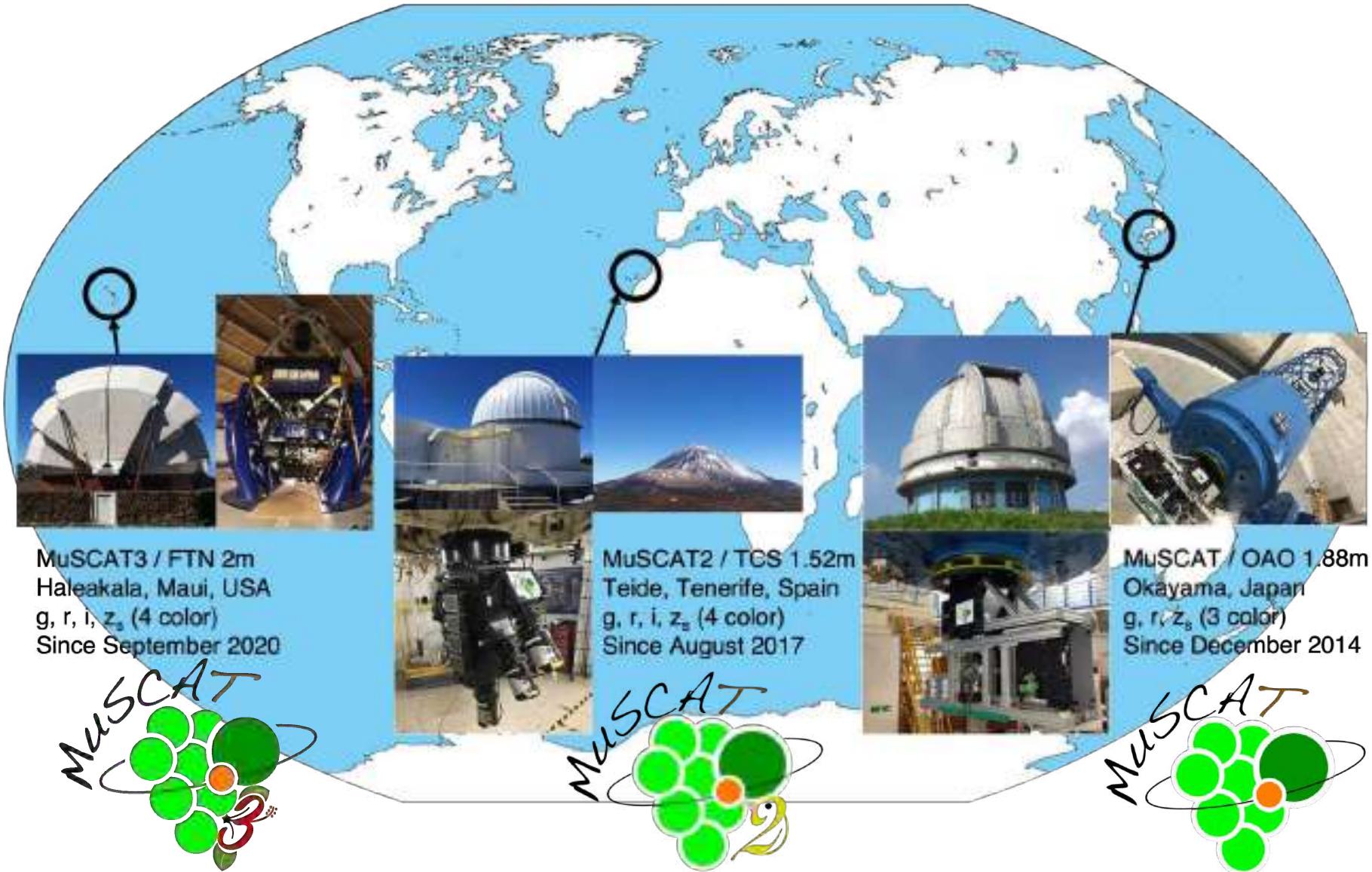


# 世界の1-2m望遠鏡に展開する 多色同時撮像カメラMuSCATシリーズ



成田憲保(東京大学)

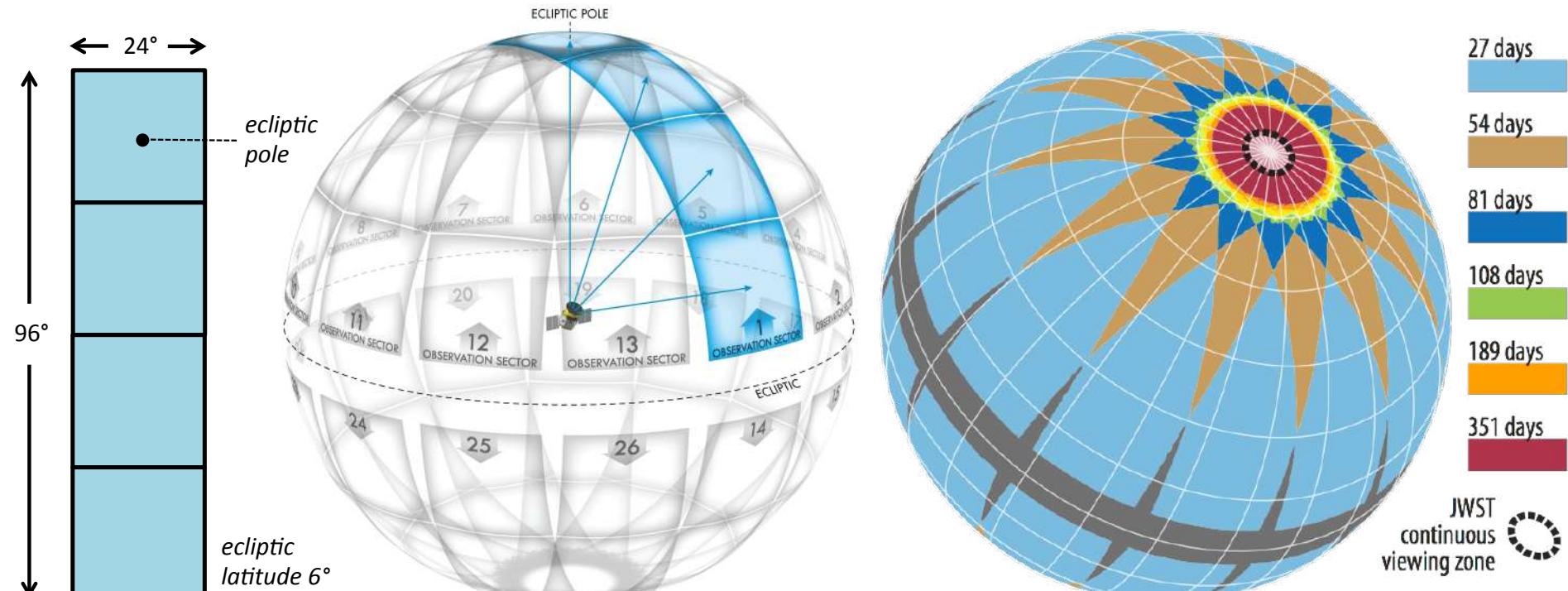
# 全天トランジットサーベイ計画: TESS

(NASAより)



