

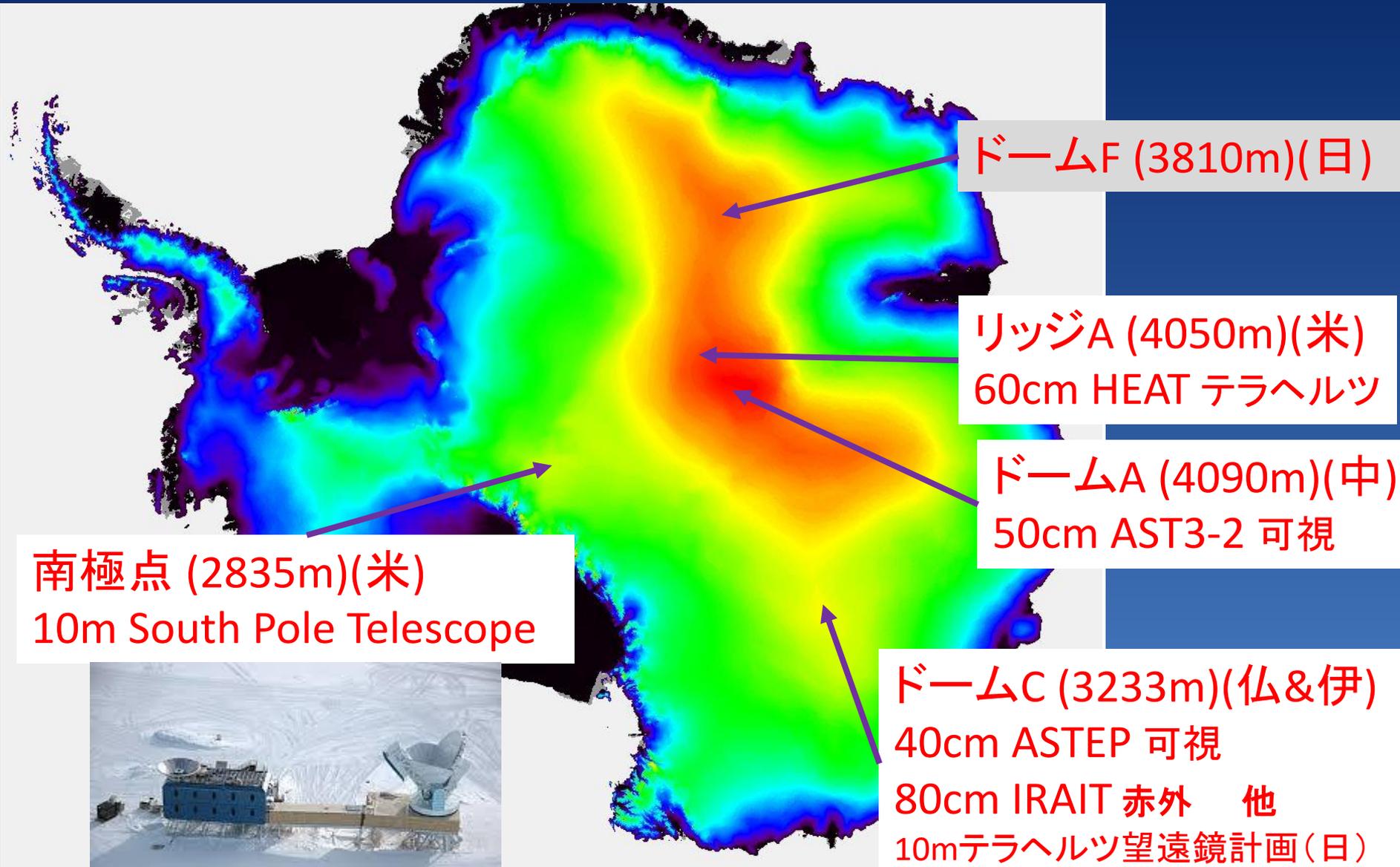
南極テラヘルツ望遠鏡計画概要

久野成夫(筑波大学)

