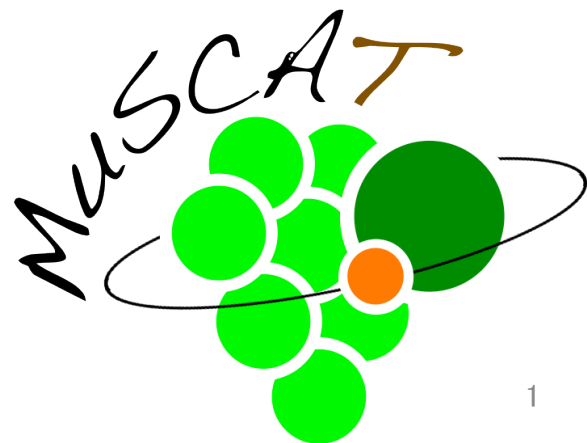


岡山188cm望遠鏡の新しい多色撮像カメラ

MuSCATの開発とそのサイエンス

成田憲保(国立天文台)

ほかMuSCATチーム

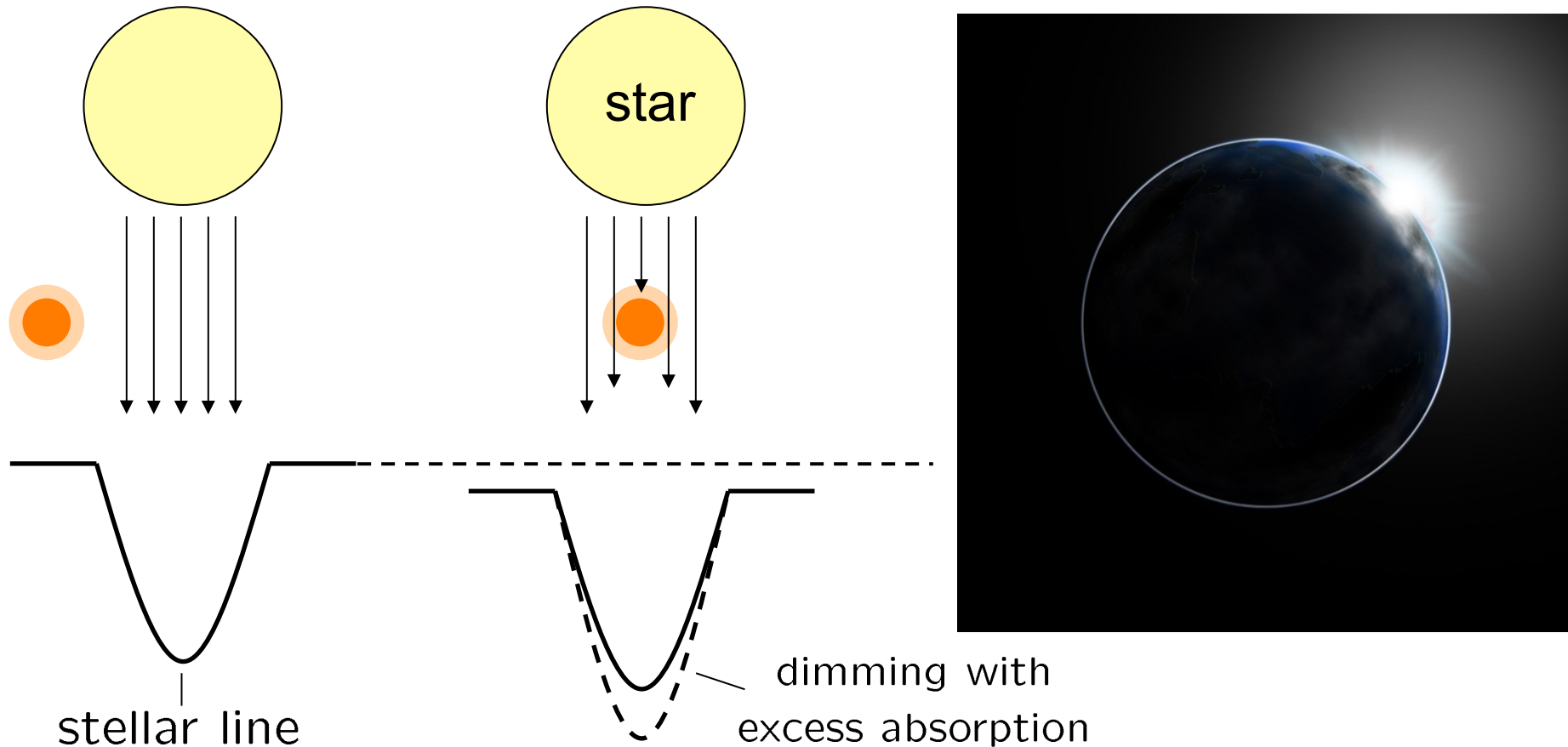


目次

- トランジット惑星の透過分光と多色同時測光観測
- 開発中の観測装置(MuSCAT)のスペック等
- 今後のスケジュールとアップグレード計画

トランジット惑星の大気の観測

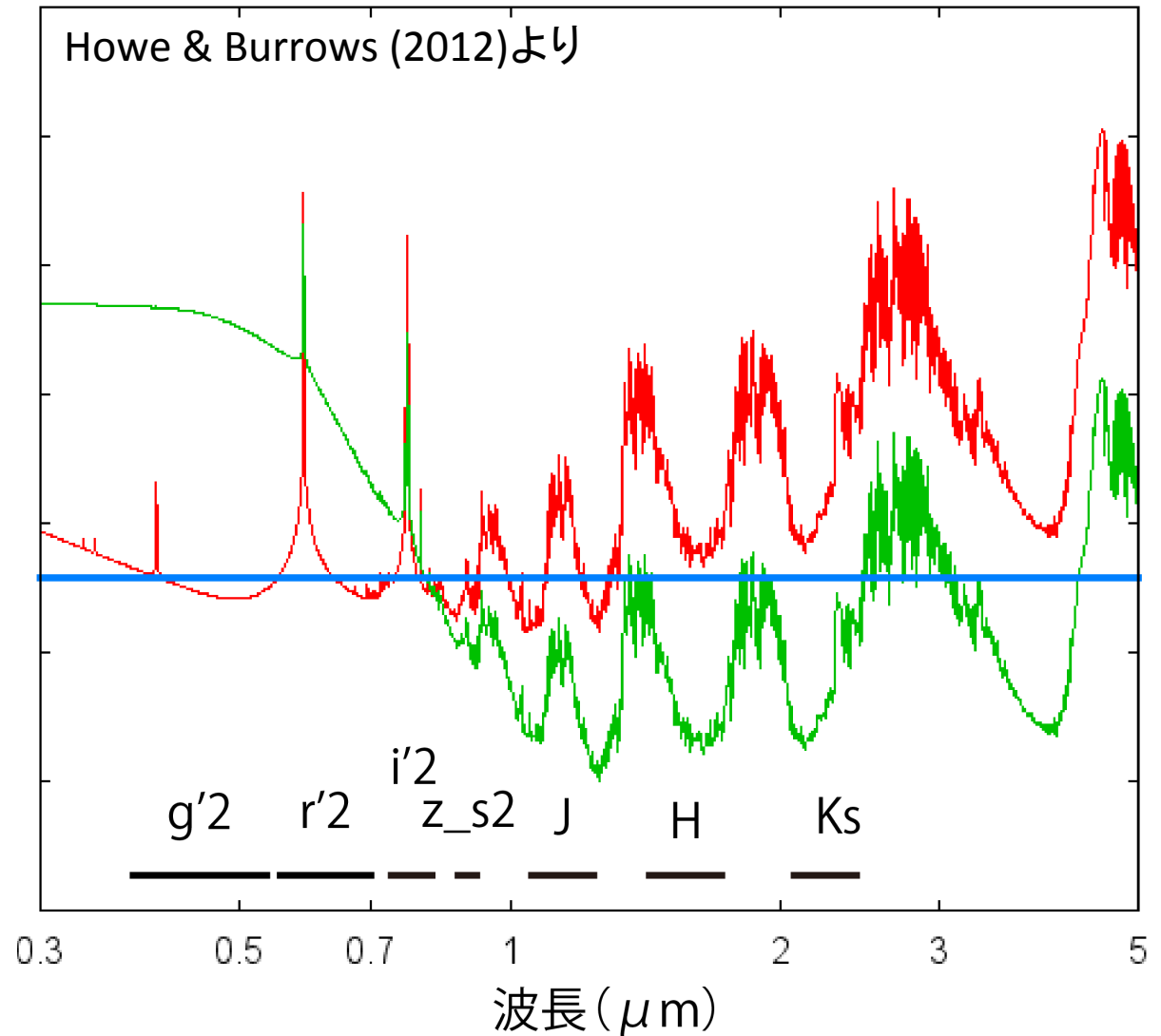
トランジットを利用した透過分光・測光観測



トランジットの減光の深さは惑星大気の組成を反映して、
波長(吸収線や観測バンド)ごとに異なる

透過光スペクトルの例

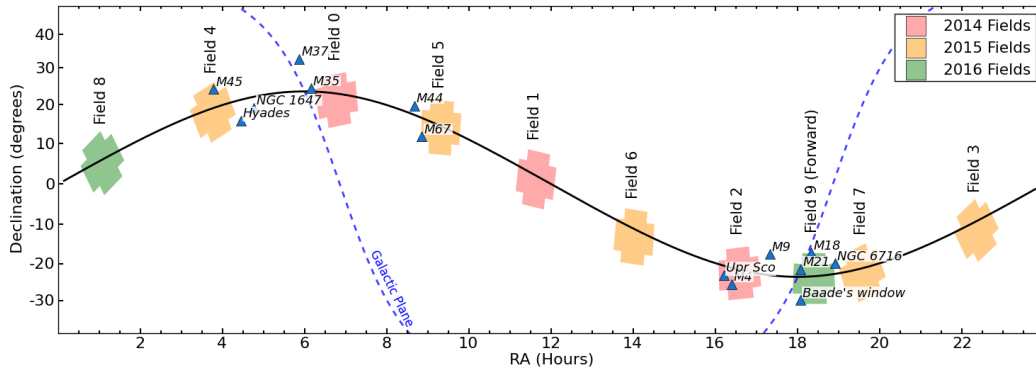
