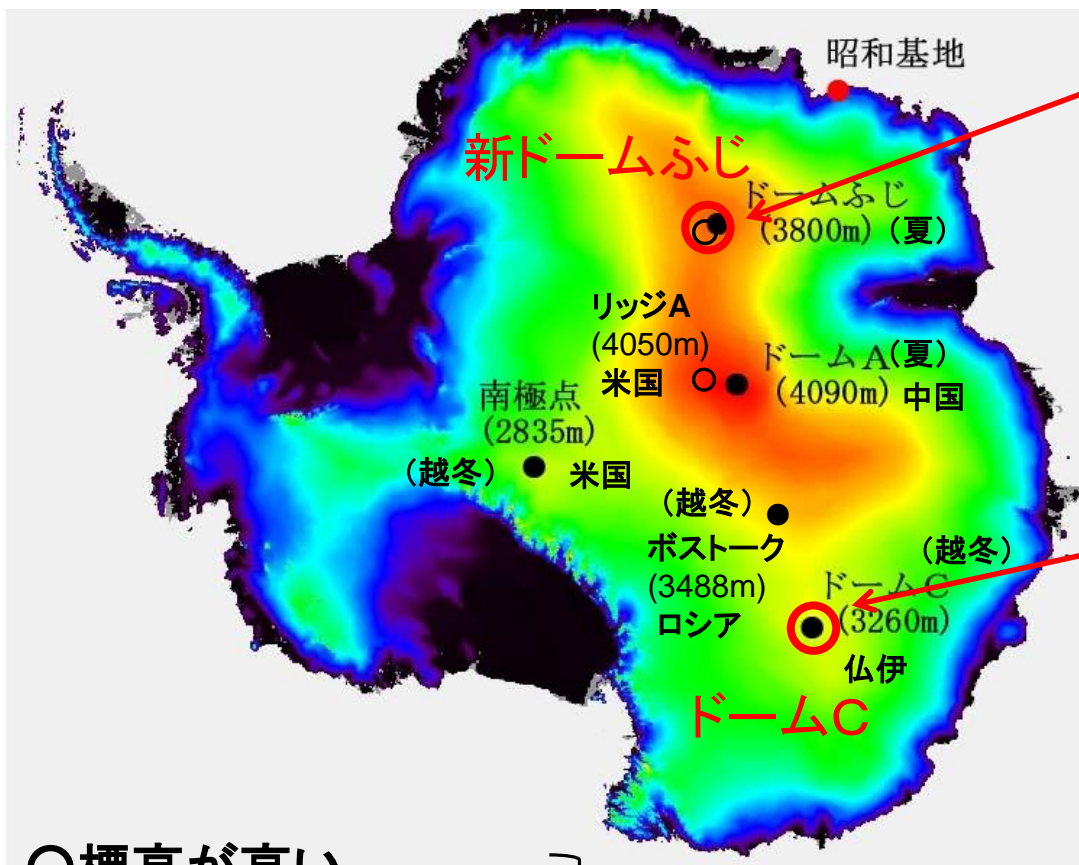


# 南極30m級テラヘルツ望遠鏡 計画

筑波大学数理物質系  
中井直正

# 南極THz望遠鏡計画@南極高原地帯

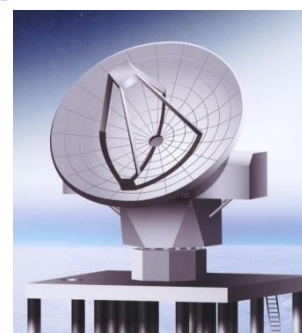


## (2) 南極30m級電波望遠鏡

- ・200GHz~1500GHz
- ・視野~1度四方
- ・国立天文台+国立極地研究所
- ・国際協力(アジア等)
- ・建物・輸送設備等
- 望遠鏡の付帯設備として要求
- ・運用期間~30年

## (1) 南極10m電波望遠鏡

(予算要求中)



