

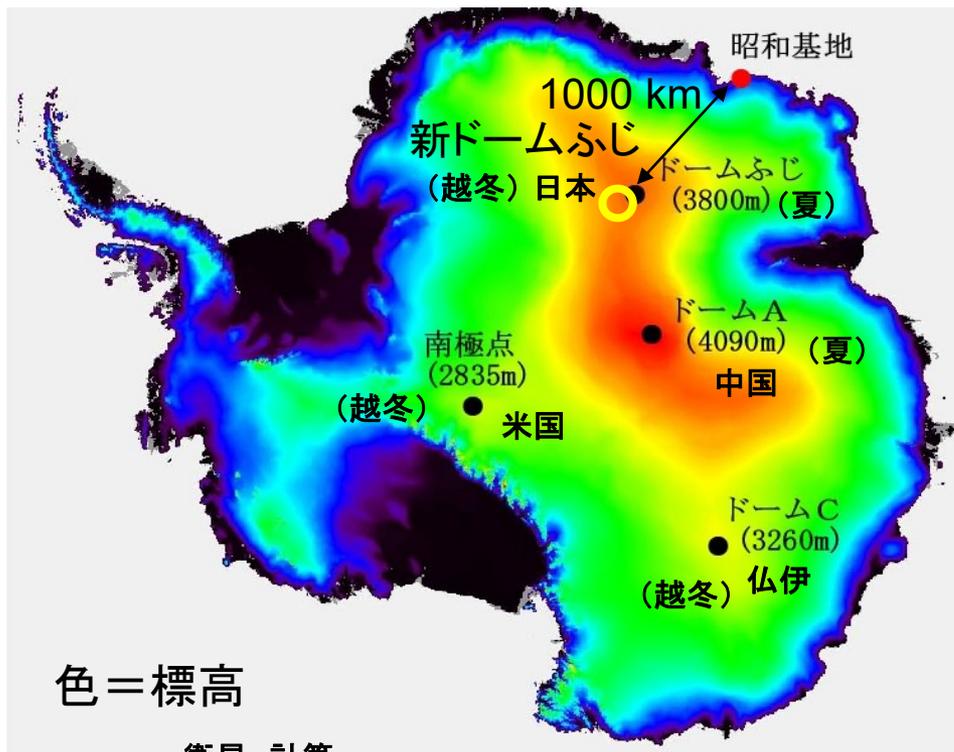
南極テラヘルツ望遠鏡計画

Antarctic THz Telescope (ATT)

中井直正
関西学院大学
南極天文コンソーシアム

新ドームふじ基地

S 77° E 39°



色 = 標高

衛星、計算

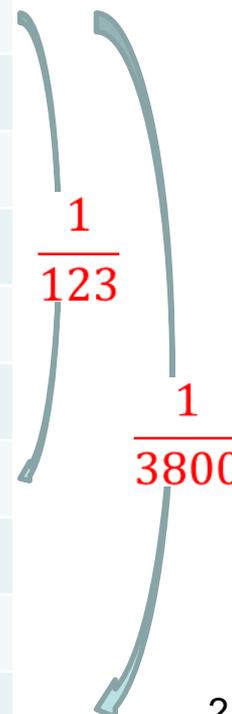
可降水量(PWV)	年50%	冬50%	冬25%
新ドームふじ	0.251mm	0.147mm	0.103mm
ドームA	0.233	0.141	0.103
南極点	0.437	0.324	0.258
チリ・アタカマ		0.60	0.35
マウナケア		1.5	1.0

新ドームふじ

- ◆ 気温 最高 -20 °C
平均 -54 °C
最低 -80 °C
- ◆ 標高 3800 m

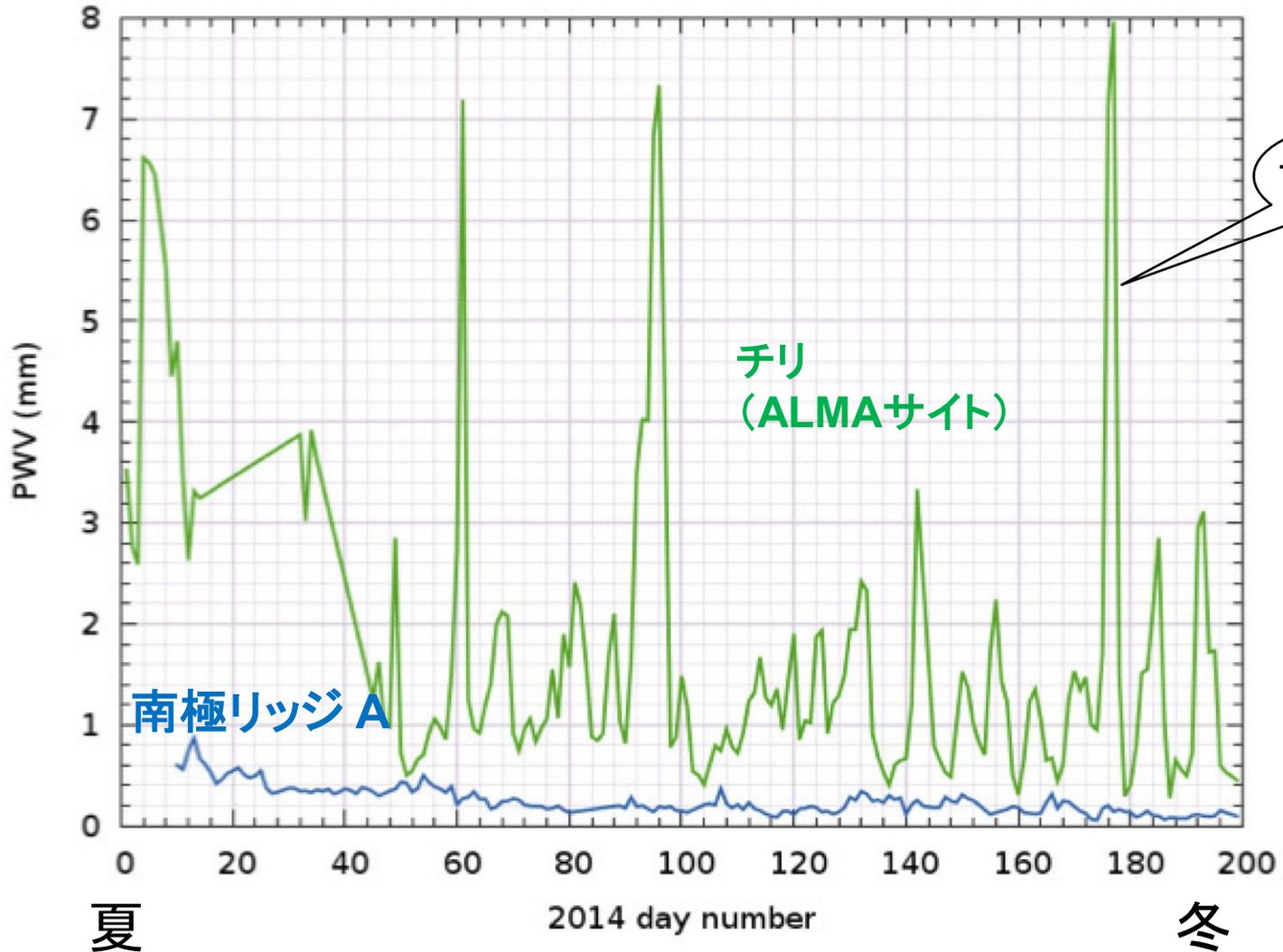
気温	飽和水蒸気量 (g/m ³)
10 °C	9.42
0	4.86
-10	2.36
-20	1.07
-30	0.454
-40	0.176
-50	0.0618
-54	0.0395
-60	0.0194
-70	0.00536
-80	0.00127

新ドームふじ



可降水量 (測定値)