- 赤: 太陽組成の晴れた空
- 緑: 太陽組成のもや(ヘイズ)のかかった空
- 青: 大気がないあるいは完全に雲に覆われた空



透過分光観測の方法論

- さまざまな方法でトランジットを観測し、その深さの波長依存性を調べる
 - 多色測光観測(小～大口径望遠鏡+撮像装置)
 - 多天体分光・測光観測(大口径望遠鏡+多天体分光器)
 - 高分散分光観測(大口径望遠鏡+高分散分光器)
- 多色測光観測は観測時間の豊富な中小口径望遠鏡で可能
 - なぜ中小口径望遠鏡が大事なのか？

今後のトランジット惑星大量発見の時代



2014-

Kepler2

2017

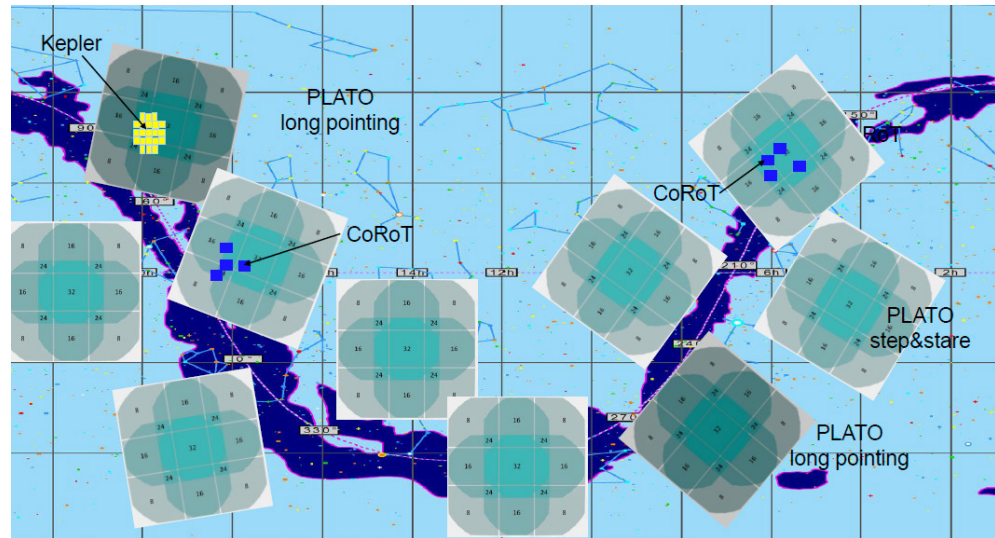
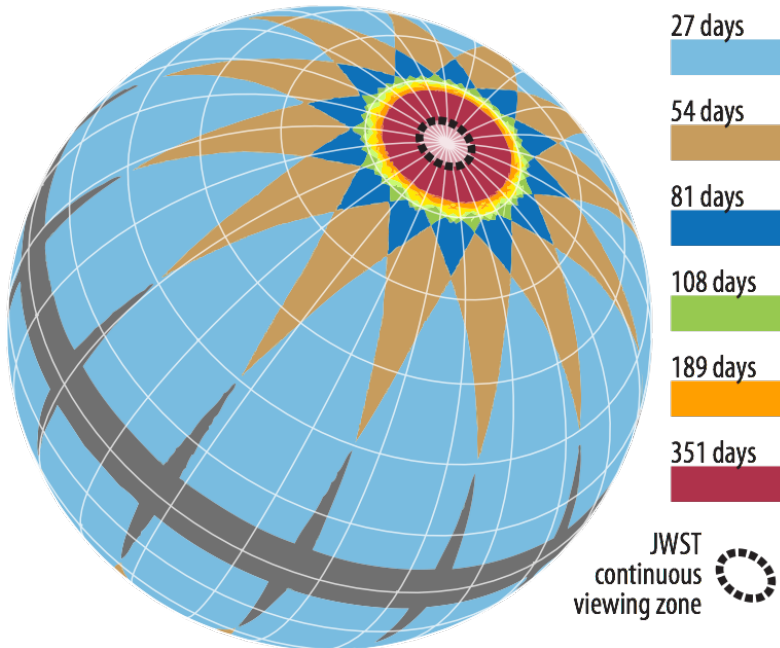
TESS