- ・200GHz~1500GHz
- ・鏡面誤差<20μm
- ・指向誤差<0.5"
- ・視野~1度四方
- ・電波カメラ
- ・ヘテロダイン受信機

○標高が高い

3200 m ~ 4000 m

○気温が極めて低い

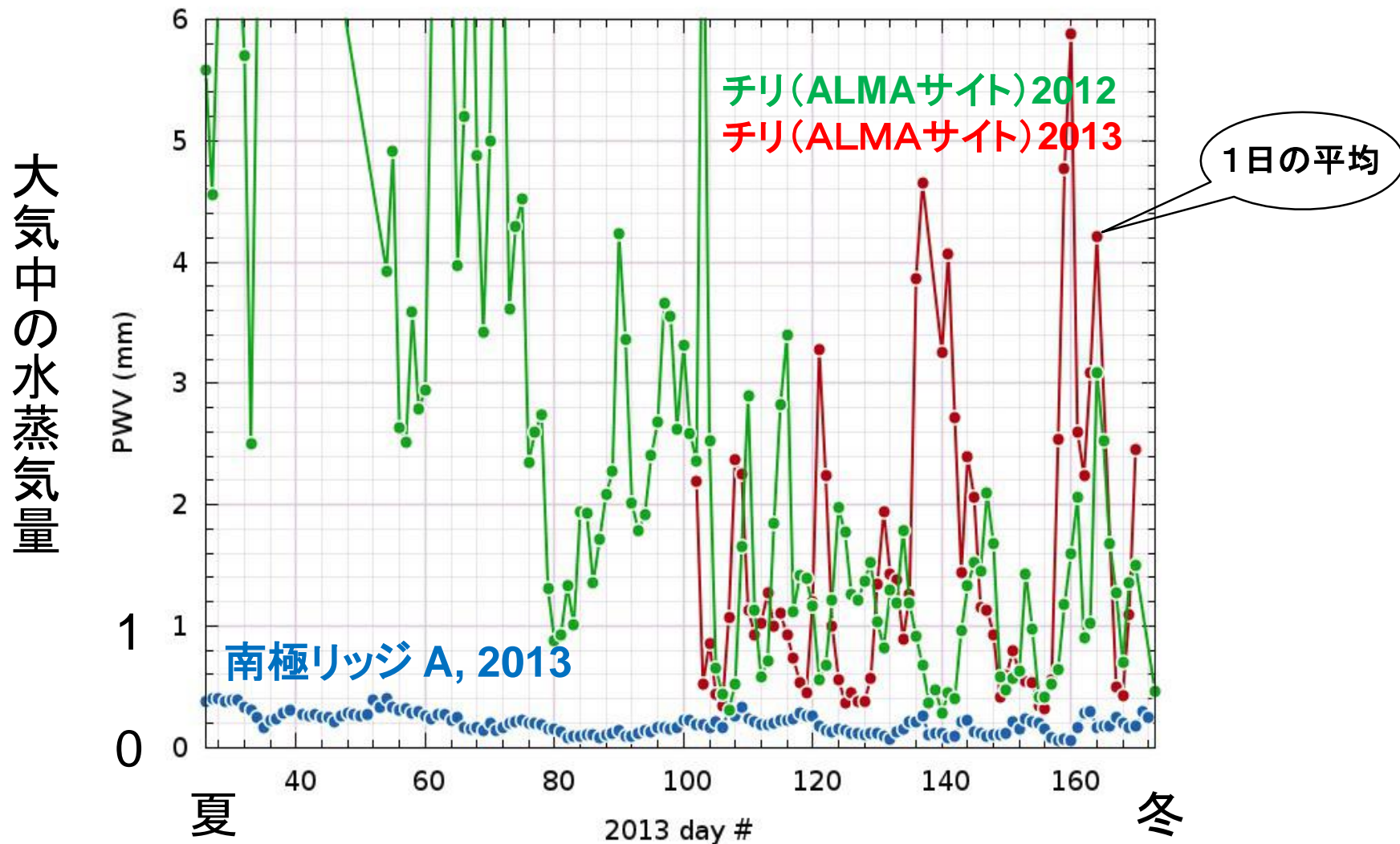
最高 -20 °C  
平均 -54 °C  
最低 -80 °C



水蒸気量: 極めて少ない

晴天率~9割  
風速<10m/s

# 南極リッジ Aでの大気中の水蒸気量(2013)

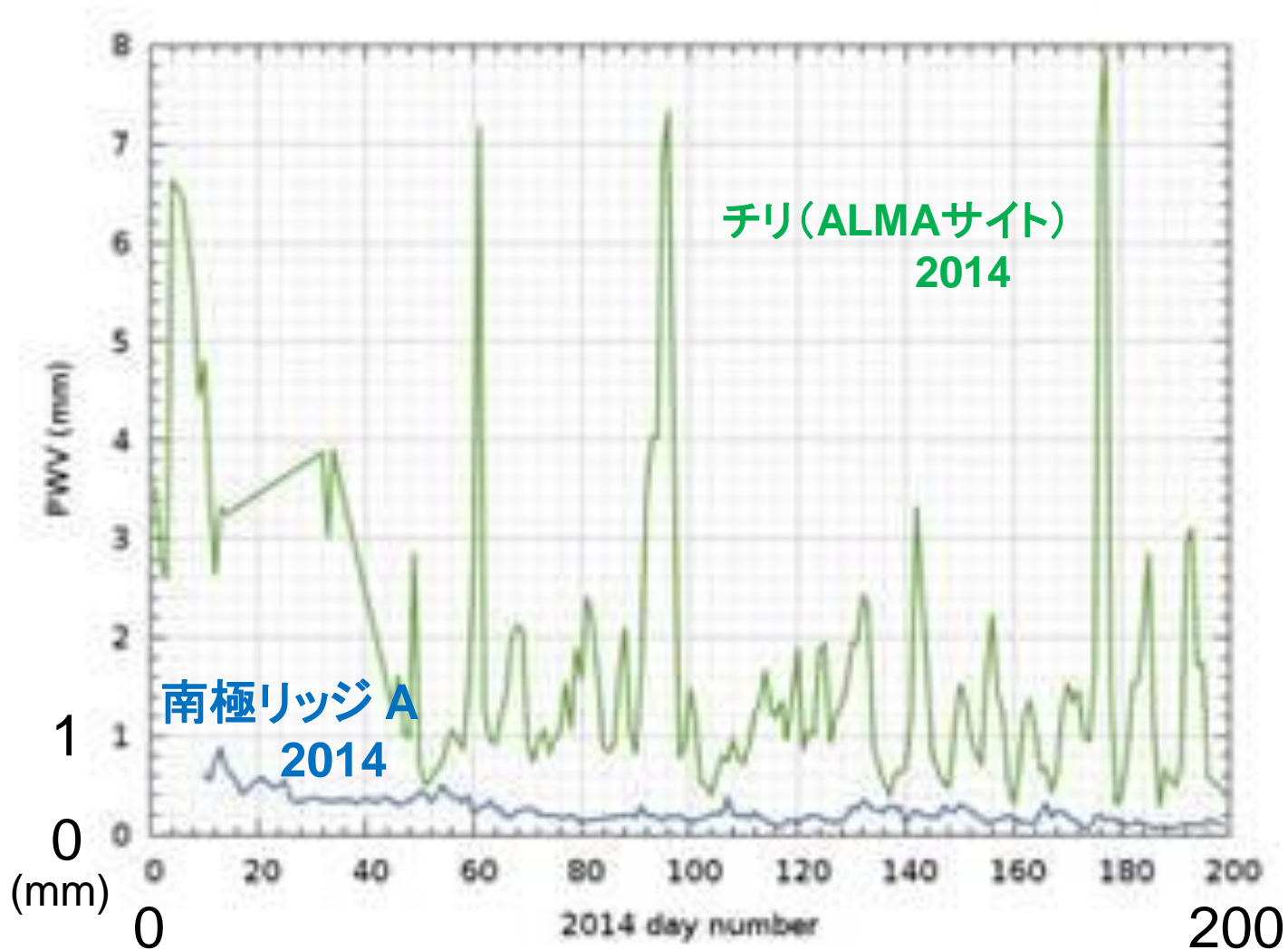


冬のmeridian 0.13mm  
30%は0.10mm以下

Kulesa (2013): アリゾナ大学

# 南極リッジ Aでの大気中の水蒸気量(2014)

大気中の水蒸気量



2014 Day number

Burton+2015  
From Kulesa



# 大気透過率 (冬期50% (25%)) (計算値)

サブミリ波    テラヘルツ波

世界最高 ← | → 世界で唯一可能

300 $\mu$ m

