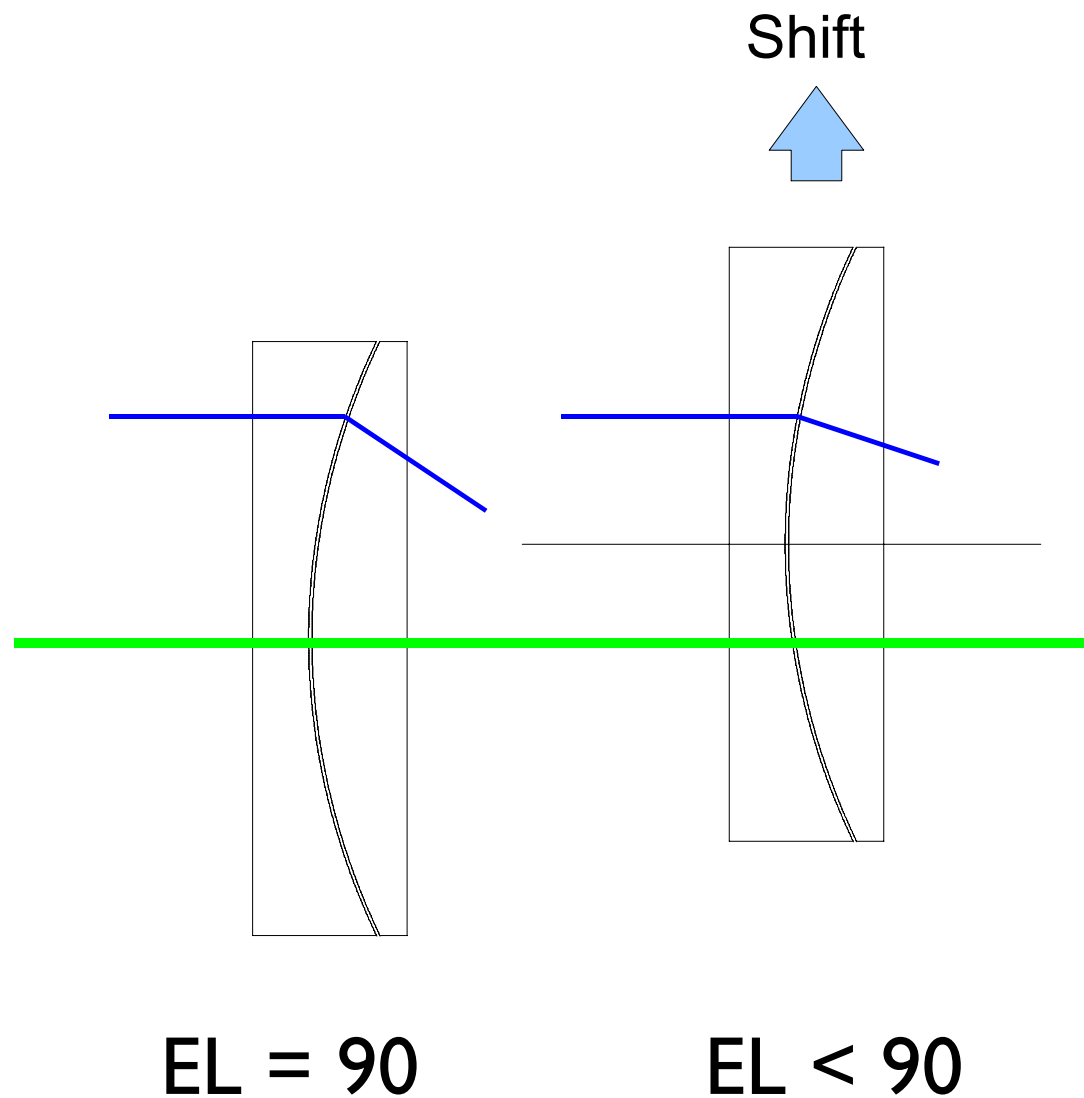
試作 → 失敗

すばるの主焦点

Takeshi (武士) design

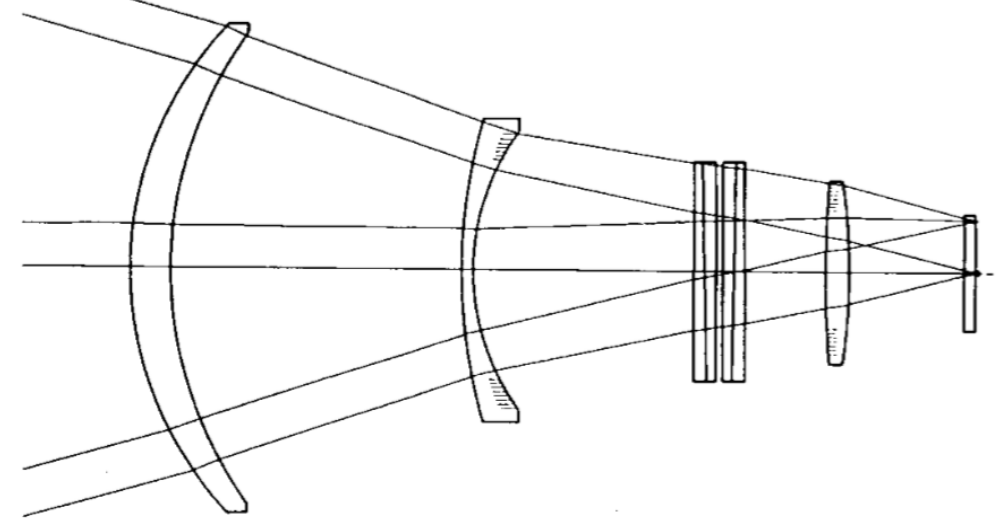


Lateral Shift ADC (Takeshi 2000)