Transiting Exoplanet
Survey Satellite

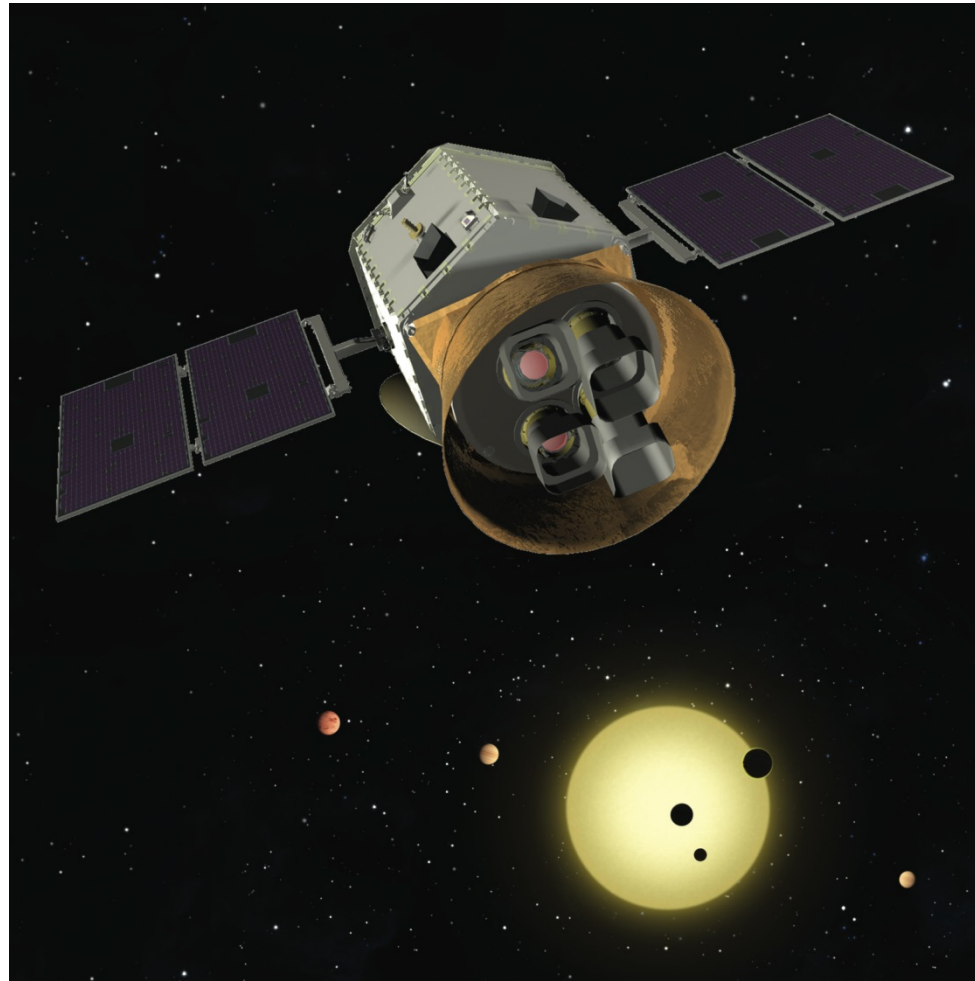
2024

PLATO

PLAnetary Transits and
Oscillations of stars

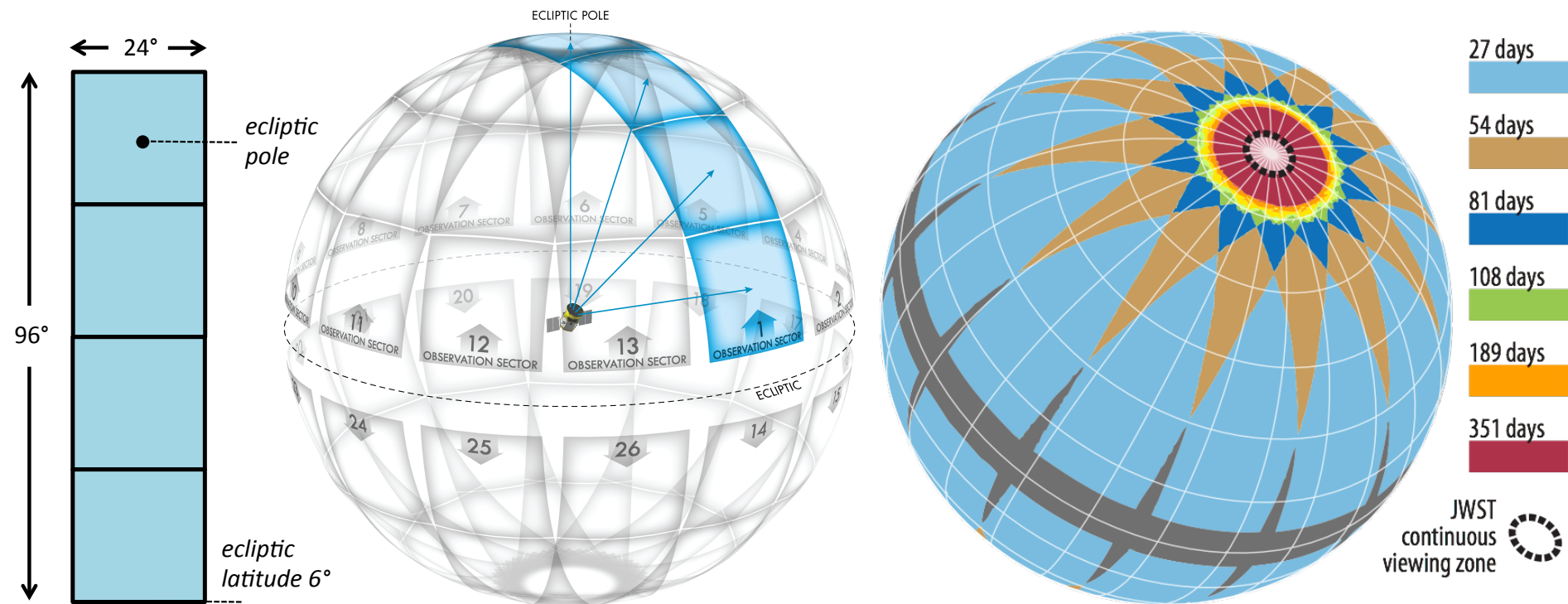


全天トランジットサーベイ計画:TESS



ケプラーの後継機として2013年4月にNASAに認められた衛星計画
現状では2017年8月に打ち上げ予定

TESSの観測する場所



太陽系の中の地球の公転面(黄道面)に
垂直な部分を重点的に観測する

TESSで発見が期待される惑星

- 太陽系近傍の明るい恒星の惑星 (I等級 4-13 mag)
- 検出可能な惑星の周期
 - 1領域の観測は27日程度 -> 確実に発見できるのは周期~9日以下
 - 特別な領域では周期~120日以下の惑星まで発見可能
 - 地球型惑星・スーパーアースがおよそ500個程度発見される見込み
 - およそ65光年以内の低温度星で 8 ± 3 個のハビタブル地球型惑星の発見が期待されている
- TESSはトランジット発見型のプロジェクト → その惑星の性質を調べるフォローアップ観測が重要
 - ✓ 面白い惑星を中小口径望遠鏡で選別し、大口径望遠鏡の観測へ

中小口径望遠鏡でのフォローアップに望ましい仕様

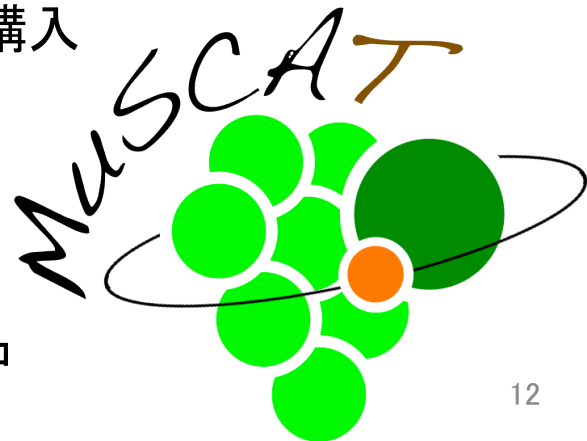
- トランジットを高精度で相対測光観測するには良い比較星が必要→なるべく広視野
- 惑星大気モデルを判別するにはさまざまな波長の観測が必要→多色
- 恒星の黒点などによる変光の影響を受けないようにする→同時
- 本研究には広視野多色同時撮像カメラが特に望ましい
- 2012年9月に開催した研究会での議論をもとに、岡山188cm望遠鏡用の広視野多色同時撮像カメラを提案

科研費・基盤A(平成25年度～平成28年度)