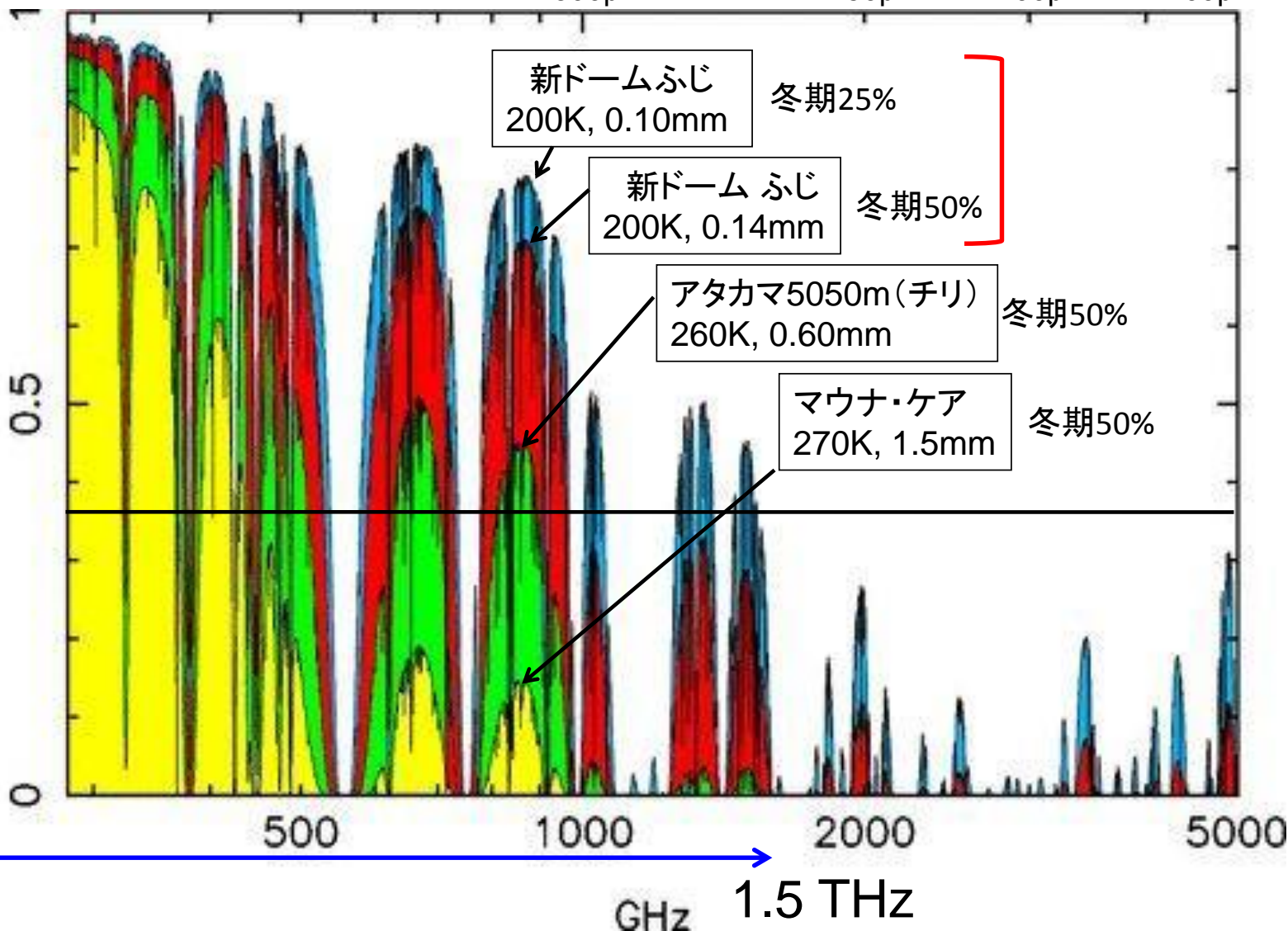
150 $\mu$ m

100 $\mu$ m

60 $\mu$ m

大気透過率

Transmission

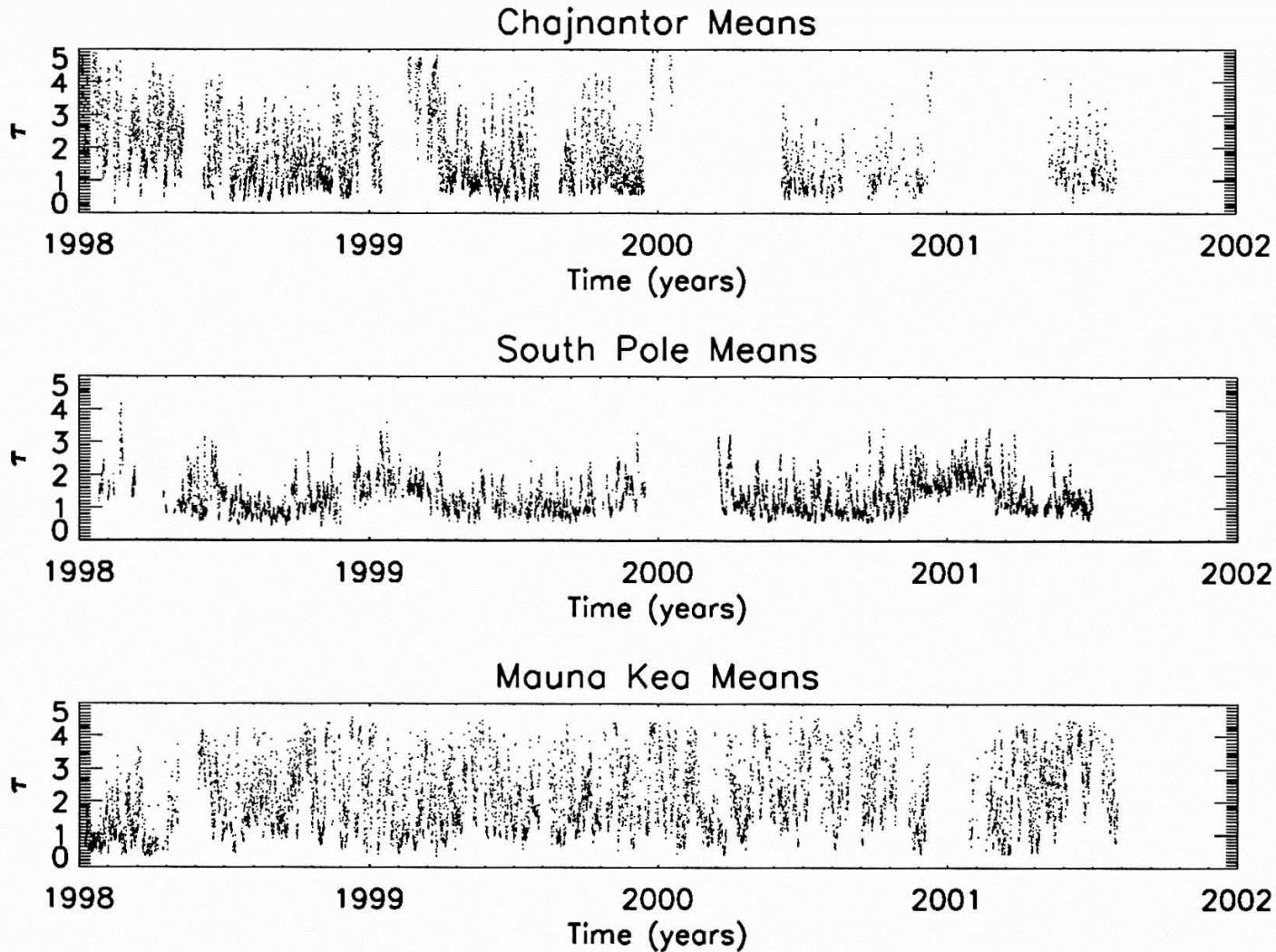


# 大気の安定度(1)

860 GHz = 350  $\mu\text{m}$  @南極点

(Peterson etc 2003 PASP 115, 383)

↑ 光学的厚み



チリ  
ALMAサイト  
(5000 m)

南極点  
(2840 m)

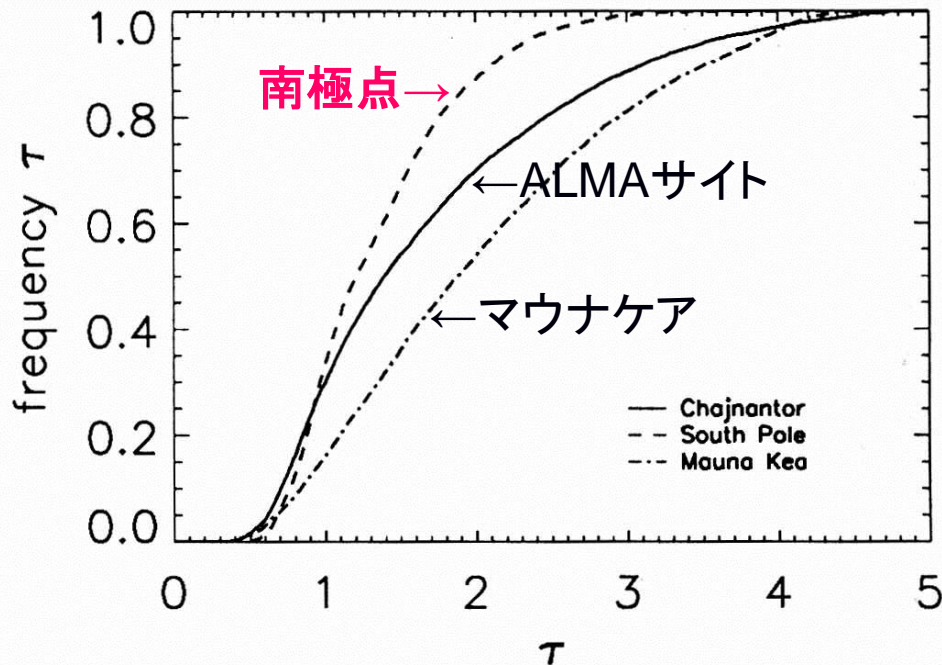
ハワイ  
マウナケア  
(4000 m)



# 大気の安定度(2)

860 GHz = 350  $\mu\text{m}$  @南極点

(Peterson etc 2003 PASP 115, 383)

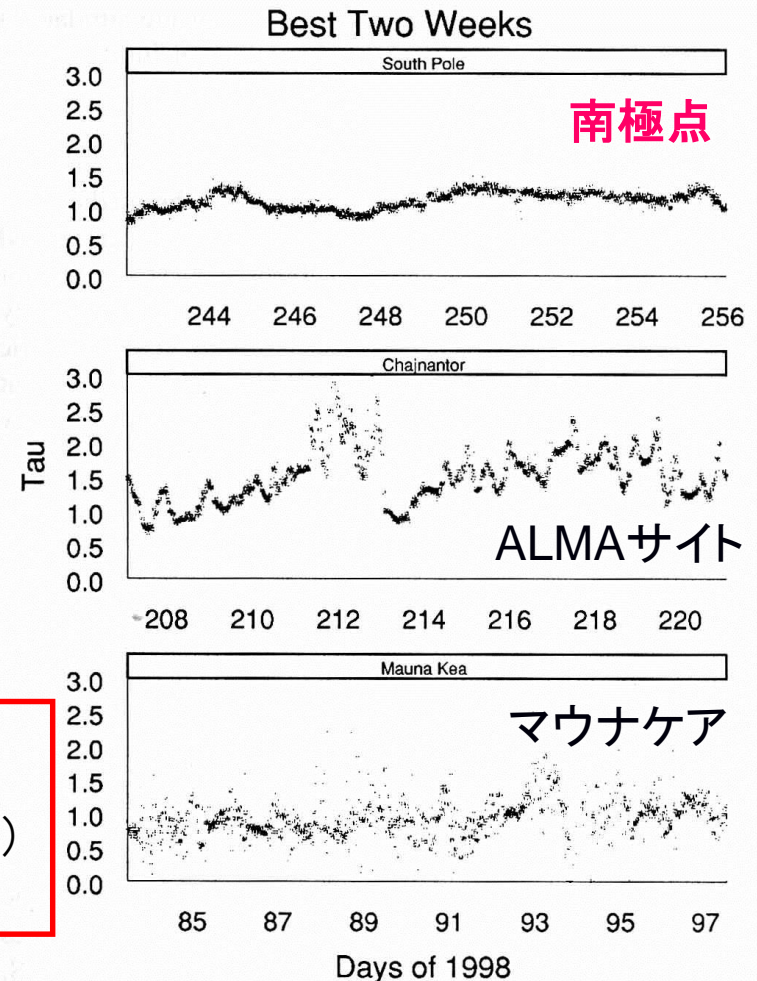


**大気の安定度： 抜群に良い**

→特に連続波観測に有効(ミリ波、サブミリ波でも)  
(頭上には常に高気圧がいる)

