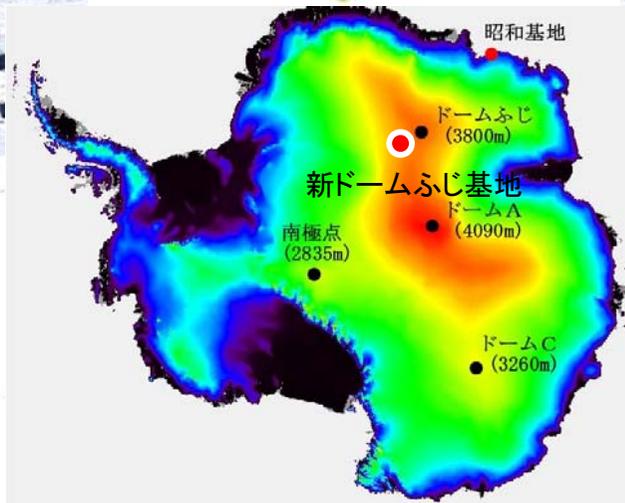
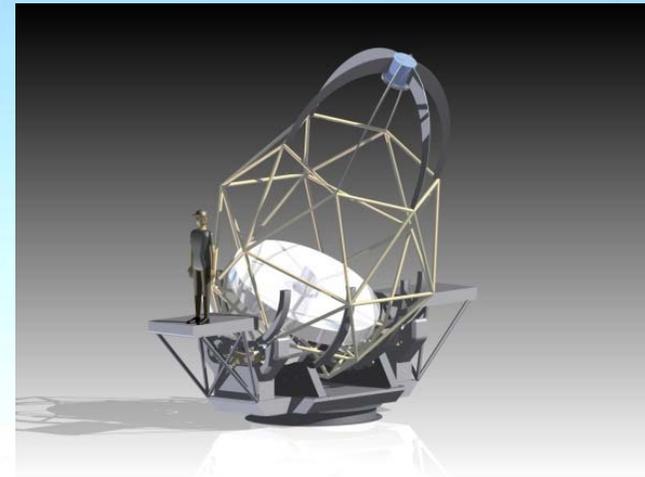
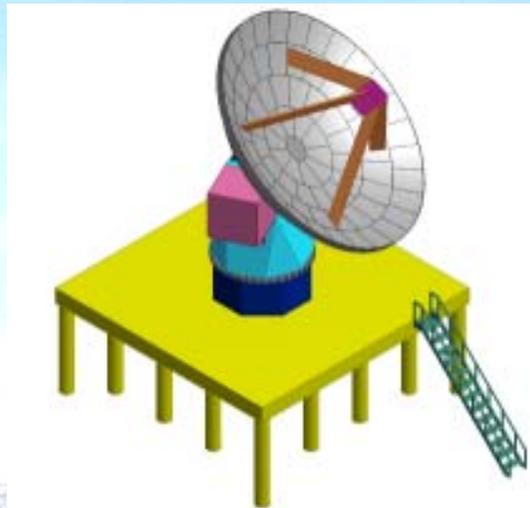


# 南極新ドームふじ基地での天文学

10mテラヘルツ望遠鏡

2.5m赤外線望遠鏡



東北大学 市川隆  
筑波大学 中井直正  
国立極地研究所  
南極天文コンソーシアム  
国立天文台、京都大学他

# 内容

1. 南極で目指す天文学
2. 南極の特徴、利点
3. 望遠鏡と観測装置
4. 準備状況
5. サイト調査
6. 体制、極地研、他分野との協力
7. 国際状況と協力
8. 今後の課題

# 1. 南極で目指す天文学

南極の卓越した天文環境を生かし、大学間連携、極地研、国立天文台の協力を得て以下の研究を行う

## ➤ テラヘルツ銀河の広域探査と星生成活動

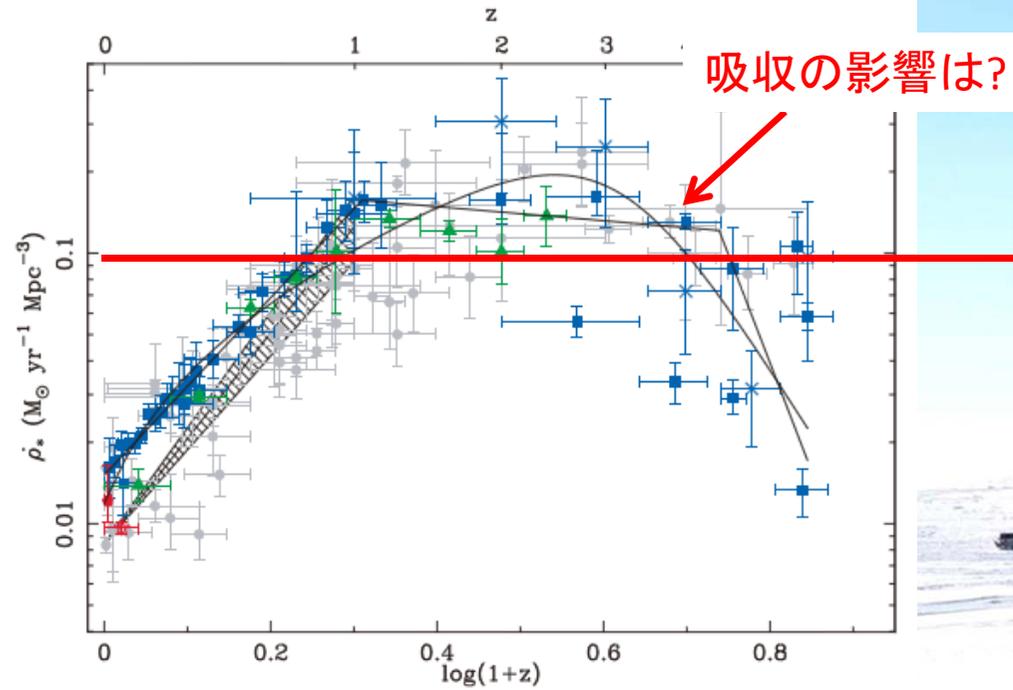
- スーパーアースの水蒸気大気
- 惑星の大気循環



- High-zで、ダストに覆われた銀河

銀河での星生成の進化

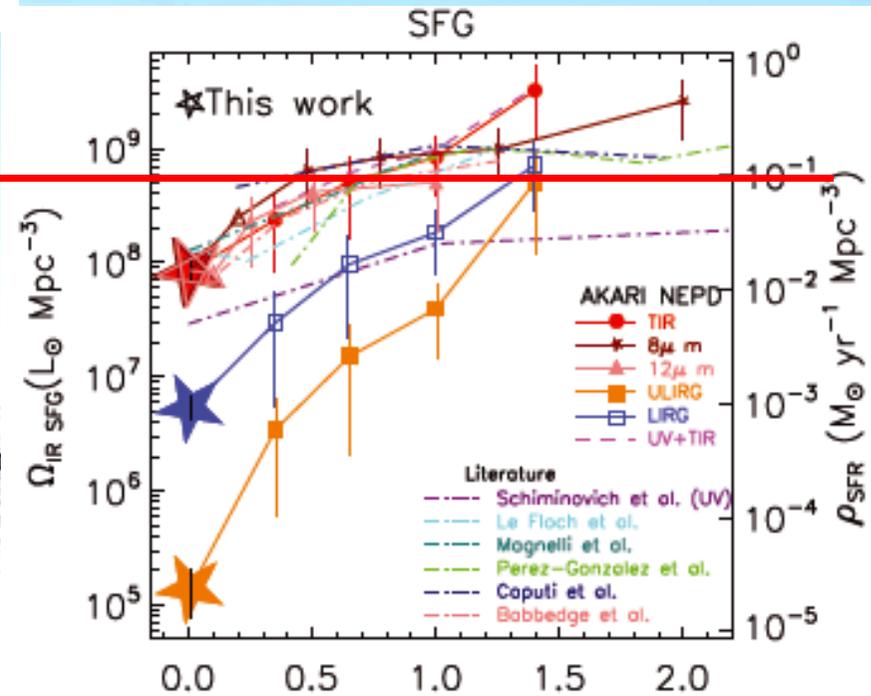
赤外線銀河の占める割合



Hoplins+ (2006)

$z=2-3$  (10Gy-11Gy)にピーク

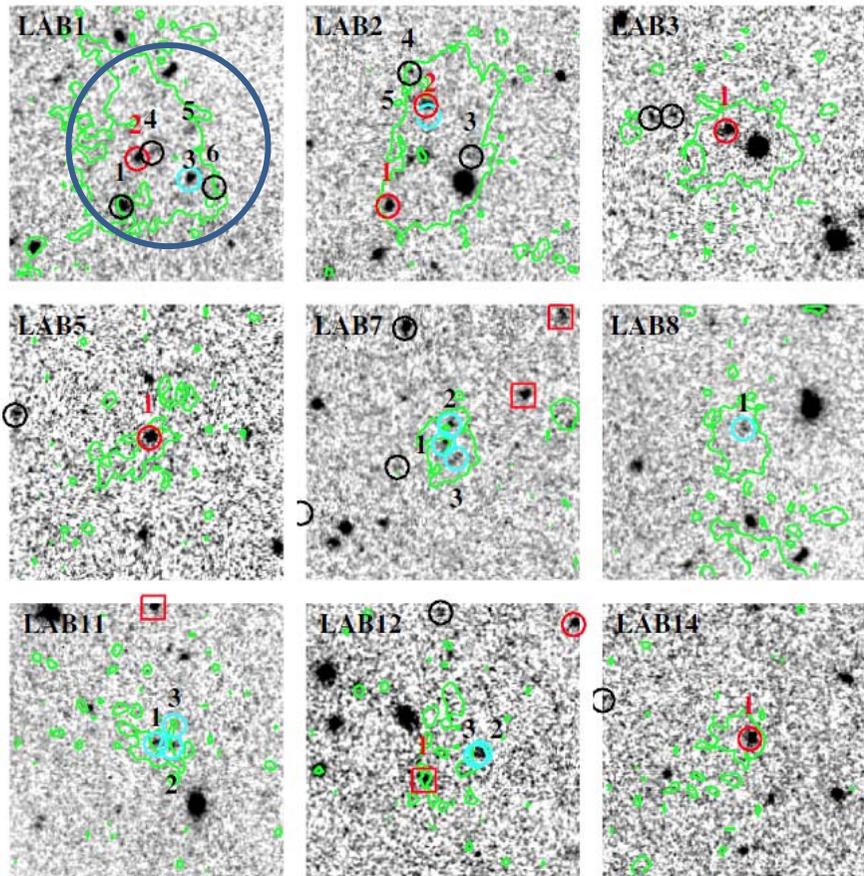
Goto+ (2011)



$z \sim 1.5$ から過去、急激に大きくなる

- $z=3.1$ のLAB

爆発的星生成が進んだ直後の銀河

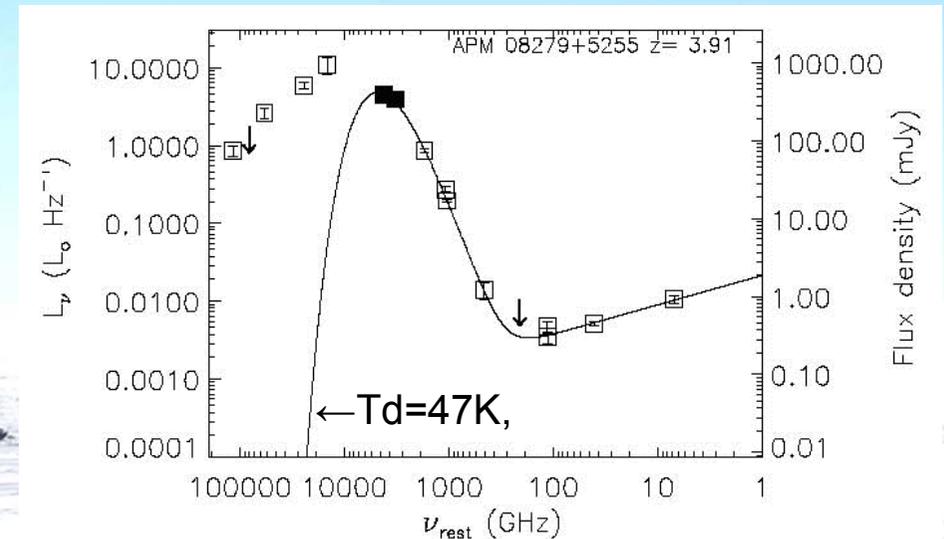
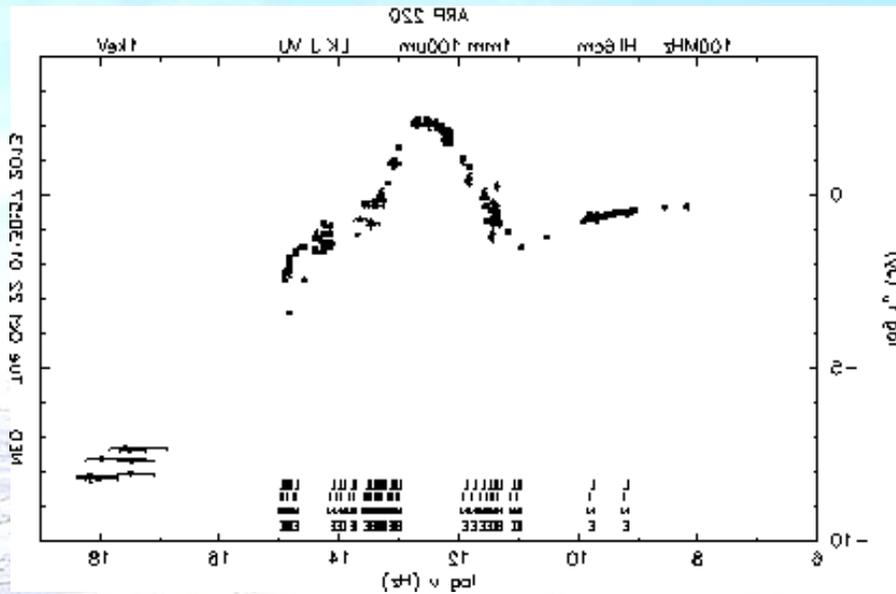