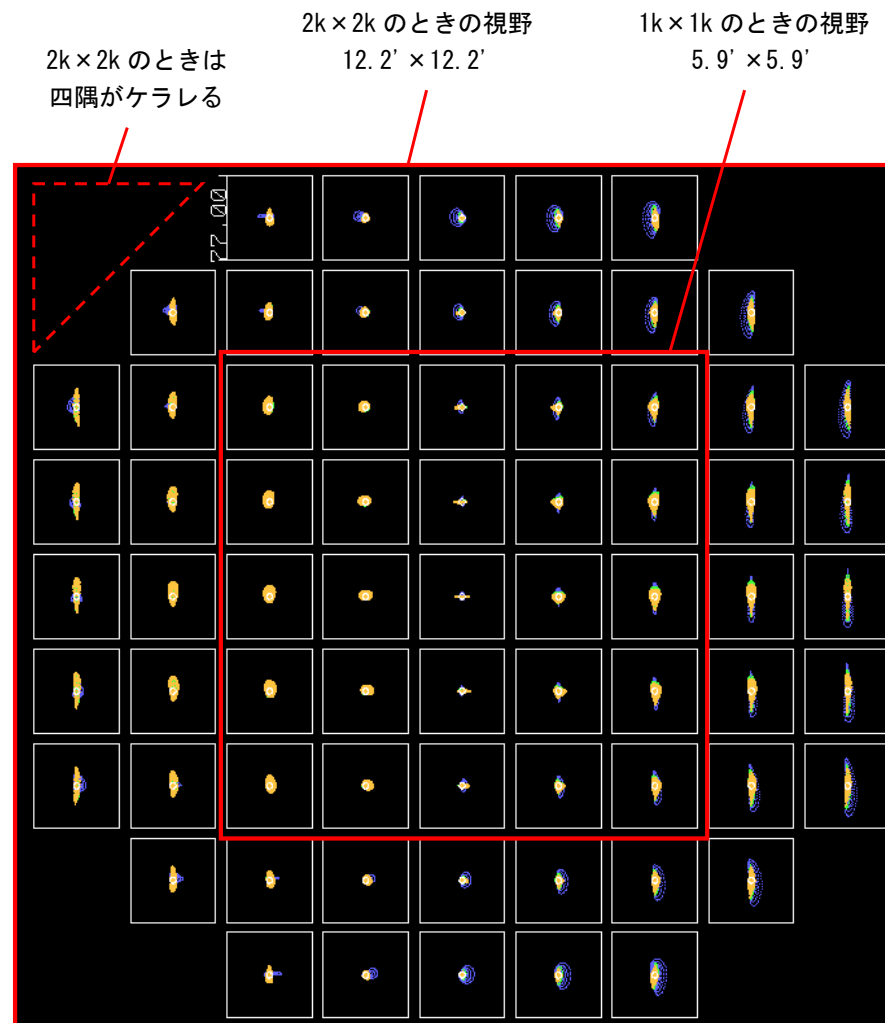
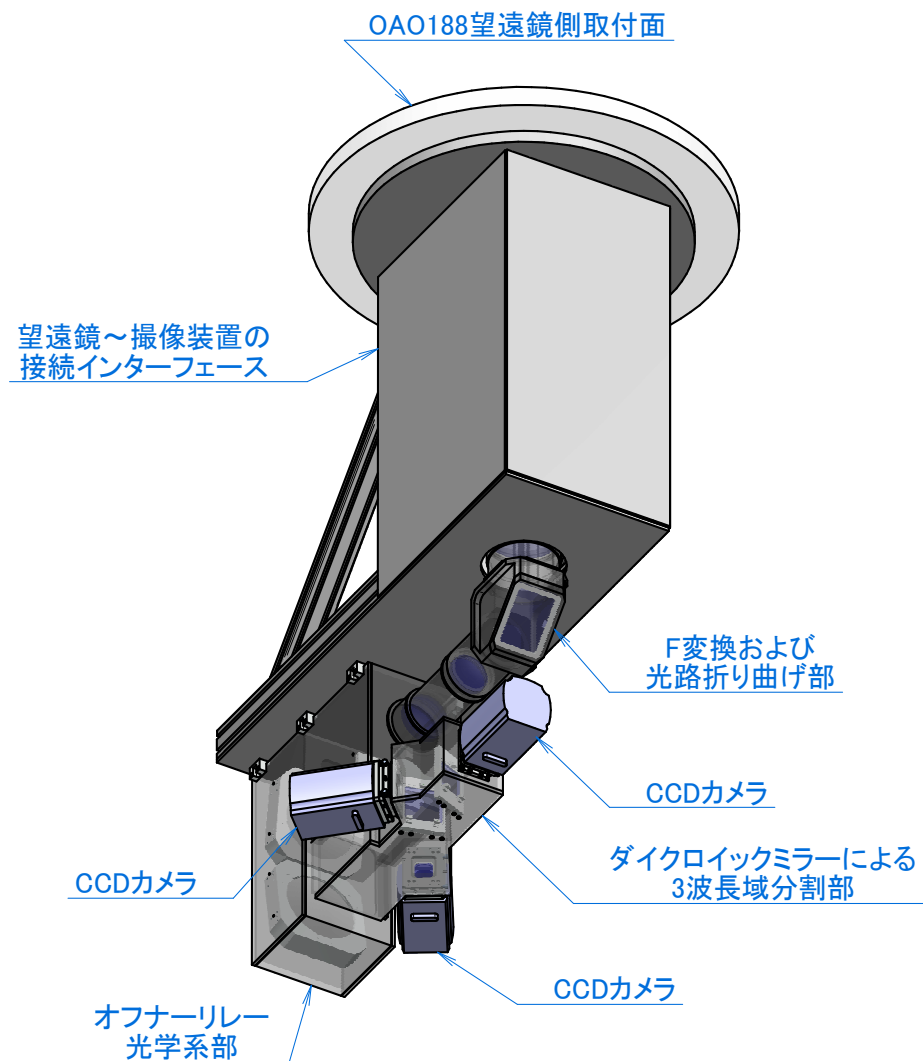
- 研究代表者
 - 成田憲保・国立天文台(全体総括)
- 研究分担者
 - 生駒大洋・東京大学准教授(理論研究統括)
 - 泉浦秀行・岡山観測所所長(188cm望遠鏡への装置受入)
- 連携研究者
 - 関根康人・東京大学講師(理論研究)
 - 玄田英典・東京工業大学准教授(理論研究)
 - 福井暁彦・岡山観測所研究員(装置開発、観測・解析)
 - 佐藤文衛・東京工業大学准教授(観測・解析)
 - 柳澤顕史・岡山観測所助教(装置開発助言)
 - 永山貴宏・鹿児島大学准教授(装置開発助言)
 - 塩谷圭吾・宇宙科学研究所助教(装置開発助言)
 - 田村元秀・東京大学教授(装置開発助言)
 - 栗田光樹夫・京都大学准教授(望遠鏡開発助言)
- 研究協力者
 - 日下部展彦・国立天文台専門研究職員
 - 鬼塚昌宏、笠嗣瑠・総研大大学院生、川島由依・東大大学院生

新しく開発中の観測装置：MuSCAT

- 装置名称：MuSCAT
 - Multi-color Simultaneous Camera for studying Atmospheres of Transiting planets
- 開発状況
 - 光学系＋筐体：入札・発注完了
 - CCD：入札・発注完了
 - ダイクロイックミラー：仕様決定、見積り完了、8/8発注
 - フィルター：Sloan Gen 2 filters (g'2, r'2, l'2, z_s) 購入
 - インターフェース：仮仕様決定、見積り準備中
 - 台車：仮仕様決定、見積り準備中
 - ソフトウェア：CCD開発元からSDKを受領、開発中