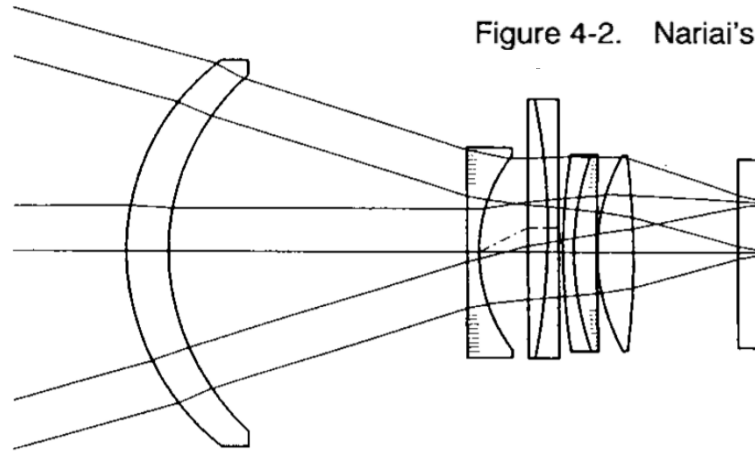
すばるの主焦点

Takeshi (武士) design



EFL=16.50m, Fno.=2.01, FOV=30 arcmin

Figure 4-2. Nariai's Primary Corrector with direct-vision prism ADC (Nariai et al.