cf. チリ、マウナケア

「サブミリ波銀河」？ 実態は0.8mm(350GHz)~2mm



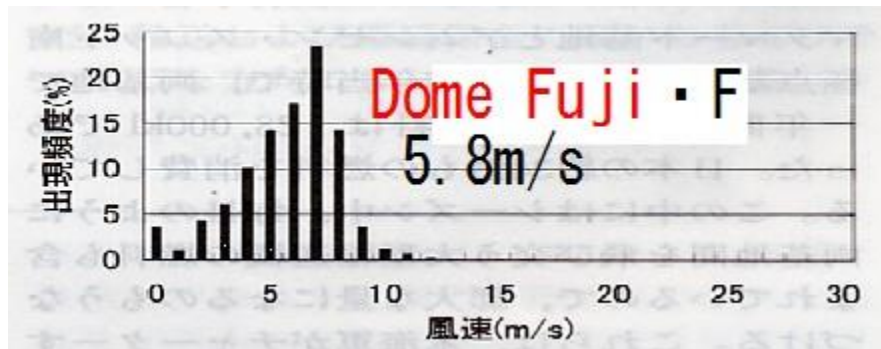
## 高い晴天率

快晴 = 68% (1994-95、年間)  
晴天 = 8~9割

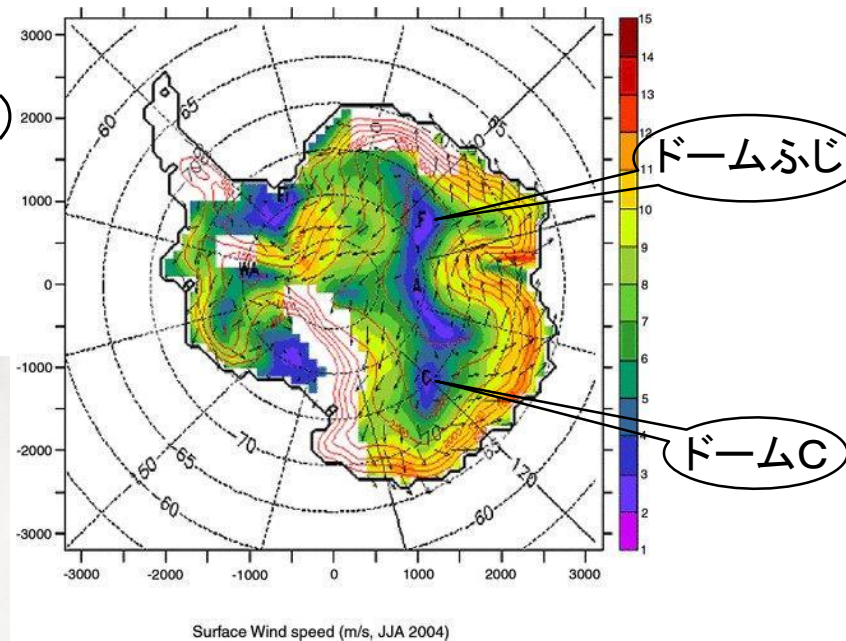
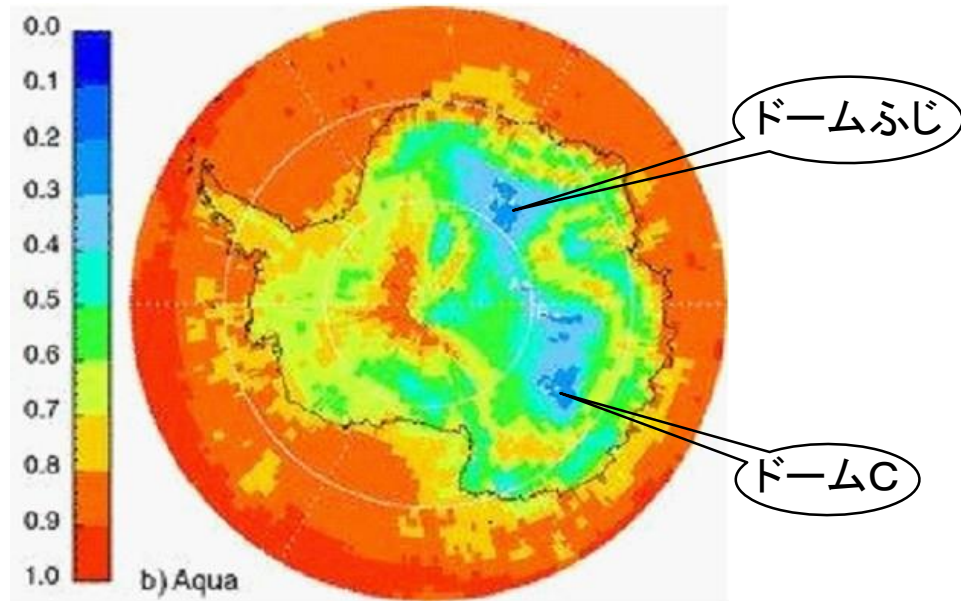
## 弱い風

→ 高いアンテナ指向性

- ・ドームふじ 平均 5.8 m/s  
(10 m/sは、ほとんど無し)
- ・ドームC 平均 3 m/s
- ・ALMAサイト 平均 6.1 m/s

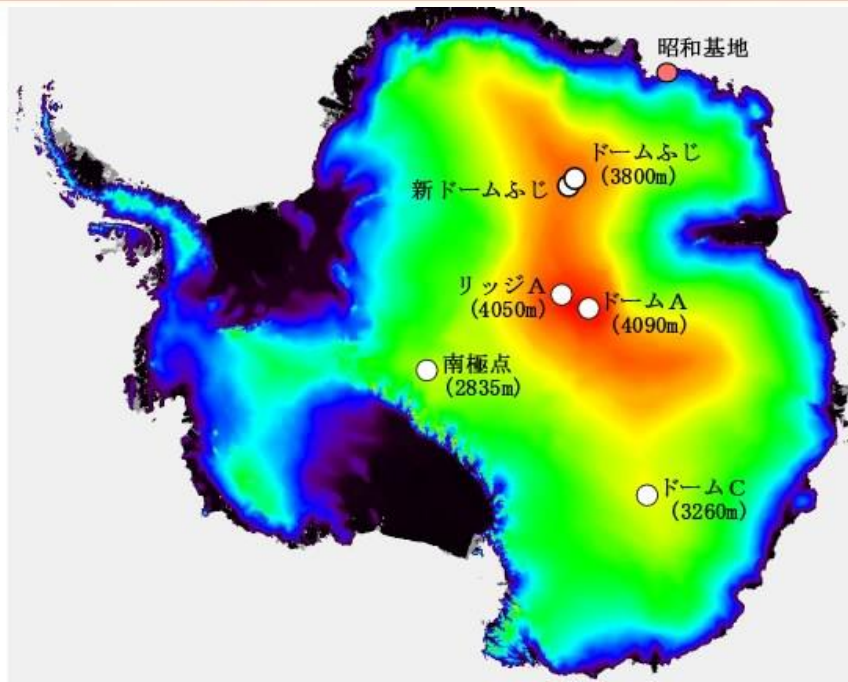
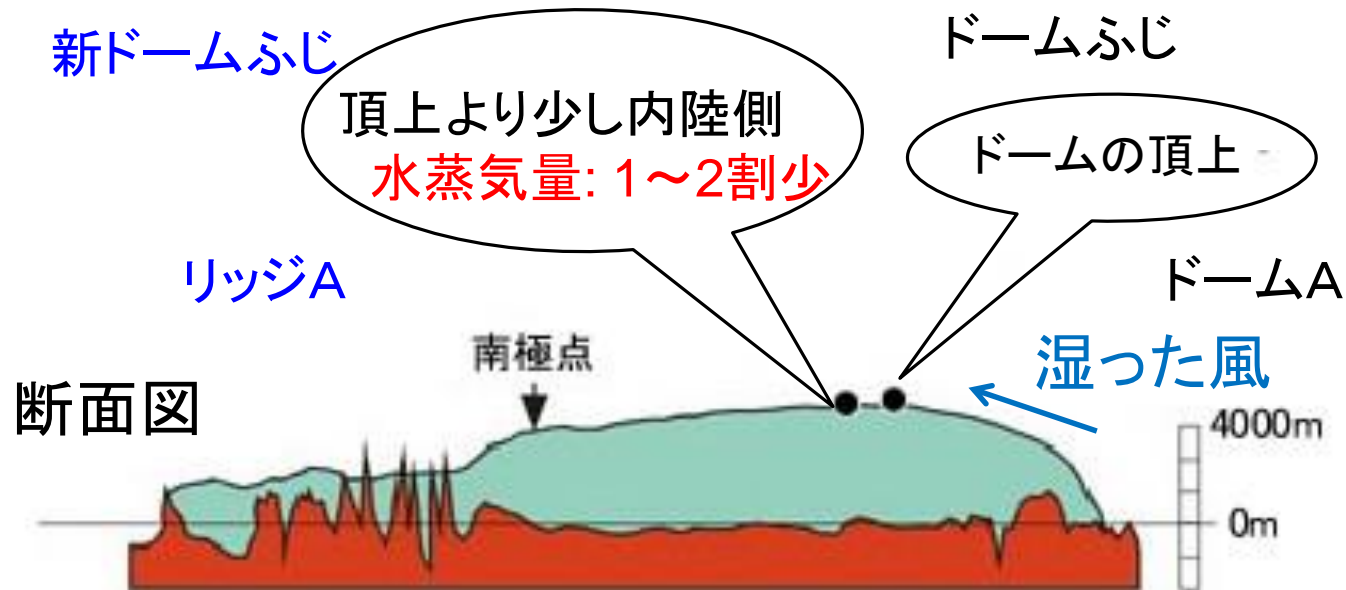