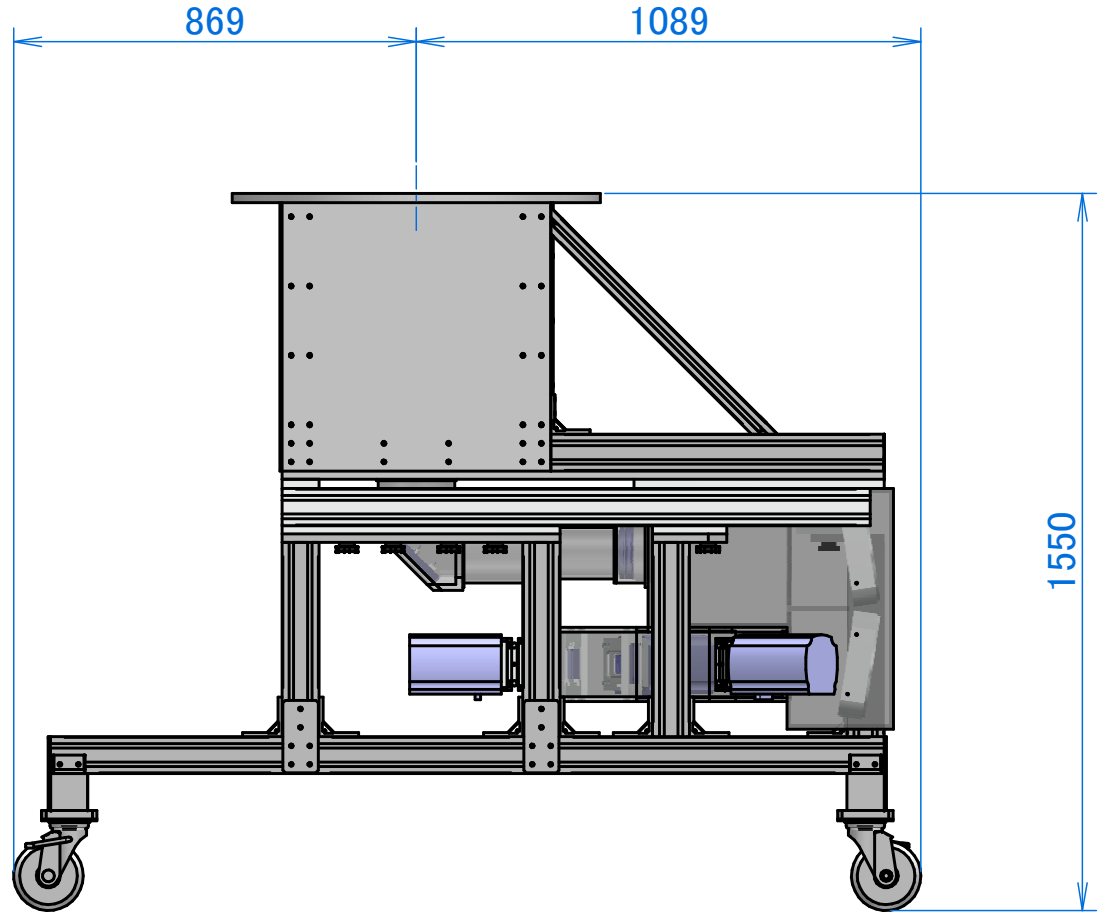
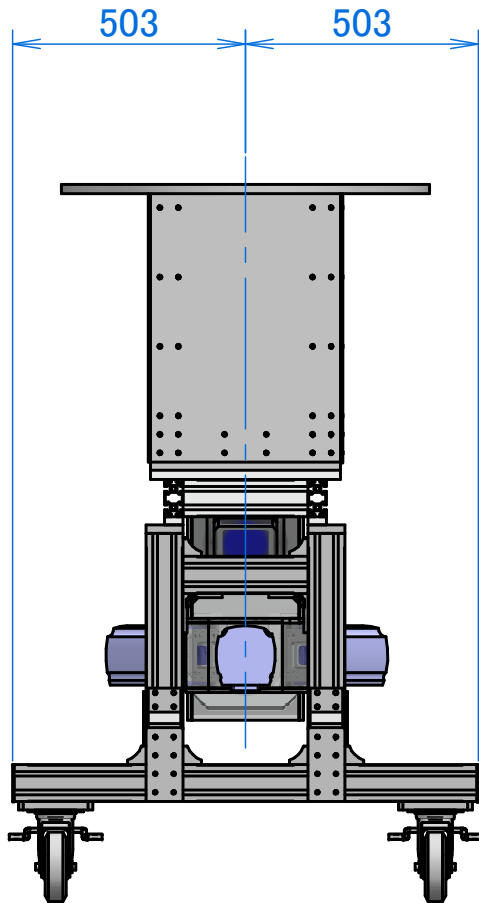
装置構造とスポットダイアグラム



g' 光路のスポットダイアグラム