多くが複数の銀河(候補)から成っている

# Highz-銀河はsub-mm、THz帯でフラックスピーク

Arp 220

$z=3.91$



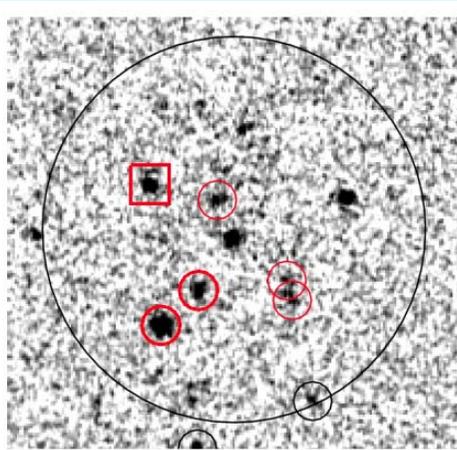
南極10m  
南極2.5m ↔ CCAT25m/Chile

# High-zでのスターバースト銀河探査

サブミリ銀河(SMG)

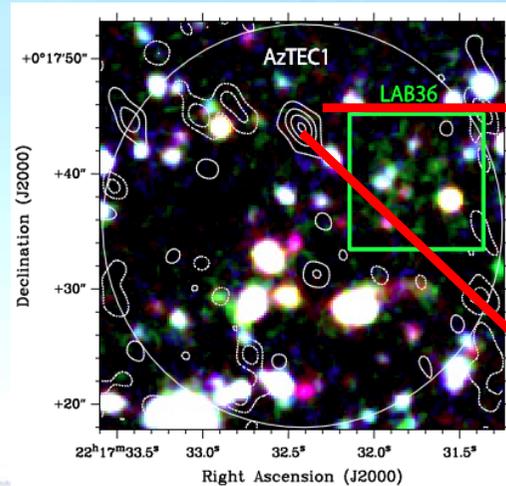
JCMT, IRAM30m, APEX, ASTE

SSA22 ( $z \sim 3$ )



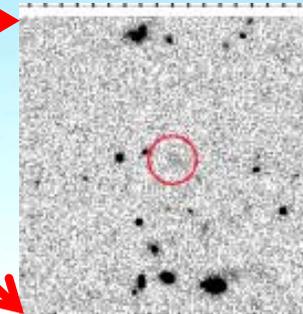
AzTEC20の近赤外線画像

Uchimoto+ (2012)



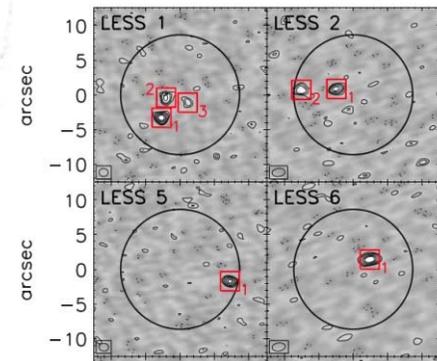
AzEC1とSMA860 $\mu$ m

すばる+MOIRCS



かろうじて見える

ビームサイズが大きい(15"~20" FWHM)  
High-z銀河はしばしばclumpy

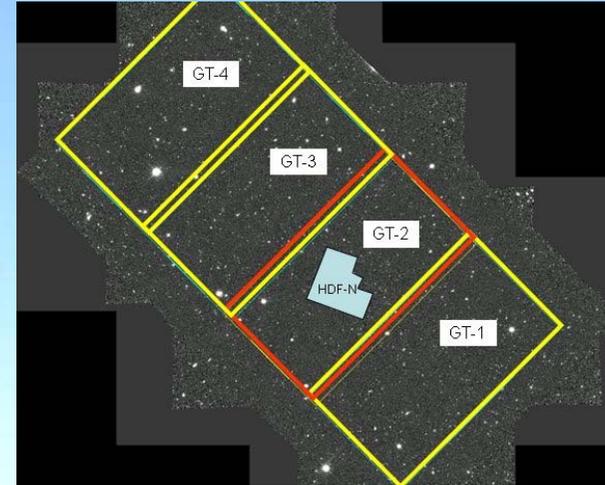
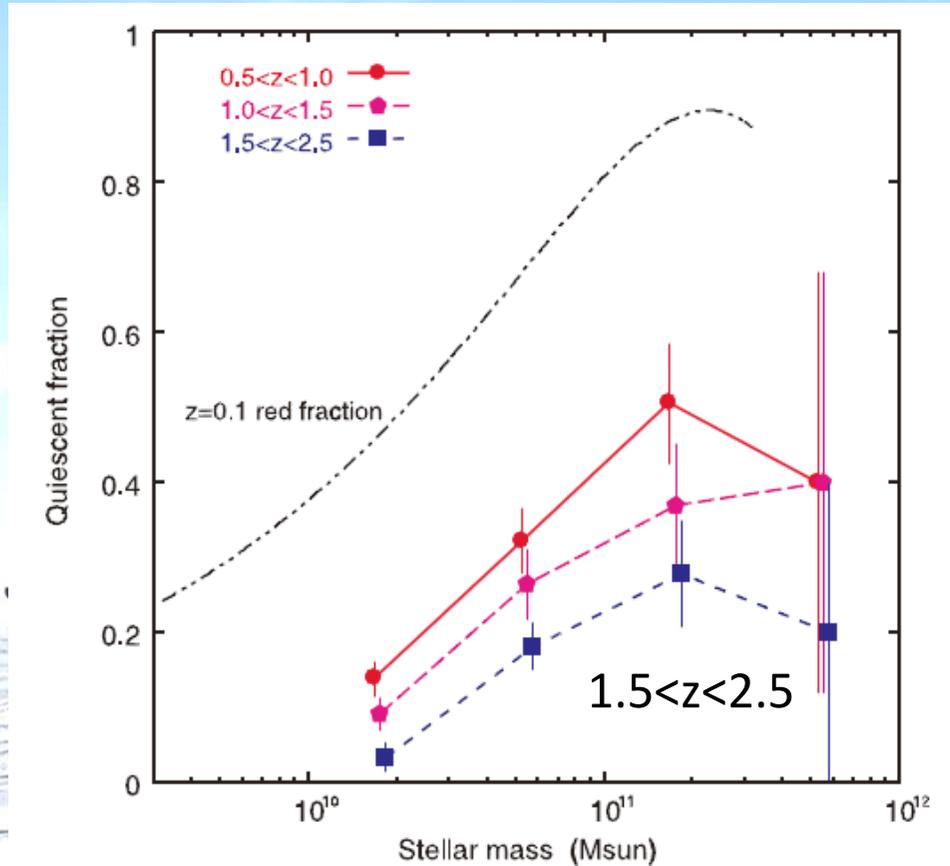


Hodge+(2013)

SMGをALMAで見ると、多数のclumpから成っている

- 星生成を終えたhigh-z巨大銀河

Kajisawa+ (2011)



Ichikawa+ (2007)

巨大銀河(>10<sup>11</sup>M<sub>☉</sub>)の20%は100億年前に星生成を終えている

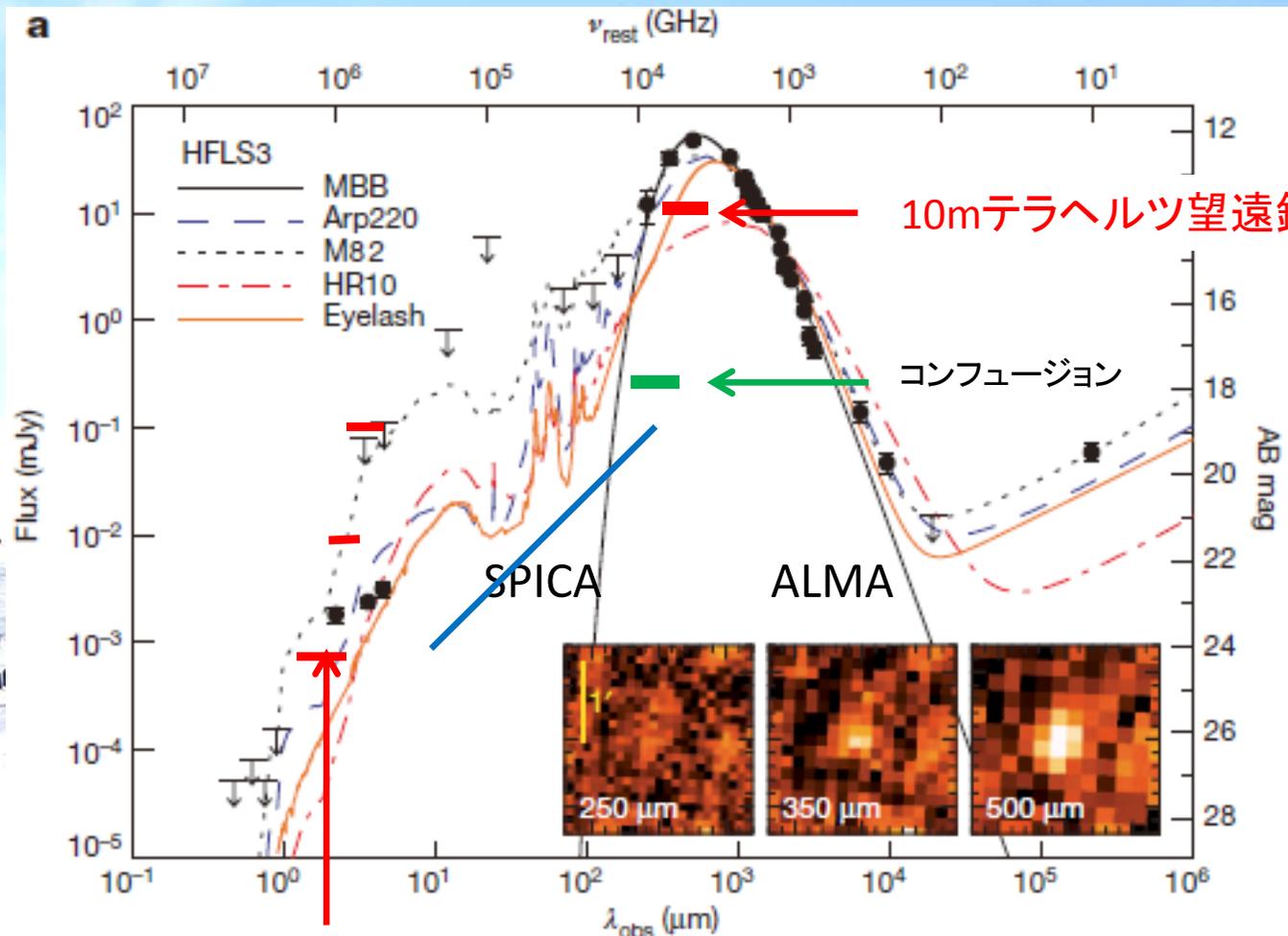
z>3(120億年前)にスターバースト

- ダストに覆われたhigh-zスターバースト銀河

z=6.5のHerschel銀河(2000Msun/yr)

250-, 350- 500- $\mu\text{m}$

Riechers+ 2013



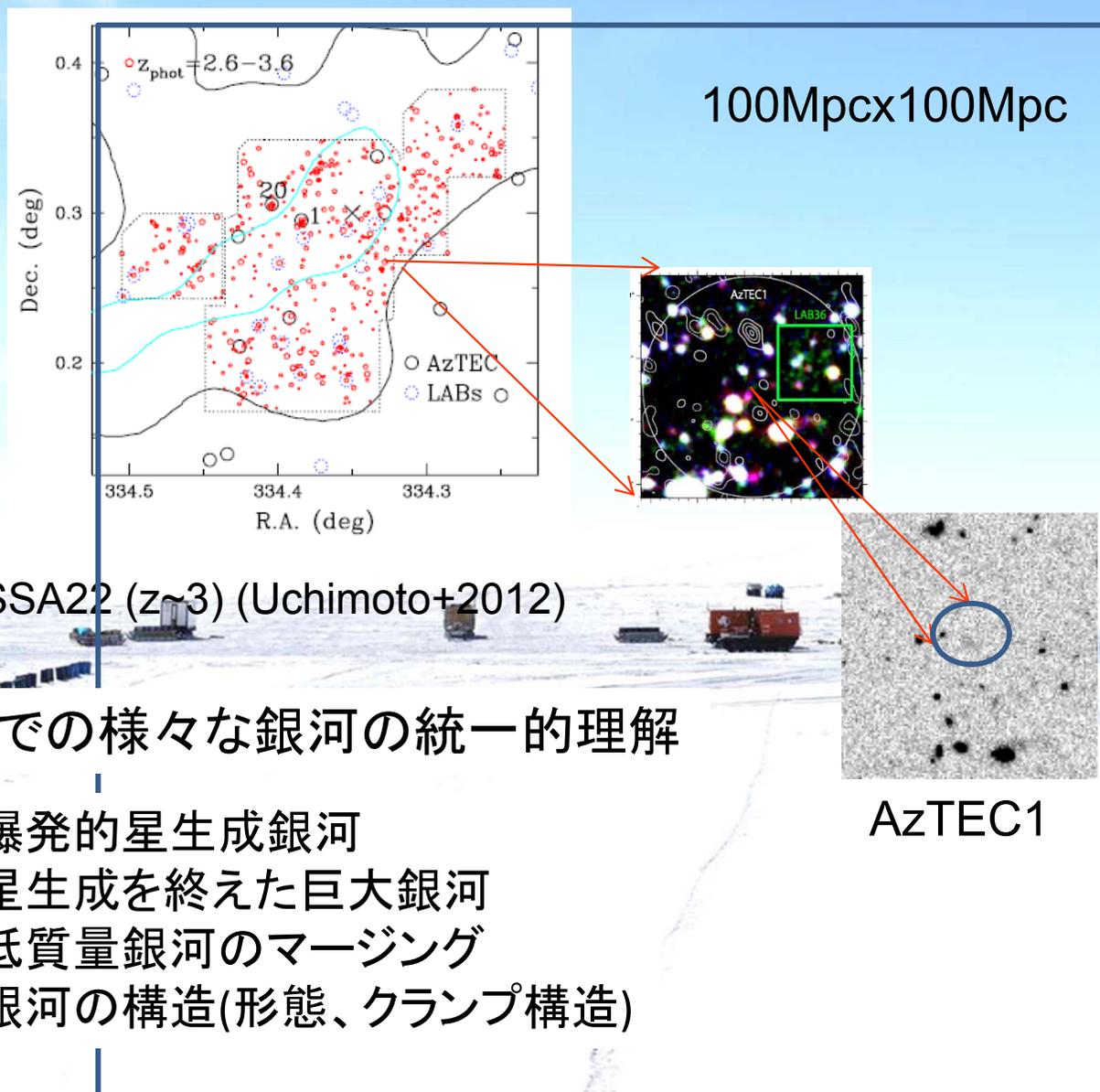
2.5m赤外線望遠鏡

S/N=5 (1時間積分)