EFL=15.32m, Fno.=1.87, FOV=30 arcsec

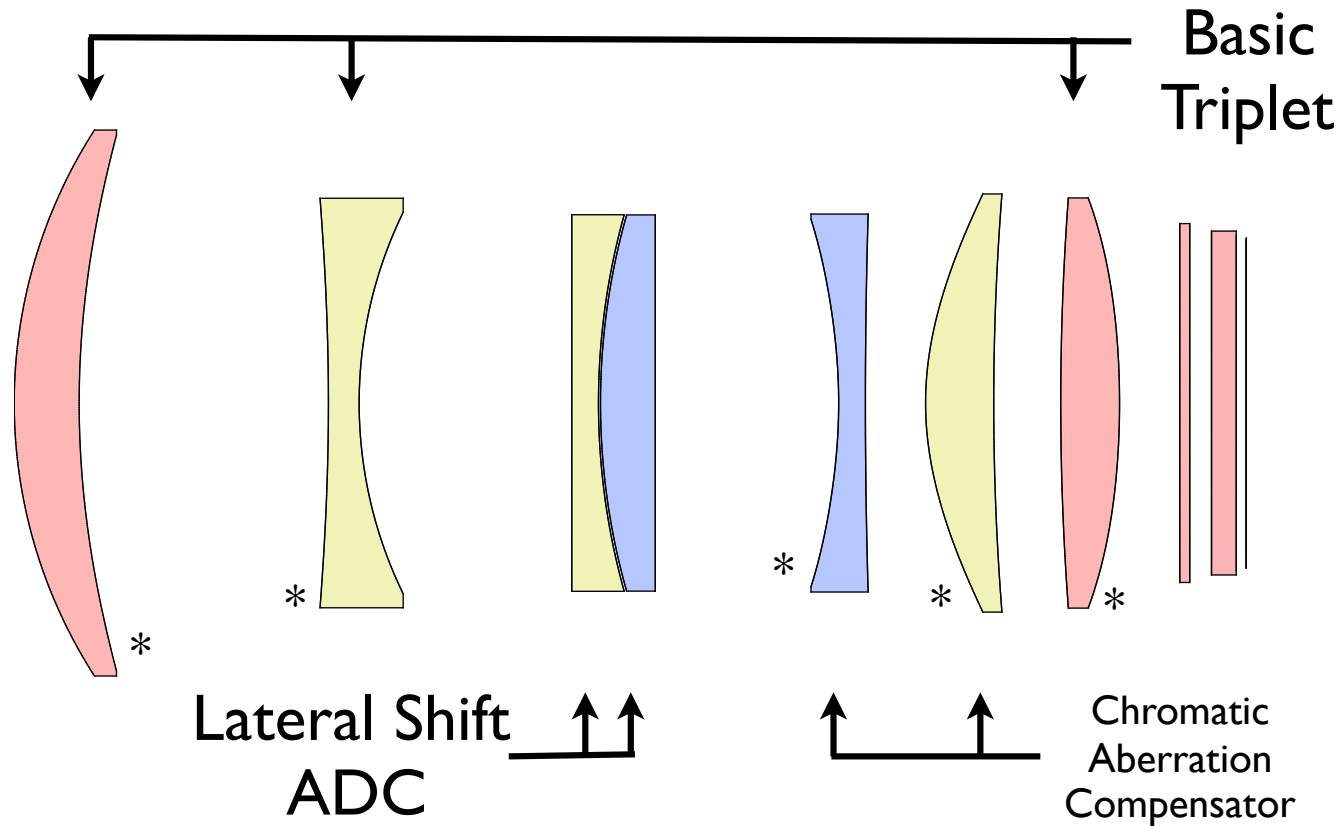
ADCの面を収差補正にも使える

コンパクトな光学系 -> 製造可能になった