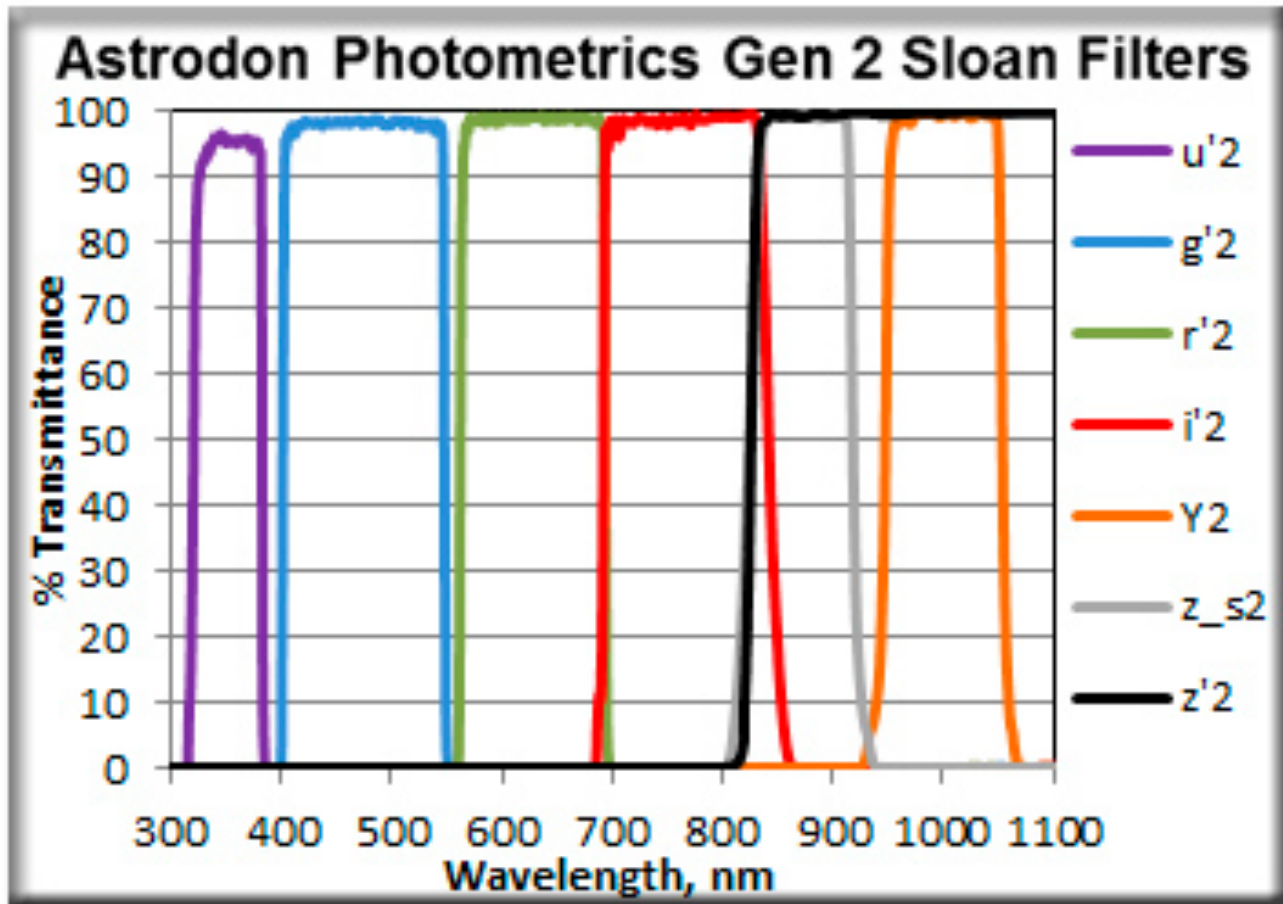
スケール：各正方形が $77\mu\text{m}=2\text{arcsec}$
 波長： $0.4\mu\text{m}$ (紫)、 $0.45\mu\text{m}$ (青)、 $0.5\mu\text{m}$ (緑)