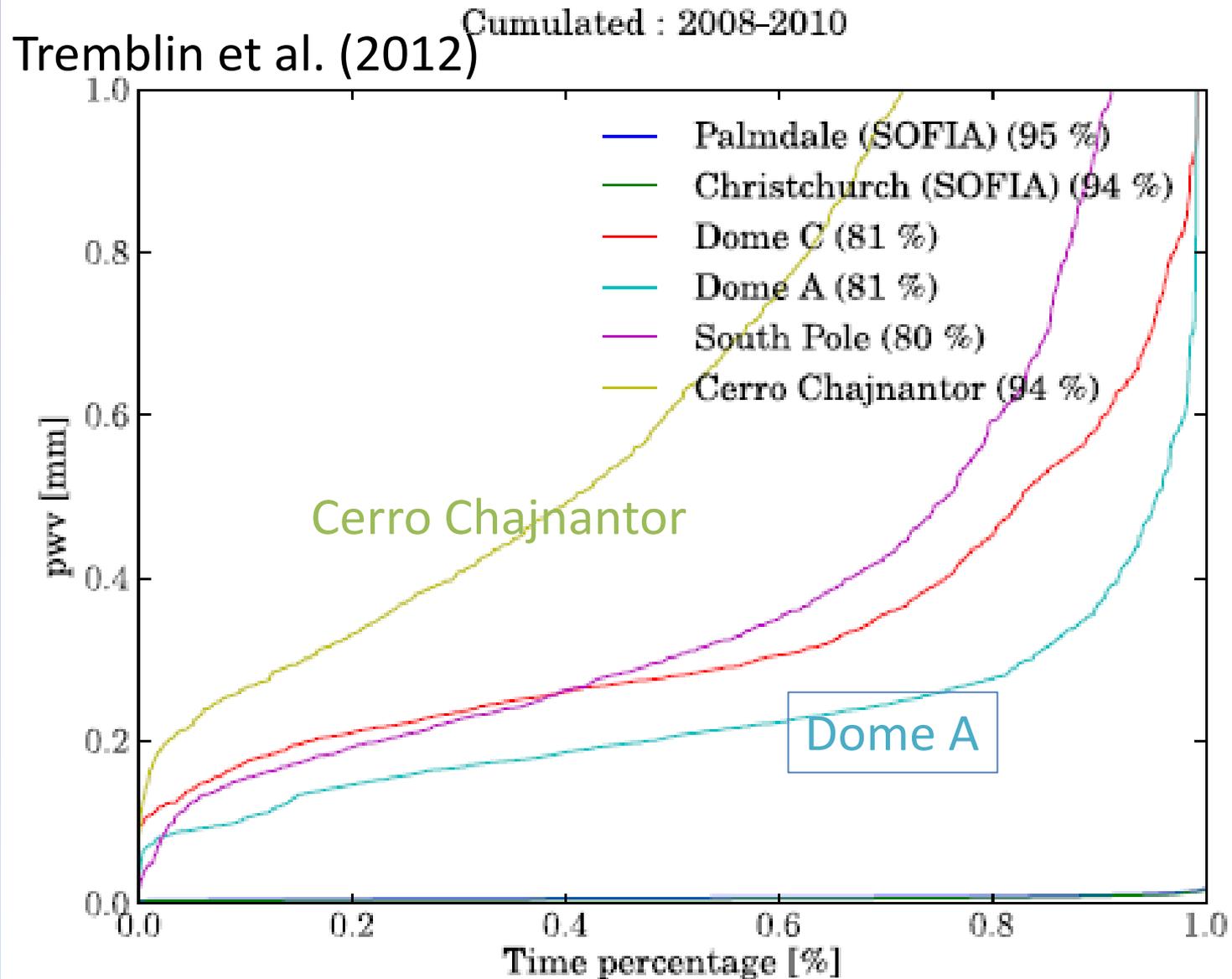
南極天文コンソーシアム

1. 天文観測サイトとしての南極
2. 南極10m・30m級テラヘルツ望遠鏡計画

(1) 天文観測サイトとしての南極

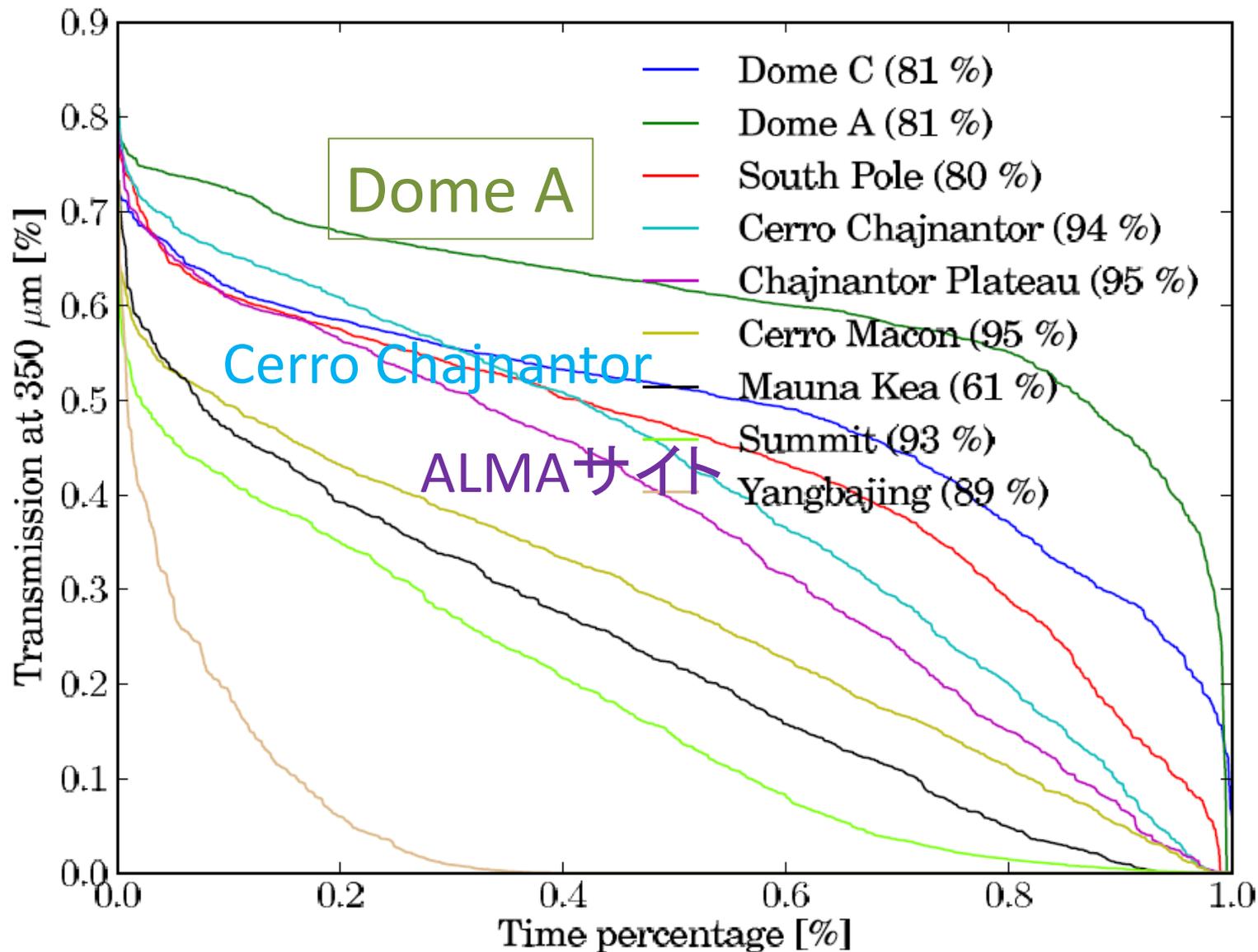


可降水量 (PWV)