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  
2018年4月18日に打ち上げ成功(4人の日本人がミッション提案に参加)

# TESSの観測戦略



Ricker et al. 2015

空の24度 × 96度の領域を1度に観測

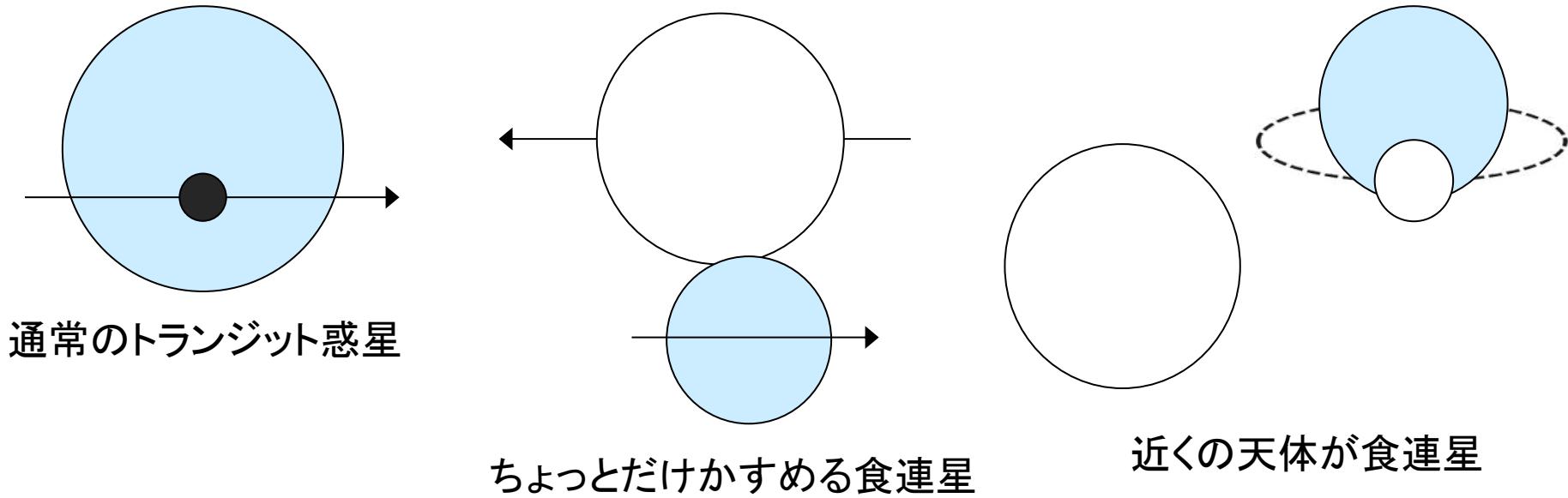
2年+延長ミッションで全天のトランジット惑星を探す

# TESSの弱点

- ・ TESSの視野(24x96度)はKeplerの視野(10x10度)に比べて広く、全天をサーベイして太陽系に近い恒星のトランジット惑星を見つけることができる
- ・ 大量の惑星候補が発見されるけれども、**その中には食連星による偽検出もかなり混じっている(50%超程度)**
- ・ 偽検出を見破って、本物の惑星を発見するため地上からの「**発見確認観測**」が必要

# トランジット惑星と偽物の食連星の判別

トランジットサーベイで発見される減光は惑星ではない場合がある



惑星は自分で光を発しないため、減光にほとんど波長依存性がない  
しかし食連星は隠す恒星も光っているため、減光時にその光が残る  
→ 減光の深さが波長によって大きく変わる