## 雲の量(夜間)

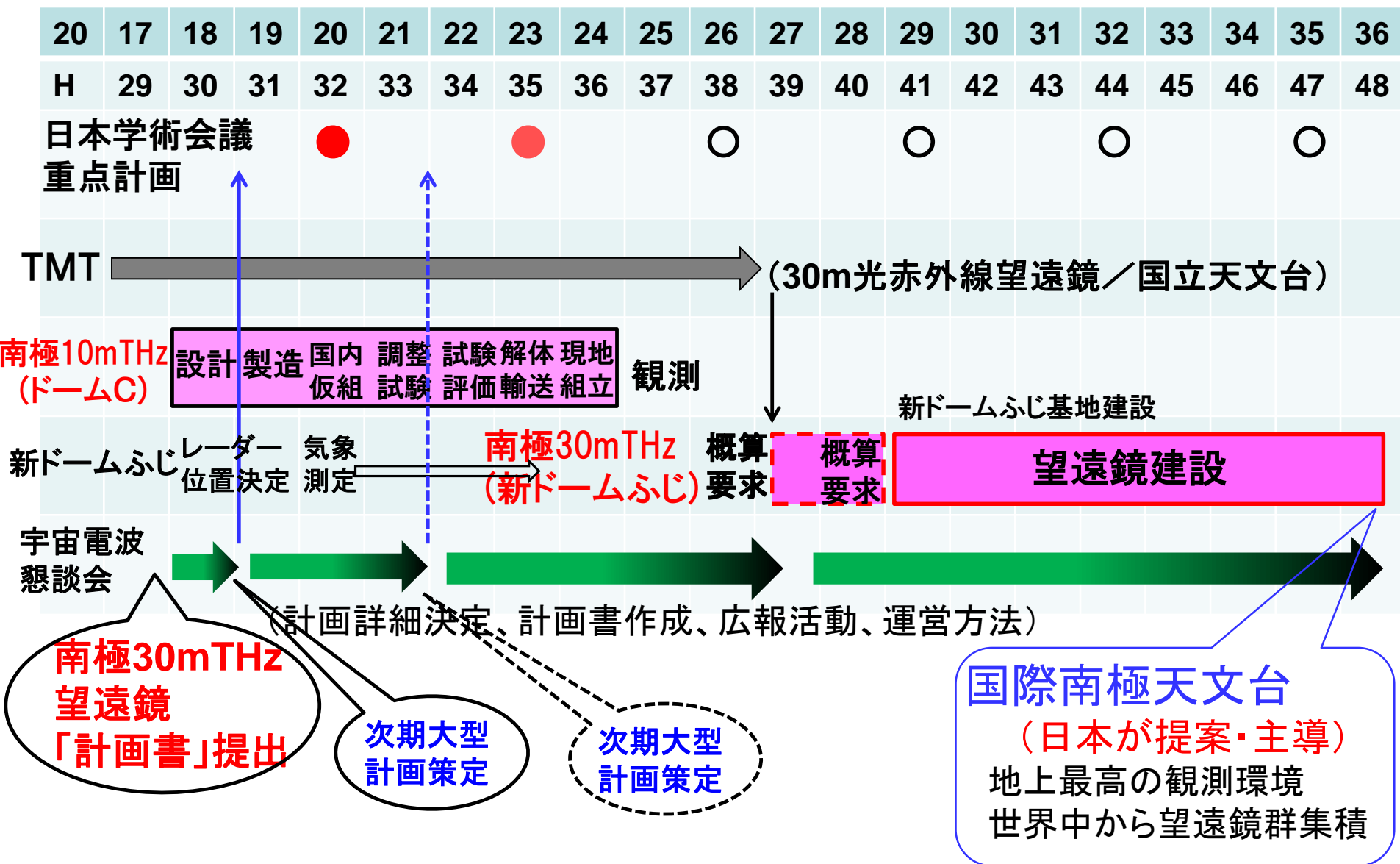




# 水蒸気量の少ないところ



# 南極30m級テラヘルツ望遠鏡建設計画



# 南極30m級テラヘルツ望遠鏡

- ・口径  $\sim 30 \text{ m}\Phi$
- ・重量  $\sim 1000 \text{ トン}$
- ・電力  $\sim 600 \text{ kVA}$ (昭和基地 $\times 2$ )
- ・周波数  $200 \text{ GHz} \sim 1500 \text{ GHz}$
- ・角分解能  $12'' \sim 1.7''$
- ・視野  $\sim 1 \text{ 度}\Phi$
- ・越冬隊 $\sim 5 \text{ 人}$ (保守)／冬
- ・建設地 **新ドームふじ基地**
- ・国際協力 (リッジAの可能性?)  
アジア, 豪州(大学), 米国(大学), 欧州(?)
- ・国立天文台＋国立極地研究所
- ・建物・輸送設備等  
望遠鏡の付帯設備として要求
- ・運用期間 $\sim 30 \text{ 年以上}$

CCAT 25m  $\rightarrow$  30m級

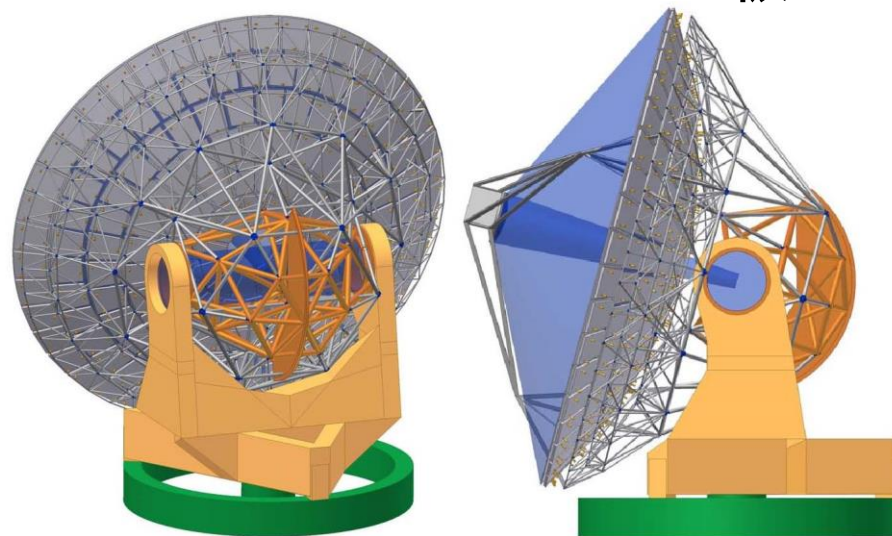


Figure 1: Truss with a distributed CFRP (grey) to steel (orange) connection. Masses for this design are given in Table I, rod sizes are given in Table II.

- ・保守( $\sim 5 \text{ 人}$ ／越冬)  
統括1、アンテナ系1、電波カメラ系1、  
ヘテロダイン受信機系1、制御ソフト1
- ・観測運用(南極－衛星－日本)  
国内から制御  
太い衛星回線要(観測データ転送)



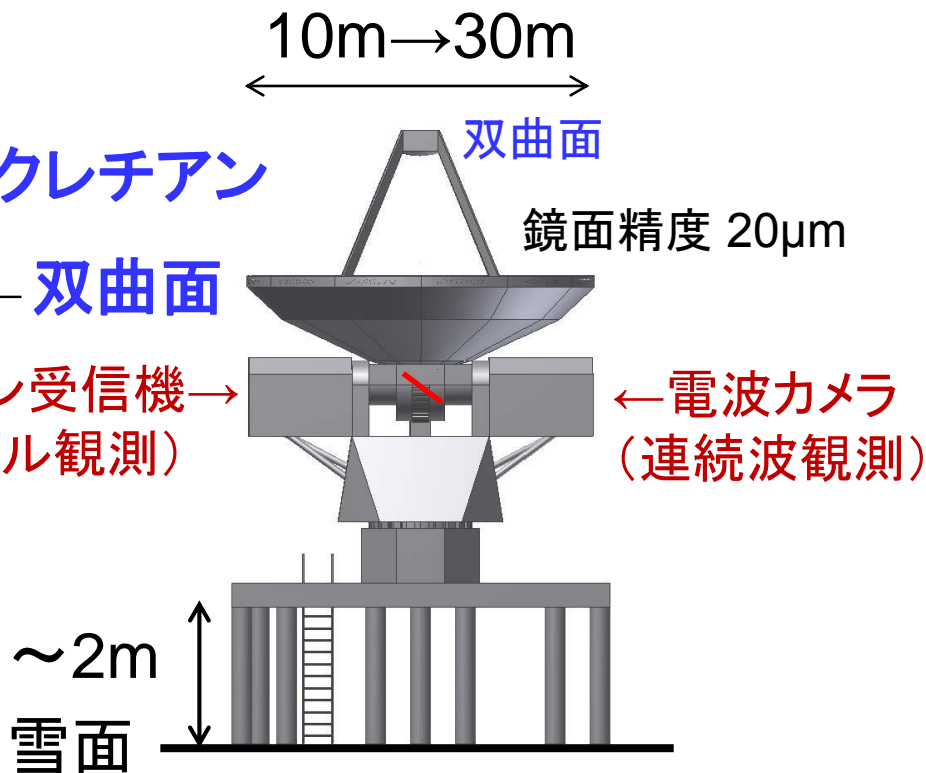
# 南極30m級テラヘルツ望遠鏡

光学系

リッチー・クレチアン

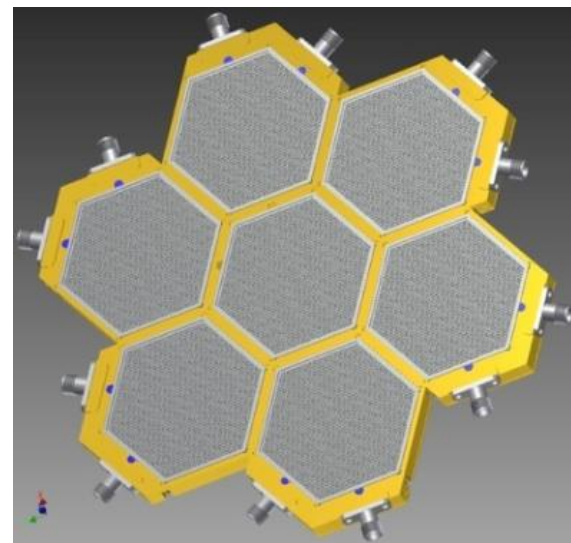
コマ収差小 ← 双曲面

ヘテロダイン受信機 →  
(線スペクトル観測)