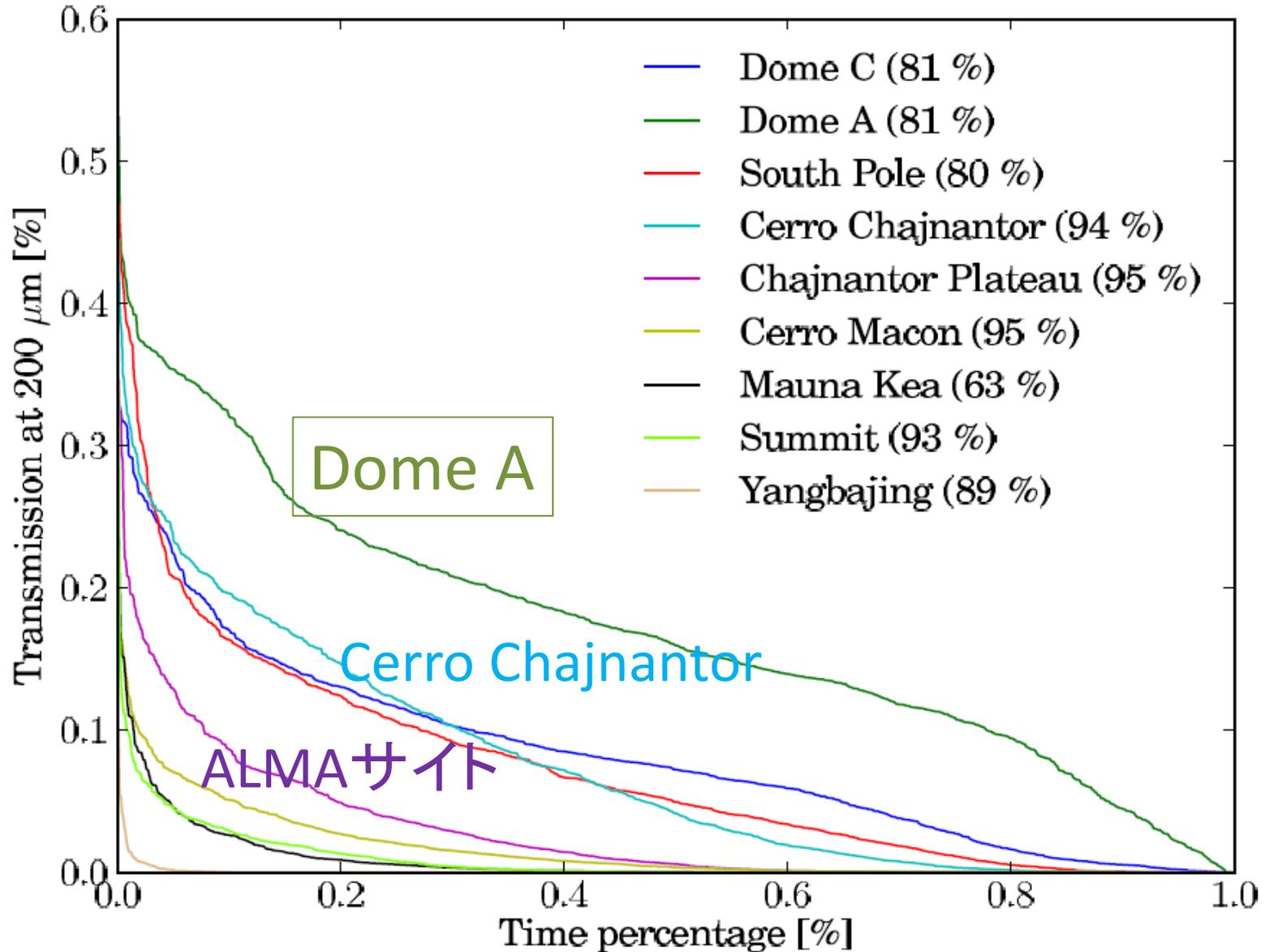
大気透過率@350 μm

Tremblin et al. (2012) Cumulated : 2008-2010

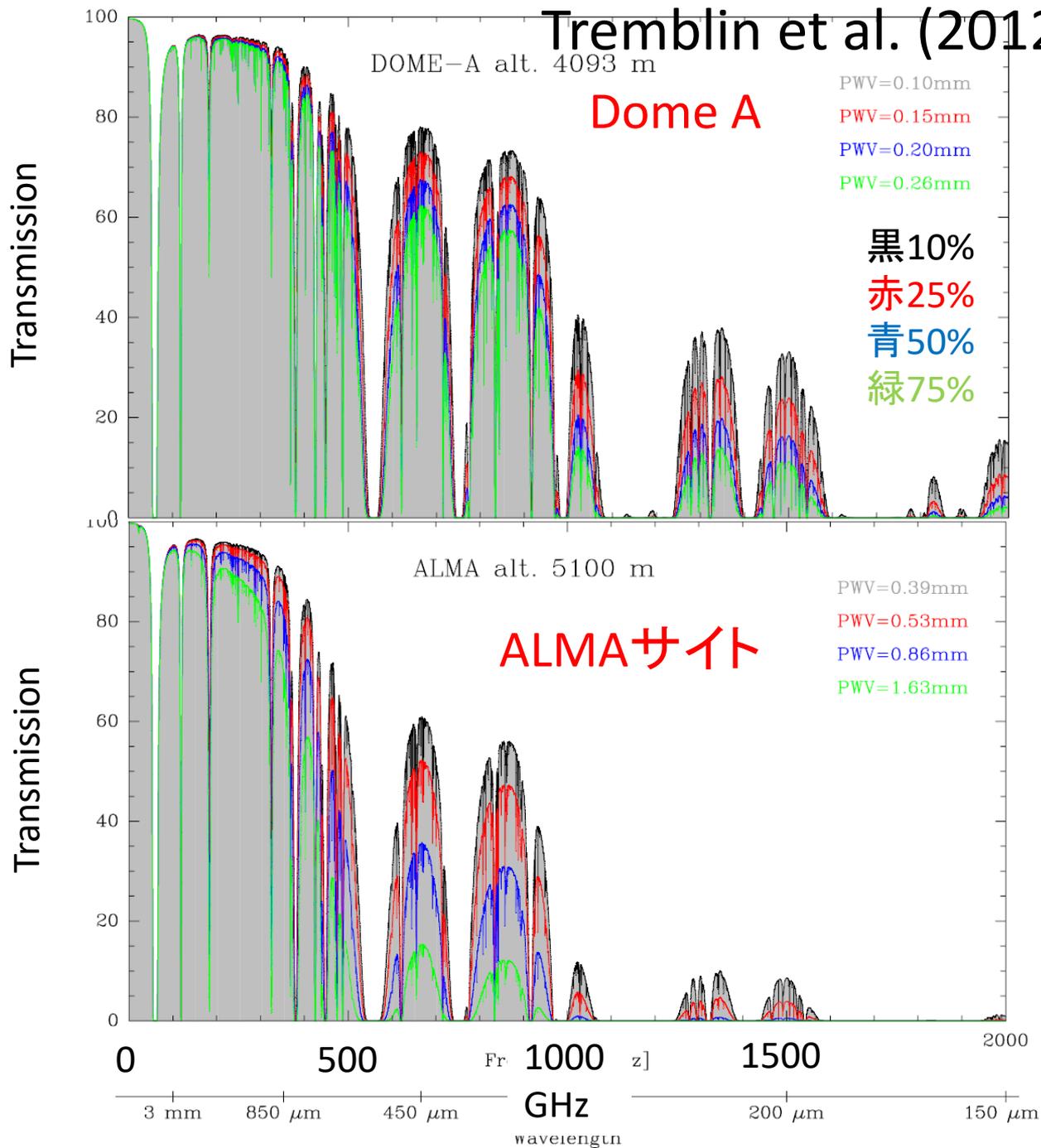


大気透過率@200 μm

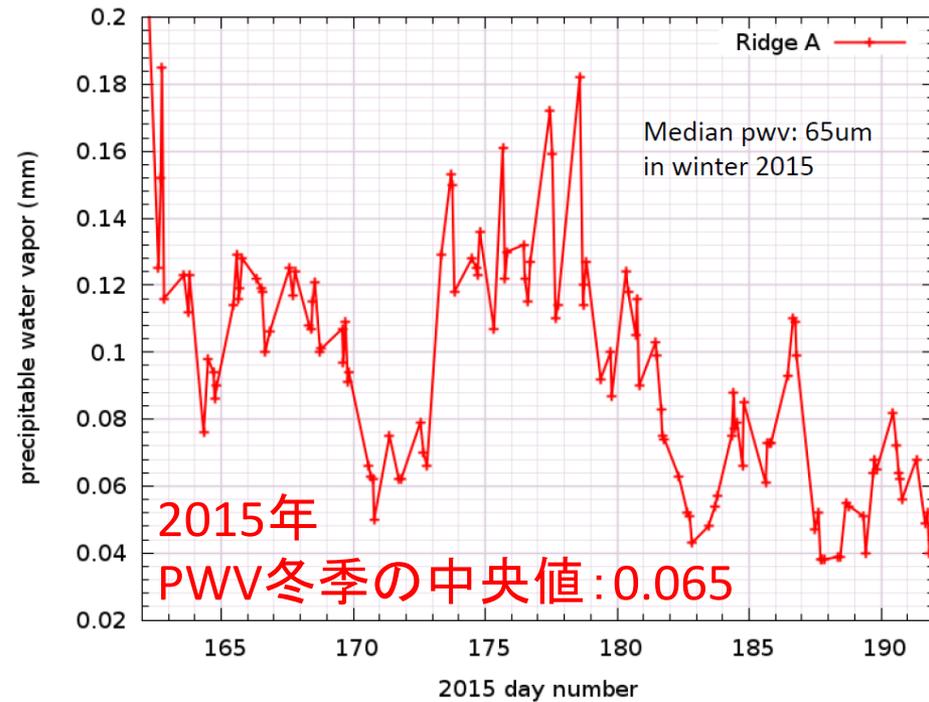
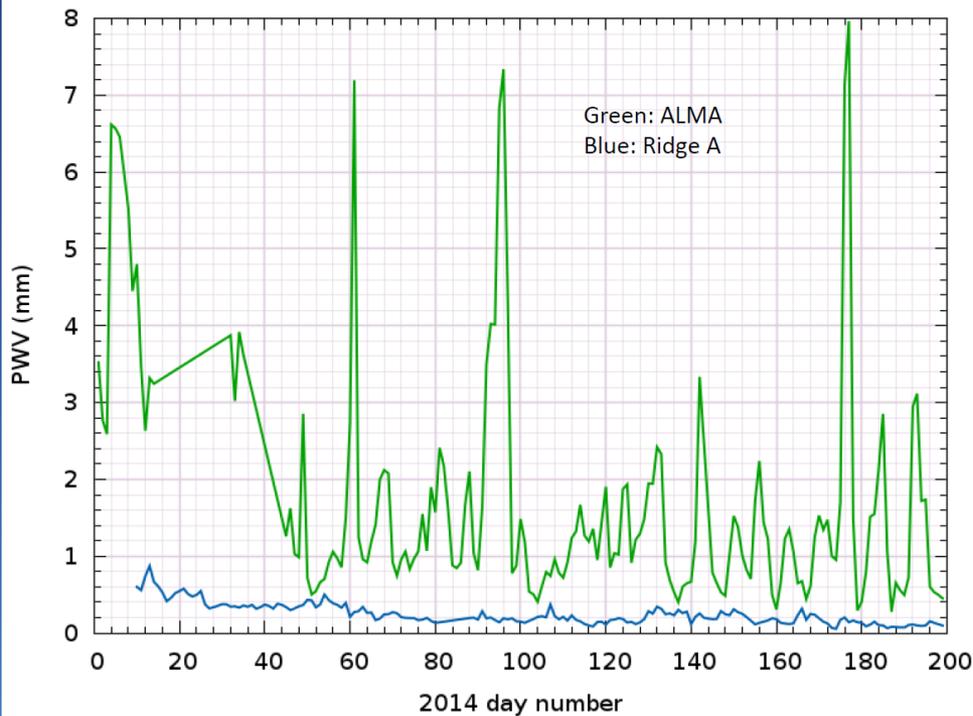
Tremblin et al. (2012) Cumulated : 2008-2010



Tremblin et al. (2012)



大気の安定度(PWV)



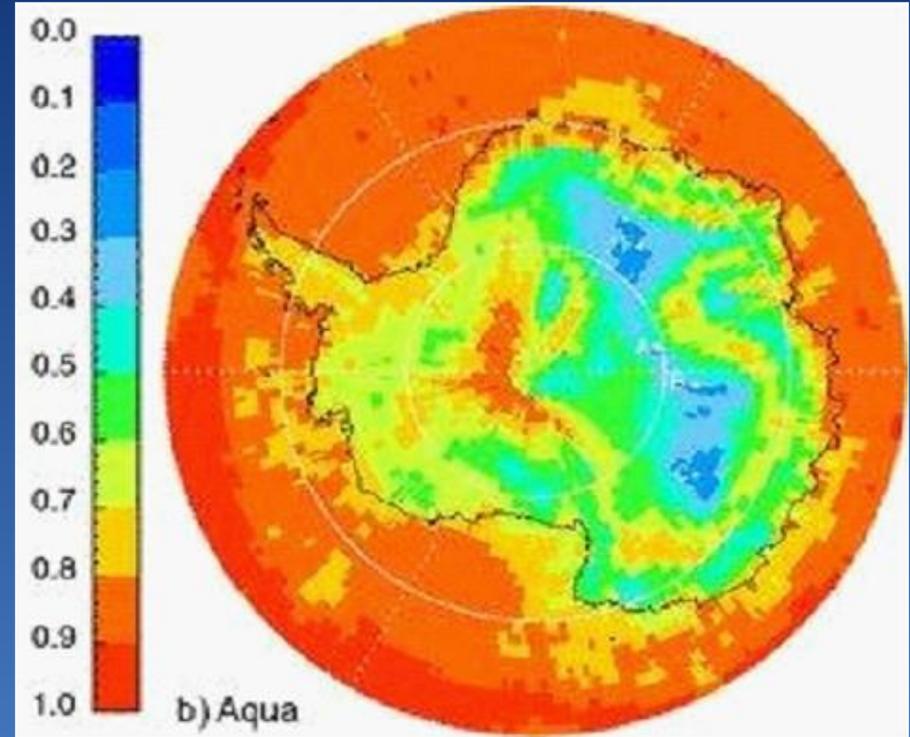
Kulesa (4th SCAR AAA Workshop 2017)