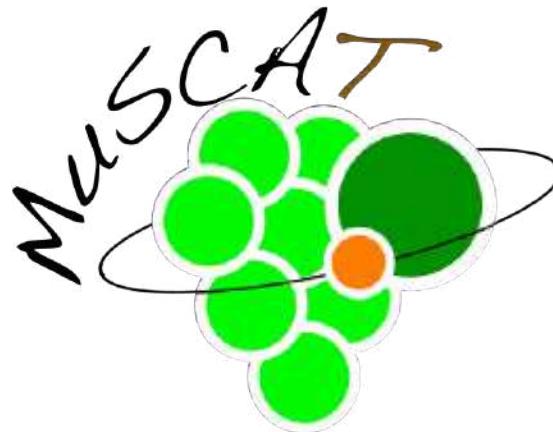
減光を多色で高精度に観測することで判別できる

# 岡山の新しい観測装置MuSCATを開発

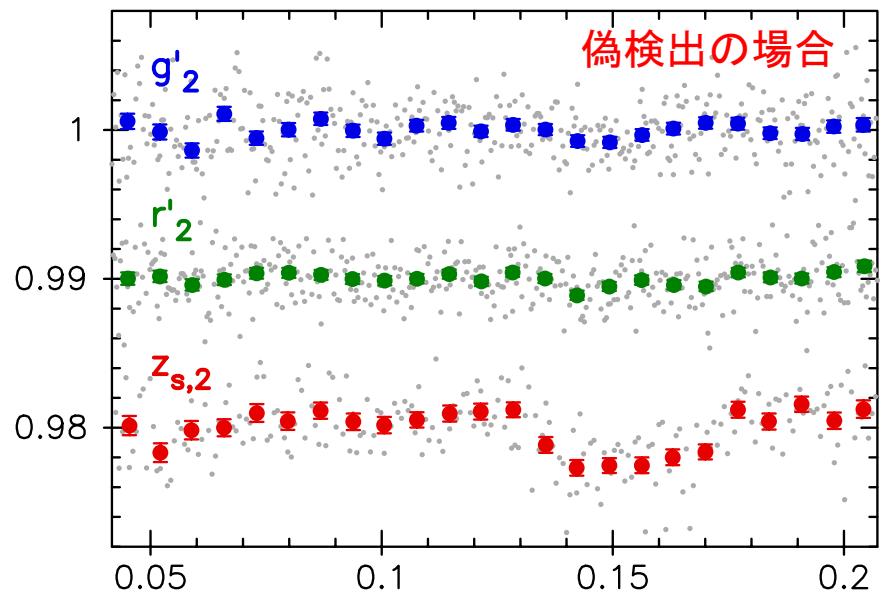
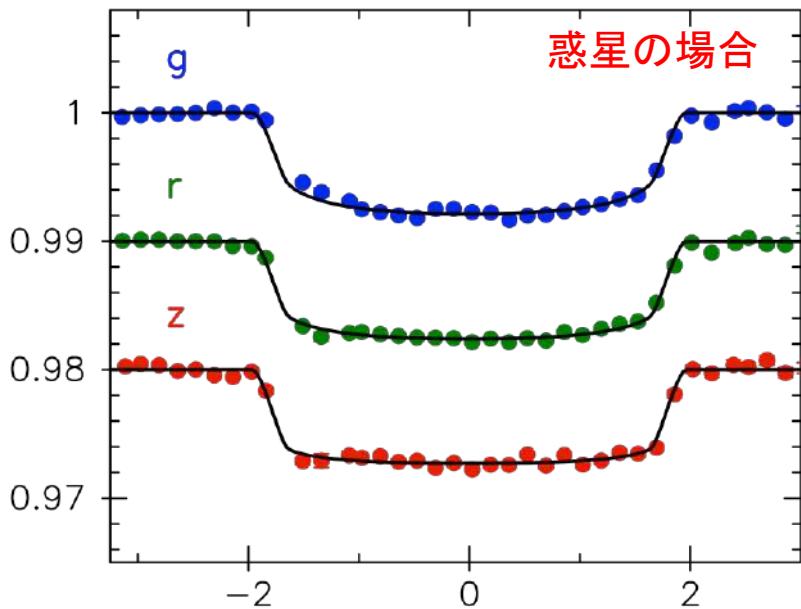


2015年3月3日撮影

- ・ 2014年12月24日に初観測
- ・ 青(400–550nm)、赤(550–700nm)、近赤外(820–920nm)の3色を同時に観測可能なカメラ
- ・ 1回の観測で、TESSで発見された惑星候補が本物の惑星か偽物(食連星)かを見分けることができる観測装置



# 多色同時観測による本物の惑星の発見確認



多色同時撮像カメラがあれば、1回の減光の観測で  
周囲に食連星がないか、ターゲットが食連星でないかどうかを判別できる

# MuSCAT2をスペイン・カナリア諸島に開発

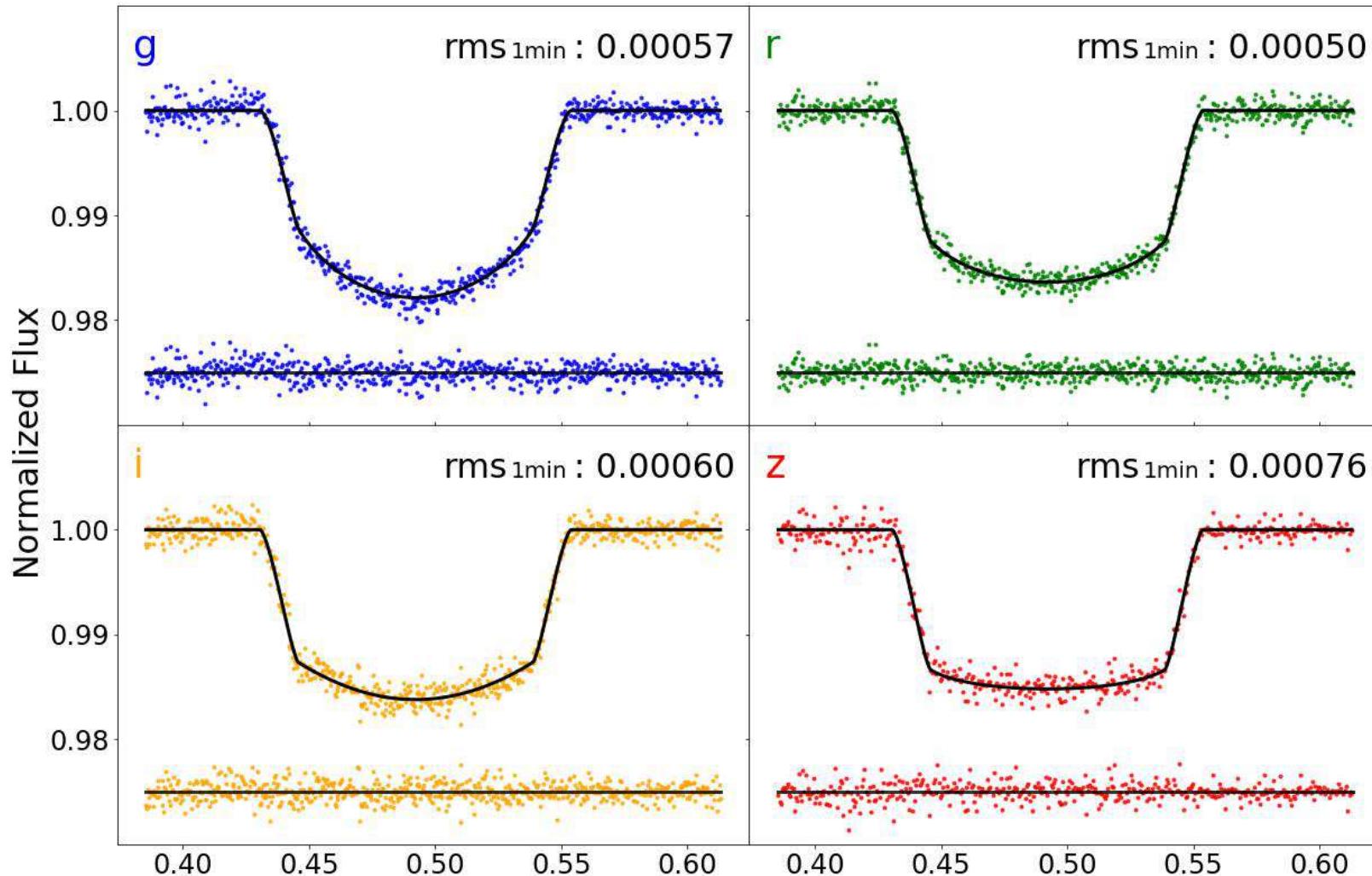


TCS 1.52m望遠鏡  
テネリフェ島・スペイン  
北緯 $28^{\circ}18'01.8''$ , 西経 $16^{\circ}30'39.2''$   
標高 2386.75m  
世界遺産ティエ山(3718m)の中腹