装置寸法



台車部分は着脱式とし、観測時は取り外す

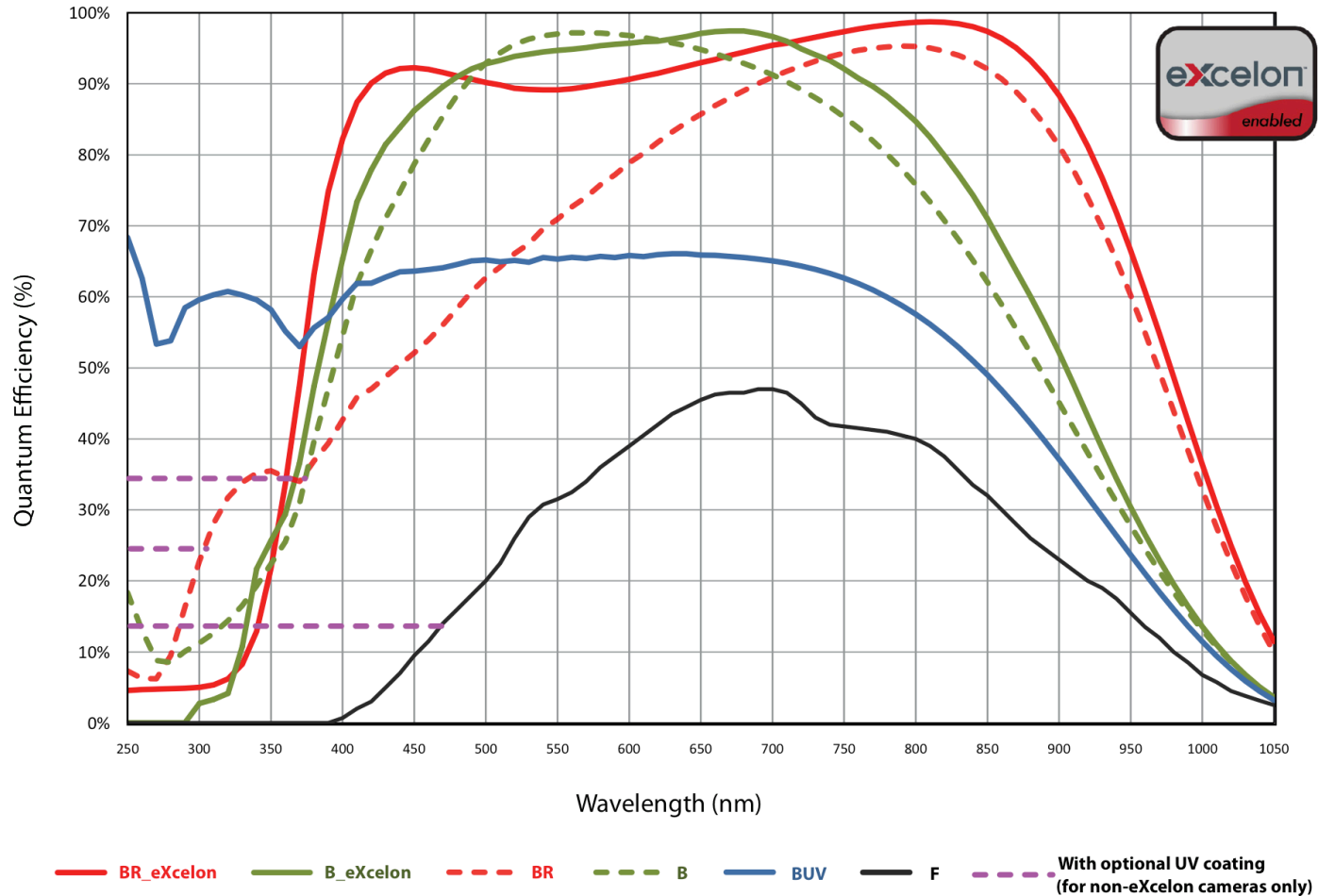
フィルターとダイクロイックミラー



g'2, r'2, i'2, z_s の4枚を用意(フィルターは手動着脱式)

g'2とi'2、i'2とr'2の間で波長を分けるダイクロイックミラーを発注

Princeton Instruments PIXIS 1024 CCD



CCDは裏面照射型のフリッジ対策あり(B_eXcelon)を2台
フリッジ対策なし(B)を1台購入

装置スペック一覧 (MITSuMEと比較)

観測装置	MuSCAT	MITSuME
望遠鏡口径	188 cm	50 cm
カメラ	Princeton Instruments PIXIS1024B, 1024B_eX	Apogee Alta U6
CCD	e2v CCD47-10	KODAK KAF-1001E
視野	5.9 arcmin	26 arcmin
ピクセルスケール	0.35 arcsec	1.5 arcsec
ピクセルサイズ	13.3 μm	24 μm
読み出し時間	~3秒 (2x2 binning)	~3秒 (1x1 binning)
同時観測波長	$g'2, r'2, z_s$	g', Rc, Ic