大気中の可降水量

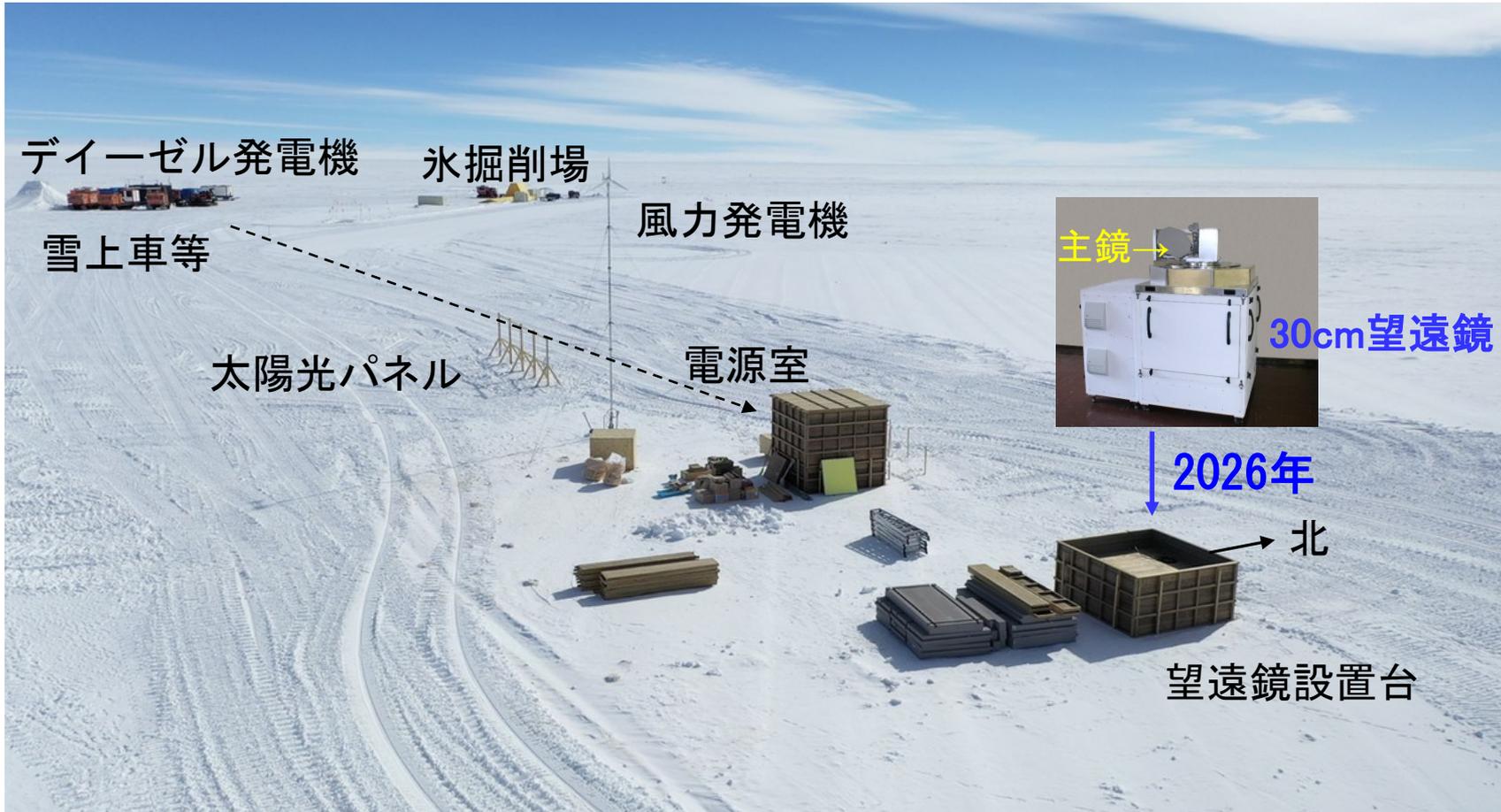


ATT30cm (～2028)

←新ドームふじ
(～40km)

ドームふじII
(夏季のみ)

ドームふじ→
(5km)



500GHz
CO(4-3)
CI
Galactic
plane
survey

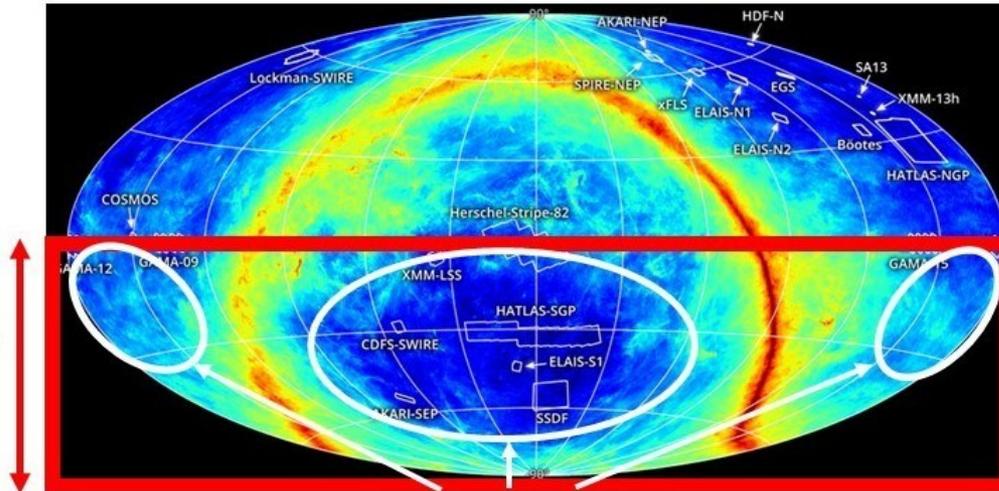
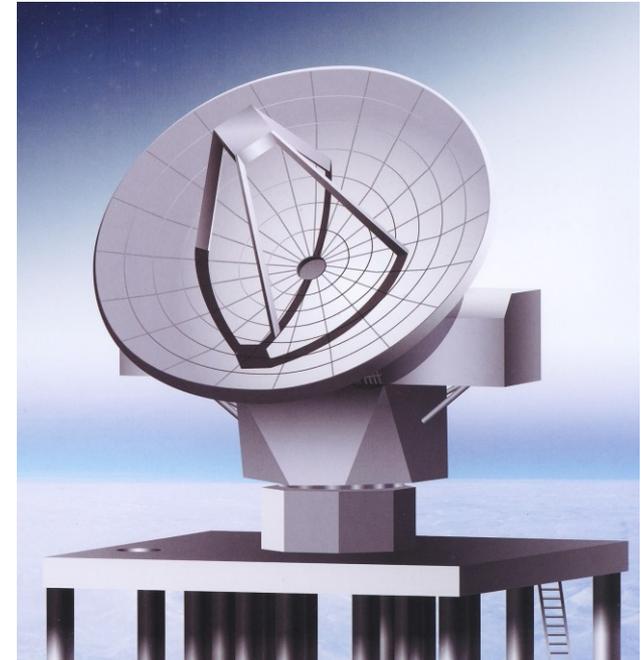
ATT12m

(2028~) 2033~

$FOV \geq 1.2^\circ$

300/400/500GHz } survey
650/850GHz }
1.0-1.5 (2.0)THz } targeted

12m THz望遠鏡
@新ドームふじ



南天全体の
掃天観測

観測の限界までの confusion limit
高感度観測の領域

DSFG ダスト

$$N \sim 10^6 \quad L_{\text{IR}} \geq 10^{12} L_0 \quad z \leq 5$$

$$N \sim 10^4 \quad L_{\text{IR}} \geq 10^{13} L_0 \quad z \leq 15 - 20$$

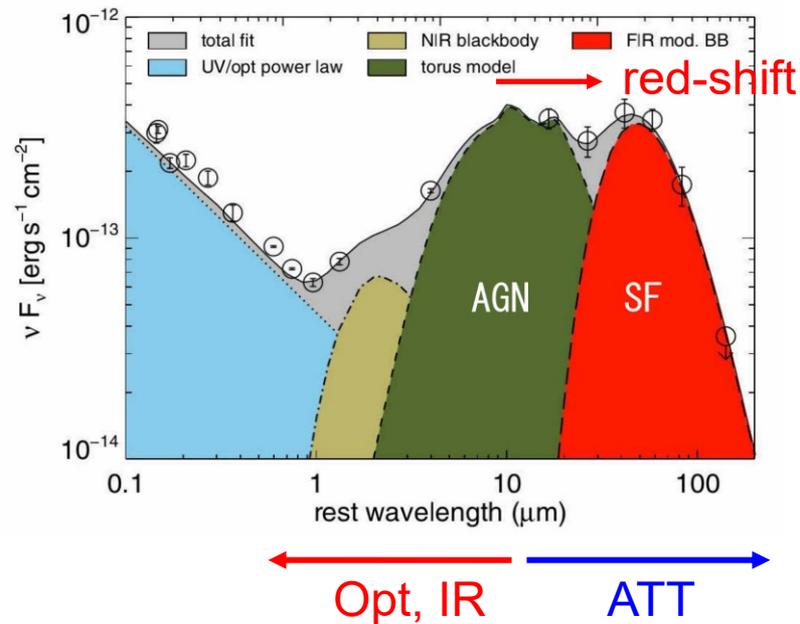
[1] 南極THz望遠鏡と光赤外線望遠鏡との協同

(1) ダスト放射の全スペクトル(特にAGN)の決定

AGN/X-ray ダスト SB/UV
Tk=150K~300K Tk=30K~60K

区別可能

- ・ 広域スペクトルで分離可能
- ・ AGNとSBの同時観測
⇒ 銀河とBHの共進化



(2) High-z 天体の同定

- ・ ATT12の角分解能=20" (300GHz) ~ 7" (850GHz)
- ・ N~10⁶個の天体

⇒ 同定作業

ALMAでは可能数が限られる
Opt. NIRでの観測

[2]光赤外線望遠鏡の設置

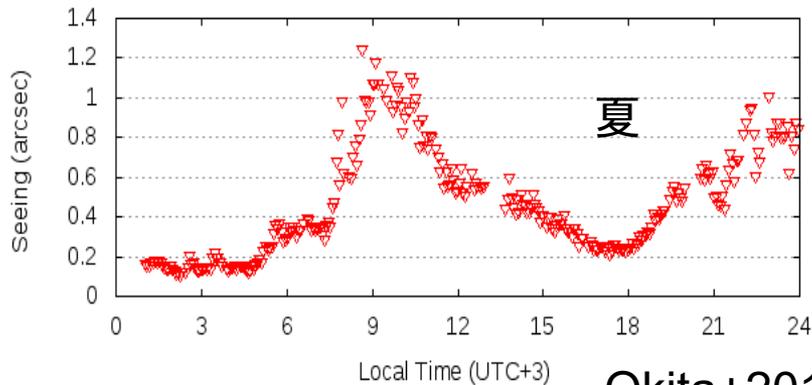
Sky radiation in winter at Dome Fuji
(市川@東北大)

		altitude	temperature	PW
blue	Dome Fuji	3810m	-70°C	0.2mm
red	Mouna kea	4200m	0°C	1.0mm

calculated with LBLRTM (Line-By-Line Radiative Transfer Model) (<http://www.rtweb.aer.com/main.html>)