# MuSCAT2の性能

0.1%を切る地上最高レベルの測光精度を4色で同時に達成可能



# MuSCAT3を開発(2020年9月完成)



FTN 2m望遠鏡

マウイ島・ハワイ

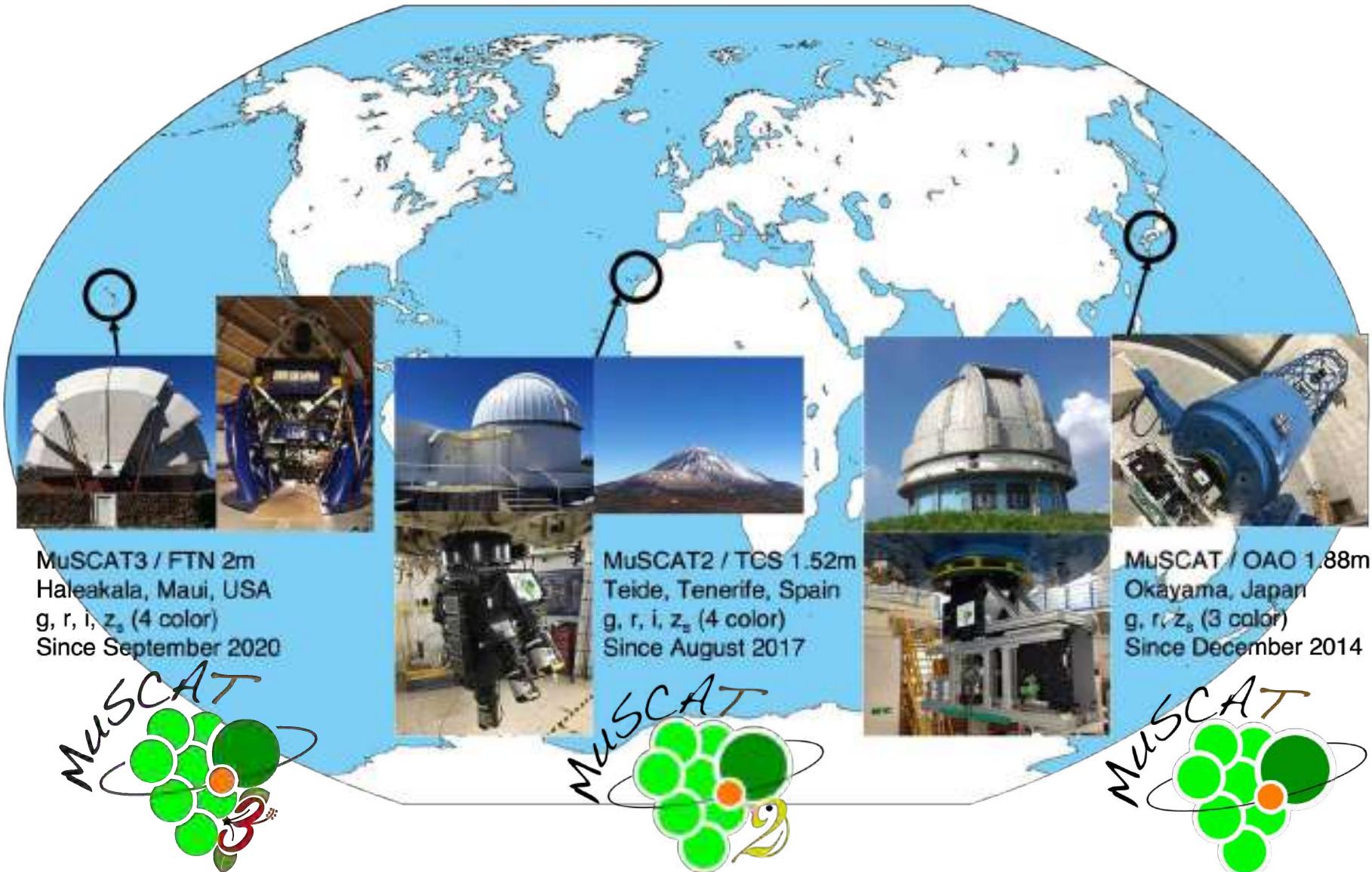
北緯 $20^{\circ}42'27''$ , 西経 $156^{\circ}15'21.6''$