# • 広域銀河探査

SSA22のようにhigh-zで星生成が活発な領域



広い領域での様々な銀河の統一的理解

- ✓ 爆発的星生成銀河
- ✓ 星生成を終えた巨大銀河
- ✓ 低質量銀河のマーキング
- ✓ 銀河の構造(形態、クランプ構造)

# 主目的

- High- $z$ でのテラヘルツ銀河の広域探査と星生成活動

ALMA、TMT、SPICAでの詳細観測

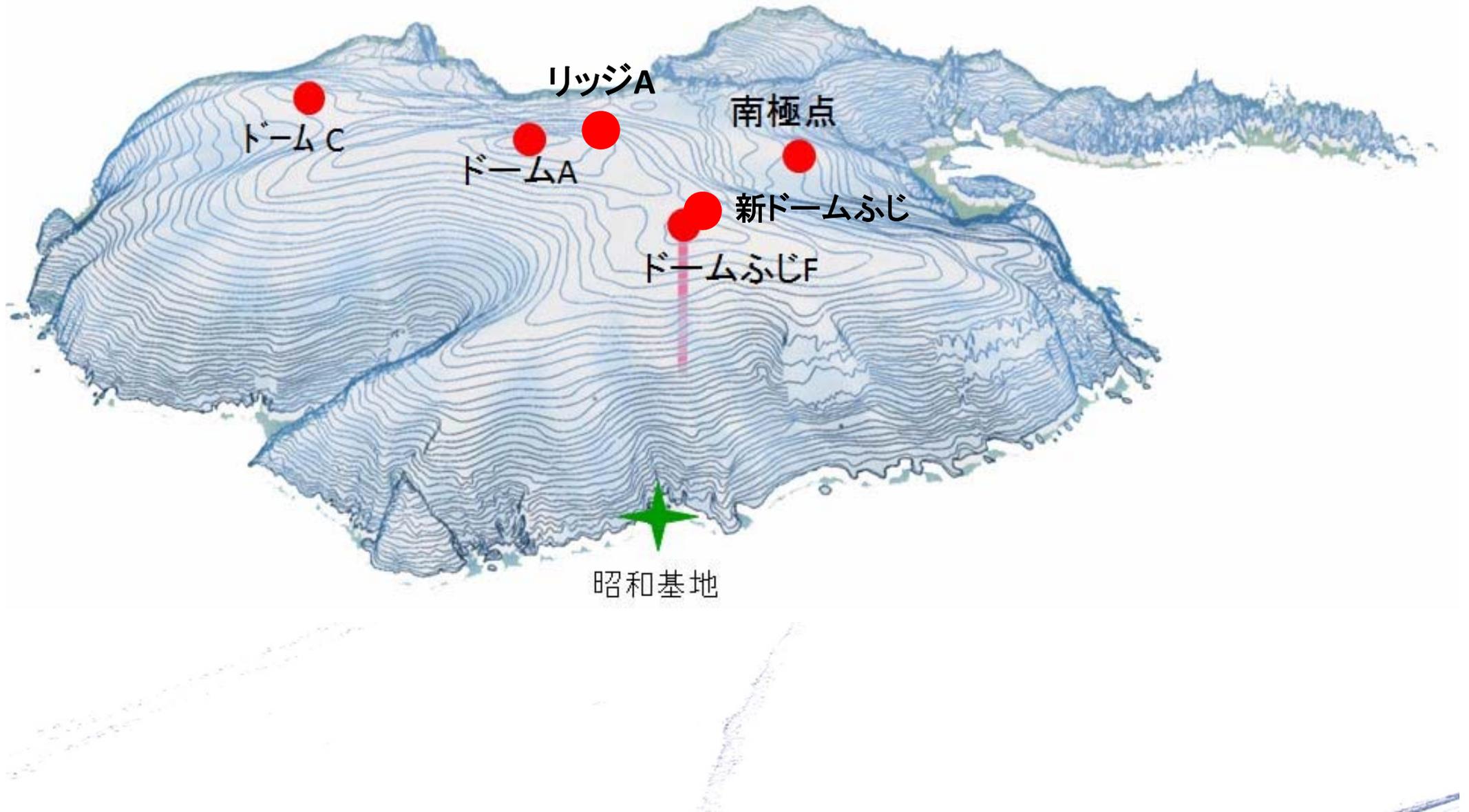
## 2. 南極の特徴、利点



2013年1月のドームふじ基地

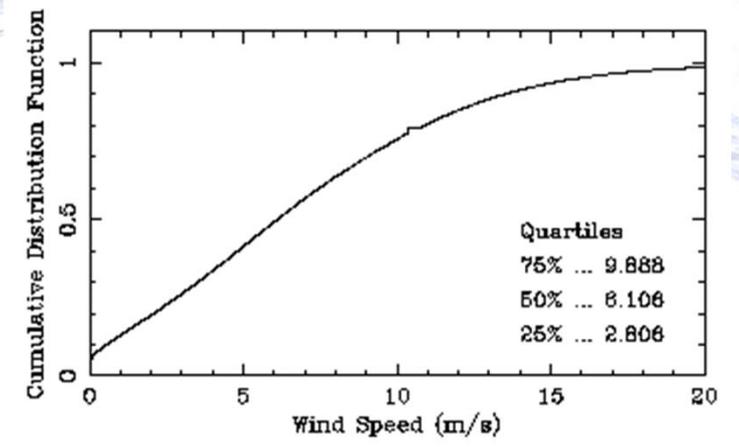
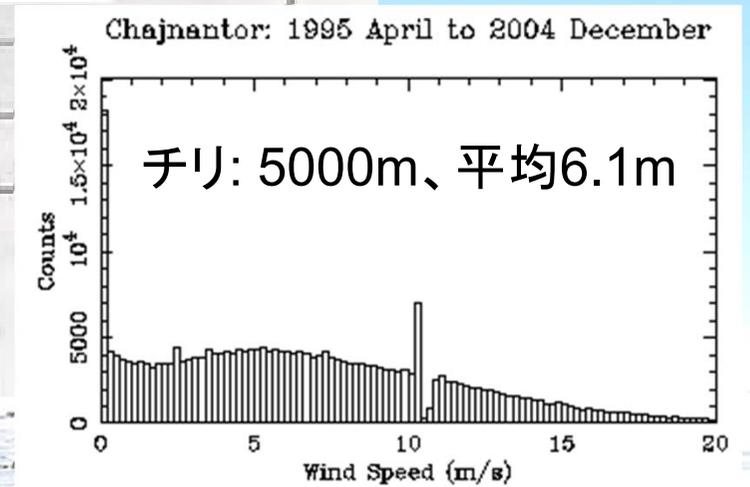
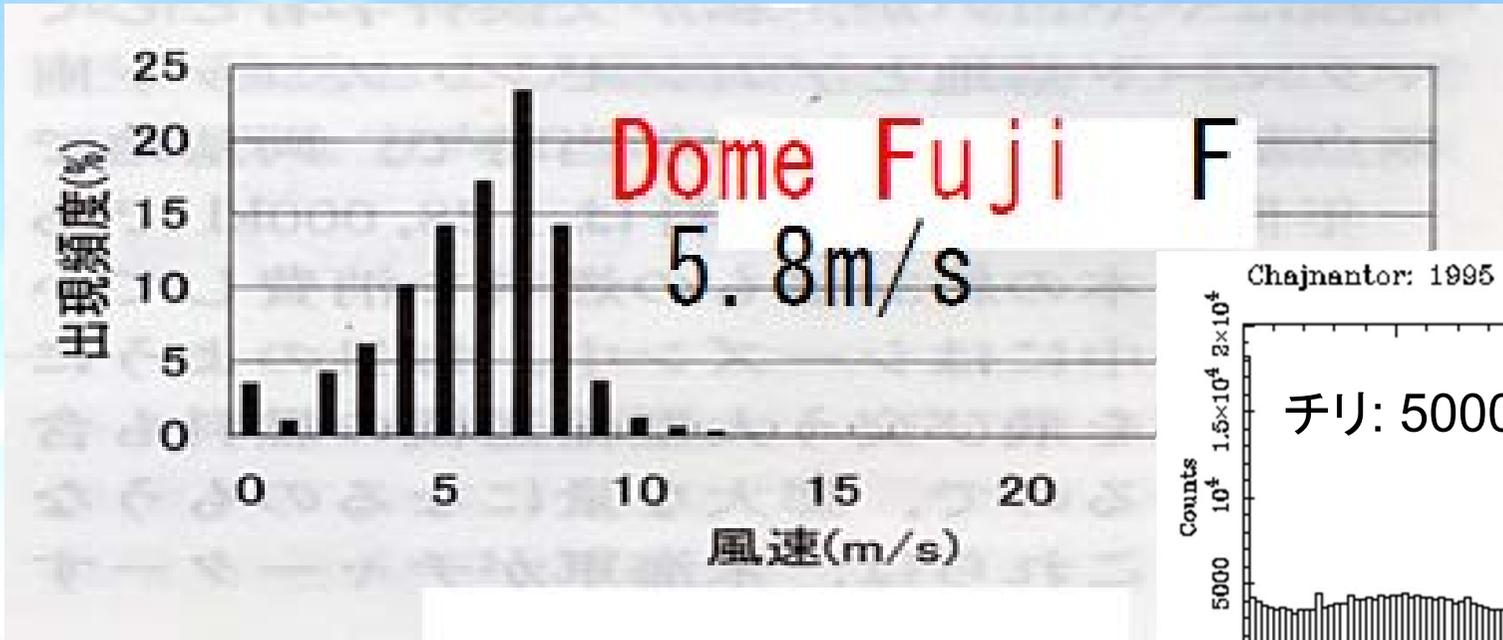
# ドームは常に高気圧帯で大気が安定

南極点は斜面にあるのでカタバ風が強い



- ✓ 高い晴天率（快晴68%、晴れ85%）
- ✓ 卓越風向がなく、弱い風
- ✓ 高い透明度、低い水蒸気量（0.14mmPWV、冬期50%）
- ✓ 低い大気バックグラウンド
  - 冬期は近赤外線でマウナケアの1/50～1/100
- ✓ 大気透過率の高い安定性
- ✓ 優れたシーイング（可視光0.2”、50%、地上約15m高）
- ✓ 継続観測（赤緯-20度以下で周極観測可能）
  - 冬期24時間、約5ヶ月間（波長に依存）の連続観測可

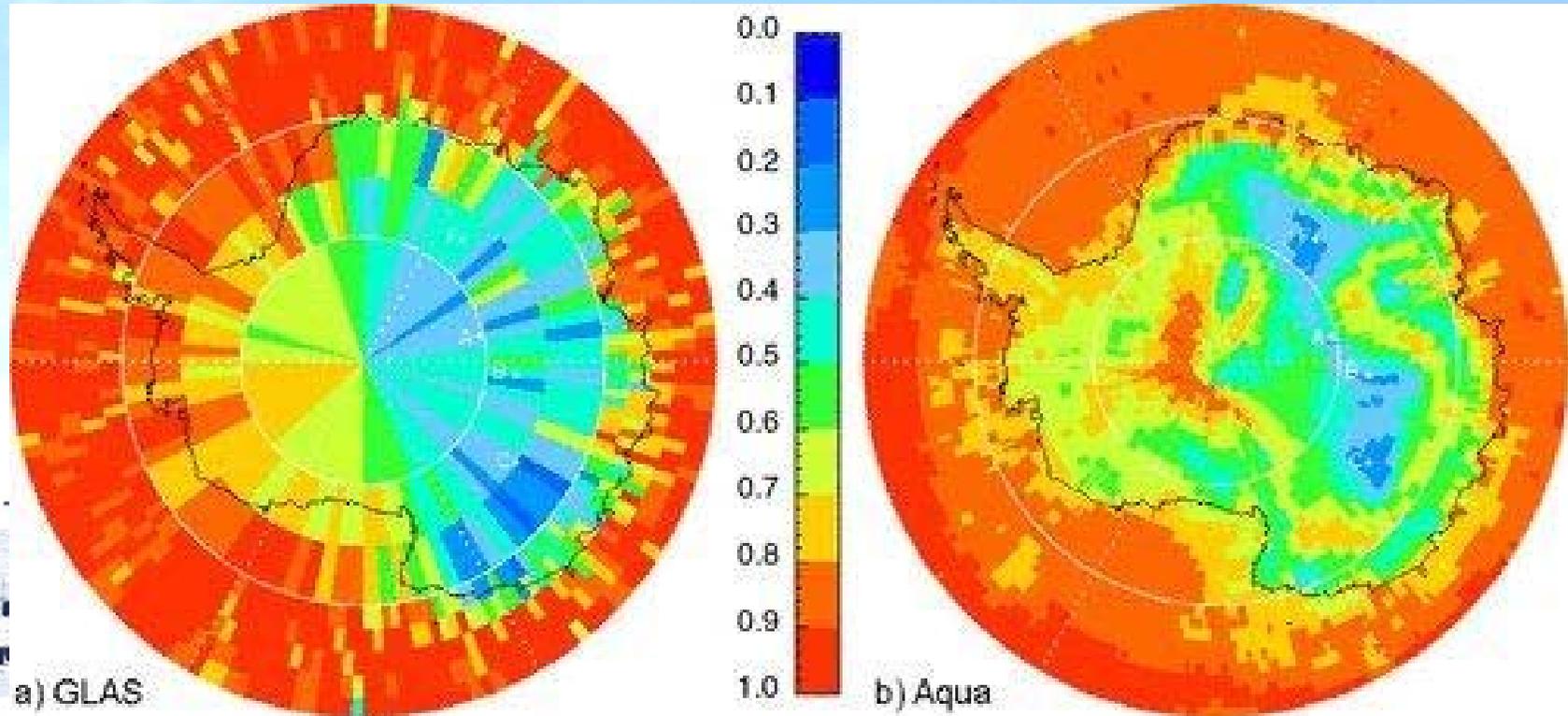
# • 風



- 晴天率

## 夜間の雲量(年平均)

Saunders+(2009) 衛星データによる



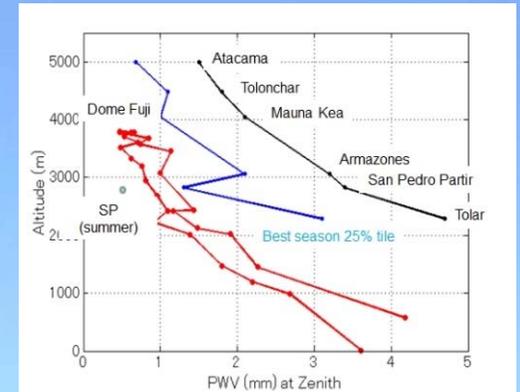
ドームふじ  
(極地研実測⇒)

完全な晴天=68% (1994-95、年間)  
晴天=85%?