- ・200GHz~1500GHz
- ・鏡面誤差 $<20\mu\text{m}$
- ・指向誤差 $<0.2''$
- ・視野~1度四方

電波カメラ



広域サーベイにおいて

30m $\Phi$  × 19万台と同等

→ 1.3km $\Phi$ の集光面積と同等

~19万素子

⇒ 大規模広域サーベイ

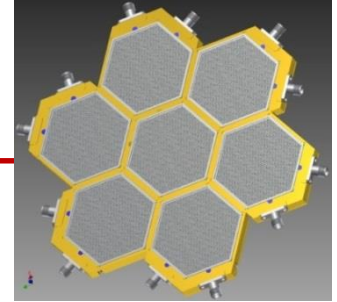
# ヘテロダイン受信機(案)

(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( $5\sigma_{rms}$ for $\Delta V=1\text{km/s}$ ) *					角分解能
			$\tau=1\text{min}$	1 hour		10 hours		
220 GHz	210-275 GHz	25	0.096 K 1km/s	0.012 K 1km/s	(Jy) 100km/s	0.0039 K 1km/s	(Jy) 100km/s	11.3"
350	275-373	25	0.081	0.010	0.0061	0.0033	0.0020	7.1"
450	385-540	25	0.15	0.019	0.012	0.0061	0.0039	5.5"
650	575-735	25	0.21	0.027	0.020	0.0086	0.0064	3.8"
850	775-965	25	0.34	0.043	0.040	0.014	0.013	2.9"
1000	1000-1060	16	0.86	0.11	0.124	0.035	0.039	2.5"
1300	1250-1380	16	0.92	0.12	0.153	0.038	0.048	1.9"
1500	1450-1550	16	1.05	0.13	0.352	0.043	0.116	1.7"

\* ON点積分時間。感度はON+OFF観測時。

# 電波カメラ(案)



## 電波カメラ(NKID)

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

周波数帯 GHz	感 度 (5σrms) (τ=積分時間)				角分 解能	素子数	Mapping speed [deg <sup>2</sup> hr <sup>-1</sup> mJy <sup>-2</sup> ]	
	τ=60 sec	1 hour	10 hours	Confu sion				
<b>350</b>	0.80 mJy	0.10 mJy	0.03 mJy	0.22 mJy	7.1"	4800 × 2	44 × 2	レンズ
<b>400</b>	1.12	0.15	0.046	0.20	6.2"	6300 × 2	22 × 2	レンズ
<b>650</b>	1.68	0.22	0.069	0.052	3.8"	16600 × 3	9.8 × 3	レンズ
<b>850</b>	2.45	0.32	0.10	0.011	2.9"	27000 × 2	4.4 × 2	レンズ
<b>1300</b>	13.6	1.76	0.56	0.00035	1.9"	10800 × 2	0.024 × 2	ホーン
<b>1500</b>	46.4	5.99	1.89	0.00009	1.7"	14400 × 3	0.0022 × 3	ホーン

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

Total 7.2万素子  
+11.9万素子



# 超広域サーベイ観測

南天全体

発見!

南極テラヘルツ望遠鏡

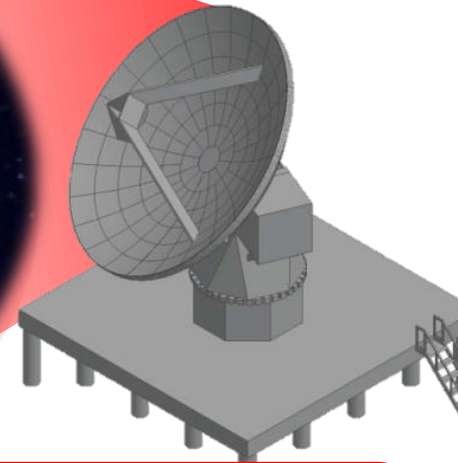
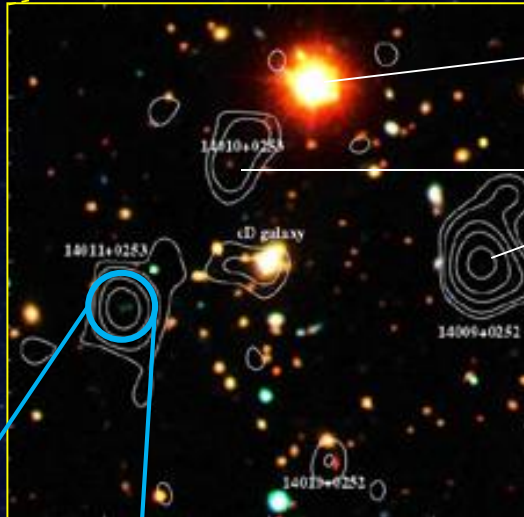
①南天全体から暗黒銀河を発見

拡大

光学写真

近くの銀河(光学写真)

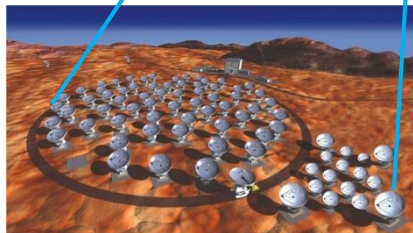
遠方銀河(暗黒銀河)