標高 3055m

休火山ハレアカラの山頂

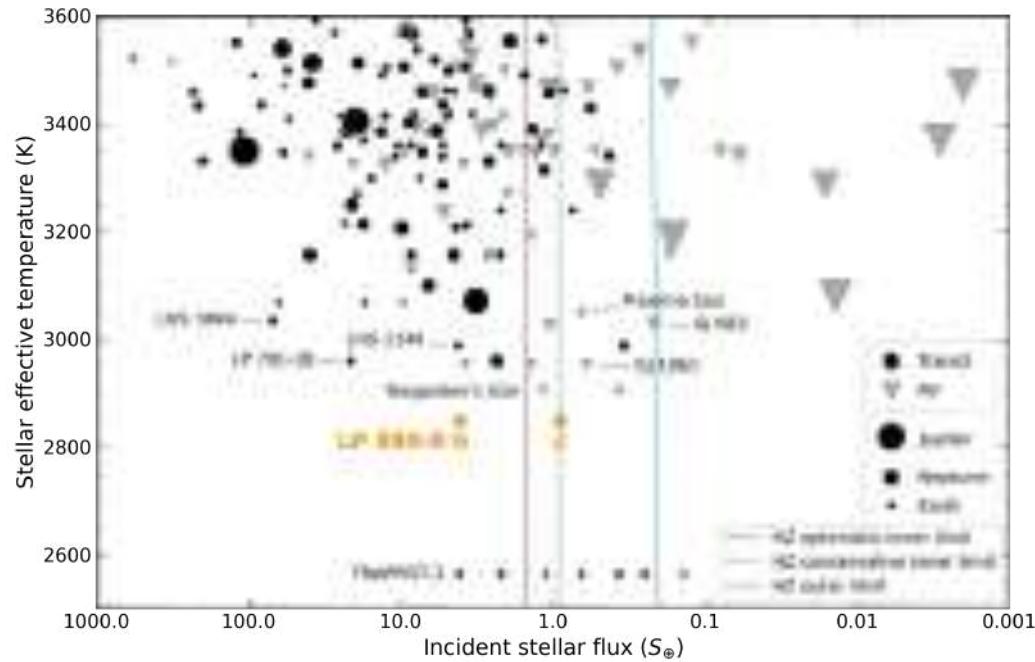
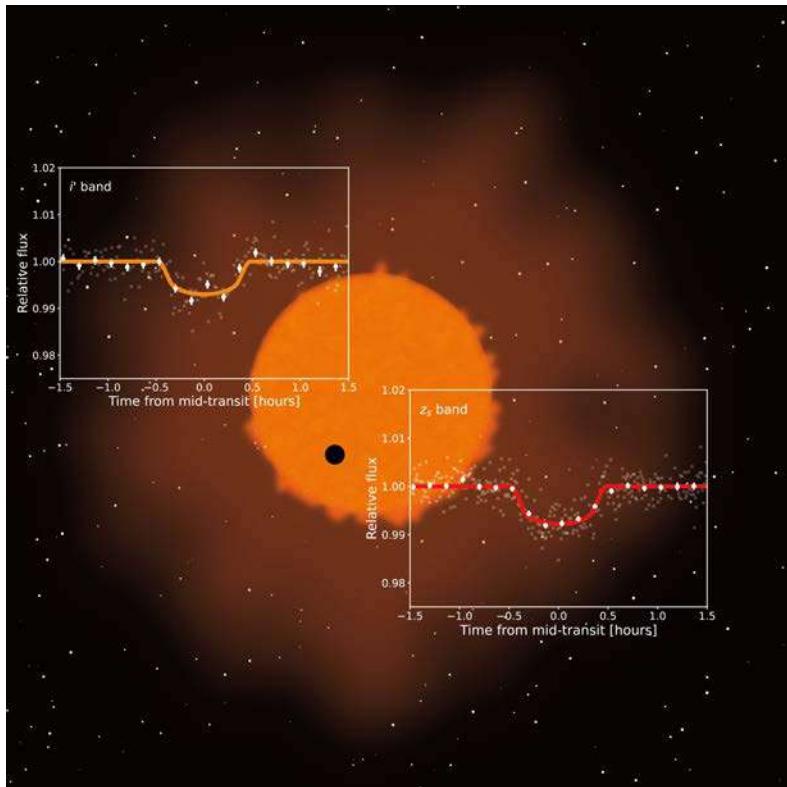
# 多色トランジット観測装置MuSCAT123を開発