光学のシーイングも非常に良い
冬では半分以上が0.2”

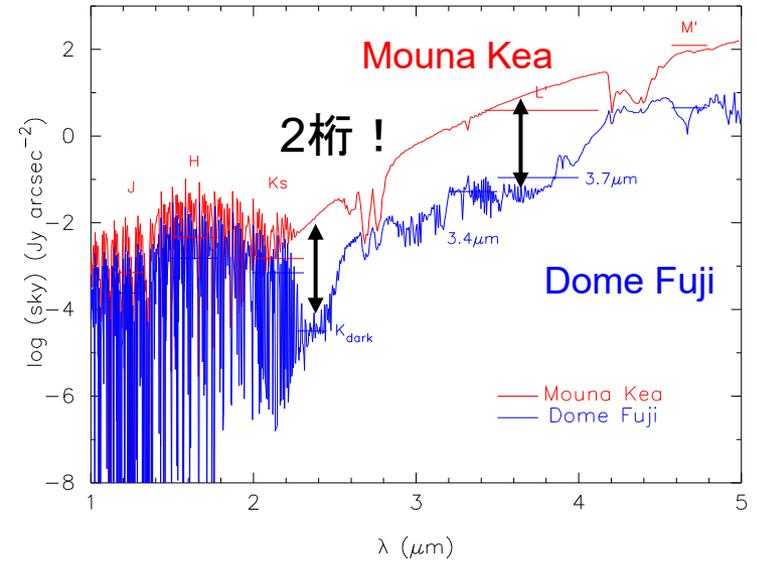
Astronomical Seeing at Dome Fuji on January 6, 2013



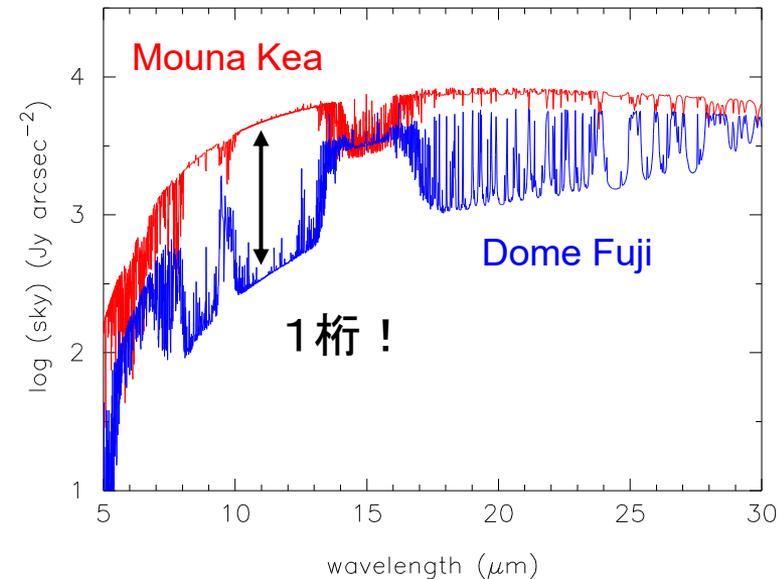
Okita+2013

快晴率 7割
晴天率 9割

Near-Infrared



Mid-Infrared

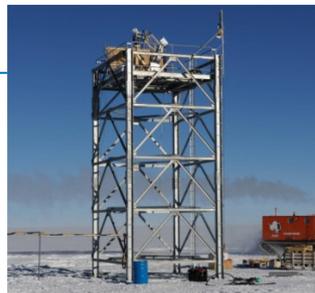


Sensitivity: 2mΦ@Dome Fuji ~ 8mΦ@Mouna Kea

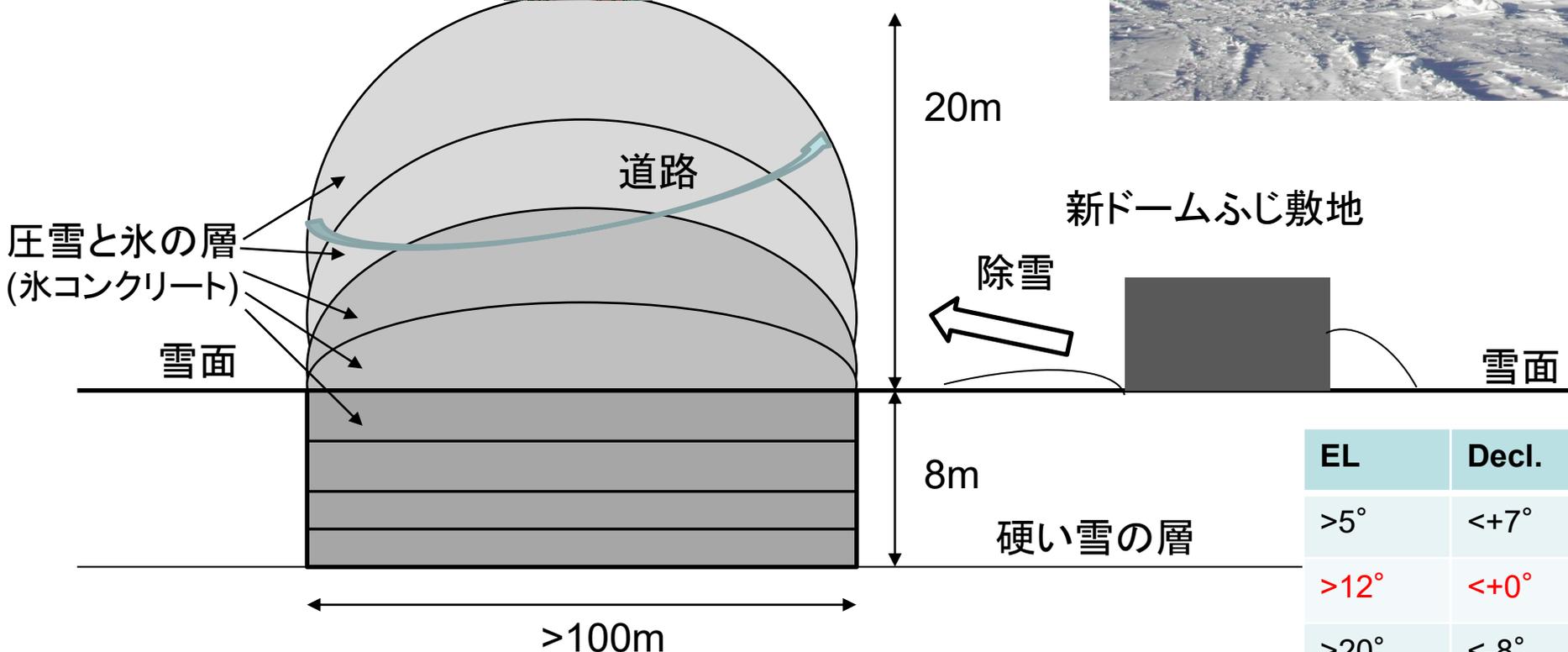
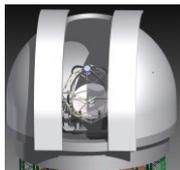
- 接地境界層の上に出ると0.2”
- 接地境界層の厚みは1-5月の晴れの日では半分が15m
- 冬では半分以上が0.2”

(市川@東北大)

光赤外線望遠鏡



ドームC(仏伊)
建物2棟(h~15m)
250t×2



EL	Decl.
>5°	<+7°
>12°	<+0°
>20°	<-8°

まとめ

新ドームふじ@南極内陸部の高原地帯(3800m)

[1] ATT12mと光赤外線望遠鏡との協同

- ダスト放射の全スペクトル(特にAGN)の決定
- High-z 天体の同定

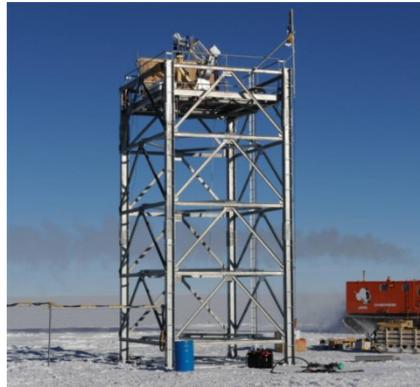
[2]光赤外線望遠鏡の設置

- 低い熱雑音(1桁~2桁) → 高感度
- 高いシーイング(0.2")

地球上最高のシーイング

(市川@東北大)