風速



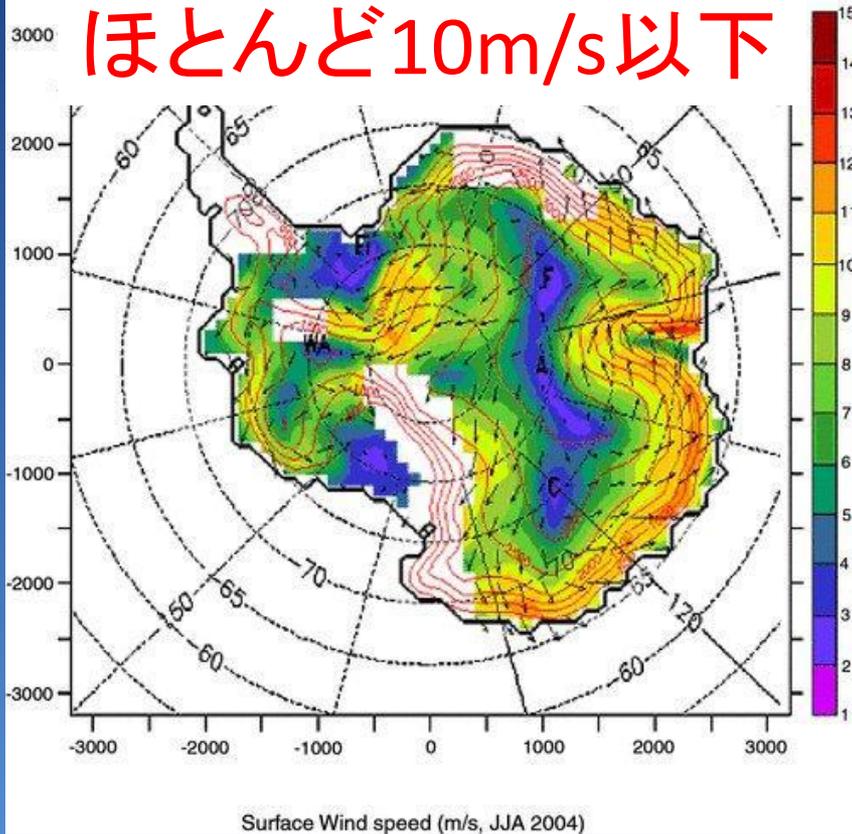
晴天率

雲の量(夜間)



晴天: 80~90%

ほとんど10m/s以下



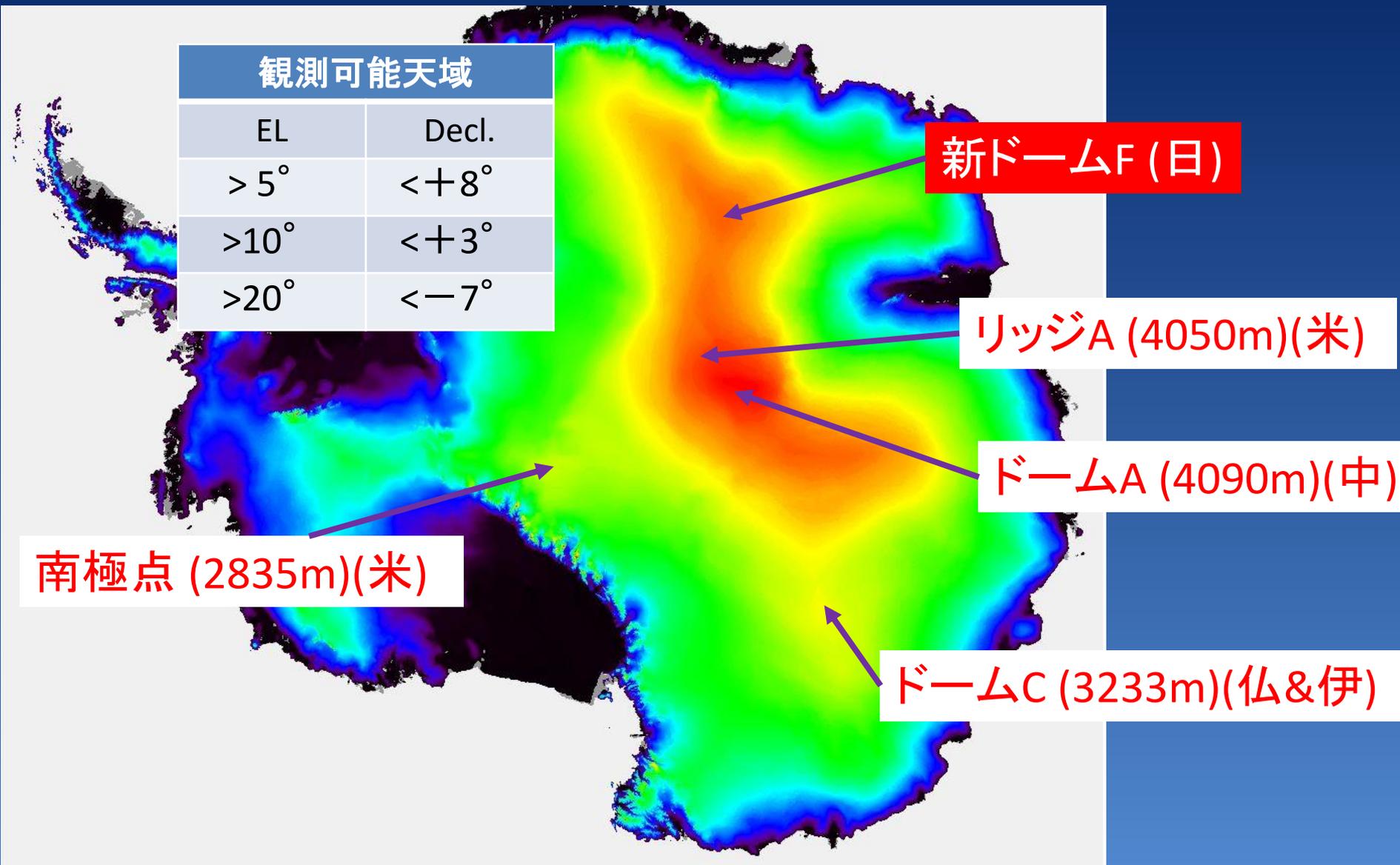
南極内陸部

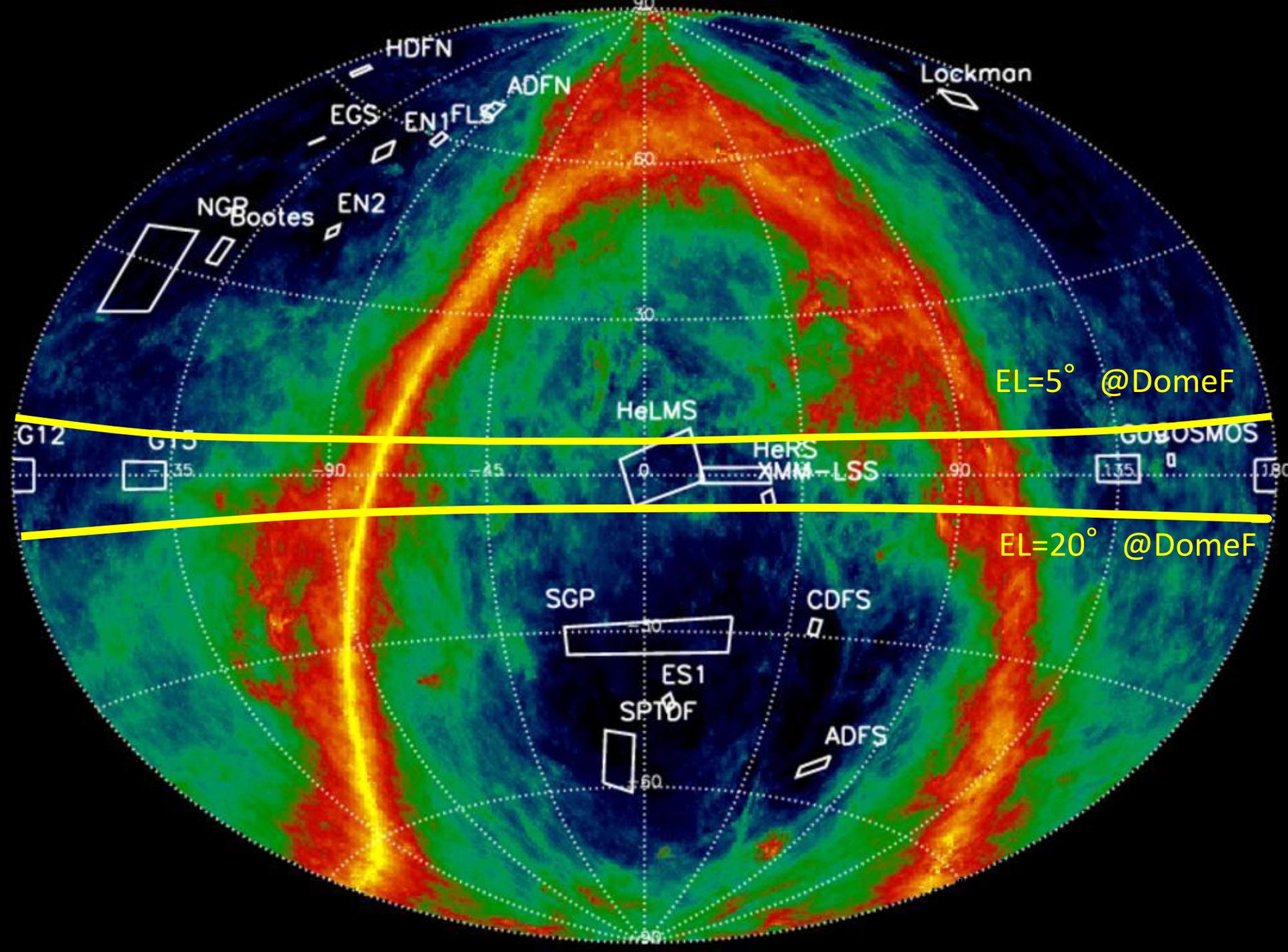
- テラヘルツ波：地上唯一の窓、大気の安定度
- サブミリ波：大気の透過率、大気の安定度
- ミリ波：大気の安定度
- 赤外線：地上唯一の窓、大気の安定度、
弱い背景光、高いシーイング