世界初の多色同時撮像観測ネットワーク



# ハビタブルゾーンにあるスーパー地球の発見

太陽系から約100光年のところにあるLP 890-9 (TOI-4306, SPECULOOS-2)を  
公転する2つのスーパー地球を発見

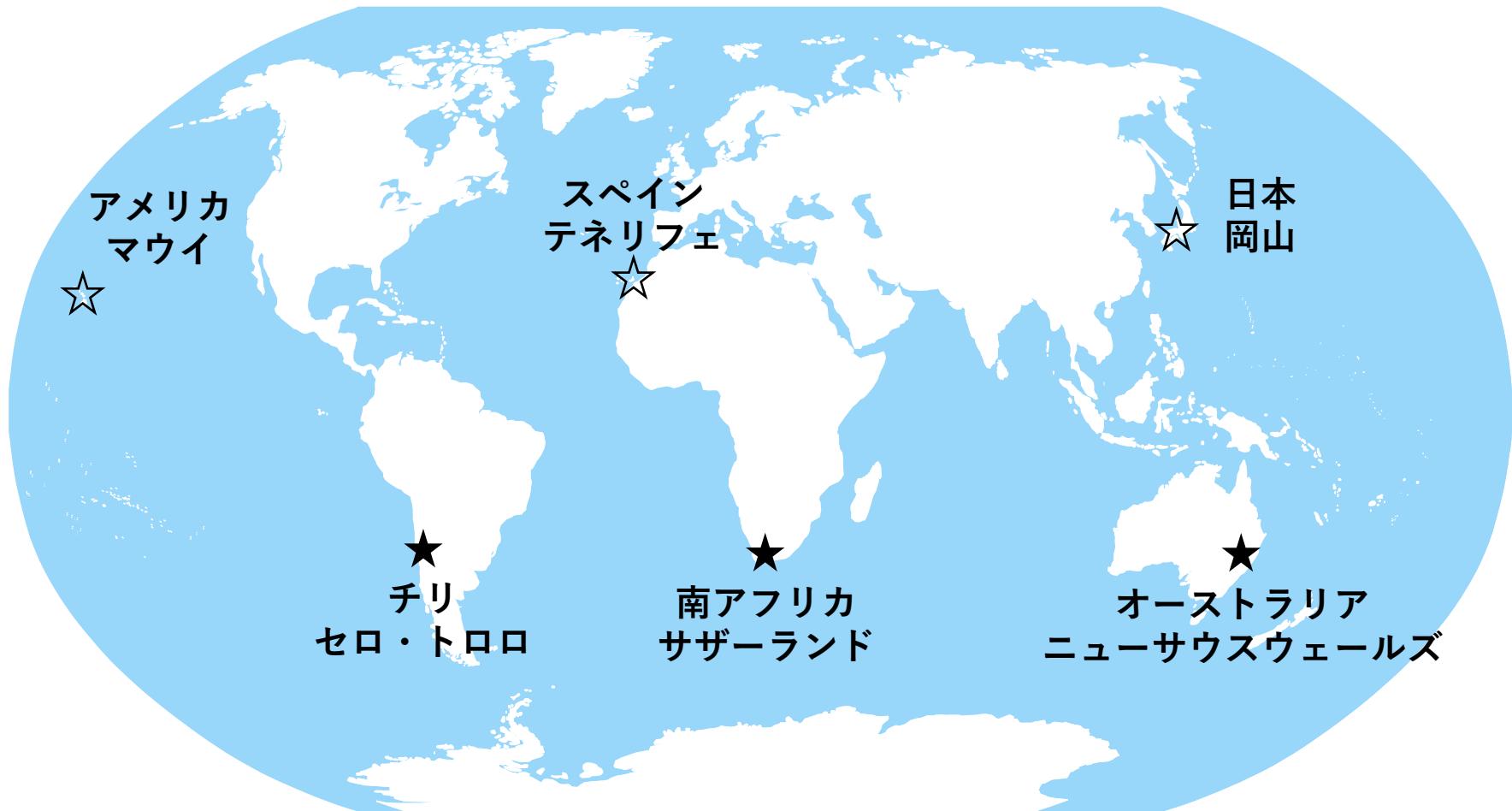


外側の惑星cはハビタブルゾーンにある  
1.37地球半径のスーパー地球

	<b>MuSCAT1 on OAO 1.88m tel.</b>	<b>MuSCAT2 on TCS 1.52m tel.</b>	<b>MuSCAT3 on FTN 2m tel.</b>
Primary mirror	1.88m	1.52m	2.0m
Location	34° 34' 37" N 133° 35' 38" E 372m	28° 18' 02" N 16° 30' 39" W 2387m	20° 42' 27" N 156° 15' 22" W 3055m
FoV	6.1' x 6.1' (with 1k CCD)	7.4' x 7.4' (with 1k CCD)	9.1' x 9.1' (with 2k CCD)
Clear sky ratio	~30%	~70%	~70%
Pixel scale	0.36" / pix	0.45" / pix	0.27" / pix
Readout time	0.58 sec	0.58 sec	2.3 sec
# of time/yr	~100 nights	~300 nights	300 hrs of net obs
# of channels	3 (g, r, z)	4 (g, r, i, z)	4 (g, r, i, z)