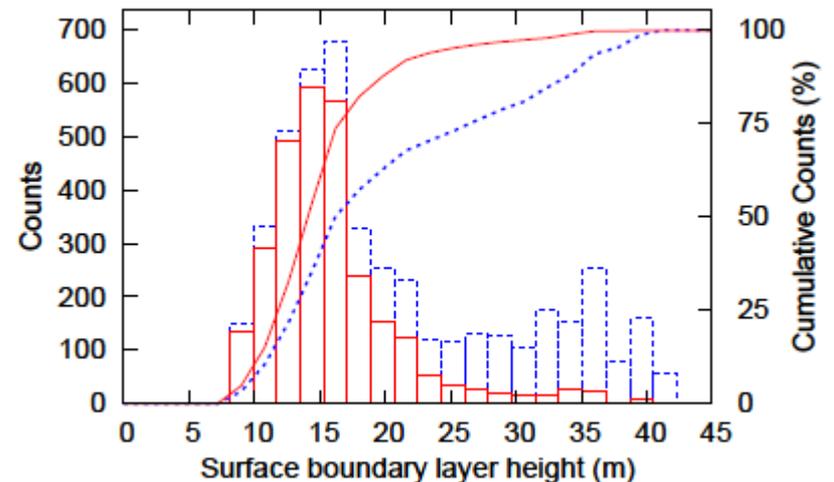
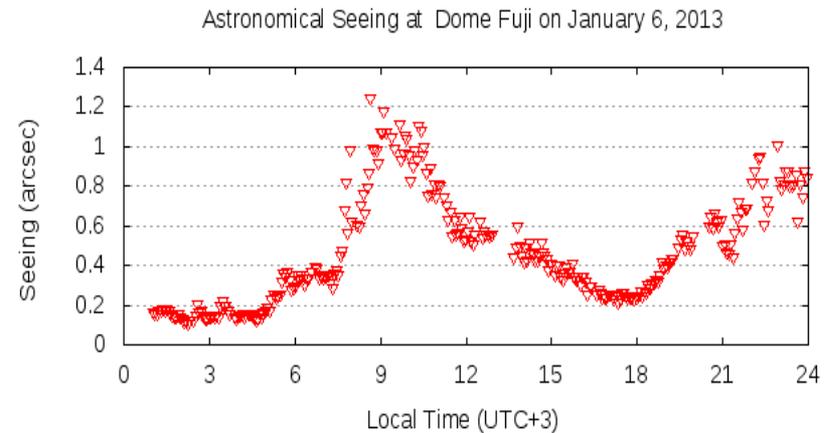
— 雪面から高さ15mで0.2秒角(天頂、可視光) —



11m

- 接地境界層の上に出ると0.2"
- 接地境界層の厚みは1-5月の晴れの日では半分が15m
- 冬では半分以上が0.2"

Okita+2013



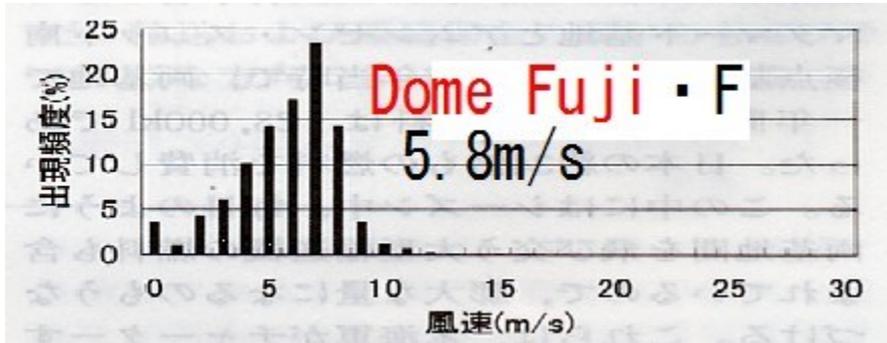
高い晴天率

快晴 = 68% (1994-95、年間)
晴天 = 8~9割

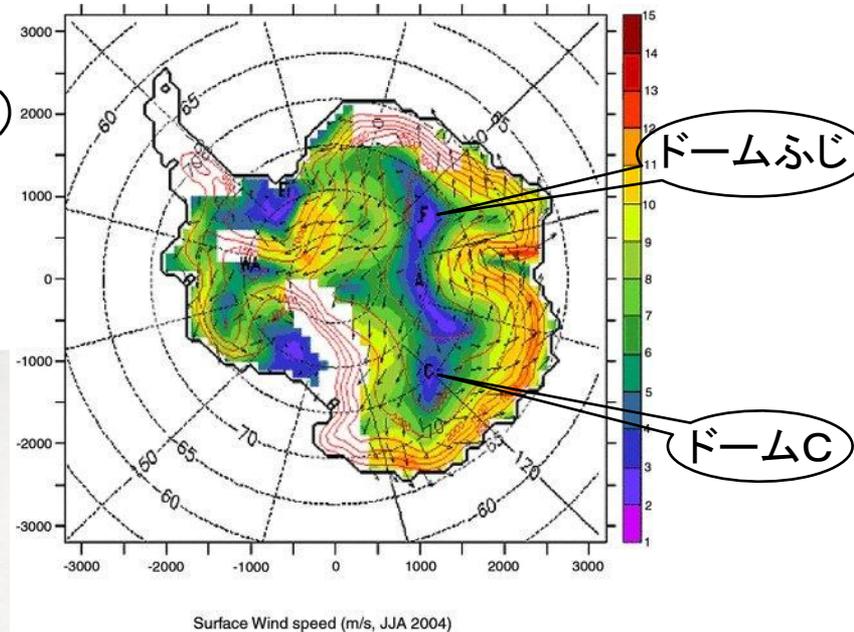
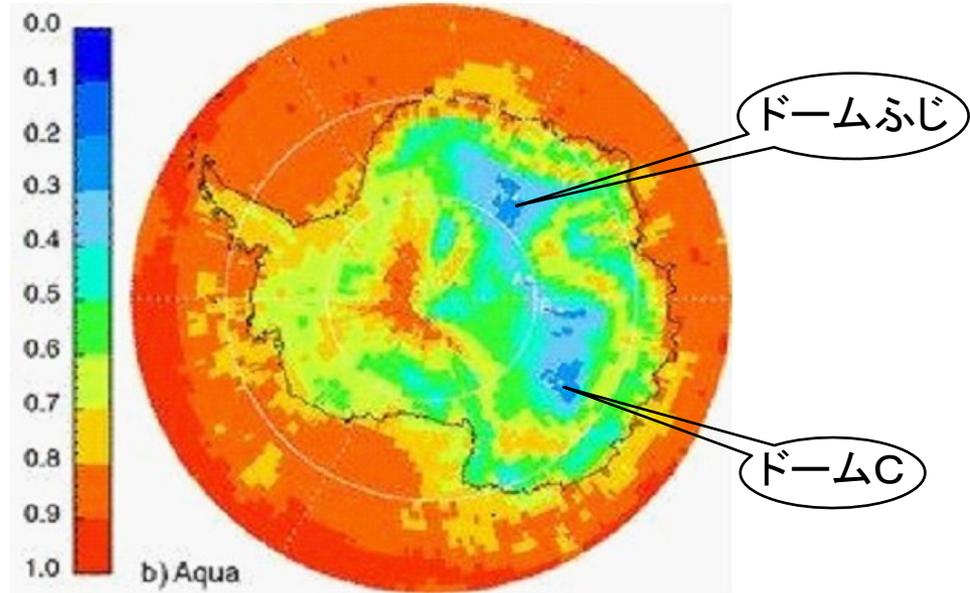
弱い風

→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



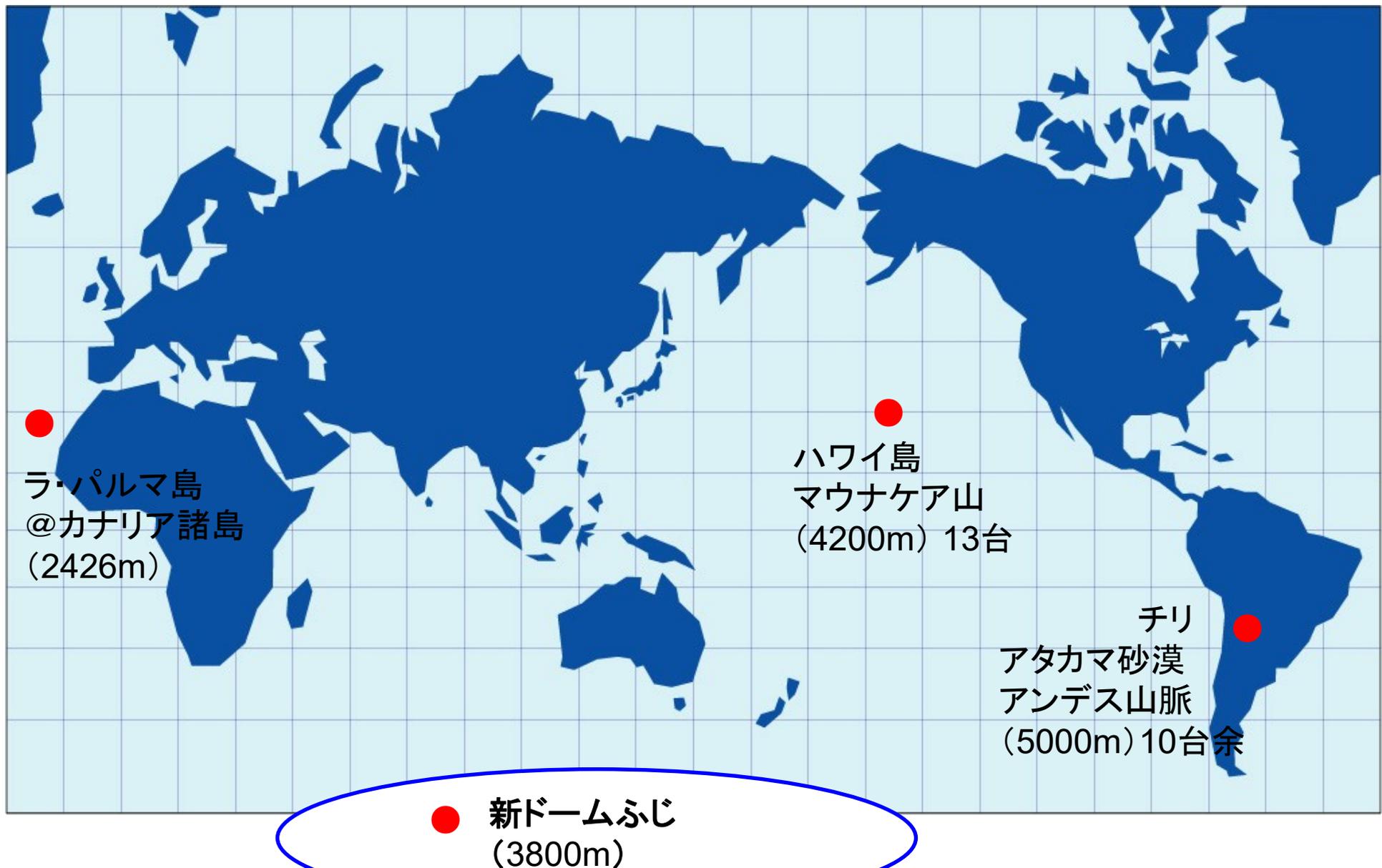
雲の量(夜間)