すばるの主焦点

Hyper Suprime-Cam

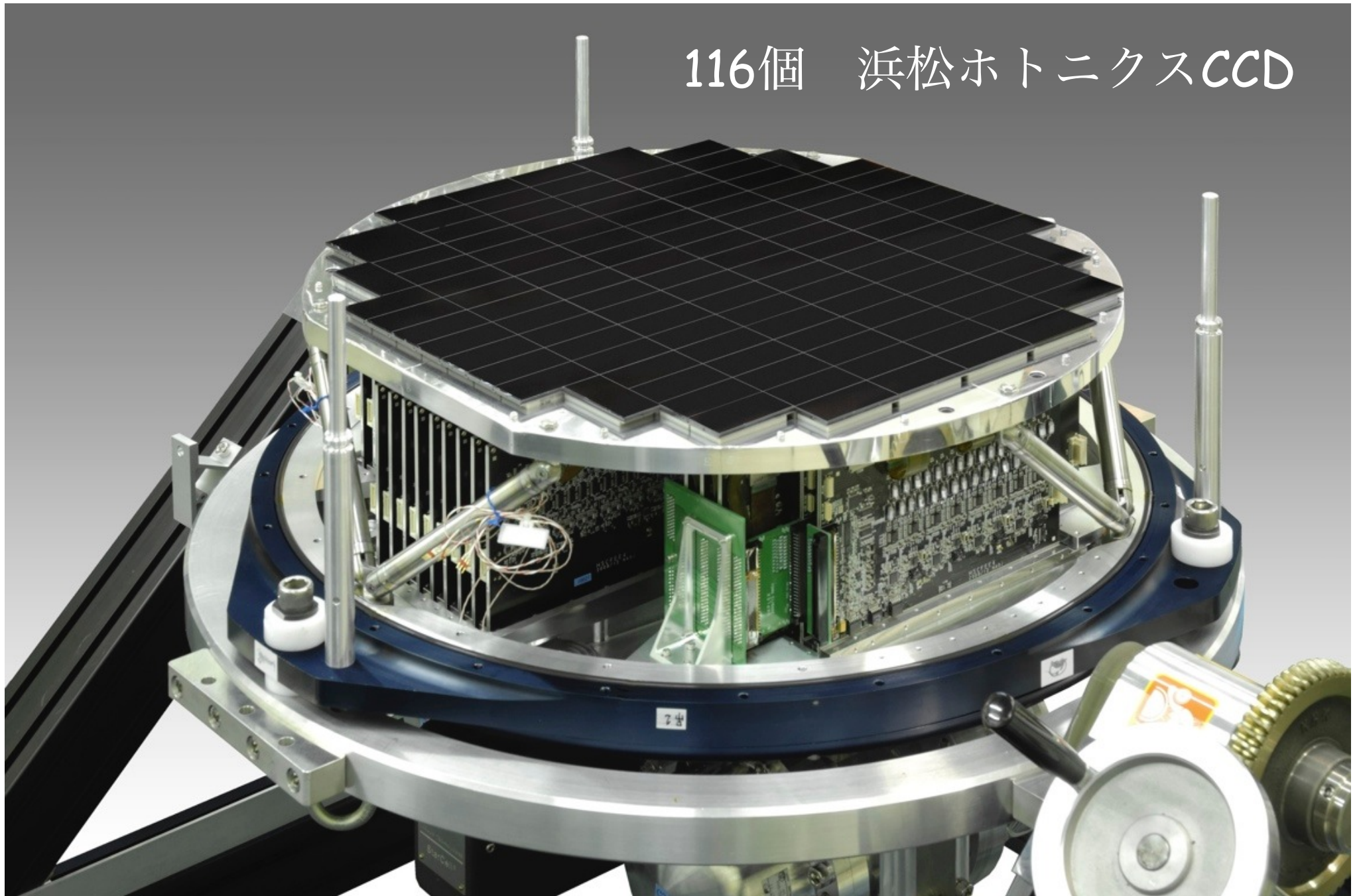
FWHM < 0".2 (350-1000 nm)