- 超伝導電波カメラ  
10万画素
- 超広視野(世界最大)  
サーベイが得意

アルマ望遠鏡(チリ)、  
すばる、TMTなど

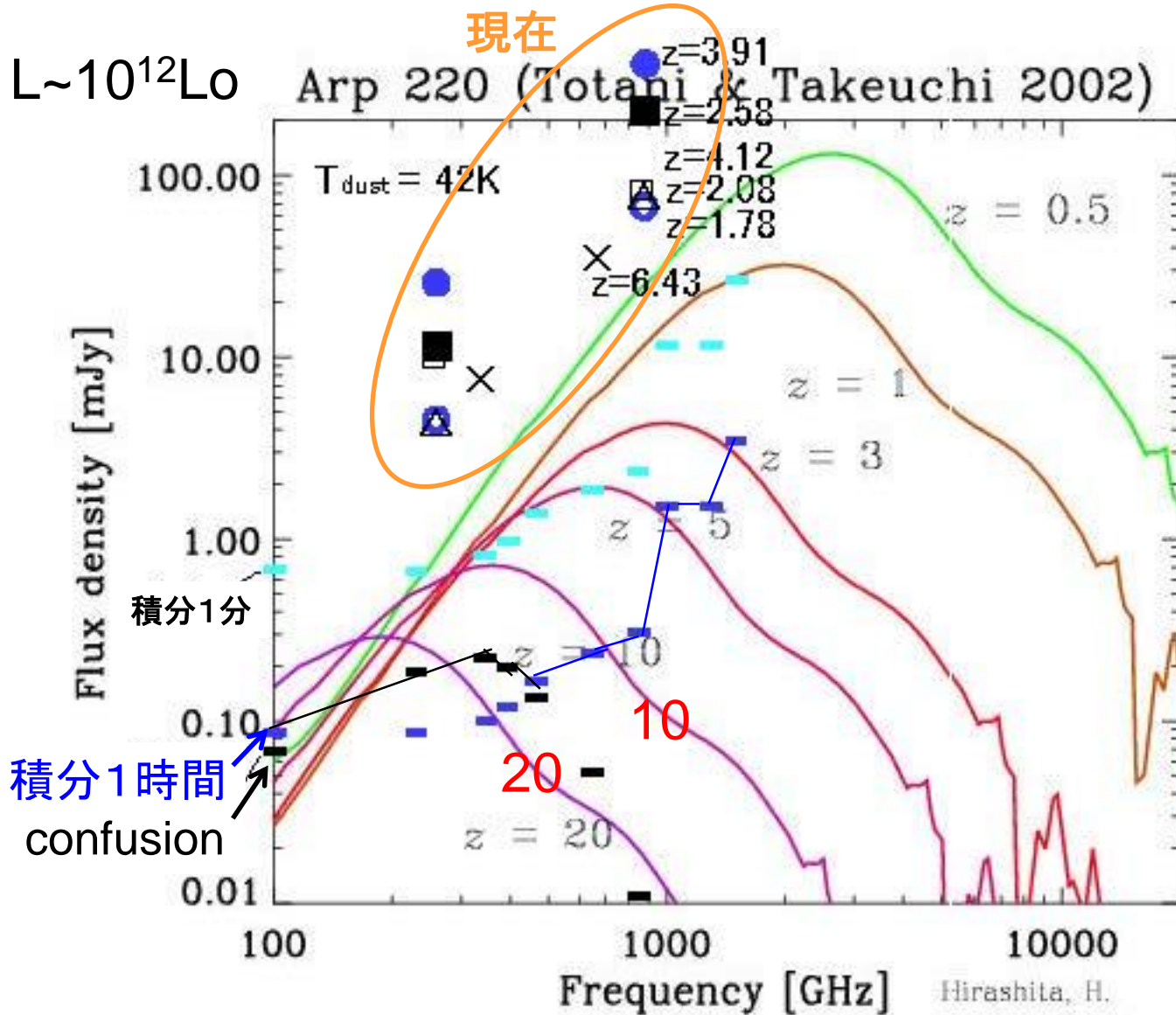
②発見した銀河の  
詳しい内部構造を調べる



アルマ望遠鏡(チリ): 超高感度、  
超高角分解能。しかし視野が狭い

広域サーベイにおいて  
30mアンテナ × 10万台と同等  
受信機雑音(カメラ) 1~2 K  
超高感度

# 感度: (例) 遠方銀河: ダスト放射の観測



南極30m鏡

Integ. time  $\sim 1\text{h}$

$Z > 20$

Mapping speed

$44 \text{ deg}^2/\text{hr}/\text{mJy}^2$   
@350GHz

mm~THz

broadband spec.  
 $\rightarrow (z, T_d)$



Line observations  
accurate  $z$

# (正直に言うと)

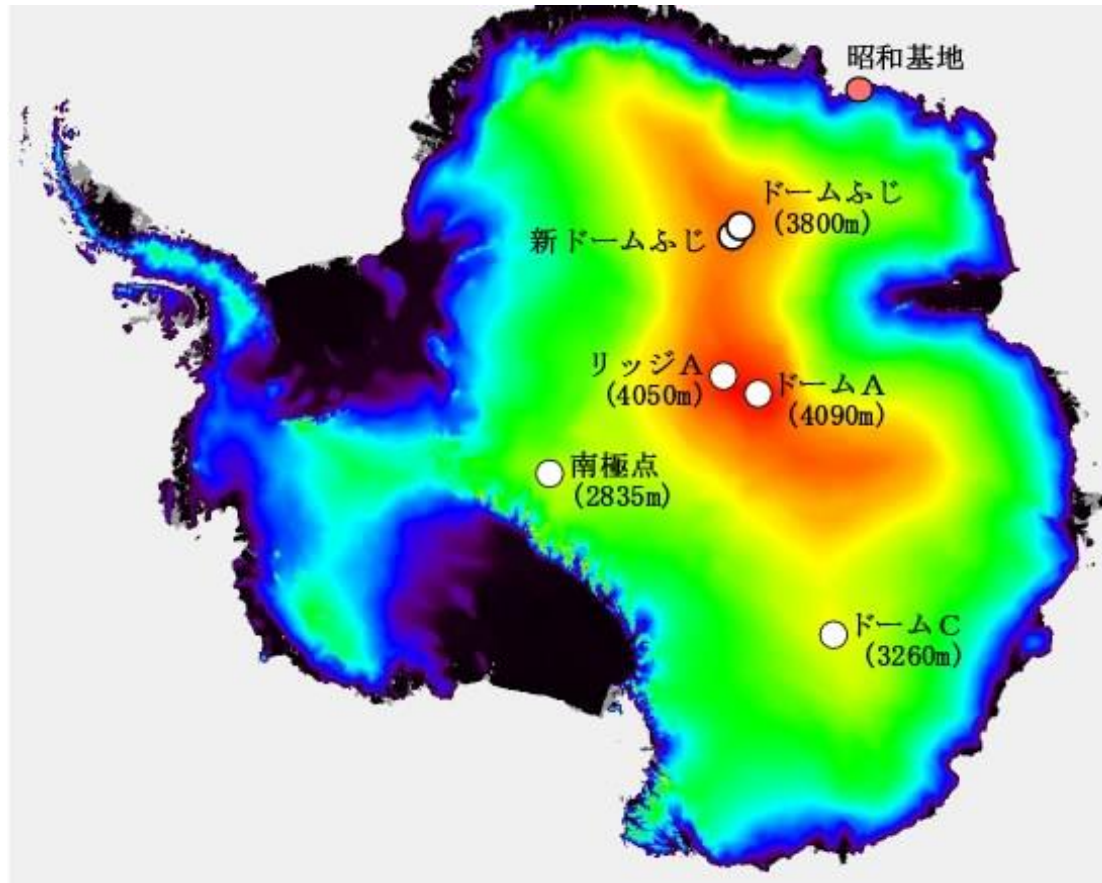
---

望遠鏡	場所	ミリ波	サブミリ波	テラヘルツ
ALMA ミリ波サ ブミリ波	チリ・アタカマ	主	可能	
南極30m テラヘル ツ波	南極・新ドーム		主	可能

但し、大気は非常に安定



# 観測可能天域



基地	緯度
新ドームふじ	77度
リッジA	81.5度

## 新ドームふじ

EL	Decl.
> 5°	< +8°
> 10°	< +3°
> 20°	< -7°

# アンテナの耐寒部材等

新ドームふじ基地の気温：  $-20^{\circ}\text{C} \sim -80^{\circ}\text{C}$



通常のアナテナ・・・鉄系合金(→低温化で脆弱)

南極用アナテナ・・・**ニッケル(Ni)**を少しでも(2%でも)含むこと→耐寒

## 低温用鋼材

(例) 日本鋼管 **SL2N255** ( $-80^{\circ}\text{C}$ )  
**STPL450** ( $-90^{\circ}\text{C}$ )  
SUS316 (ステンレス)  
CFRP(物による)

## 南極油

南極ギヤー油  
南極グリース

## 燃料

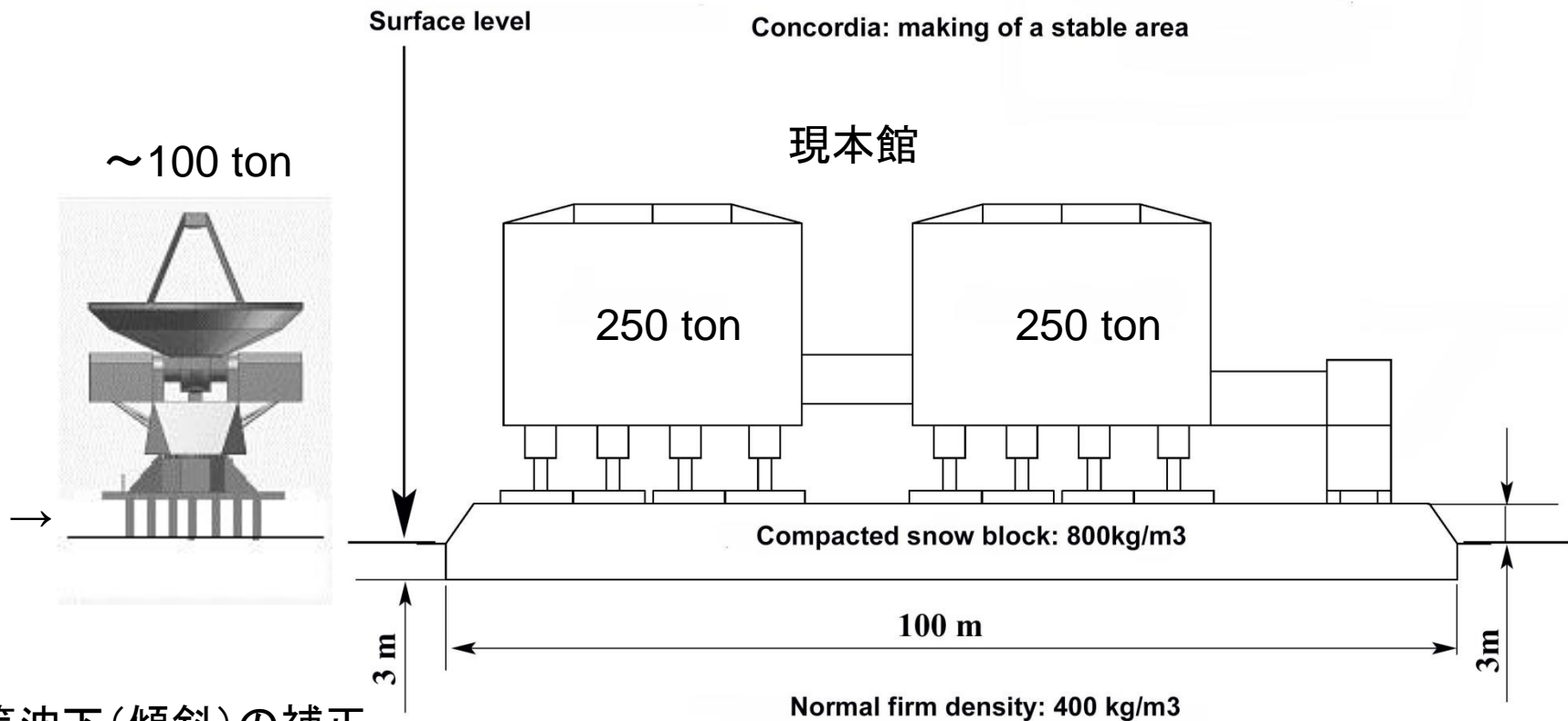
ジェット燃料



## トヨタ・ハイラックス(耐寒用改造)



# アンテナ基礎：圧雪地盤



不等沈下(傾斜)の補正

(1) ジャッキアップ

(2) スペーサー(<1mm厚)