# 水蒸気量(PWV)

衛星のデータから推定  
現地調査と良い一致

(Saunders+ 2009)



Takato+ (2011)

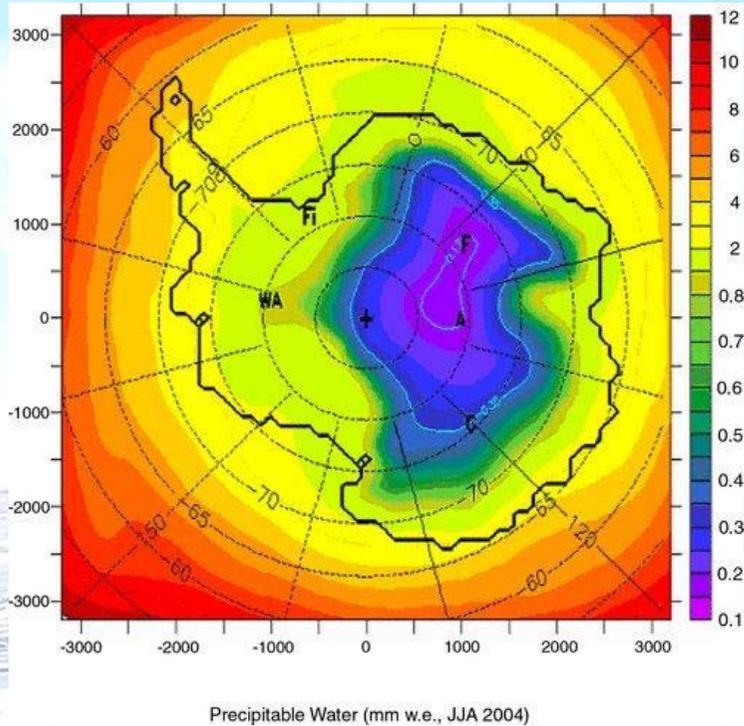


TABLE 4  
PWV QUANTILES FROM THE MHS SENSOR, FOR 2008  
(DATA IN MICRONS)

	SP	DC	DA	RA	DB	DF
Annual median .....	437	342	233	210	274	279
Winter median .....	324	235	141	118	163	163
Winter 25% .....	258	146	103	77	115	114
Winter 10% .....	203	113	71	45	83	90
Winter $\sigma$ .....	133	122	65	64	67	98

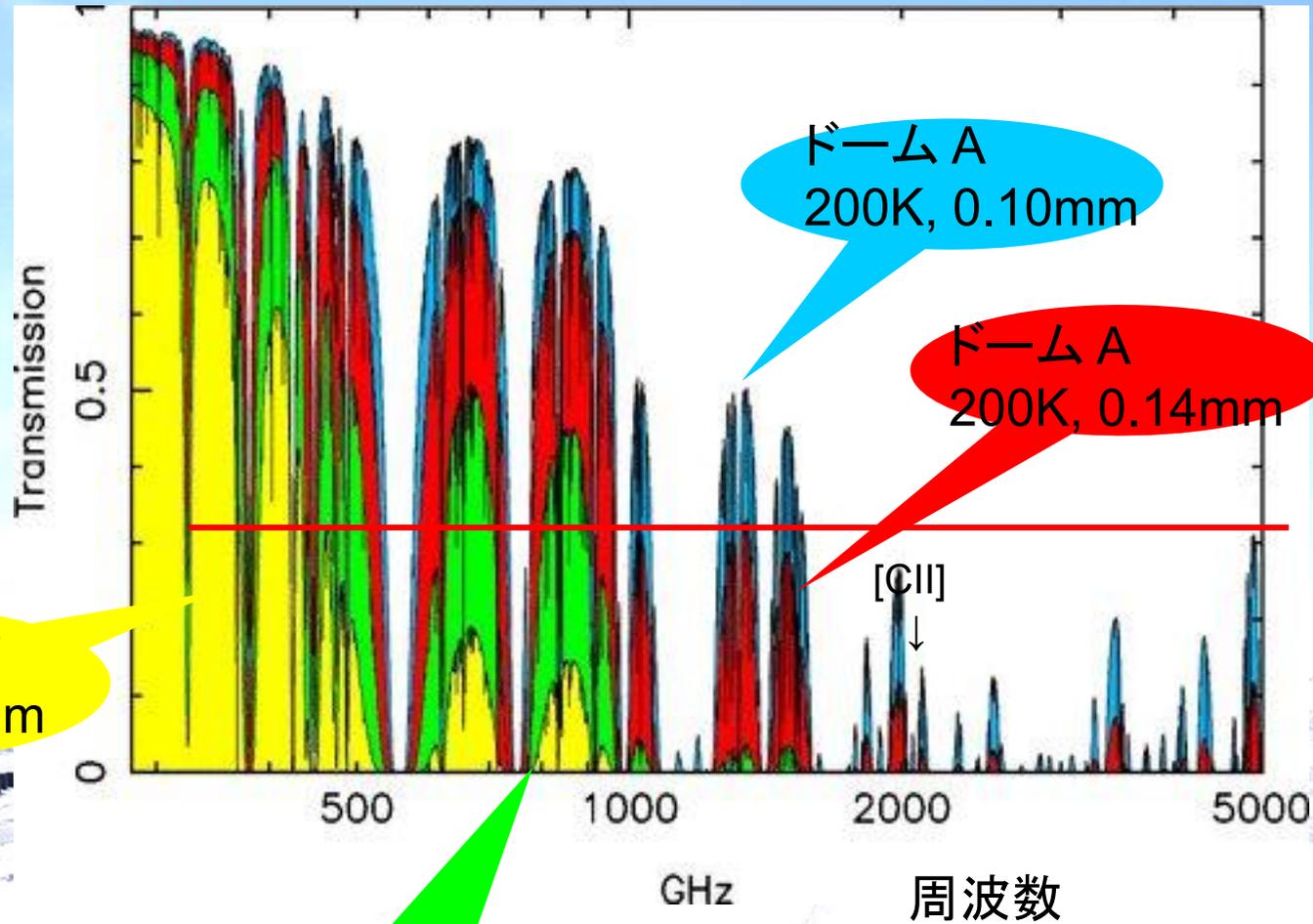
NOTE.—Winter refers to days 120–300.

( $\mu\text{m}$ )

新ドームふじ基地 ~ ドームA

新ドームふじ基地  
水蒸気量~10%低

# 透過率の比較



マウナ・ケア  
270K, 1.5mm

ドーム A  
200K, 0.10mm

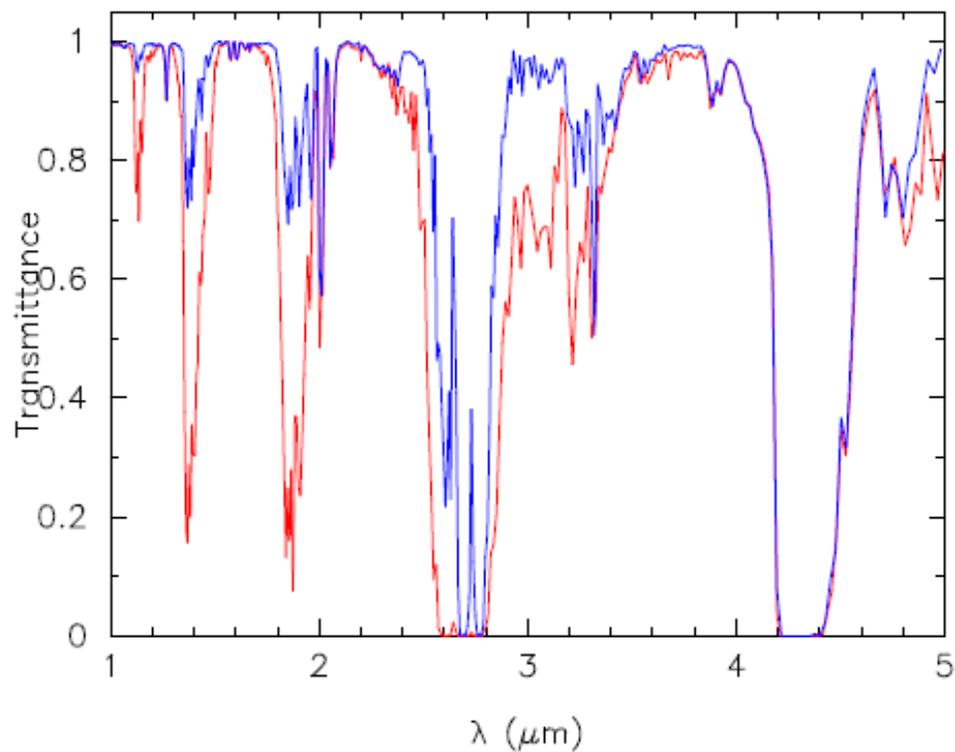
ドーム A  
200K, 0.14mm

チャントール(チリ)  
260K, 0.60mm

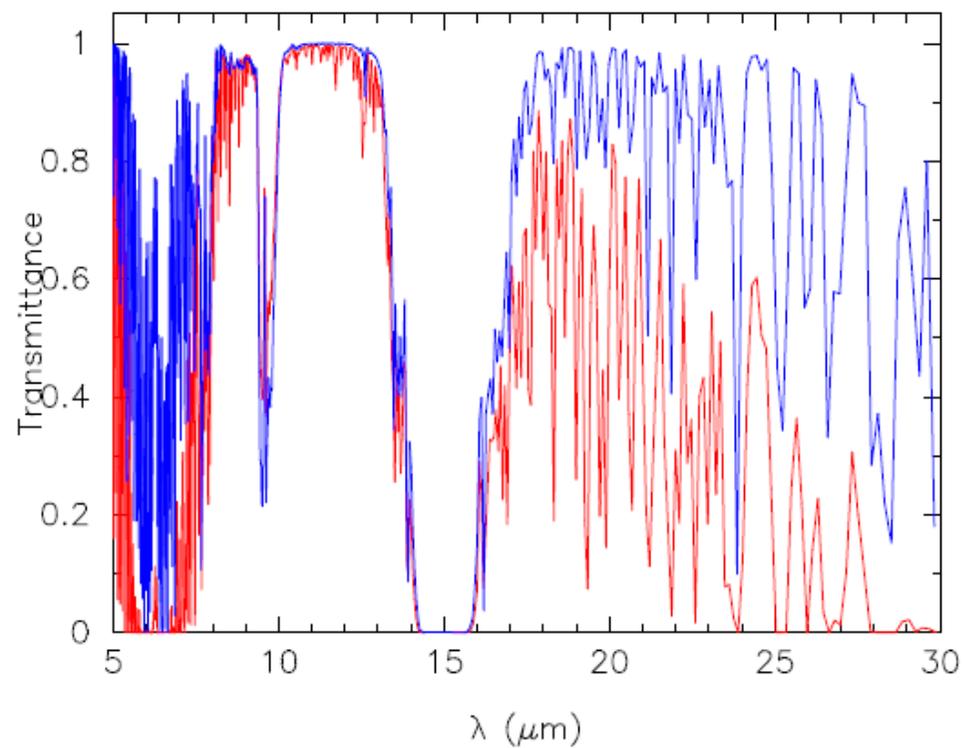
光学的厚み=1

		altitude	PWV
blue	<b>Dome Fuji</b>	3810m	0.2mm
red	<b>Mounakea</b>	4200m	1mm

Near-infrared



Mid-infrared

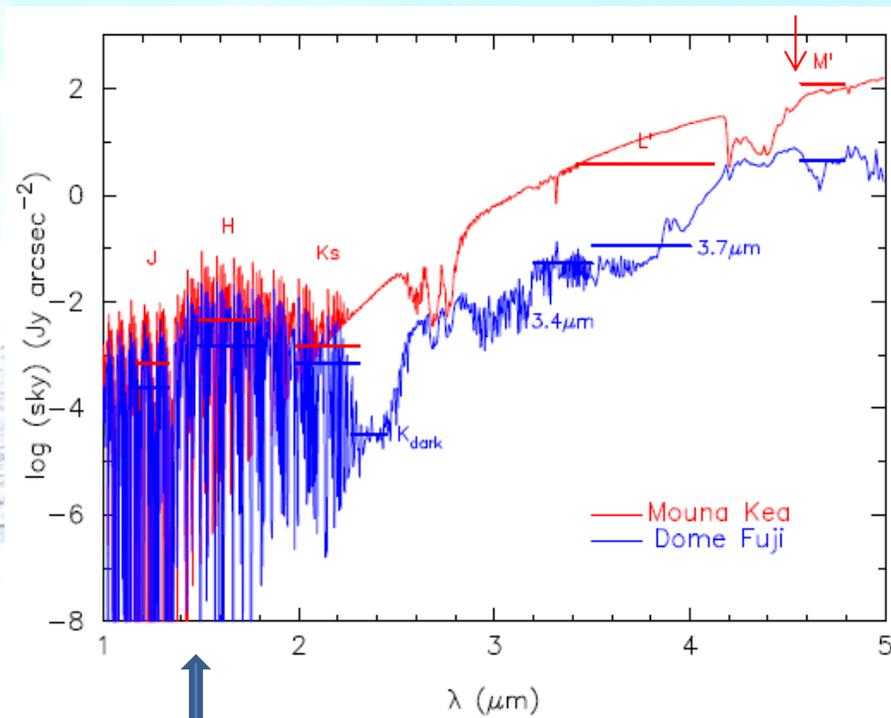


- 低い大気赤外線放射

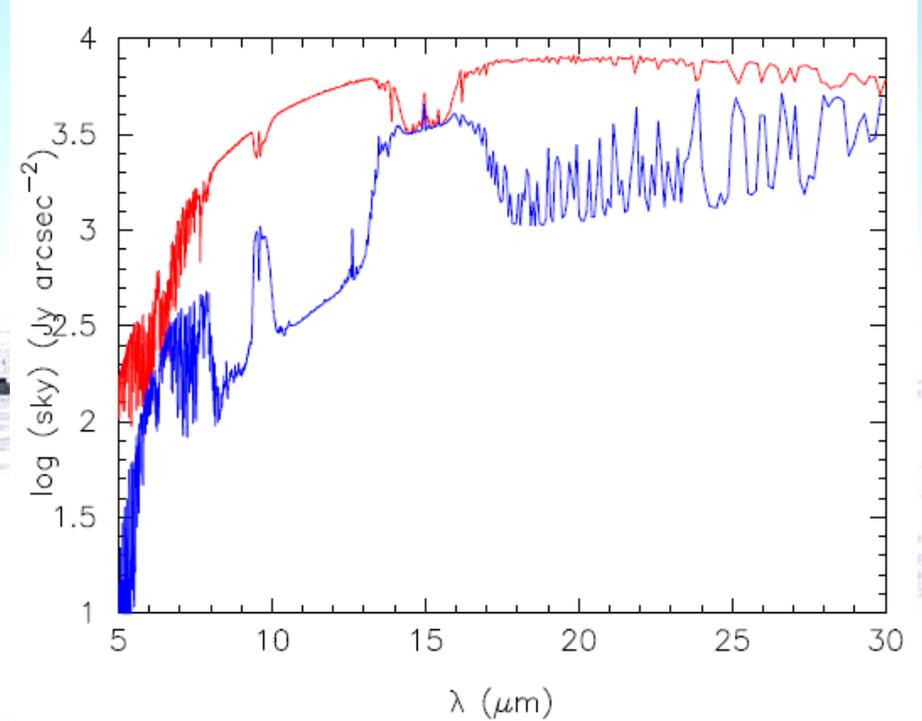
		altitude	temperature
blue	Dome Fuji	3810m	-70°C
red	Mounakea	4200m	0°C