Quartz
BSL7Y
PBLIY

Hyper Suprime-Cam

116個 浜松ホトニクスCCD





視野の比較

大規模サーベイ
を行うため

0.05 deg



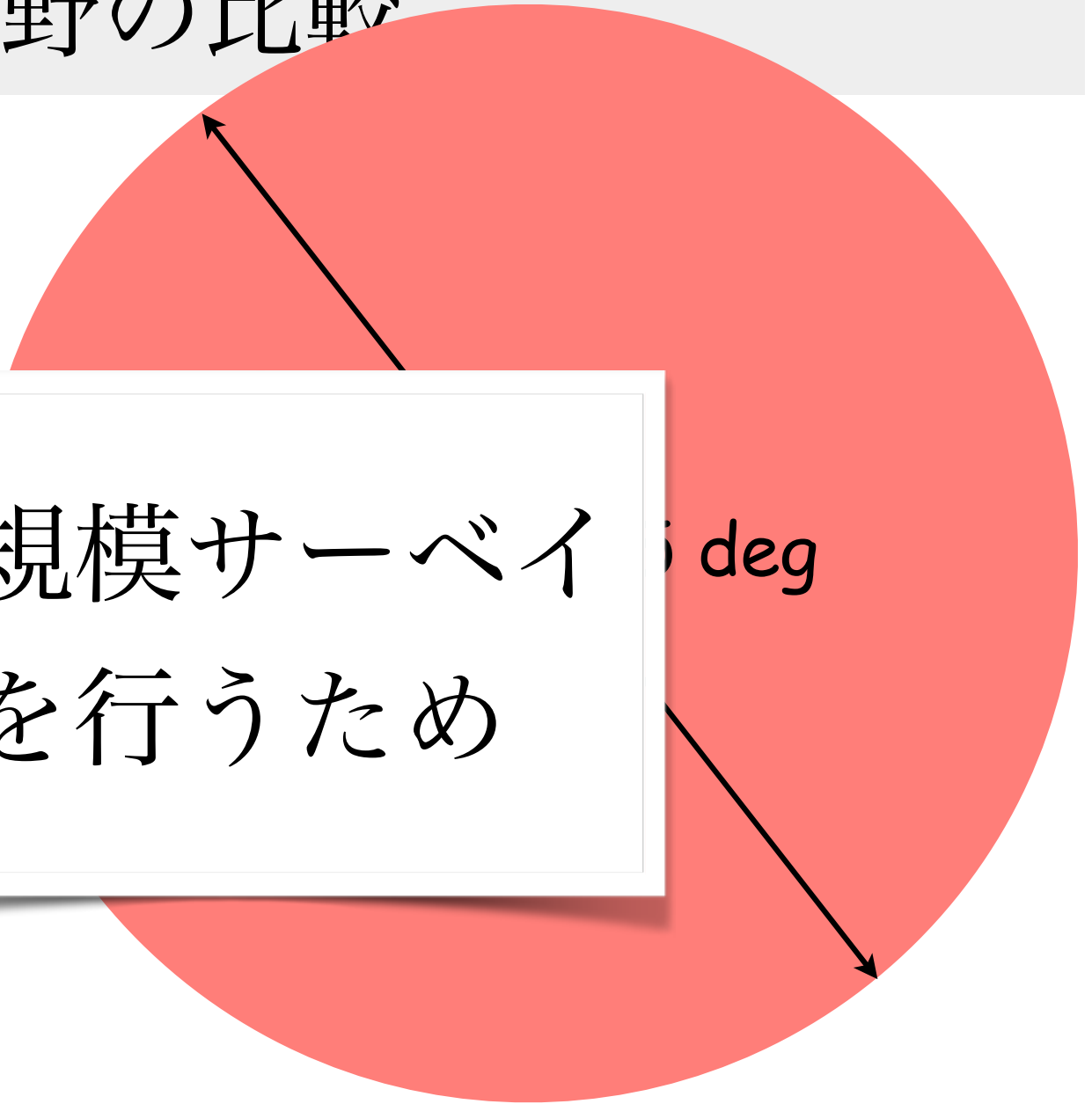
HST

Satoshi Miyazaki

0.5 deg



Suprime-Cam
(1999)



Hyper Suprime-Cam
(2012)