# MuSCATシリーズの南半球への展開を検討

LCOによる受け入れ意思確認(LoI)と装置の光学設計は概ね完了

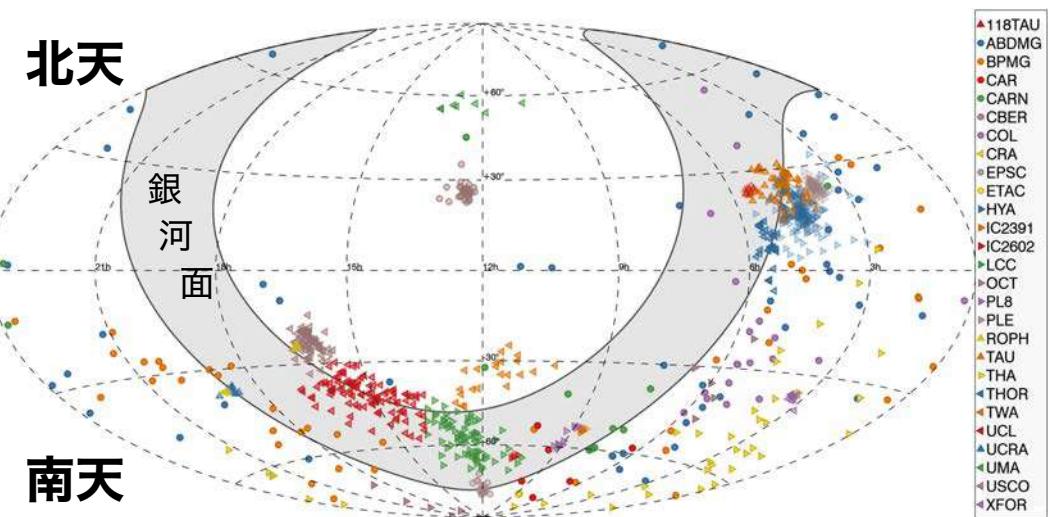


系外惑星の他にも、突発天体や太陽系小天体など  
多様な天体现象の観測に活用できる

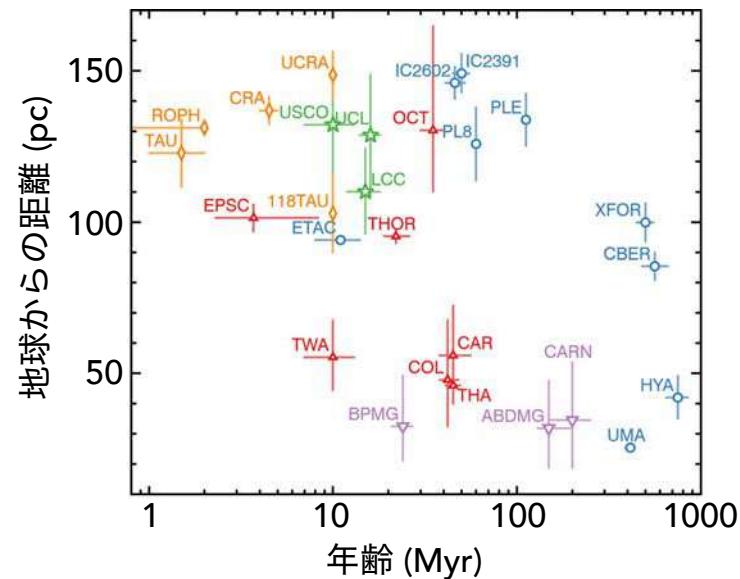
# 南半球ならではのサイエンス

太陽系近傍(150pc以内)の若い星団の多くは南天にある

(a) 若い星団の分布



(b) 若い星団の距離と年齢

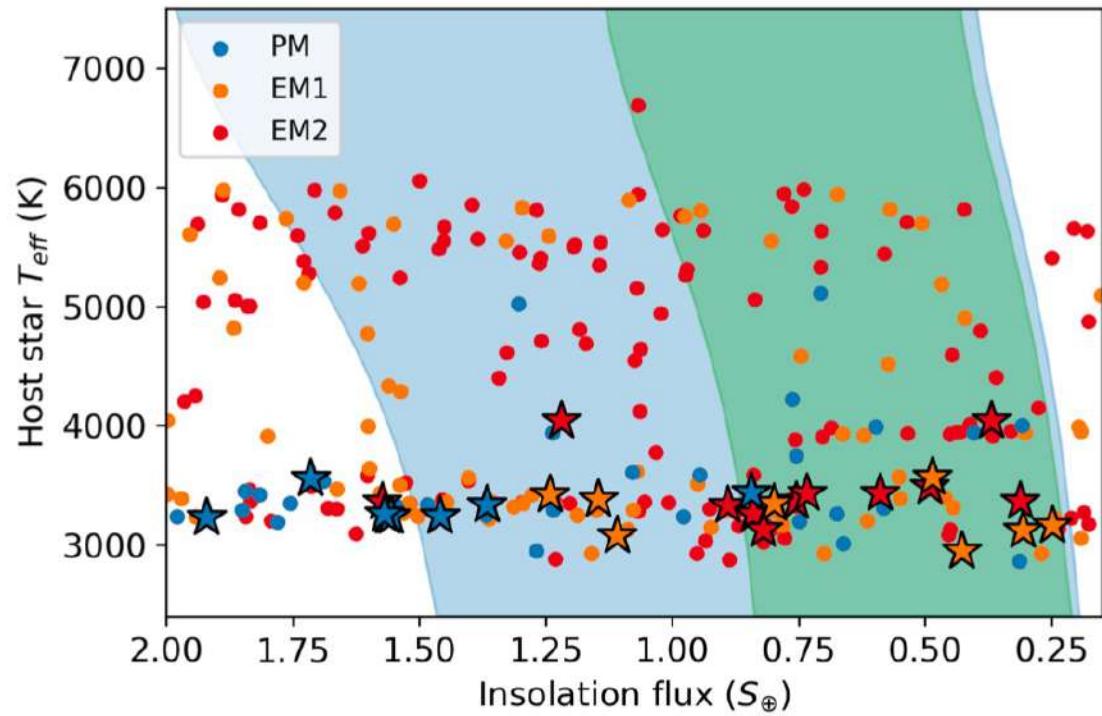
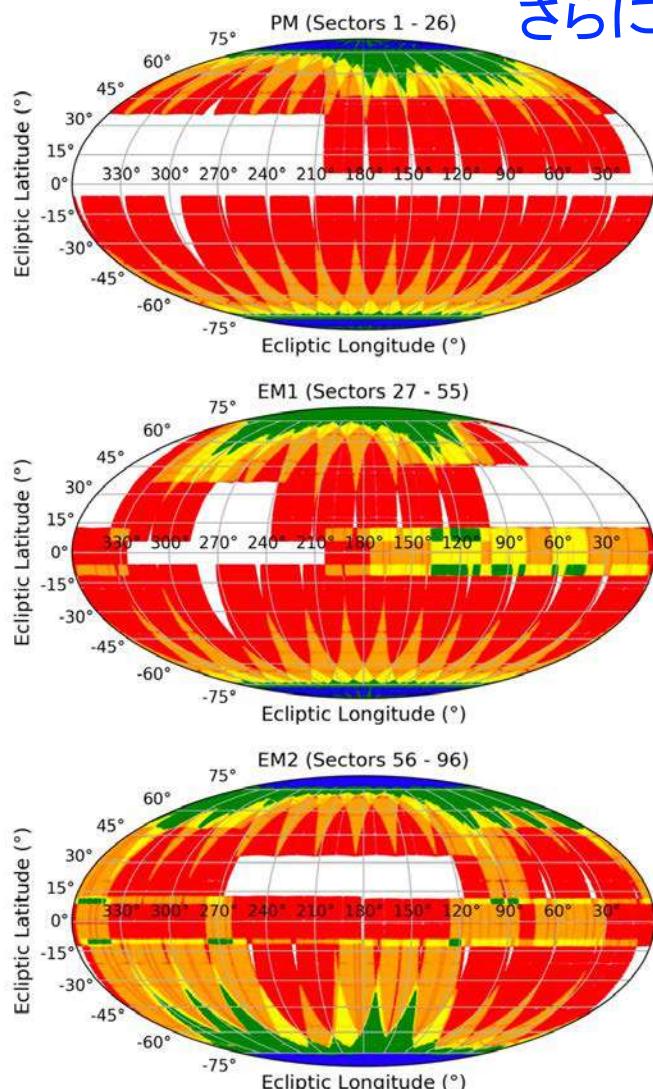


Gagne et al. (2018)