Near-infrared

実測



Mid-infrared

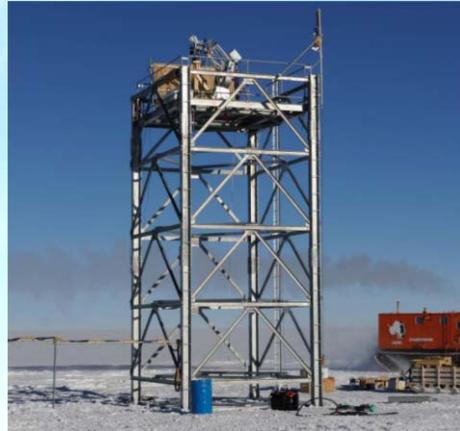
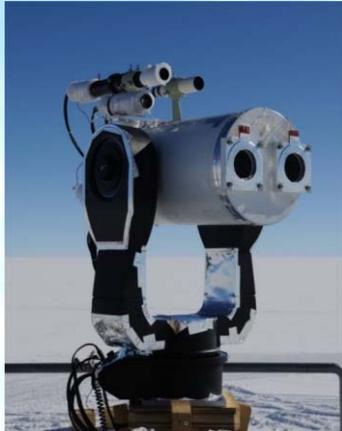


OHの観測例が少なく、1/3を仮定

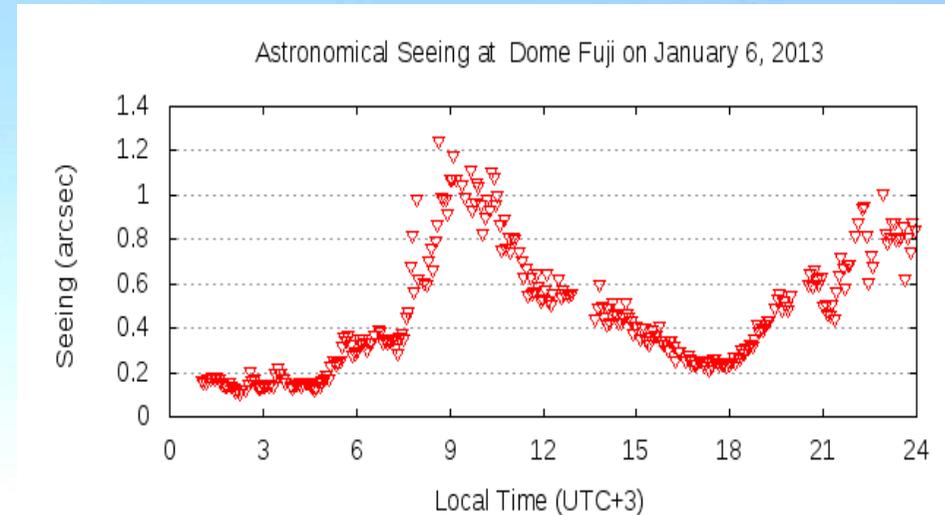
# 地球上最高のシーイング

—雪面から高さ15mで0.2秒角(天頂、可視光)—

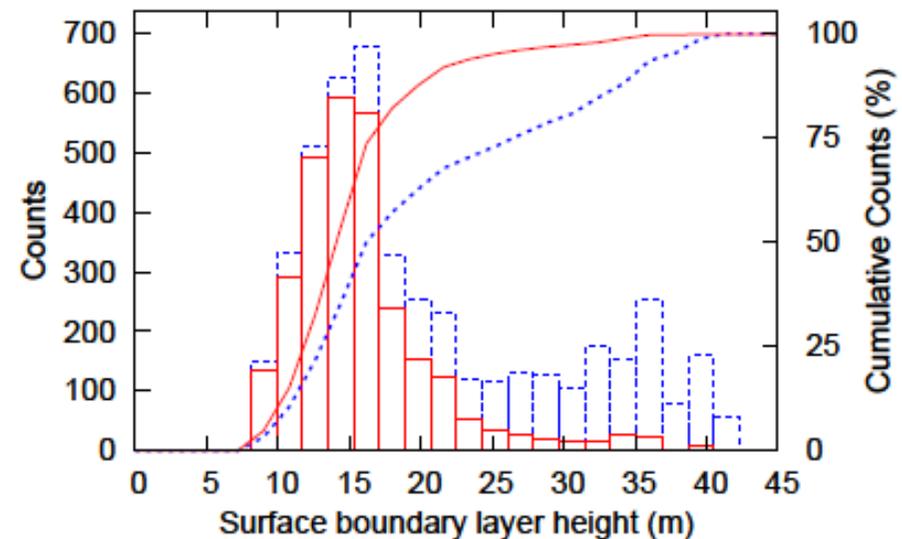
Okita+2013



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"



- 大気安定度

ドームふじ

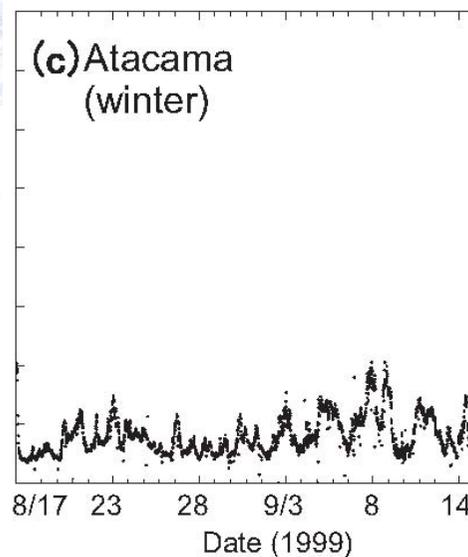
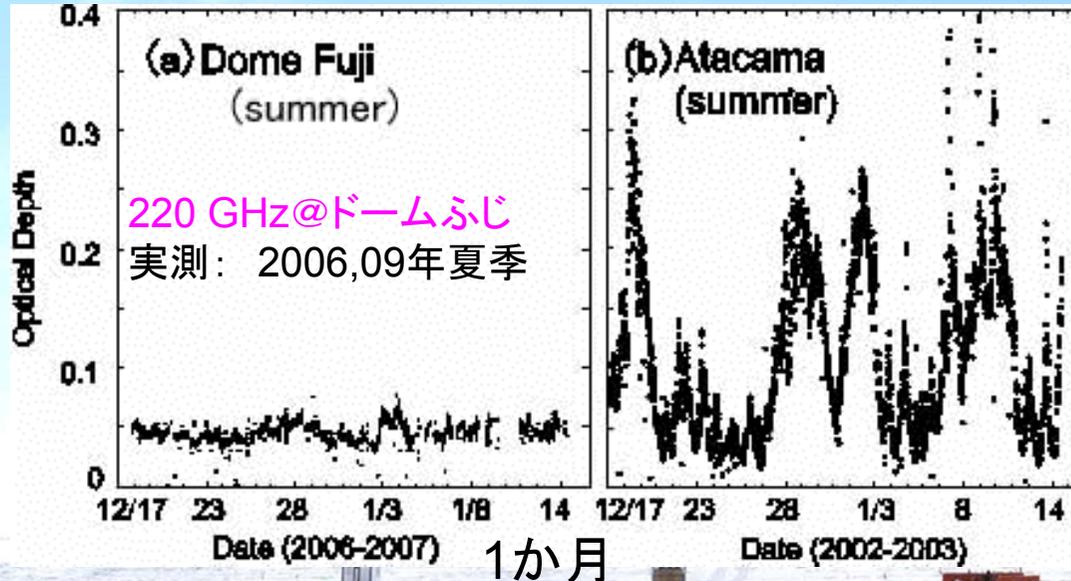
チリ(アタカマ 5000m)



夏季

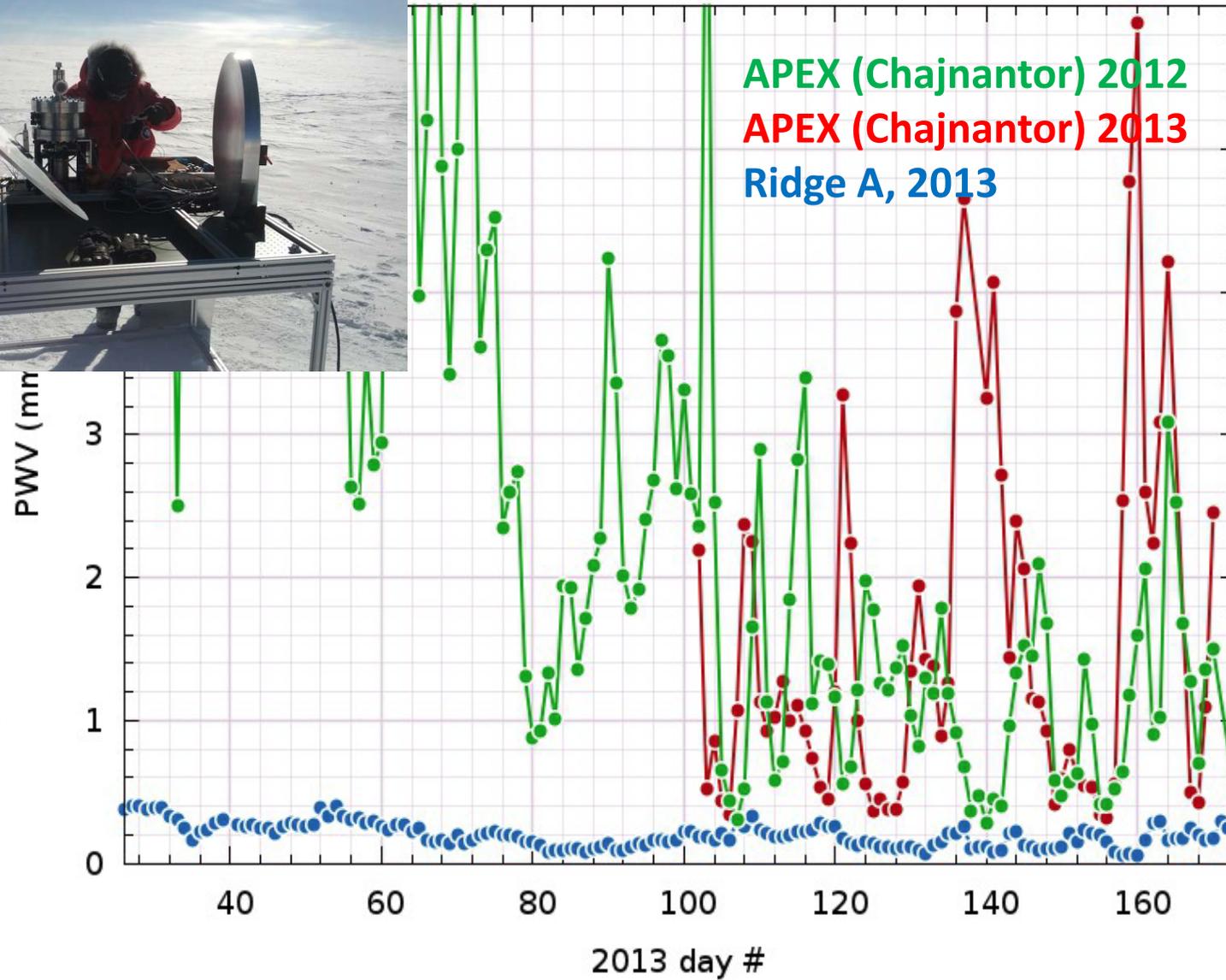
Seta + (2010)