HSC/NAOJ

HSCの位置づけ

Table 1. List of visible mosaic imagers

Camera Name	Telescope Name	D [m]	A [m ²]	F	CCD Vendor	Format	Type [†]	N_{CCD}	FOV Ω [deg ²]	$A\Omega$	In operation	Ref.
MCCD1	Kiso(Schmidt)	1.05	0.9	3.5	TI	1k1k(12)	FI	16	0.72	0.65	1991	22
MCCD2	WHT	4.2	13.8	2.5	TI	1k1k(12)	FI	40	0.12	1.7	1996	23
BTC	Blanco	4.0	10.0	2.7	SITe	2k2k(24)	BI	4	0.24	2.4	1996	24
SDSS	SDSS	2.5	3.8	5.0	SITe	2k2k(24)	BI	30	6.0	23.0	1998	10
MOCAM	CFHT	3.6	9.6	4.2	Loral	2k2k(15)	FI	4	0.07	0.67	1994	25
UH8K	CFHT	3.6	9.6	4.2	Loral	2k4k(15)	FI	8	0.25	2.40	1995	15
NOAO Mosaic	Mayall	3.8	10.0	2.7	SITe	2k4k(15)	BI	8	0.36	3.59	1998	
CFH12K	CFHT	3.6	9.6	4.2	MIT/LL	2k4k(15)	BI-DD	12	0.375	3.60	1999	26
Suprime-Cam	Subaru	8.2	51.7	2.0	MIT/LL	2k4k(15)	BI-DD	10	0.256	13.17	1999	30
WFI	MPG/ESO	2.2	3.2	5.9	e2v	2k4k (15)	BI	8	0.31	1.0	2002	28
MegaCam	CFHT	3.6	9.6	4.2	e2v	2k4.5k(13.5)	BI	40	1	9.59	2002	27
Pan-STARRS	Pan-STARRS	1.8	2.5	4	MIT/LL	4k4k(10,12)	BI-OT	60($\times 4$)	7($\times 4$)	15.0($\times 4$)	2006	35
OmegaCAM	VST	2.6	4.6	5.5	e2v	2k4k(15)	BI	32	1.0	4.6	2011	29
URAT	URAT	0.23	0.04	10	STA-UA	10k10k(9)	BI	4	28	1.2	2011	36
ODI	WIYN	3.5	8.5	6.3	MIT/LL	4k4k(12)	BI-OT	30	0.47	4.0	2012	34
DECam	Blanco	4.0	10.0	2.7	LBNL	2k4k(15)	BI-FD	65	3.0	30.0	2012	32
Hyper Suprime-Cam	Subaru	8.2	51.7	1.8	Hamamatsu	2k4k(15)	BI-FD	116	1.77	91.3	2012	
PAUCam	WHT	4.2	13.8	2.5	Hamamatsu	2k4k(15)	BI-FD	18	1.0	13.8	2015	31
NOAO Mosaic-3	Mayall	3.8	10.0	2.7	LBNL	4k4k(15)	BI-FD	4	0.36	3.59	2015	
JPCam	OAJ T250	2.5	3.9	3.5	e2v	9k9k(10)	BI-DD	14	4.7	18.3	—	37
LSST	LSST(3MT)	8.4	37.4	1.2	e2v/STA-UA	4k4k(10)	BI-DD	189	9.3	347.8	—	38