(3) 傾斜計で測定、ソフトで補正

・高さ~2m

・全体を断熱材で覆い、中をファンで攪拌

(雪の吹き溜まり防止用高床式台は不要。

夏季に除雪)

・3m程度を掘る

・整地、固める

・雪を敷いて、再度固める

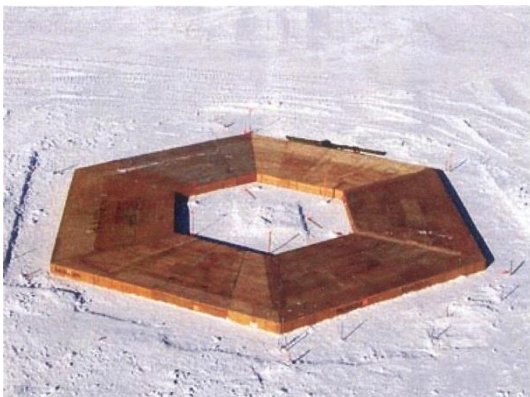
・3~4年(回)、繰り返す(盛雪)

・必要であれば、コンクリート土台

・面積の大きな足で支える

# 板を敷く

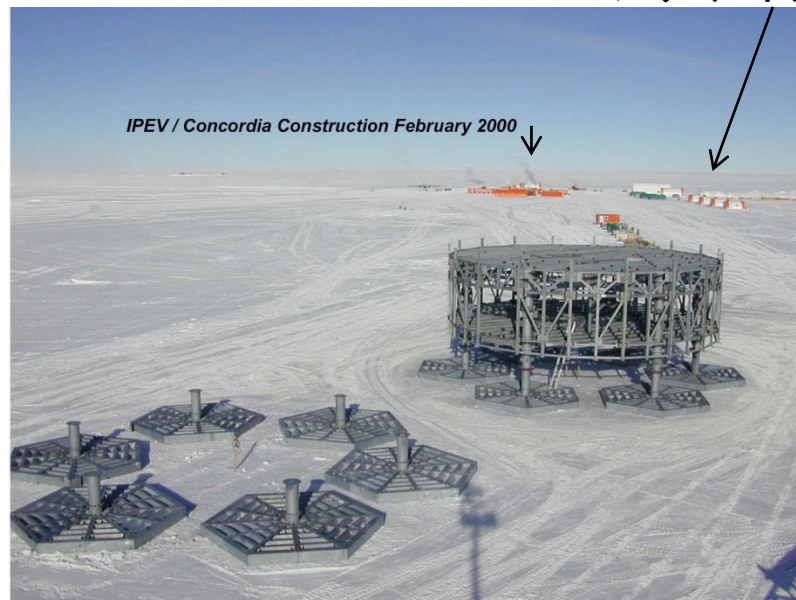
南極点  
望遠鏡  
(SPT)  
(米国)



口径10m



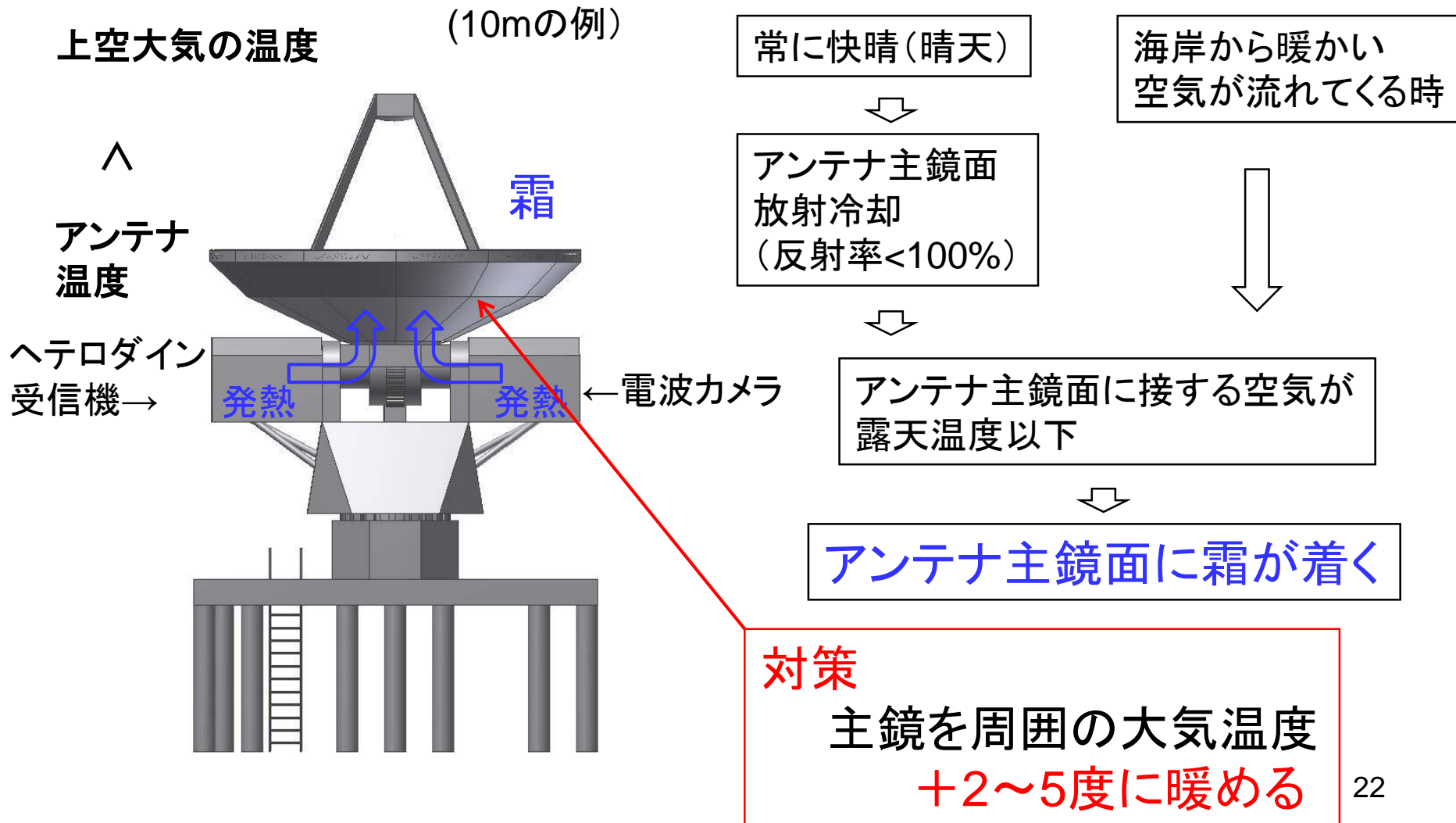
カナディアン・テント(6人用×4)



ドームC



# 望遠鏡の霜対策



# 検討課題

---

## ○望遠鏡

- ・指向性・・・0.2" (←HPBW~1.7" @1.5 THz)  
風の影響 ⇒ アストロドーム？  
風速測定@h=2,10,20,30,40m (2020年～)
- ・鏡面精度  
測定法、温度変形、風荷重

## ○輸送・電力

→ 石沢さん

## ○建設

- ・夏季建設日数(70日～100日)  
→ 但し、日は沈まない → 24時間／日、建設可能
- ・建設期間:複数年(冬季)⇒アストロドーム？簡易型囲い？
- ・重機(大型クレーン等)

# 南極天文台：地上最高の観測拠点

---

## 世界の観測拠点

○ハワイ・マウナケア（4000m：北半球）

→ 飽和状態

○カナリー諸島ラ・パルマ（2300m：北半球）

→ 標高が低すぎる

○チリ・ALMAサイト（4500m-5000m：南半球）

→ 岩盤上の立地としては最良

○南極高原地帯（3800m-4000m：南半球）

→ 地上で最良の大気

- ・望遠鏡等の技術的課題・・・何とかなる
- ・大気・・・どうしようもない

輸送・電力・居住環境の確立した基地・専従設営要員

⇒ 多くの望遠鏡が容易に集積、優れた科学的成果