光学的厚み



冬季

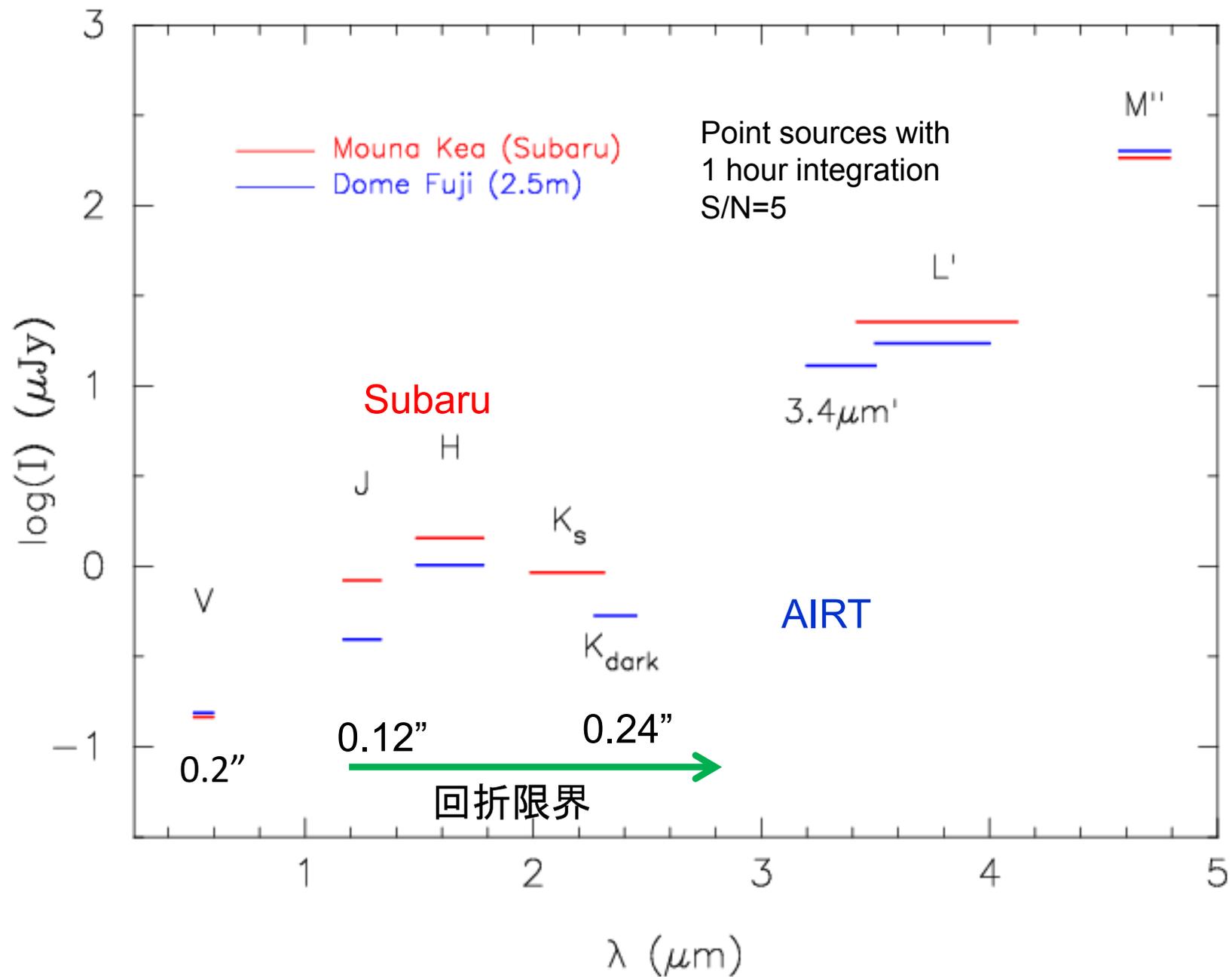
- Ridge Aでの最近の810GHz観測



冬のmeidan 0.13mm  
30%は0.1mm以下

Kulesa (2013)

# すばるとの撮像検出限界の比較



口径2.5mの赤外線望遠鏡は

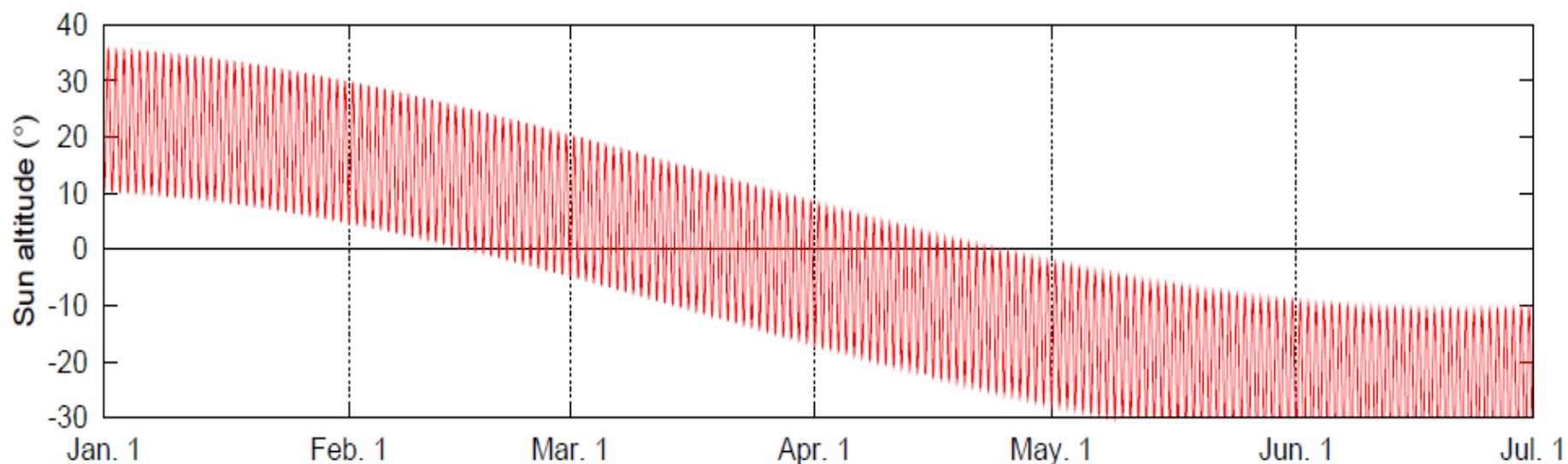
近赤外線波長の撮像観測で

- すばる望遠鏡以上の感度
- ハッブル望遠鏡なみの空間分解能



- 観測可能時間

Okita+ 2013



10 $\mu$ m可

>2.5 $\mu$ m可  
(6ヶ月)

極夜 (4ヶ月)

望遠鏡は夏期も運用可

- 高精度の変光観測

- 少ない水蒸気量

- 安定した大気

- 24時間、6ヶ月間の連続観測

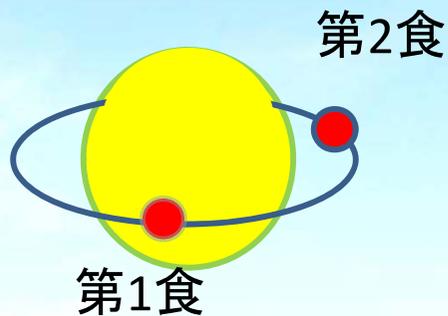


# 南極赤外線望遠鏡の主課題

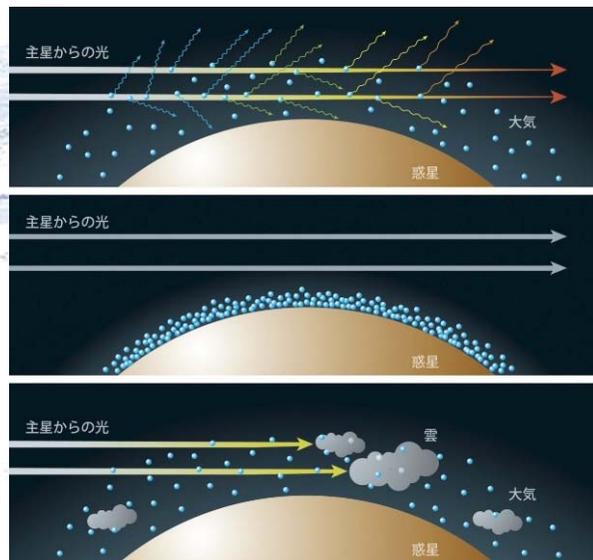
## ➤ スーパーアースの水蒸気大気

1-5 $\mu\text{m}$ 低分散トランジット分光観測

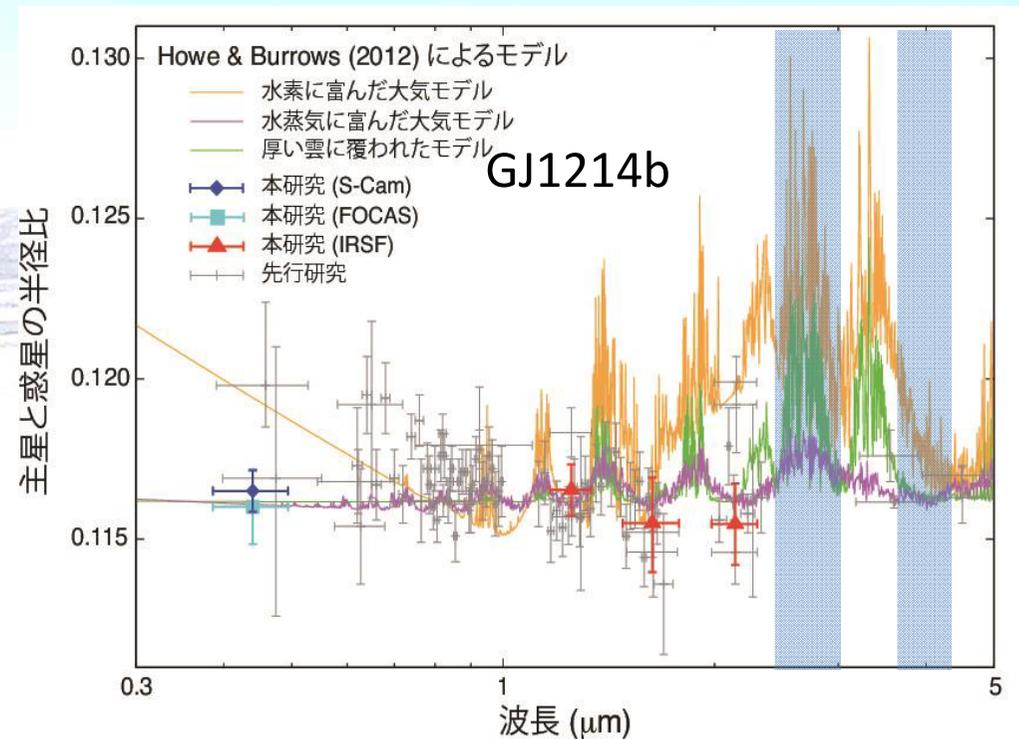
様々な分子線が観測可能( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ...)