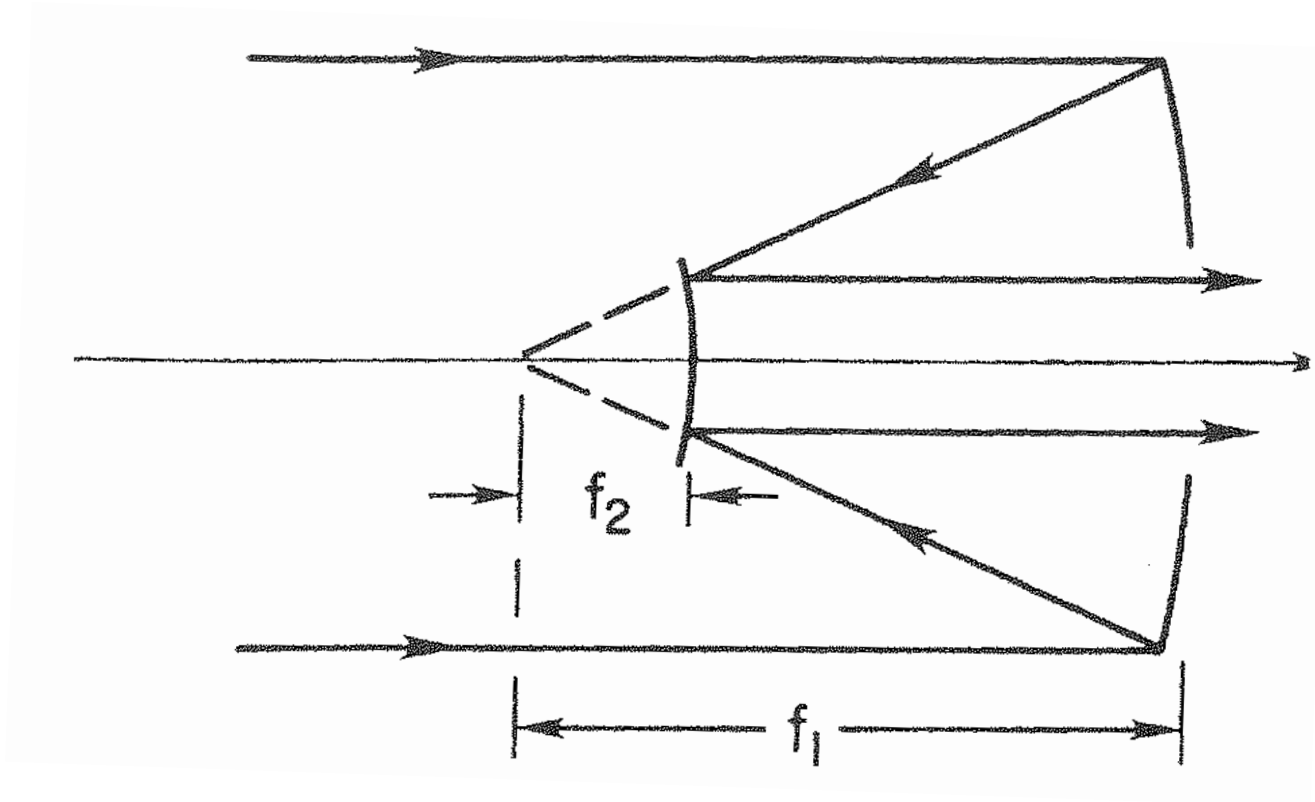
HSCの位置づけ

Survey Speed
主鏡面積 × 視野

Camera	CCD	AΩmega	in operation	1台
MegaCam	BI	9.6	1999	
Suprime-Cam	BI-DD	13.2	1999	
Pan-STARRS	BI-DD	15.0	2006	
DECam	BI-FD	30.0	2012	
HSC	BI-FD	91.3	2012	
LSST	BI-DD	347.8	(2020?)	

LSST

Three Mirror Telescope (3MT)

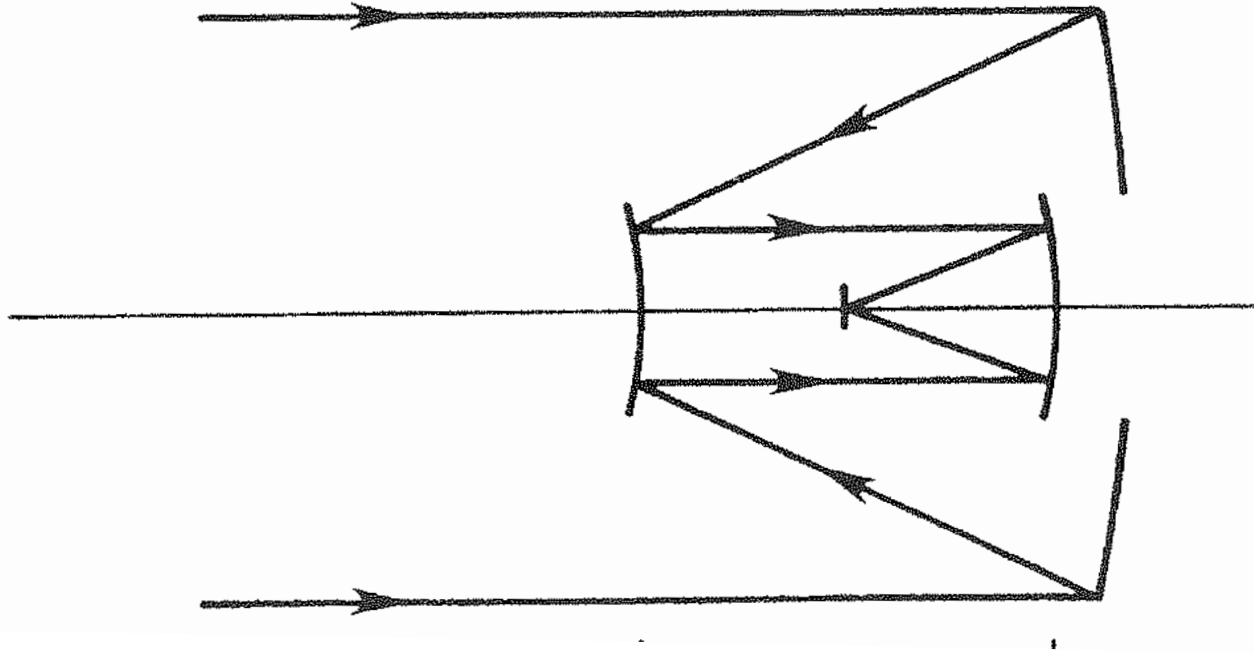


焦点共有する 2つの放物面

ビーム系を縮小するだけで、無収差

LSST

Three Mirror Telescope (3MT)