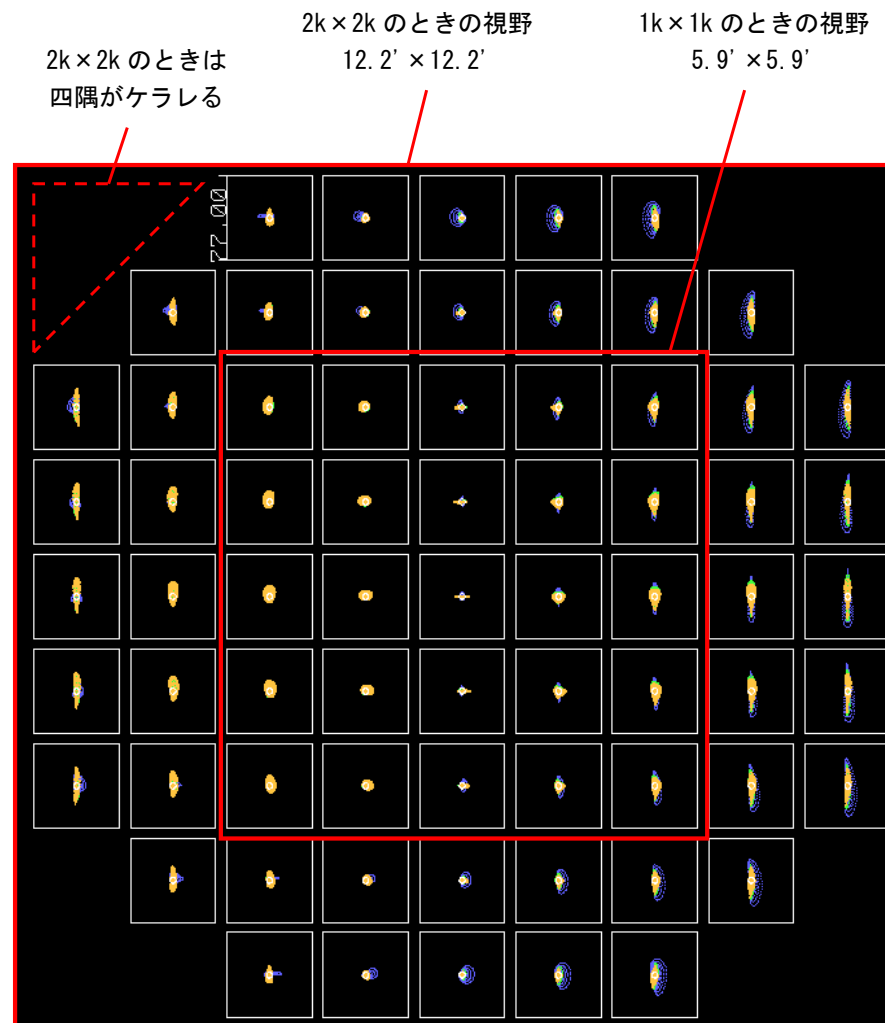
口径、CCD量子効率、フィルターなどで~25倍の効率向上

今後のスケジュール

- 2014/8: CCDのデモ機でのダーク・フラット・非線形性試験
- 2014/9中旬: CCDとダイクロイックミラーの納品
- 2014/9-11中旬: 本番用CCDの試験と読み出しソフト試験
- 2014/11中旬: 光学系・インターフェース・台車納品
- 2014/11中旬～12月中旬: ATCで装置組み立て・調整
- 2014/12中旬: 岡山に輸送
- 2014/12/24: 装置搭載試験、試験観測

アップグレード計画1（広視野化）

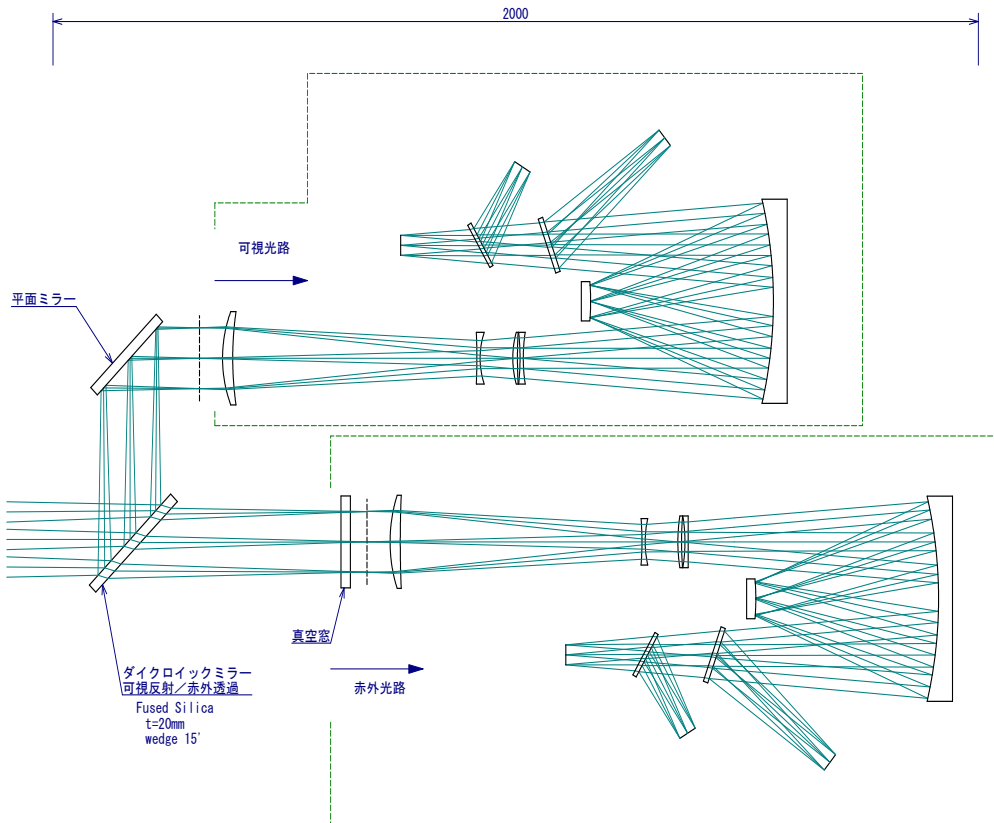
- CCDカメラをPIXIS2048にアップグレードすれば、視野12.2分角の広視野カメラとなる
- 必要費用は約2700万円
- 基盤Aの予算で可能



g' 光路のスポットダイアグラム

スケール：各正方形が $77 \mu\text{m} = 2\text{arcsec}$
波長： $0.4 \mu\text{m}$ (紫)、 $0.45 \mu\text{m}$ (青)、 $0.5 \mu\text{m}$ (緑)

アップグレード計画2(赤外同時化)



- もともとMuSCATは可視・近赤外6色撮像カメラを目指していた
- 近赤外チャンネルに低分散分光機能を持たせた可視3色・近赤外分光同時観測装置の方がサイエンスとして良いという声がある
- 6色でも分光でも基盤Sが必要

その後の運用について

- 2015年から188cm望遠鏡のPI装置として利用
- 装置自体はF変換光学系を入れ替えることで他の望遠鏡に移設が可能
- 多数のターゲットの観測を行うため、より多くの観測時間が得られる望遠鏡で活用していきたい