Narita+2013

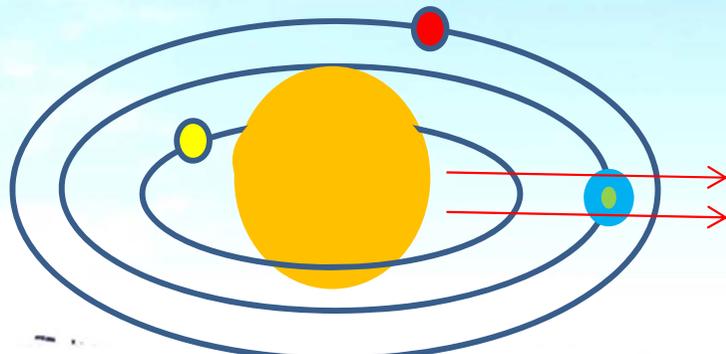


$$\lambda/\Delta\lambda \sim 100$$

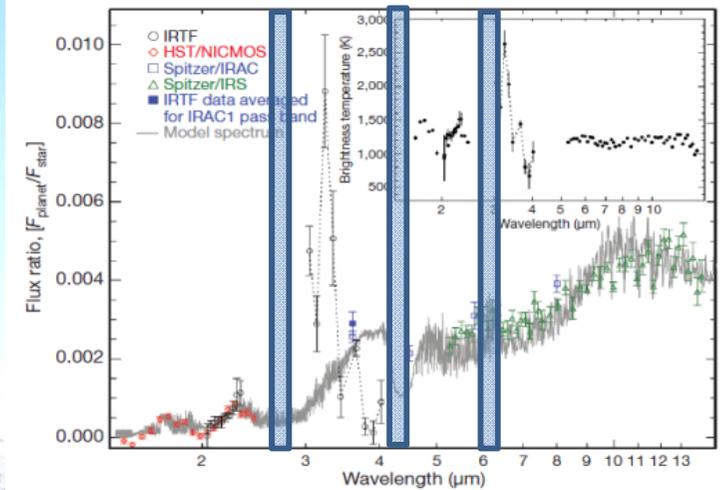


# ➤ 複数惑星系の多様性

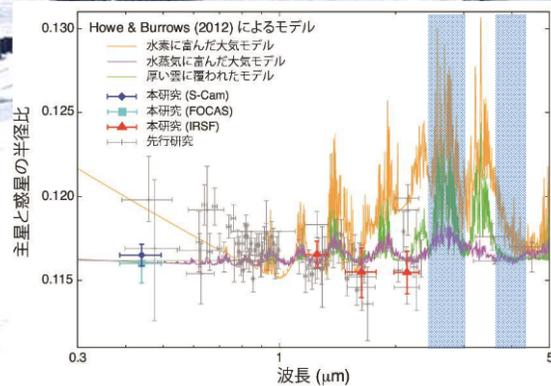
同じ惑星系に複数の長周期低質量惑星



Hot Jupiter



第2食による大気温度



第1食による大気構造

- 複数の惑星を持つ明るいトランジット天体候補

## TESS (2017年)

明るいG、K、M型星の地球サイズ惑星の全天トランジット探査



## 自前の広視野CCDカメラ



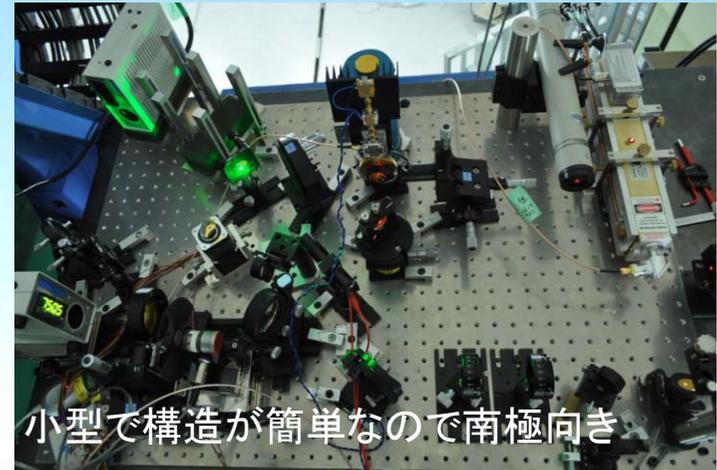
中国ドームA  
50cmシュミットx3台

- 長期連続観測

- 太陽系惑星の大気組成と分布、運動

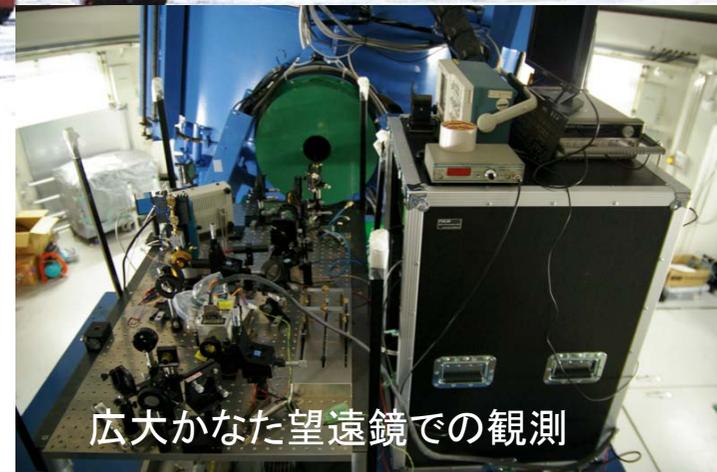
東北大赤外線ヘテロダイン分光器

波長 7-13  $\mu\text{m}$   
波長分解能  $10^7 \sim 8$



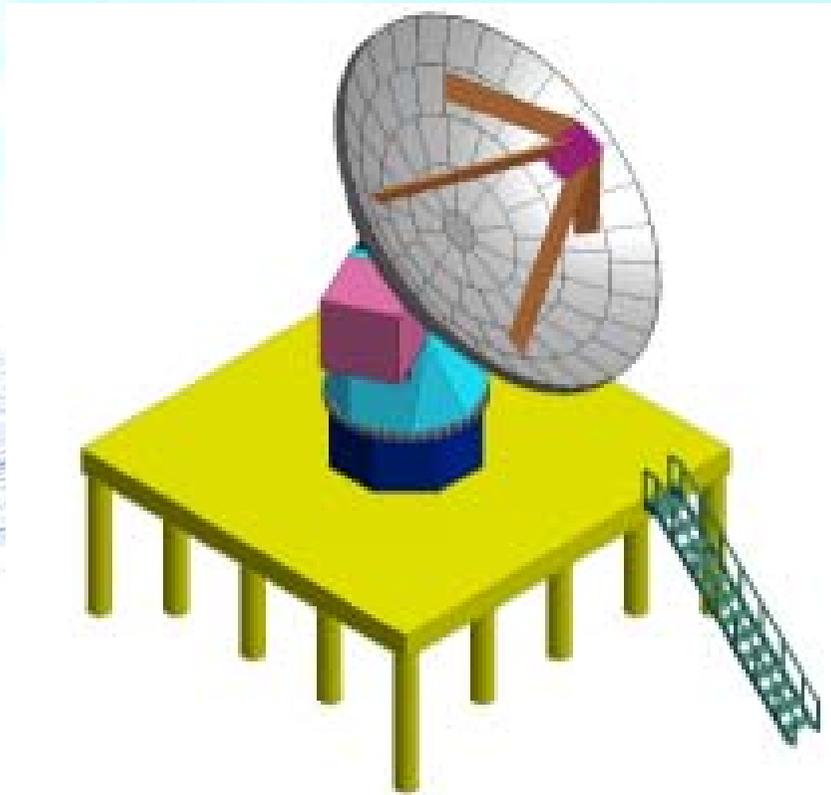
様々な分子が観測可能  
 $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{O}_3, \text{CH}_4, \dots$

現在、17 $\mu\text{m}$ 帯を開発中

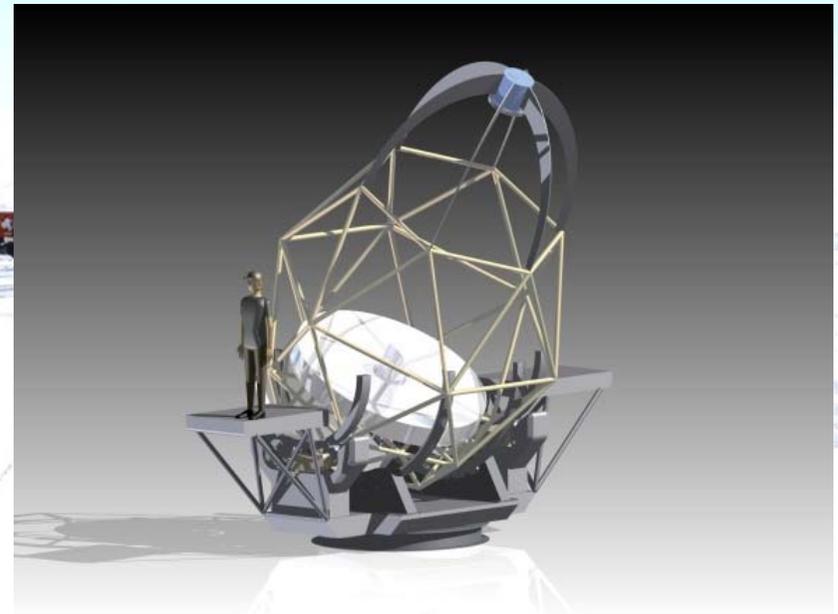


### 3. 望遠鏡と観測装置

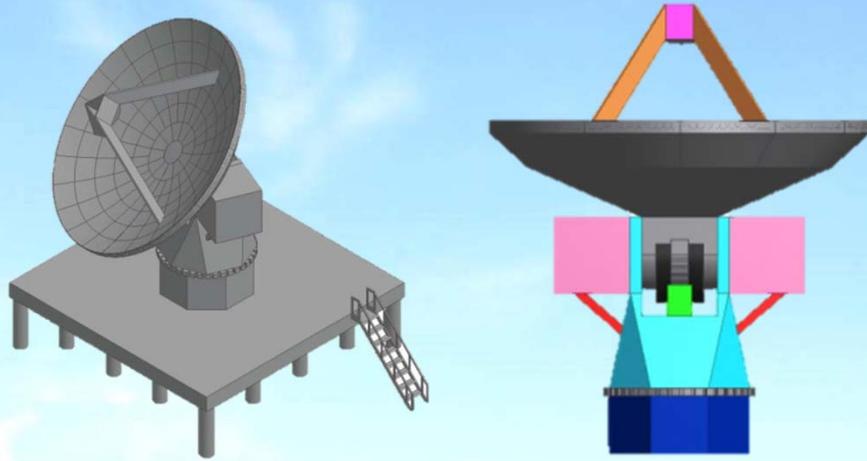
10mテラヘルツ望遠鏡



2.5m赤外線望遠鏡



# 南極10mテラヘルツ望遠鏡



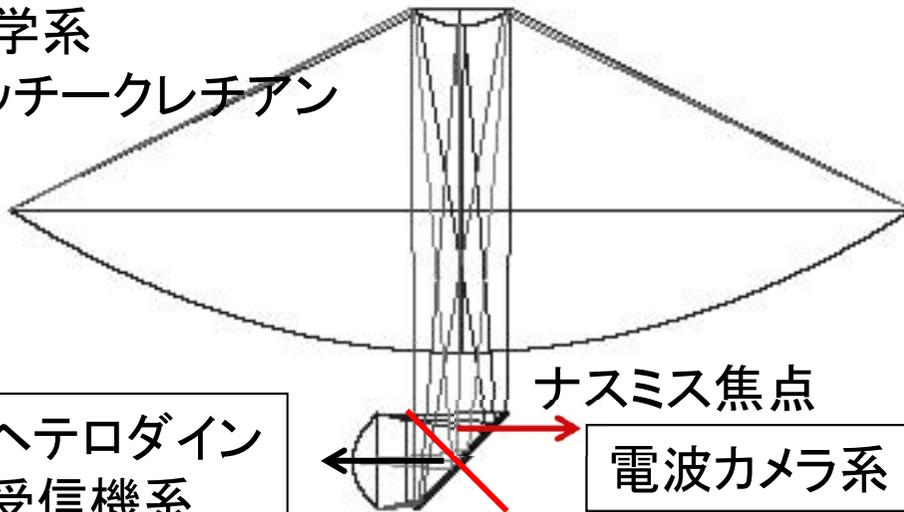
角分解能

$$\theta = 1.2 \lambda / D$$

0.41 THz	0.85 THz	1.5 THz
18"	8.7"	5.0"

10 m

光学系  
リッチークレチアン



ヘテロダイン  
受信機系

ナスミス焦点

電波カメラ系



指向性

絶対指向性	2"
追尾精度	0.5"

# 電波カメラ(超伝導共振器MKIDカメラ)

## 現計画

- ・3バンド/同時観測/クライオスタット(Φ20cm × 3 in Φ90cm)
- ・1000画素(410GHz), 3000画素(850GHz), 4000画素(1.5THz)
- ・視野~0.17平方度

$$NEP \approx 5 \times 10^{-18} \text{ W Hz}^{-1/2}$$

## 将来計画(別予算)

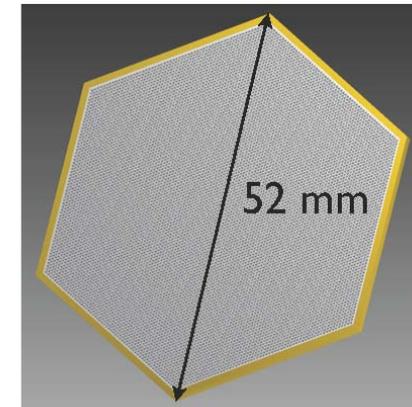
- ・10万画素/バンド
- ・視野~1平方度

410GHz      850GHz      1.5THz

関本、他  
(国立天文台)

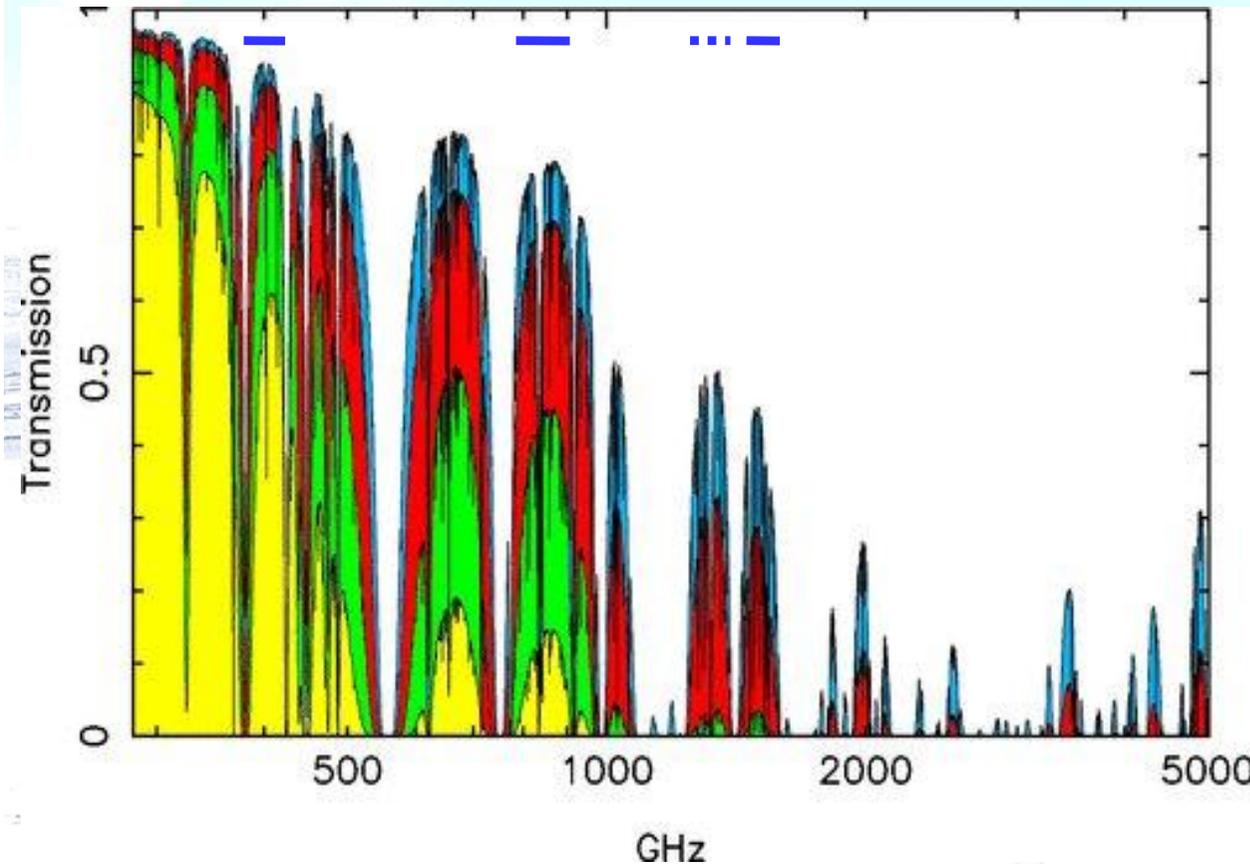
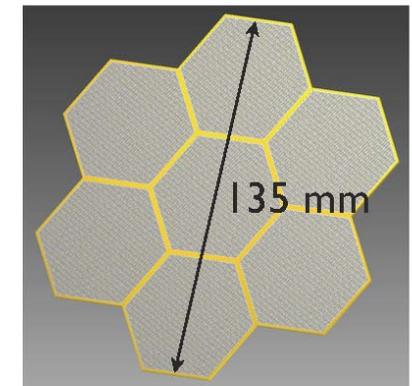
850GHz(350μm)の例

\* 1 モジュール (10267素子)



レンズ直径: 0.36 mm

\* 7 モジュール (71869素子)



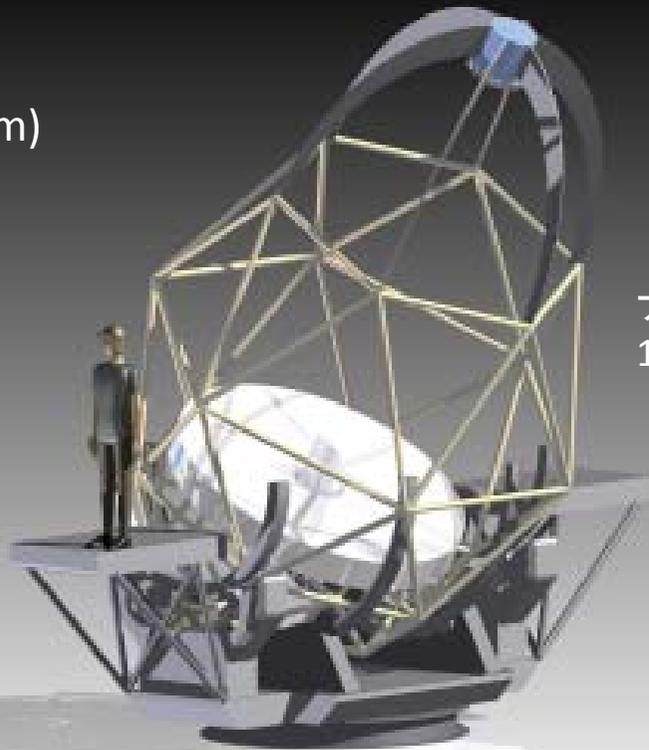
# • 2.5m 赤外線望遠鏡

岡山3.8mの技術を用いた超軽量架台(Kurita+2009)