焦点は球面

シュミット望遠鏡

第1,2鏡が補正板に相当

球面の第3鏡を入れる

焦点を結ぶが球面収差発生

第2鏡を球面にして曲率半径を第3鏡に合わせると、

この球面収差をキャンセルできる

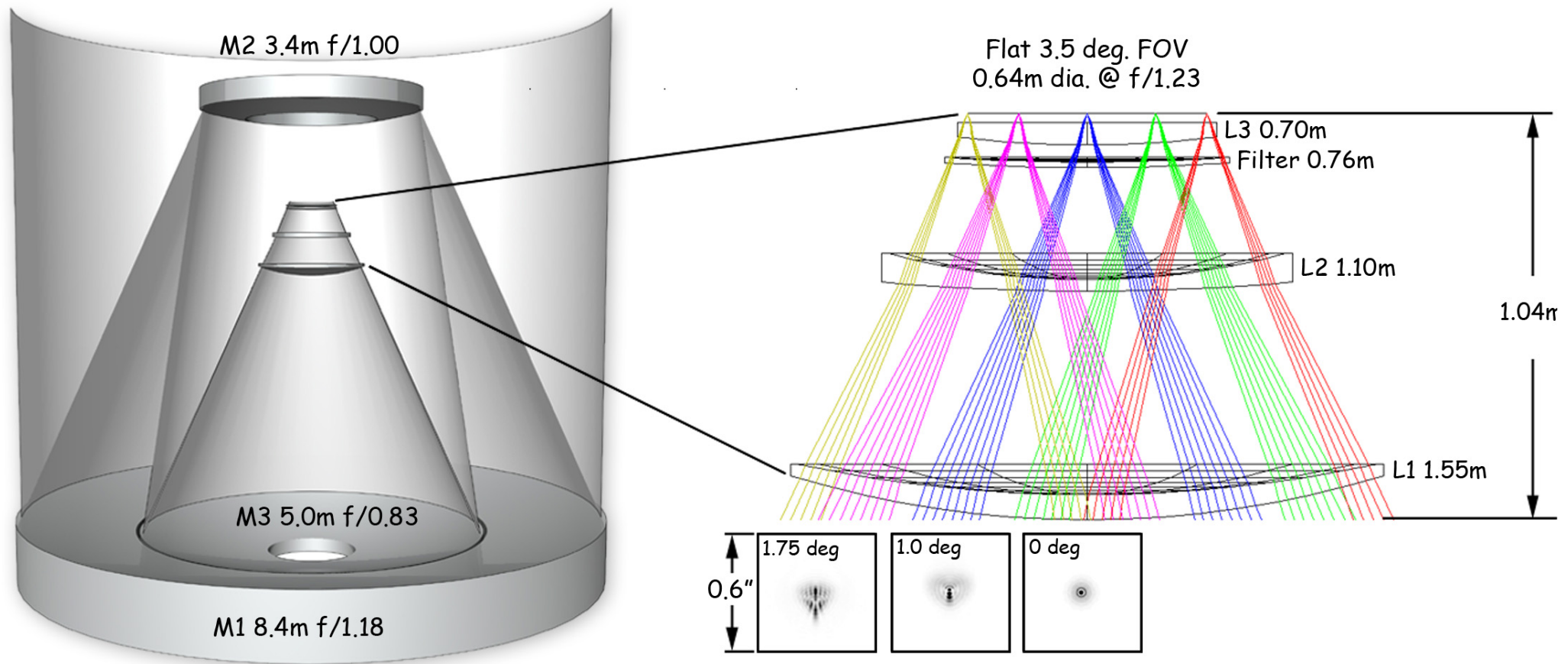
第2鏡が球面でも、コマ収差、非点収

差をゼロにする解がある(Paul 1935)

鏡なので大きくできる

LSST

Three Mirror Telescope (3MT)



まとめ

- ・ 可視光広域探査の未来は明るい
- ・ **HSC**を使って成果を出し、この分野で世界を牽引してほしい