若いトランジット惑星はまだ発見数が少なく  
これから発見数が増えてくる段階にある

# TESSの第2期延長計画(2022–2025)

TESSの継続で赤色矮星周りのハビタブルトランジット惑星の発見数が  
さらに増えると予想されている



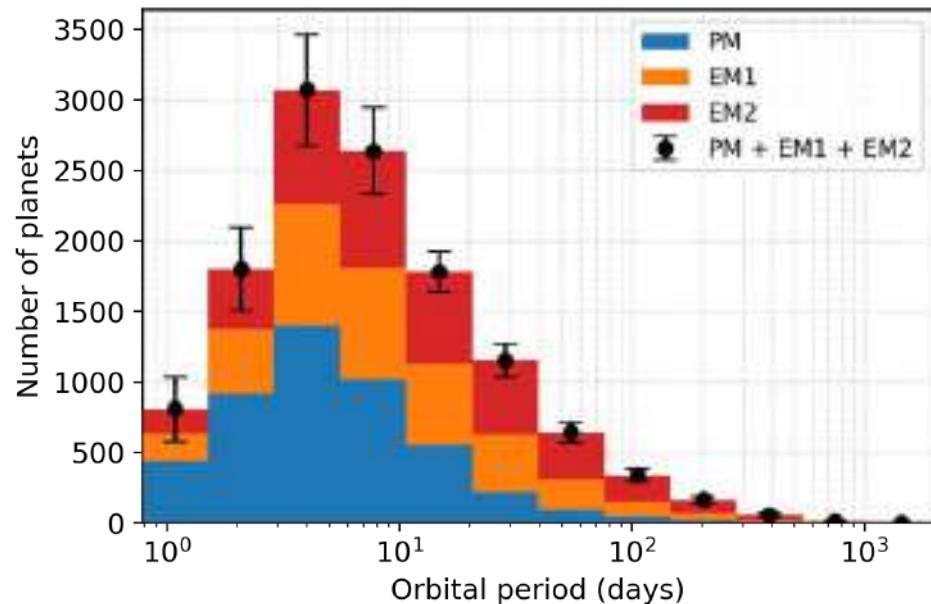
生命居住可能領域付近の惑星発見予測

# TESSの第2期延長計画(2022–2025)

TESSの延長計画が進むことで  
多数の長周期惑星の発見も予想されている

TESSの(長周期)惑星発見数予測

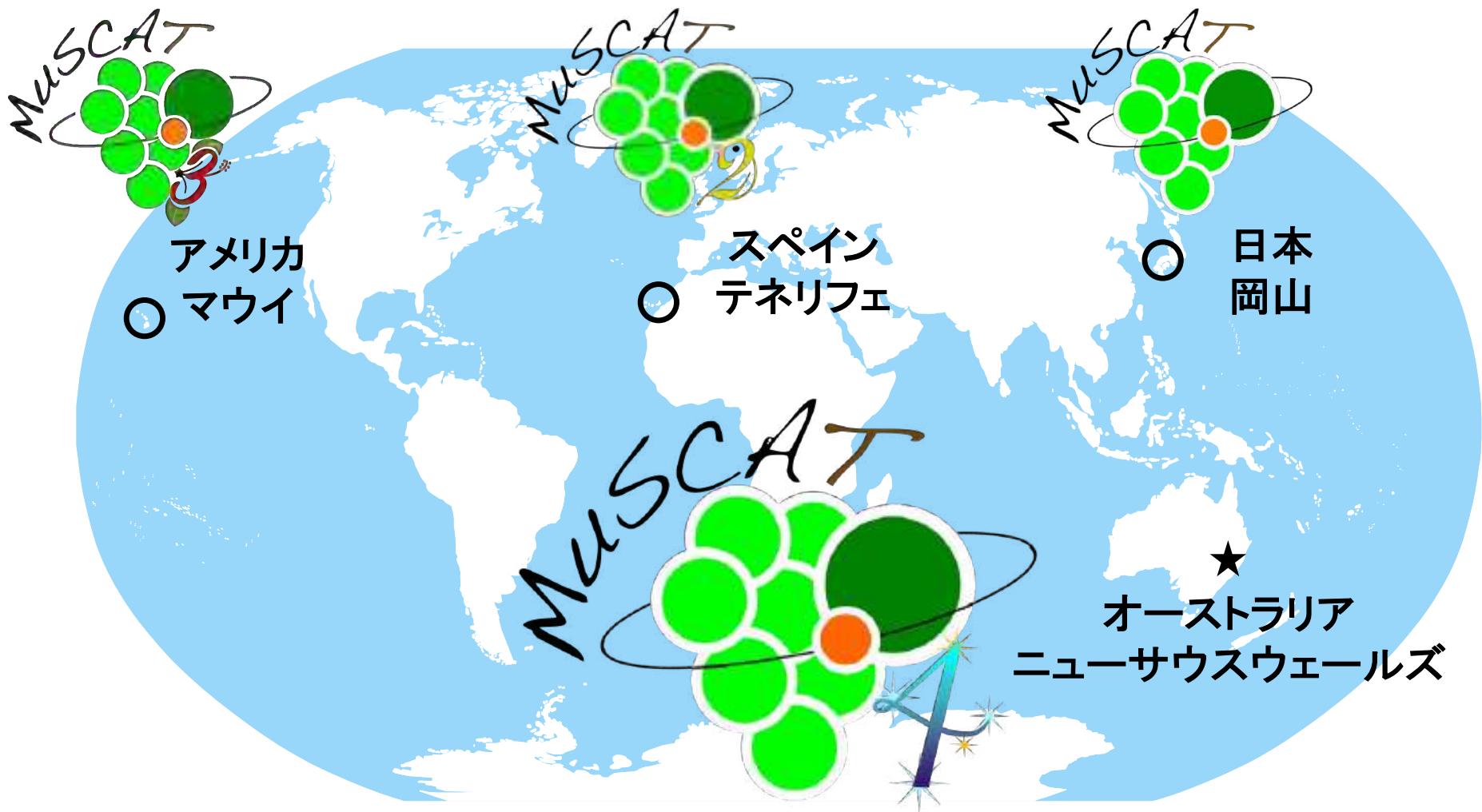
Mission	Years	$P > 20$ days	$P > 100$ days
PM 当初計画	1	$167 \pm 20$	$20 \pm 6$
	2	$231 \pm 25$	$29 \pm 7$
EM1 第1期 延長計画	3	$423 \pm 40$	$70 \pm 11$
	4	$400 \pm 36$	$69 \pm 12$
EM2 第2期 延長計画	5	$452 \pm 39$	$89 \pm 14$
	6	$411 \pm 34$	$93 \pm 15$
	7	$353 \pm 34$	$70 \pm 11$
	1 – 2	$398 \pm 38$	$48 \pm 11$
	1 – 4	$1220 \pm 106$	$187 \pm 27$
	1 – 7	$2437 \pm 193$	$439 \pm 55$



Kunimoto et al. (2022)

長周期惑星は追観測の機会が非常に限られるため  
多色同時観測ネットワークが世界の中で特に有利

# LCO側で米国財団からMuSCAT4の予算確保



オーストラリアの2m望遠鏡(マウイの2m望遠鏡と同一)に  
MuSCAT4を開発開始(2023年10月頃ファーストライト目標)

# まとめ

- TESSのフォローアップ観測に向けて開発してきたMuSCATシリーズが現在北半球の3台体制で運用中
- 現在オーストラリアの2m望遠鏡用にMuSCAT4を開発中、MuSCAT5/6の開発も継続したい
- TESSと地上追観測の連携により、今後も多様な系外惑星の発見とその性質の解明を目指す
- トランジット惑星以外のサイエンスにも活用できる

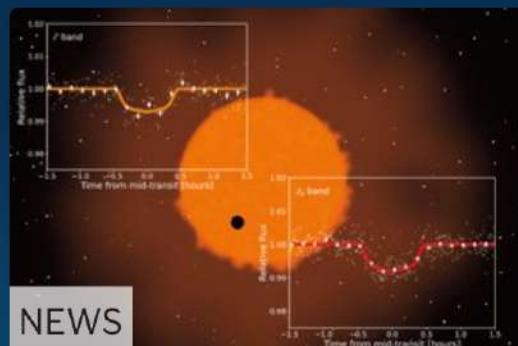
# 参考 : LCOの観測時間へのアクセス

LCO  
Las Cumbres Observatory

Explore LCO ▾ Education & Outreach ▾ Science ▾ For Observers ▾



**TOP HIGHLIGHT**



NEWS

**LCO Instrument Vital to the Discovery of Two Super-Earths**

**Twenty-five telescopes at seven sites around the world working together as a single instrument >**

Call for Proposals 2023A is now open. Deadline: 24 October 2022 at 23:59 UTC.