- 気球観測：周極風、長期間フライト
- 時間変動：冬季の連続観測

⇒ 地上最高の天文観測サイト

2. 南極10m・30m級テラヘルツ望遠鏡計画





HDFN

ADFN

EGS

EN1

FLS

EN2

NGP
Bootes

Lockman

EL=5° @DomeF

HeLMS

HeRS

XMM-LSS

G08
OSMOS

G12

G15

-90

-45

90

135

180

EL=20° @DomeF

SGP

CDFS

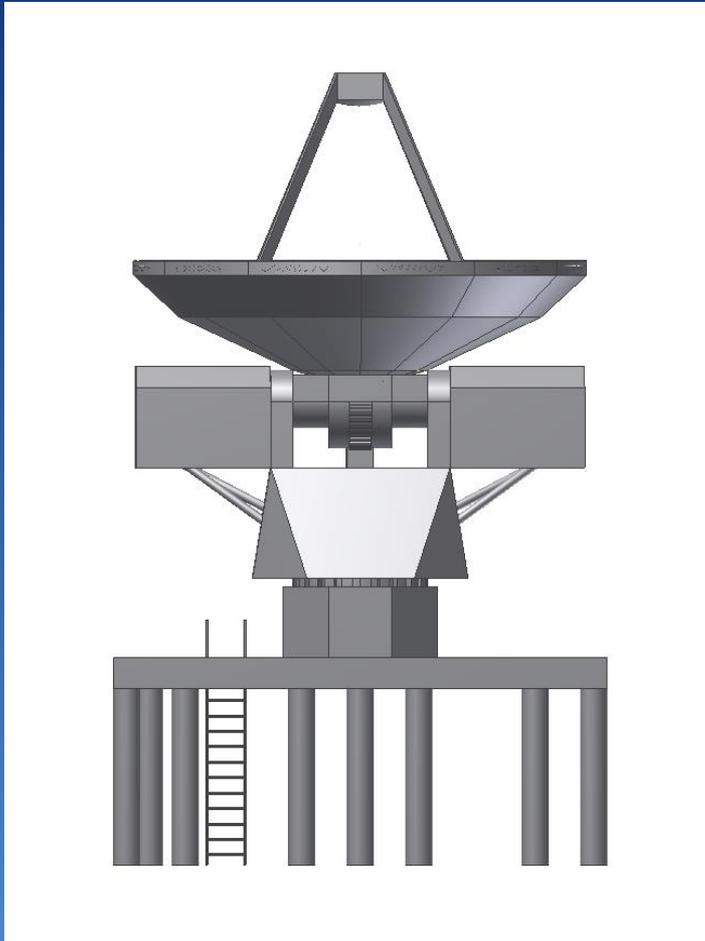
ES1

SPTDF

ADFS

90

10mテラヘルツ望遠鏡 仕様



- 口径 > 10m
- 鏡面制度 < 20 μ m
- 観測周波数 200GHz-1.5THz
- 視野 $\sim 1^\circ$
- 指向精度 0.5''
- 消費電力 < 35kVA
- 低温鋼材使用
- 高床式
- 霜対策

角分解能(10m)

200GHz	800GHz	1.5THz
37''	9.3''	5.1''