新ドームふじ基地の建設計画

年度 2000	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
	第10期南極観測計画					第11期南極観測計画					
夏のみ 30cm submm	風力 発電	太陽 発電	昭和 基地	現地 組立	観測	観測					
重点 研究			審査	決定							
越冬 基地	検討			設計		輸送等			建設		
12m THz		開発				設計	製作	国内 仮組	輸送	現地 組立	観測 開始
30m 級THz										第12期→ (2034-39)	
他の 望遠鏡										第12期→ (2034-39)	

日本による地上最高の観測拠点



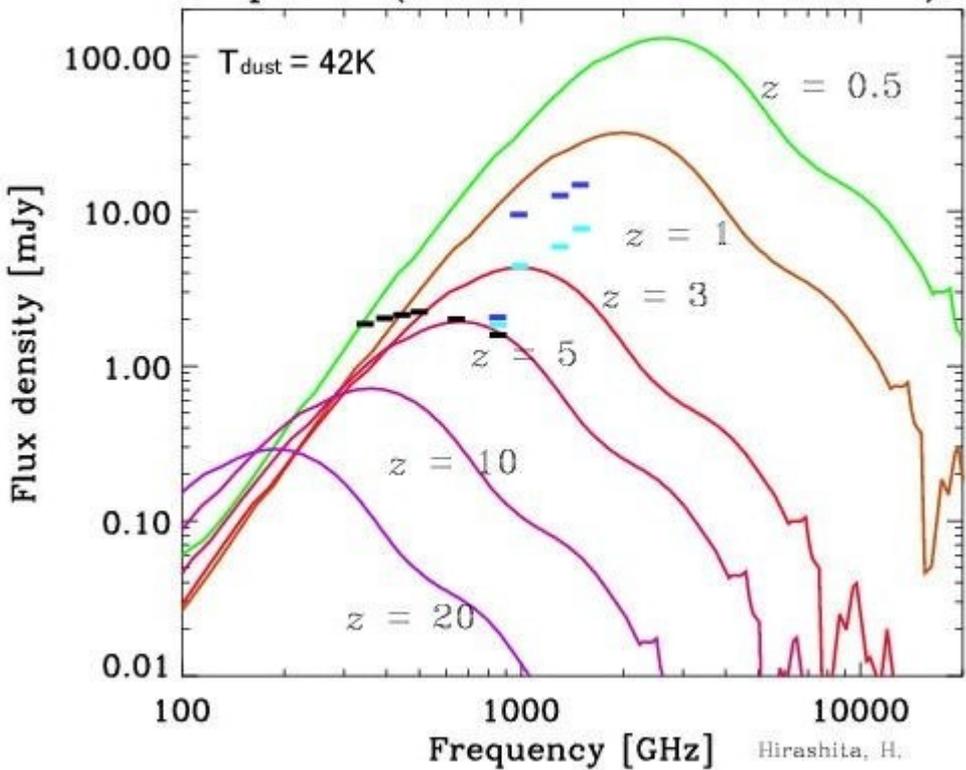
ラ・パルマ島
@カナリア諸島
(2426m)

ハワイ島
マウナケア山
(4200m) 13台

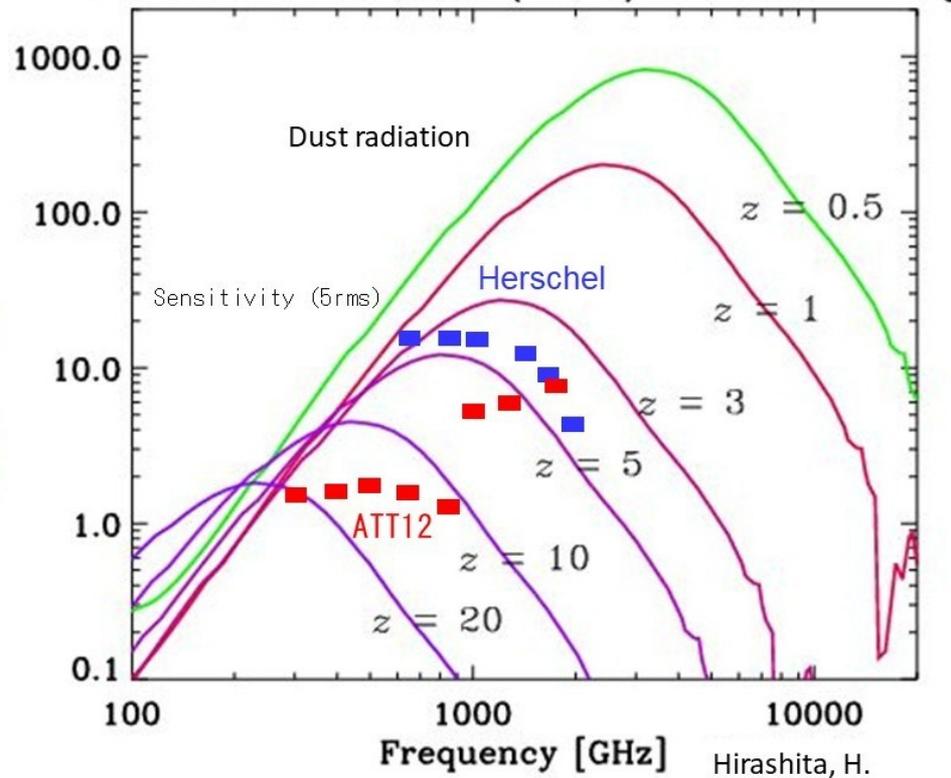
チリ
アタカマ砂漠
アンデス山脈
(5000m) 10台余

● 新ドームふじ
(3800m)

Arp 220 (Totani & Takeuchi 2002)



Totani & Takeuchi (2002) 53 K: $10^{13.0} L_{\odot}$



調査 2016 Jan.-Feb.
夏季 外気 $-30^{\circ}\text{C} \sim -45^{\circ}\text{C}$



室内
 $+20 \sim 24^{\circ}\text{C}$



静寂棟

雑音棟

研究室等→

寝室(16室)→

← 食堂、娯楽室

← 倉庫等

↓ 発電機棟

← 作業室

入口階段



極めて乾燥している
常に水分補給
唇が乾く

(2) 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 $12'' \sim 2''$
- ・視野 $\sim 1 \text{ 度}\Phi$
- ・電波カメラ ~ 19 万素子
- ・越冬隊 $\sim 5\sim 7$ 人/冬
- ・建設地 **新ドームふじ基地**
- ・国際協力
 - アジア, 豪州(大学), 米国(大学), 欧州(ESO?)
- ・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 ~ 30 年

CCAT 25m \rightarrow 30m級

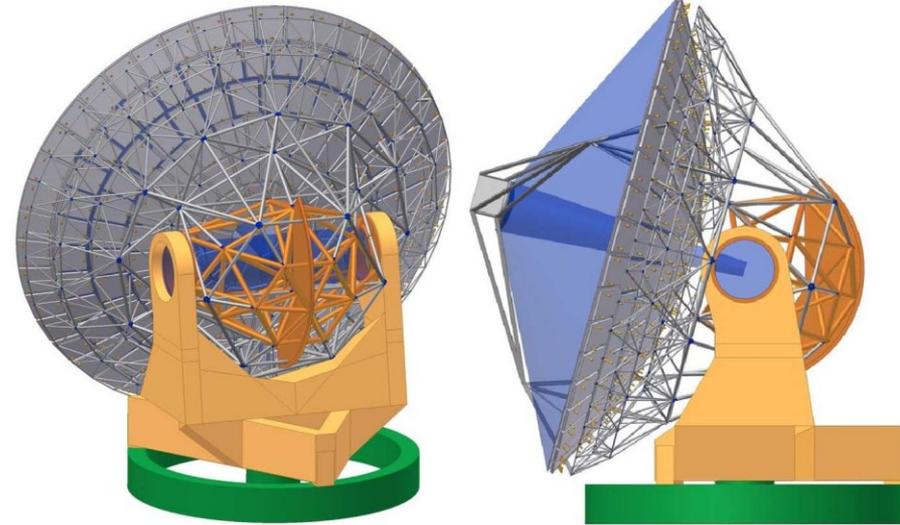
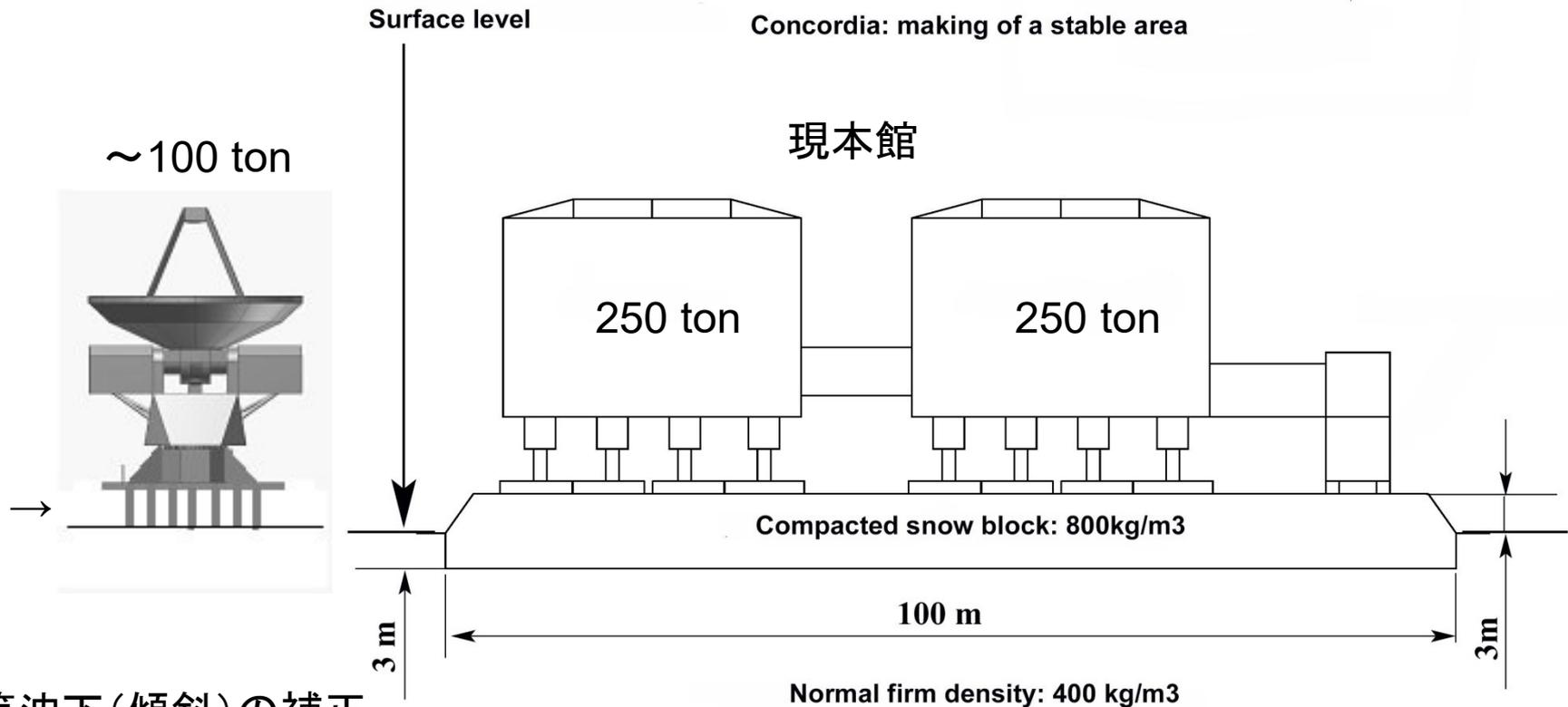


Figure 1: Truss with a distributed CFRP (grey) to steel (orange) connection. Masses for this design are given in Table I. Rod sizes are given in Table II.

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

輸 送 (重量物:海上)

南アフリカ
ケープタウン

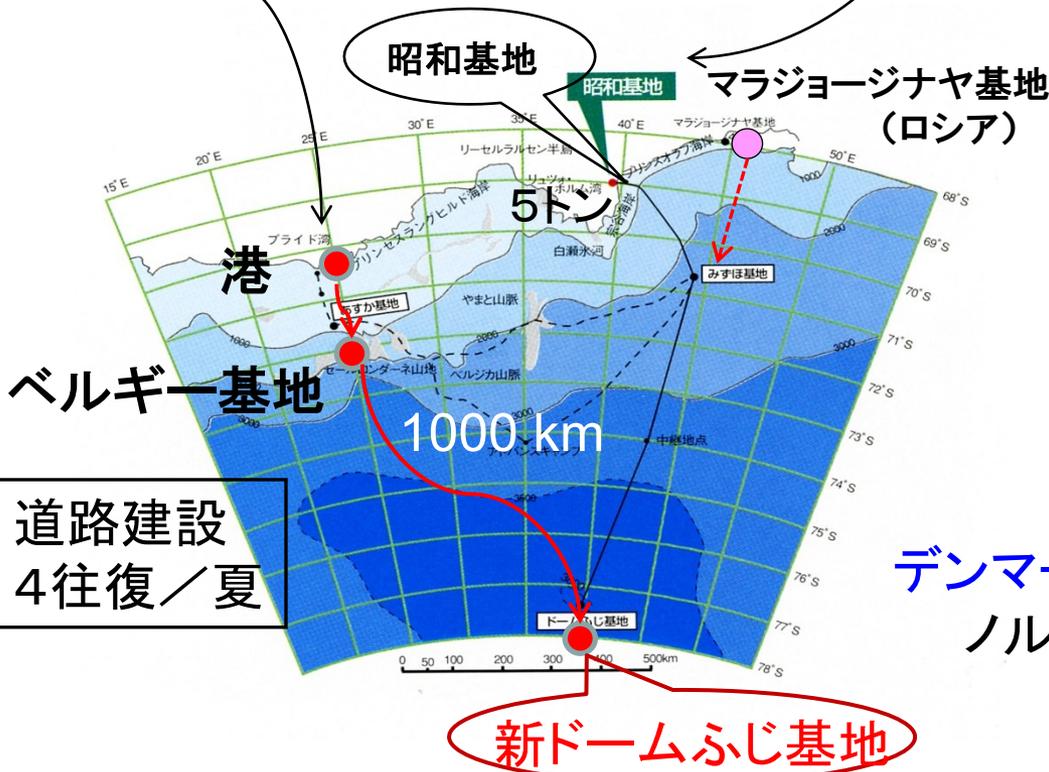


オーストラリア
フリーマントル



デンマークの砕氷貨物船
(積載量 8000t)

観測船しらせ (積載量 1100t)
研究機材 ~ 100t



昭和基地付近は氷が厚い
「しらせ」が着岸できないこともある
輸送力が落ちる可能性あり

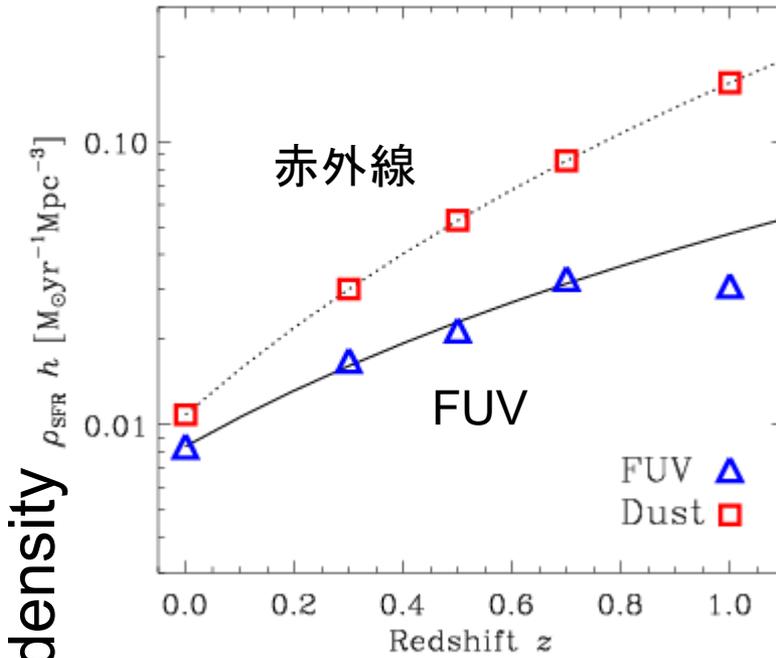


- (1) ベルギー基地用の港
- (2) マラジョージナヤ基地 (ロシア)
(氷が薄い)