超広視野の実現性

- リッチー・クレチアン

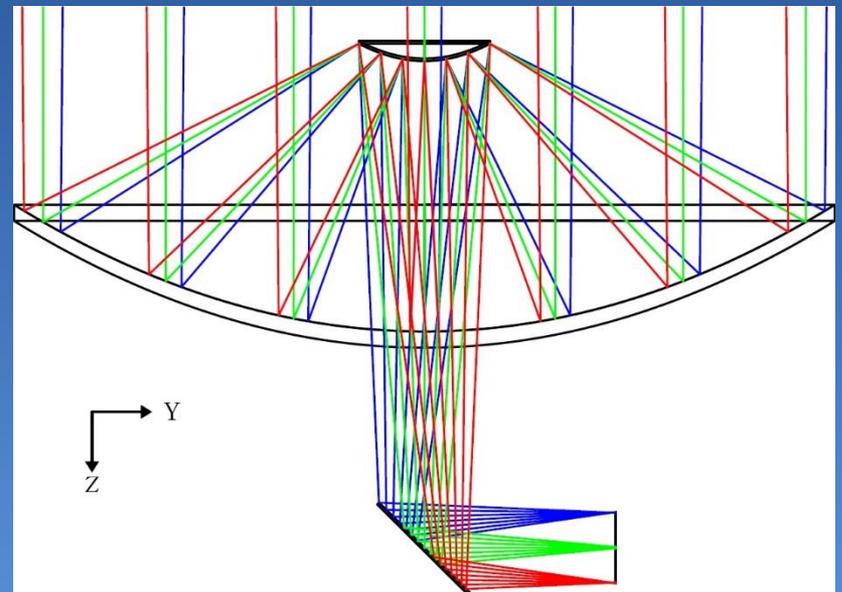
- 非点収差 \Rightarrow 電波カメラのセグメントの位置調整

- 幾何光学 + 波動光学 \Rightarrow 最適解

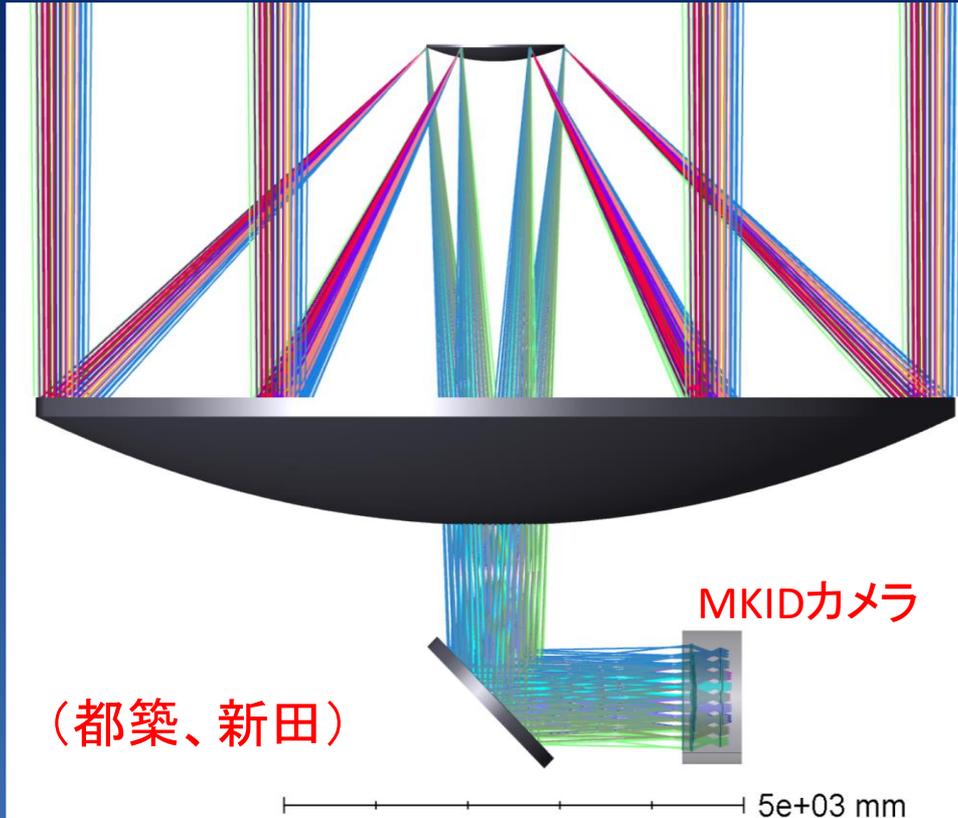
- 視野周辺での周波数無依存の条件

- \Rightarrow 視野 1° を実現する光学系の解

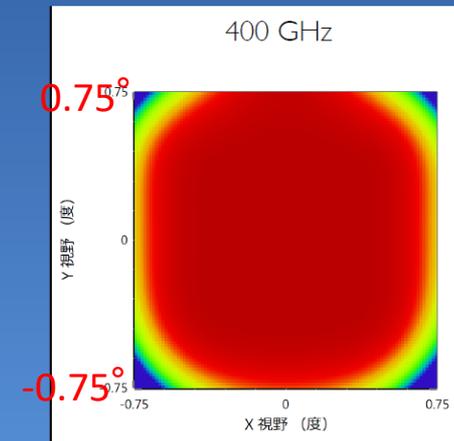
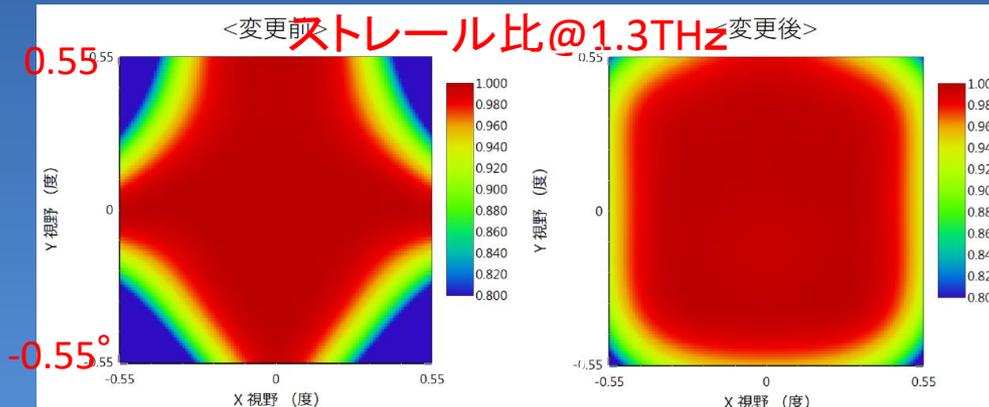
- (今田D論 2015年)



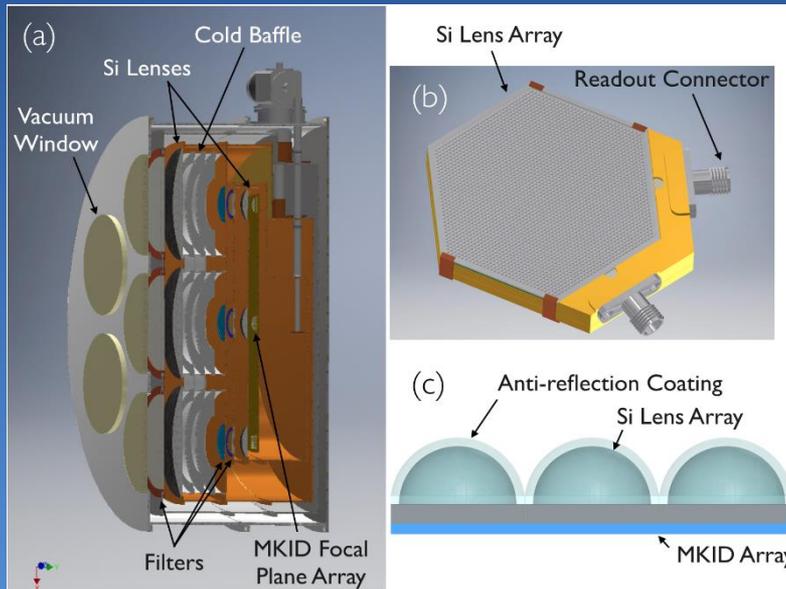
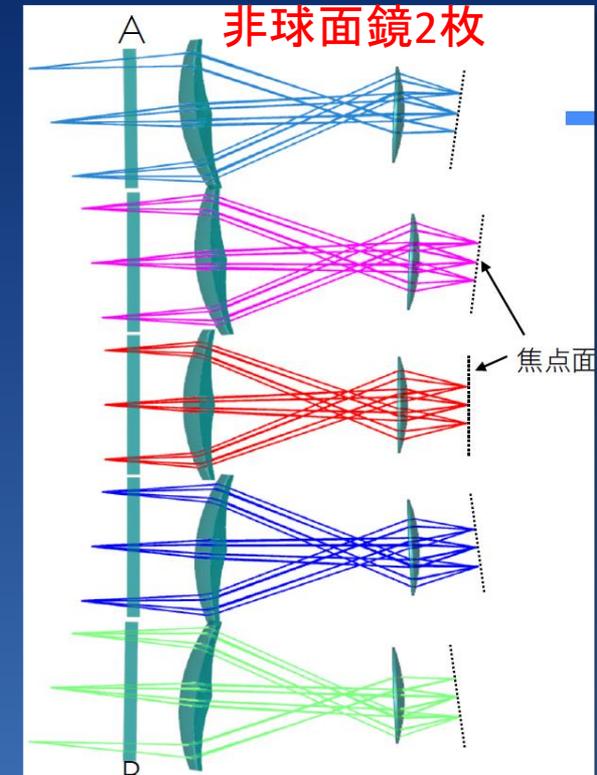
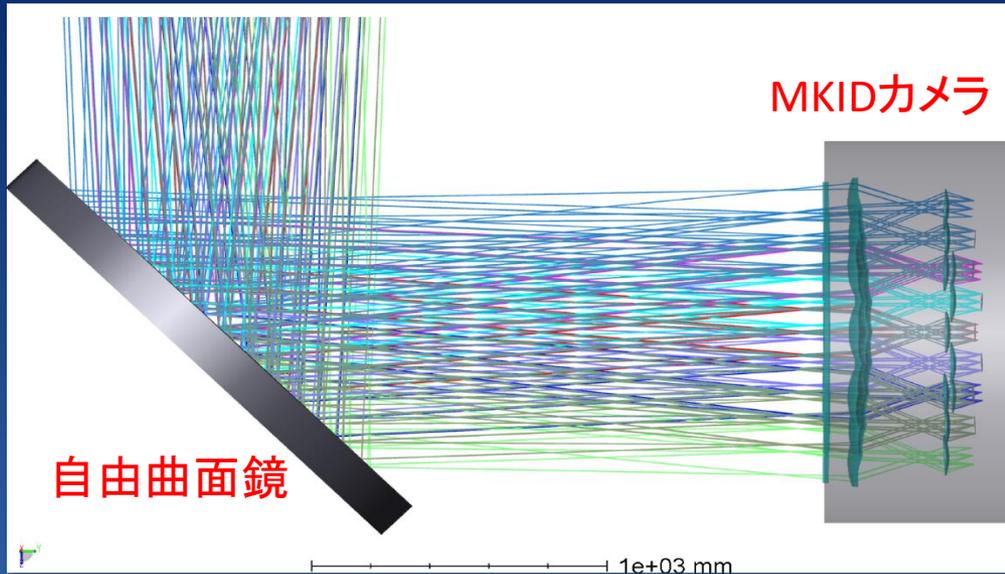
10m鏡光学設計



- 国立天文台(都築)と共同研究
- 光学系(今田 筑波大D論 2016)を微修正
- リッチー・クレチアン
 - 視野 $\sim 1.1^\circ$
 - \Rightarrow 400 GHzは 1.5° まで可能



10m用超広視野MKIDカメラ



- 視野を19分割
- 400 GHz、850 GHz、1.3 THz

10m望遠鏡 連続波感度

連続波観測 (注 1)

(冬季 50%レベル@ドームC)

周波数帯 (注 2)	感 度 (5σ rms)				角分解能	素子数
	$\tau = 60\text{sec}$	1 hour	10 hours	Confusion		
400 GHz	13 mJy	1.7 mJy	0.55 mJy	2.1 mJy	18.6"	700×2
850	39	5.1	1.6	1.5	8.7"	3000×2
1300	215	27.7	8.8	0.26	5.7"	1200×3(注 4)