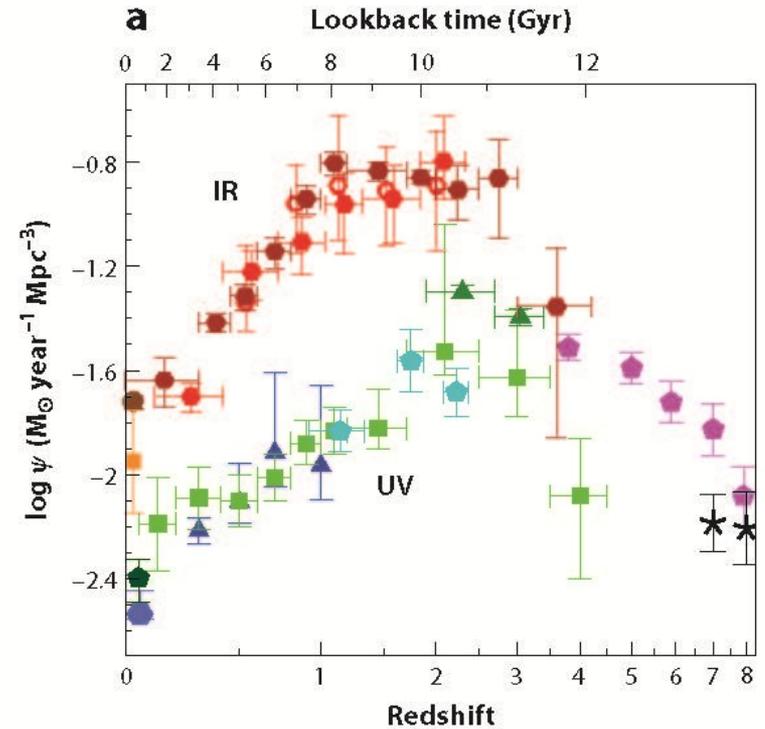
デンマーク貨物船をチャーター (100日 / 夏)
ノルウェー、ベルギー、日本で負担

(例) 可視光で見えない暗黒銀河が多数派

Star-formation rate density



Takeuchi 2005



Madu&Dickinson 2014

(例) AGN at high- z

(Leipski+2014)
 QSO at $z > 5$
 Herschel
 SDSS検出済

APM 08279+5255
 (Beelen+2006)

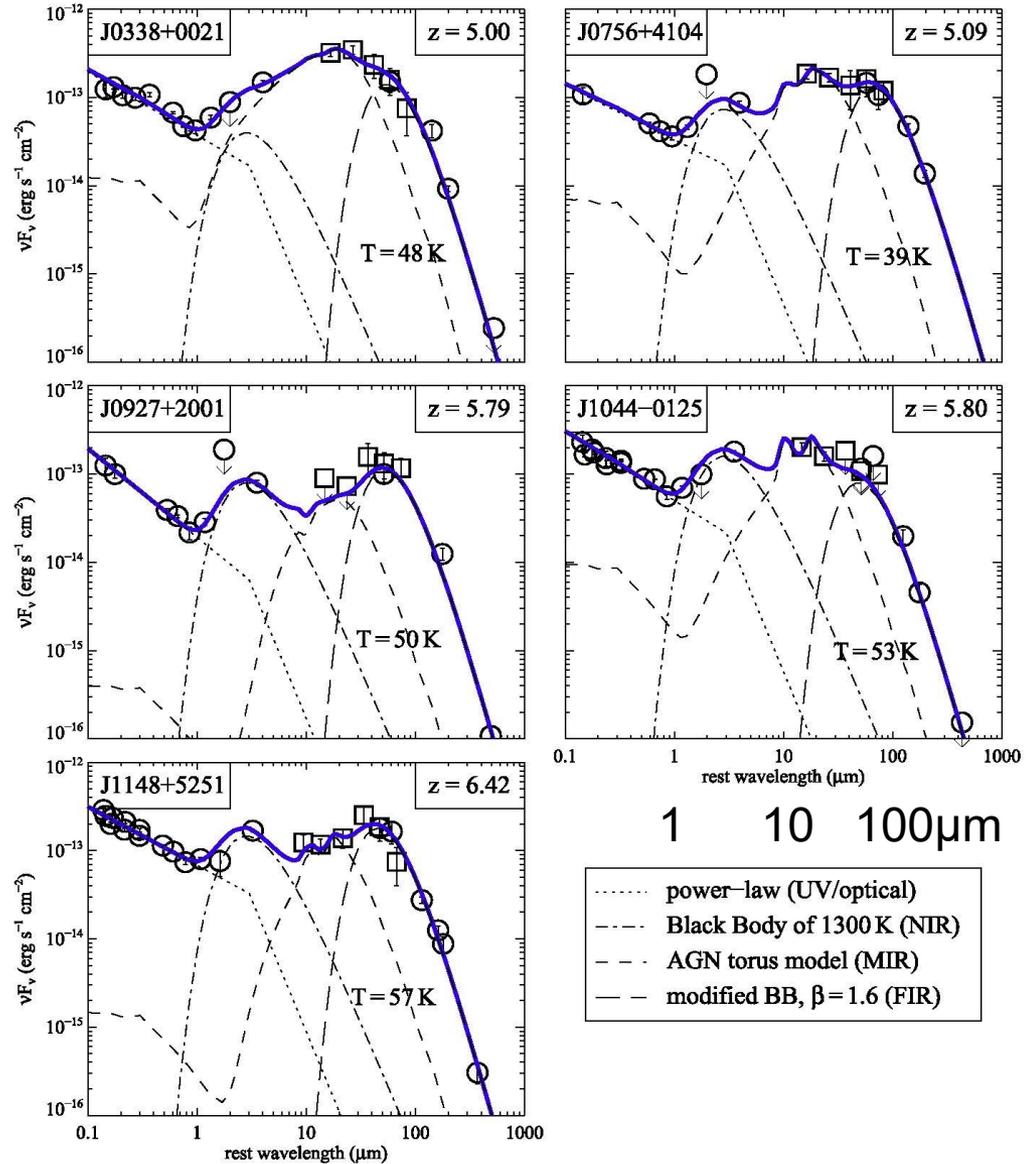
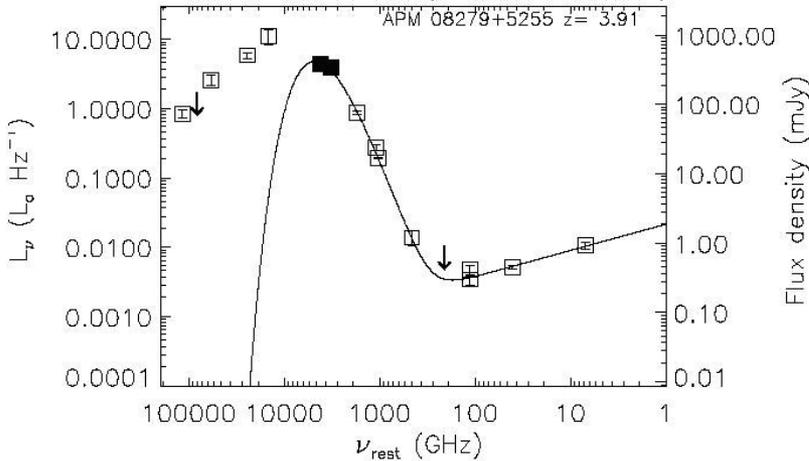


Figure 2. Observed SEDs of millimeter-detected quasars with at least two *Herschel* detections; for these objects multi-component SED fits were carried out as outlined in Section 2. The SED fit is performed using a power-law in the UV/optical (dotted line), a 1300 K blackbody in the NIR (dot-dashed line), a torus model in the NIR/MIR (short dashed line), and a modified blackbody in the FIR with emissivity index β fixed to 1.6 (long dashed line). The blue solid line corresponds to the sum of the fitted components which here represent the overall best fit. Thus, the temperature of the FIR component here may differ slightly from the overall mean temperature determined from all acceptable fits as presented in Table 3. The squares correspond to the new *Herschel* data. (A color version of this figure is available in the online journal.)

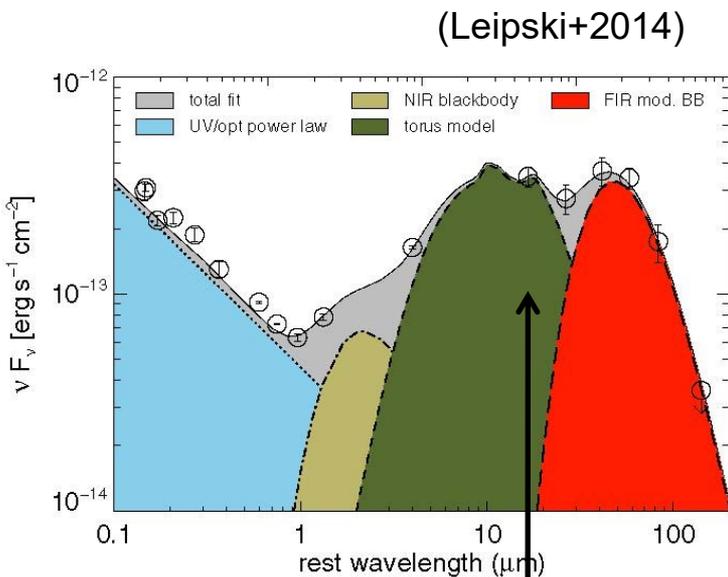


Figure 2. Schematic representation of the components used for SED fitting. As an example, we use the observed photometry of the $z = 5.03$ QSO J1204–0021. (A color version of this figure is available in the online journal.)