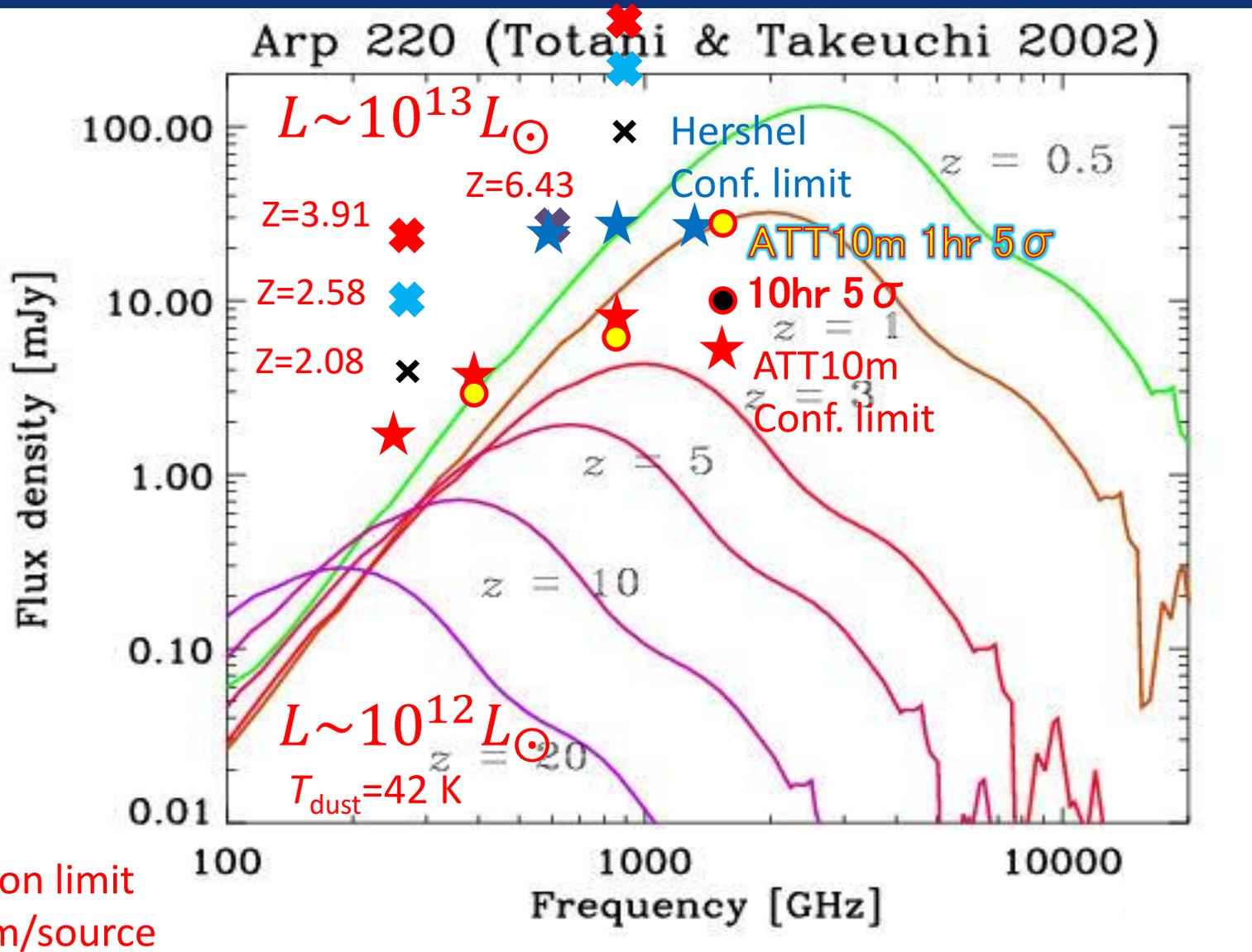
(注 1: 点源を観測したときのフラックス密度での感度)

(注 2: 当初は 400GHz+850GHz または 850GHz のみ。1300GHz は後から追加)

(注 3: Confusion limit は Blain+2002 を元に求める)

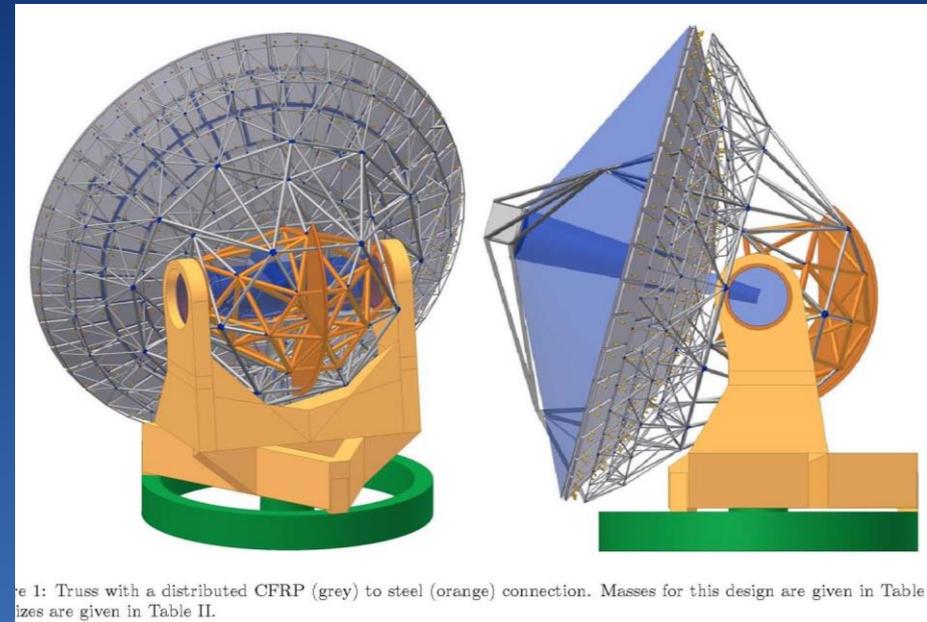
(注 4: ホーンを使用予定)

Survey of distant galaxies (10m)



南極30m級テラヘルツ望遠鏡

- ・口径 ~ 30 m
- ・重量 ~ 1000 t?
- ・電力 ~ 600 kVA?
- ・周波数 200~1500GHz
- ・視野 $\sim 1^\circ$
- ・角分解能 $12'' \sim 1.7''$
- ・越冬隊 ~ 5 人/冬
- ・建設地 新ドームふじ基地
- ・国際協力 アジア(台湾、タイ他),
(豪, 米, 欧)
- ・国立天文台+国立極地研
- ・運用期間 ~ 30 年以上



CCAT (25m Φ)

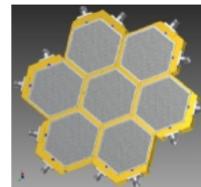


南極 30mTHz望遠鏡

30m望遠鏡 連続波感度

連続波電波カメラ(NKID)(案)

$$NEP = 6 \times 10^{-18} \text{ W Hz}^{-1/2} \rightarrow T_{RX} = 1.5 \text{ K for } B=40\text{GHz}$$