↑
 AGN-torus
 redshift
 ↓
 THz

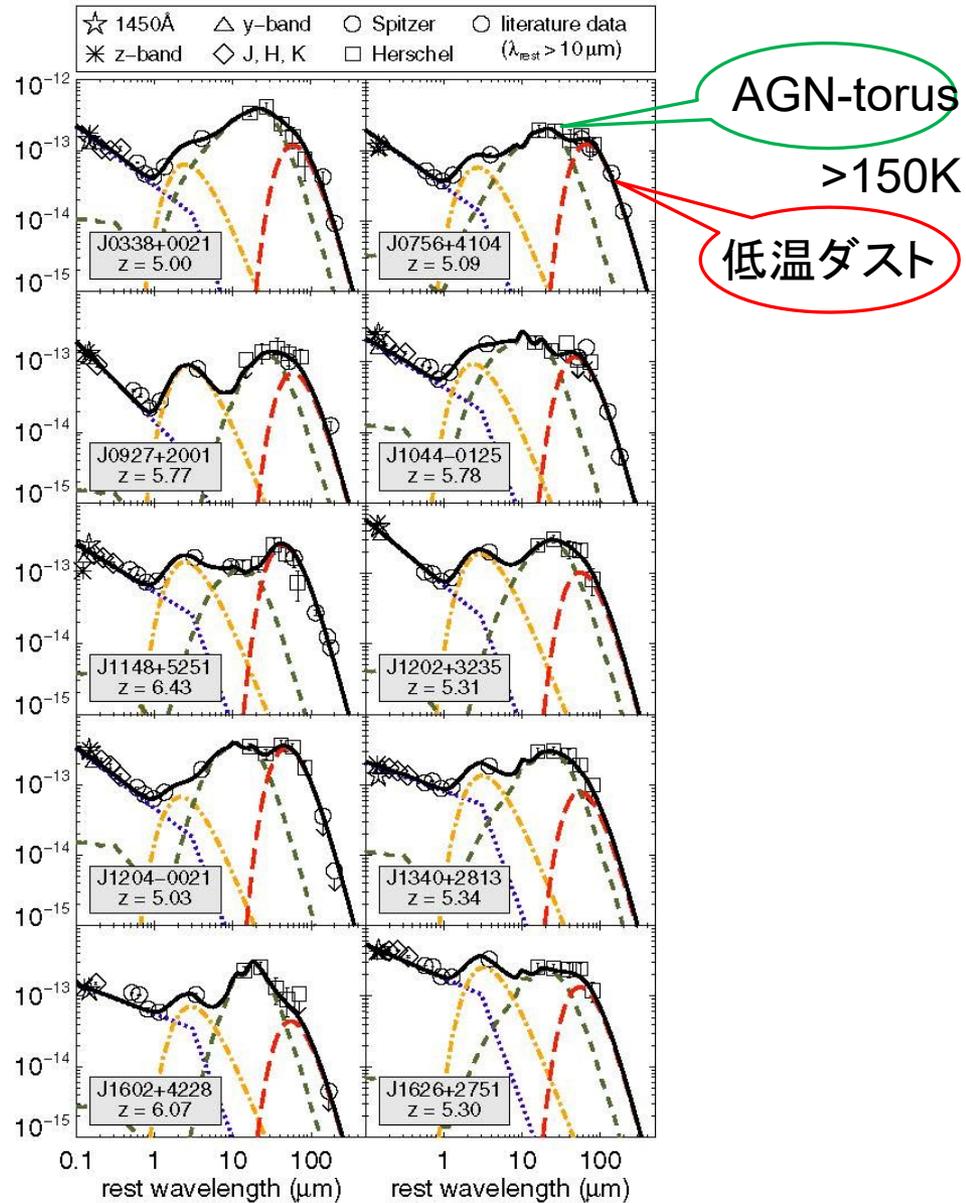


Figure 3. SEDs of the 10 quasars detected in at least four *Herschel* bands. The plots show νF_ν in units of $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2}$ over the rest frame wavelength. The colored lines indicate the results of a multi-component SED fit as described in Section 4.1. They consist of a power-law (blue dotted), a blackbody of $T \sim 1200 \text{ K}$ (yellow dash-dotted), a torus model (green dashed), and a modified blackbody of $\sim 47 \text{ K}$ (see Table 6; red long dashed). The black solid line shows the total fit as the sum of the individual components.

Mrk231 CO, [NII]

ハーシェル衛星(van der Werf+ 2010)

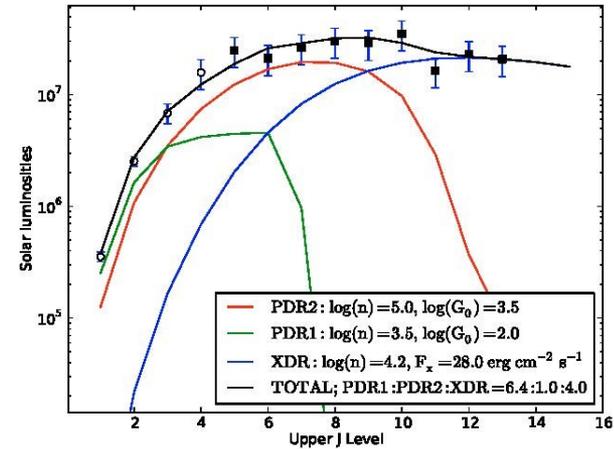
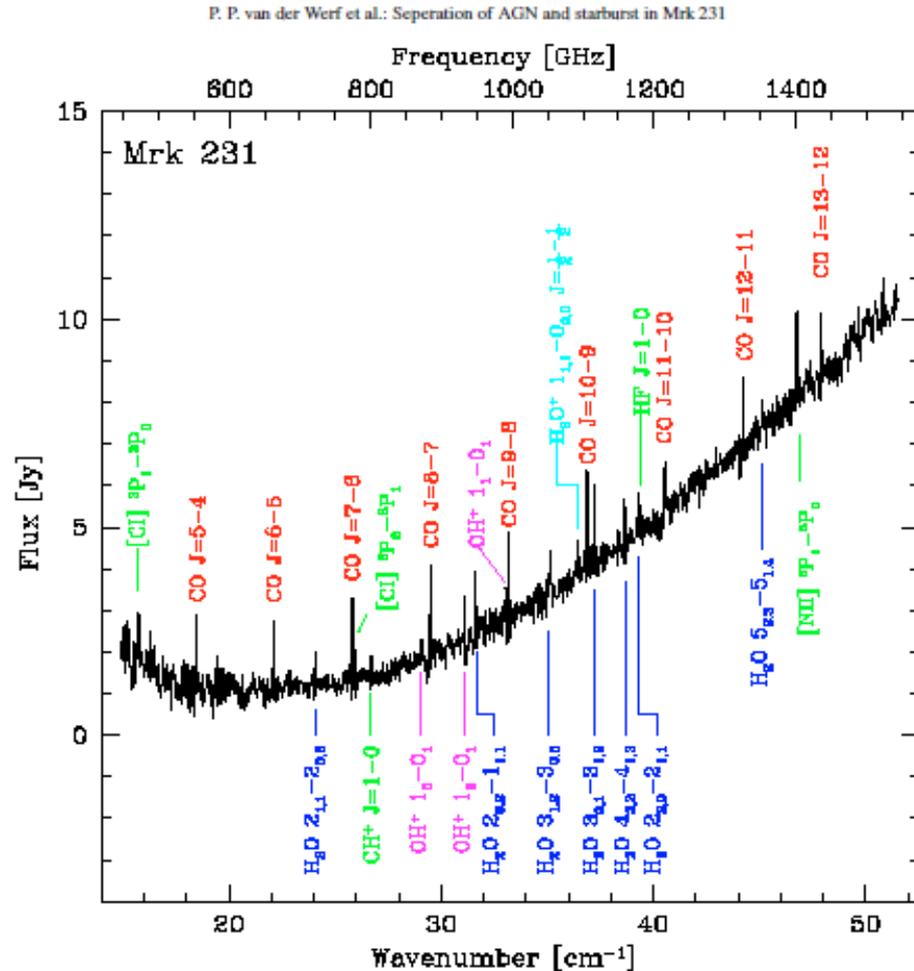


Fig. 2. Luminosities of CO lines from Mrk 231. Filled symbols represent measurements from the SPIRE FTS spectrum, while ground-based measurements are denoted with open symbols. Coloured lines indicate two model PDR components (red and green lines) and an XDR component (blue line). The sum of these three components is indicated by the black line and fits the CO measurements. In the legend, n denotes the number density of hydrogen nuclei ($n = n_{\text{H}} + 2n_{\text{H}_2}$) in cm^{-3} , G_0 denotes the incident UV flux in units of $1.6 \times 10^{-3} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ for the PDRs, and F_x the incident X-ray flux for the XDR. The legend also indicates the relative emitting areas of the three components.

CO

up to J=8

by UV radiation from star formation

J>8

X-ray heating by the accreting SMBH

probe of AGN → THz