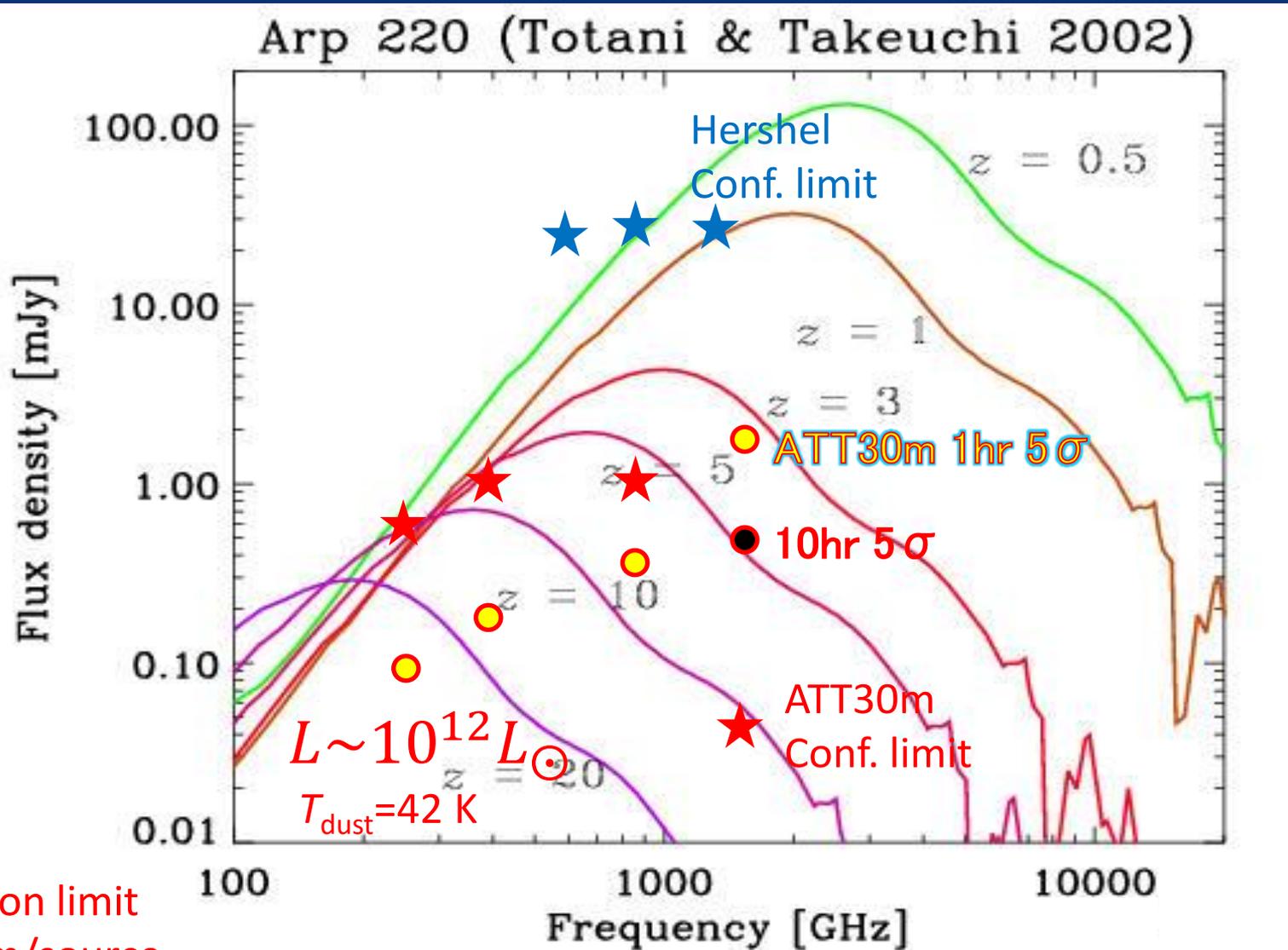


周波数帯 GHz	感度 ($5\sigma_{rms}$) (τ =積分時間)				角分解能	素子数 N	Mapping speed [deg ² hr ⁻¹ mJy ⁻²]	
	$\tau=60$ sec	1 hour	10 hours	Confusion				
230	0.67 mJy	0.087 mJy	0.027 mJy	0.19 mJy	11"	4000 × 2	128 × 2	レンズ
400	1.12	0.15	0.046	0.22	6.2"	6300 × 2	22 × 2	レンズ
650	1.68	0.22	0.069	0.052	3.8"	16600 × 3	9.8 × 3	レンズ
850	2.45	0.32	0.10	0.011	2.9"	27000 × 2	4.4 × 2	レンズ
1300	13.6	1.76	0.48	0.00035	1.9"	10800 × 2	0.024 × 2	ホーン
1500	46.4	6.00	1.89	0.00009	1.7"	14400 × 3	0.0022 × 3	ホーン

$$\text{Mapping speed (MS)} = \frac{N\Omega}{NEFD^2}$$

Total 7.2万素子 + 11.9万素子

Survey of distant galaxies (30m)



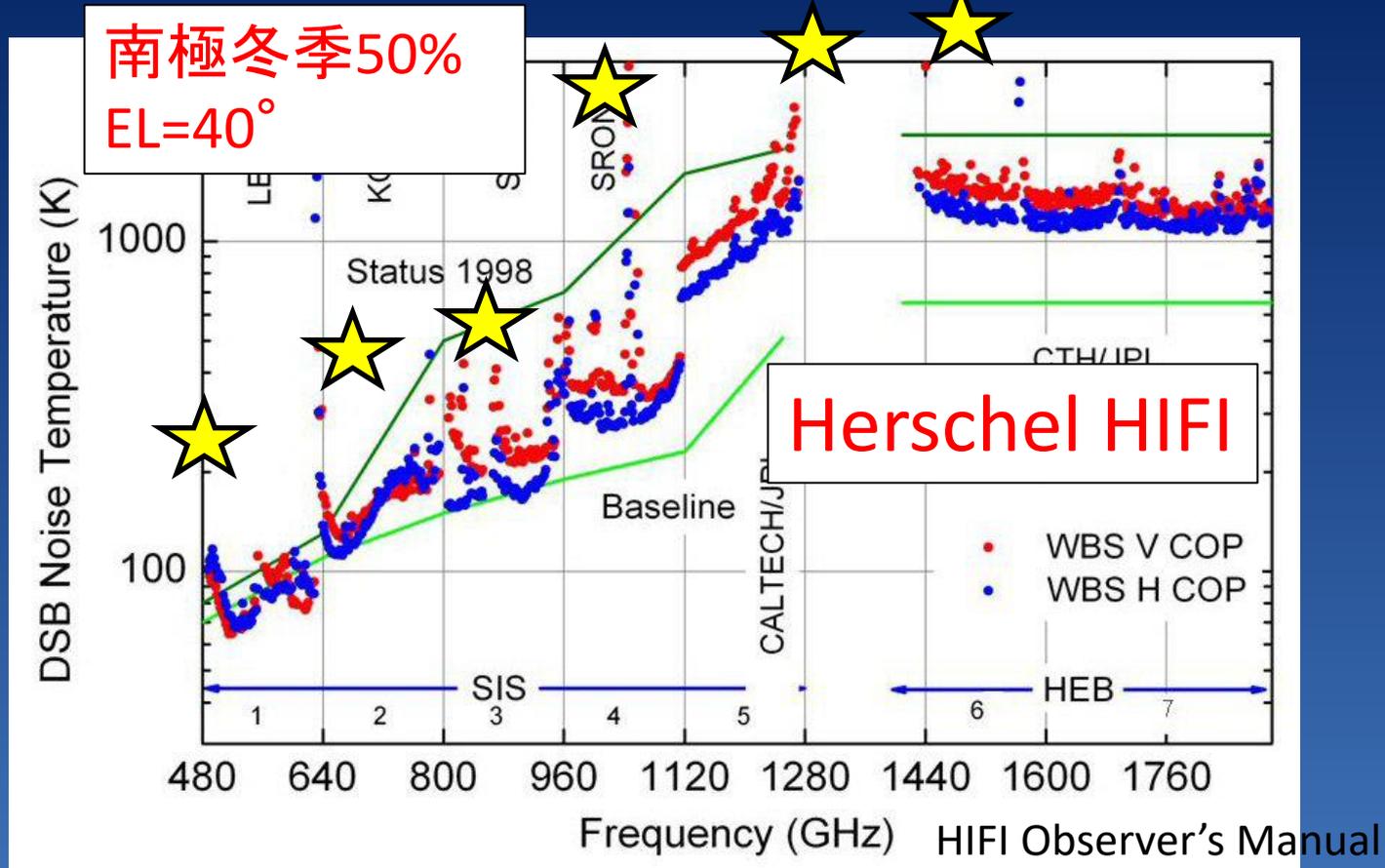
Confusion limit
30 beam/source

ヘテロダイン受信機(案) (冬季 50%レベル@新ドームふじ)

周波数帯	周波数範囲	Beam数	感度(5 σ rms for $\Delta V=1\text{km/s}$ or 100km/s) *					角分解能
			$\tau=1\text{min}$	1 hour		10 hours		
220 GHz	210-275 GHz	250	0.098 K (1km/s)	0.013 K (1km/s)	7.5 (mJy) (100km/s)	0.0040 K (1km/s)	2.4 (mJy) (100km/s)	11.3"
350	275-373	250	0.086	0.011	6.7	0.0035	2.1	7.1"
460	385-540	250	0.17	0.021	14	0.0067	4.4	5.5"
650	575-735	250	0.29	0.037	28	0.012	8.9	3.8"
850	775-965	250	0.46	0.060	55	0.019	17	2.9"
1000	1000-1060	100	1.1	0.14	157	0.045	50	2.5"
1300	1250-1380	100	1.5	0.19	242	0.060	77	1.9"
1500	1450-1550	100	2.4	0.31	840	0.096	266	1.7"

マルチビーム (* ON点積分時間。感度はON+OFF観測時)

分光観測(システム雑音温度)



Herschel HIFI	南極30m
Beam size 13"-39"	高角分解能(1.7"-12")
Single beam	多素子化が可能(>100?)
DSB	2SB

サイエンスの検討

国立天文台研究集会

- 2015年11月18日-19日@国立天文台(64名)
“南極で切り開くテラヘルツ天文学”
- 2017年3月2日-3日@国立極地研(47名)
“南極30m級テラヘルツ望遠鏡によるサイエンス”
- 2018年3月27日@筑波大学
“南極30m級テラヘルツ望遠鏡によるAGNと爆発的星形成銀河のサイエンス”

国立極地研研究集会

- 2018年9月12日@極地研
“南極30m級テラヘルツ望遠鏡によるサイエンス(星惑星系形成)”
- 2019年12月21日@極地研
“テラヘルツ波が拓く新しい宇宙像”
- 2021年3月15日@zoom
“南極テラヘルツ望遠鏡によるサイエンスの検討”

30mテラヘルツ望遠鏡によるサイエンス

- 星惑星系形成
 - コア構造を分解しながら磁場の高感度な広域観測
⇒星・円盤形成時の磁場の役割
- 星間化学
 - 基本的な軽い分子の基底状態の遷移観測 (H_2D^+) ⇒重水素濃縮
- 銀河面サーベイ
 - [CI] (492GHz, 809GHz) + CO (4-3, 7-6) 同時観測
⇒分子雲形成・進化
 - 高速度・高励起ガスの探査
⇒中質量ブラックホール、野良ブラックホール
- 近傍銀河
 - [CI]輝線の狭帯域撮像、ダスト連続波によるサーベイ
⇒分子ガス量の正確な測定
 - CO多輝線、[CI]、[NII]マッピング ⇒分子ガスの物理状態 vs. 星形成率
- 銀河形成・進化
 - [OIII]、[CII]、[NII]サーベイ ⇒銀河の星形成史、金属量進化史
 - 原始銀河の H_2 直接検出

など

SPICAの目指したサイエンスでカバーできるものがあるか？

スケジュール