主鏡

2.5m (>2m)

F/2.0-2.5



ナスミスステージ

1m x 1m 500kg

合成焦点

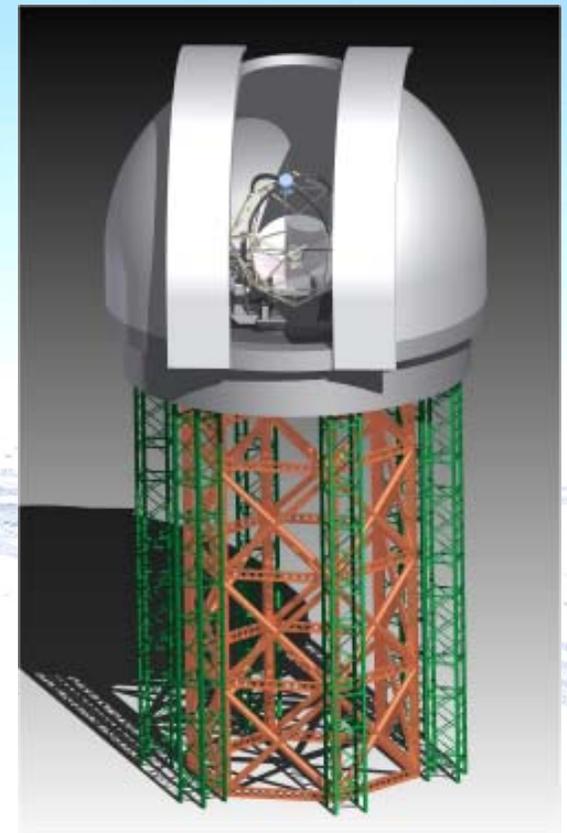
F/10-12

f=25-30m

- 3色赤外線(1~5 $\mu$ m)カメラ+低分散多天体機能
- 10 $\mu$ mヘテロダイン分光器

装置交換は1-2年(以上)毎に一台

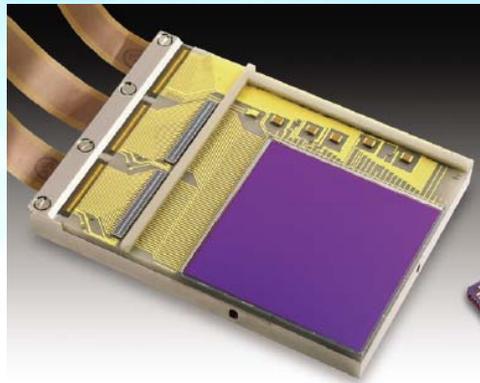
発砲スロール製ドーム



0.2"シーイングを得るために  
13mのタワー

- 3色・多天体機能付きカメラ (1~5 $\mu$ m)

現在、光学設計中



ORION 2Kx2K x 3

0.12"/pixel  
2.5 $\mu$ mで回折限界の半分  
視野 4.1'x4.1'

Proto model

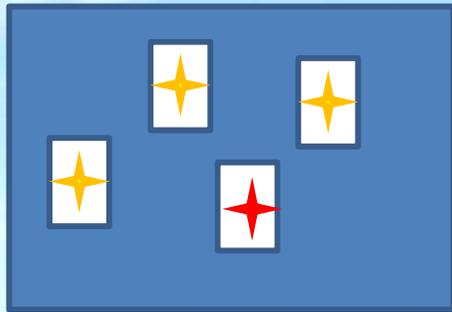


Under assembling

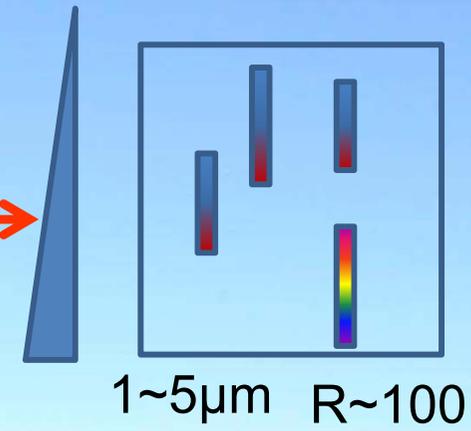
2Kx2K VIRGO (1~2.5 $\mu$ m)  
256x256x2 InSb (2.5~5 $\mu$ m)

同時3色又は2色+低分散分光

多天体用スリットマスク

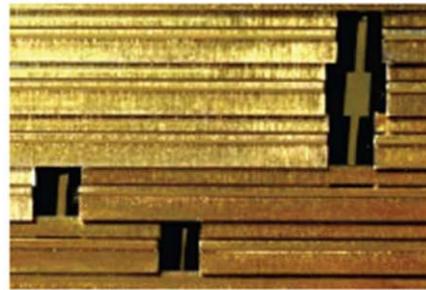
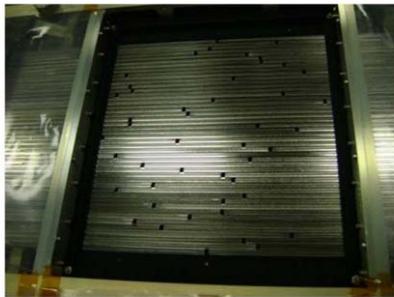


大きなスリット~10 天体



1~5μm R~100

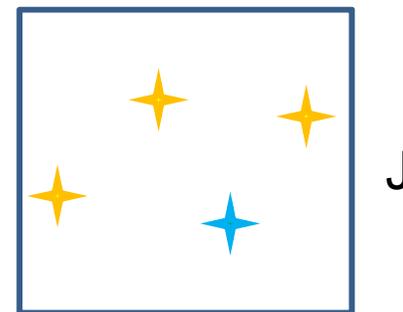
MOSFIREのスリットマスク



McLean+ 2010



K



J

# 4. 準備状況

## • 南極天文コンソーシアムの活動

年	内容
2004	国立極地研究所と南極での天文学推進について協議
2005	「南極天文コンソーシアム」設立 筑波大（中井代表）、東北大、立教大学、国立極地研究所、他
2006	文部科学省（研究開発局海洋地球課）に説明
2007	南極観測50周年記念式典： 「天文学宇宙観測の有用性」（総研大学長）
2008	日本学術会議シンポジウム（天文）で南極天文学計画を発表 国際組織SCARに南極天文委員会(AAA)設立(日本代表として東北大から委員)
2009	南極地域観測第8期計画（2010～2015）に「 <b>天文学を推進</b> 」（文科省統合推進本部） ニューサウスウェールズ大学(豪)、東北大学、極地研間で共同研究協定締結
2010	第8期南極地域観測開始（天体観測所開設、輸送力増強、建物の検討開始）
2011	日本学術会議に中期計画として提案（10m級サブミリ、2.5m赤外線望遠鏡）
2013	日本学術会議天文学宇宙物理分科会から推薦を受けて、2014年日本学術会議マスタープランに応募(代表 筑波大学学長)
2016	第9期南極地域観測開始(予定)

# 問題点

- 過酷な環境(-80°C)
- 冬は孤立 (太陽も出ない極夜)
- 昭和基地から1000km、雪上車で3週間
- 運搬手段は雪上車とそり
- 雪面上での建設
- 飛行機の利用は限定的

ひとつずつ問題点を克服

- 極寒環境に耐える天体観測装置の開発



実験室の-80°Cの冷凍庫



-60°C実験室(北大低温研)



北海道陸別町での遠征試験



30cmサブミリ望遠鏡(ユングフラウ、スフィンクス天文台)

- 金属の低温脆性

(日本大学、極地研)



-80°C環境でのガイドレールの耐久試験

- 雪面上での建設

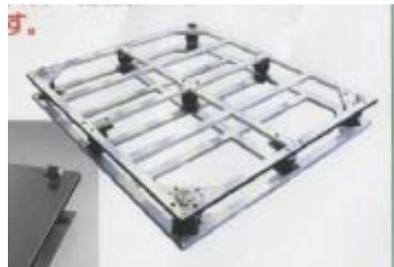


ドームふじでの9mタワー建設

- 主鏡、パネルの安全な運搬

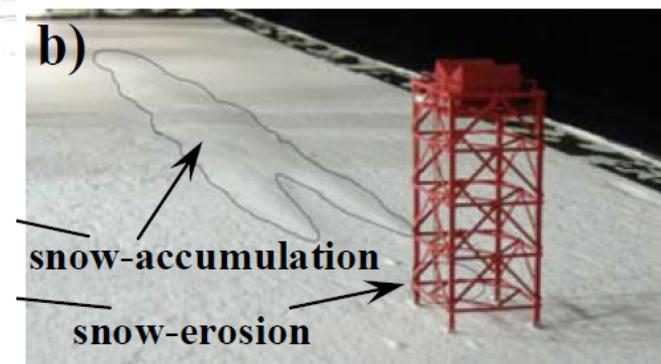
(香川大、北見工大、極地研)

ソリ用防振パレットの開発



- 着雪、ドリフト対策

(東北大工、新潟工大、極地研)



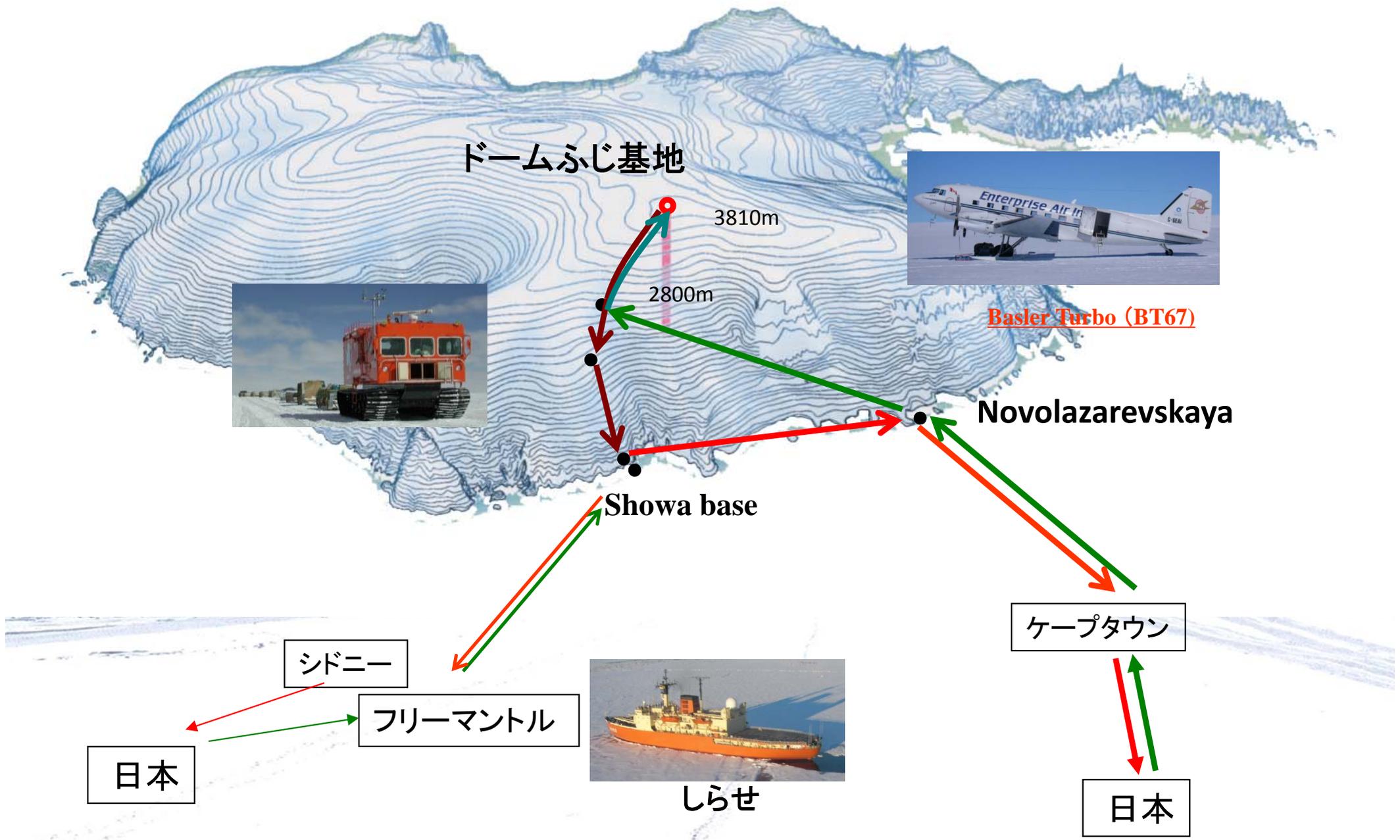
風洞実験

# 5. サイト調査

## 天文の南極遠征と主な成果

年	観測隊員・同行者	主なミッションと成果
2006/2007		大気透過率と大気擾乱測定を50次隊に依頼 初の天文環境調査
2009/2010	瀬田益道(筑波大)	大気透過率の測定 現在の最高天文観測拠点(ALMAサイト)に比べて格段に安定していることを確認
2010/2011	高遠徳尚(国立天文台) 沖田博文(東北大)	天体観測所開設 自動発電装置の設置(オーストラリアと共同) 大気水蒸気量が世界の天文サイトで最も少ないことを確認
2011/2012	市川隆(東北大) 小山拓也(東北大)	昭和基地への大型天文機材の運搬 東北大で初の越冬
2012/2013	沖田博文(東北大) 小山拓也(東北大)	40cm望遠鏡と9m高ステージの設置 大気ゆらぎが世界一小さい場所であることを発見
2014/2015	天文から2名(予定)	データ回収と天文装置の保守(予定)

# ドームふじ基地へのアクセスと輸送



# 2009/2010第51次ドームふじ隊

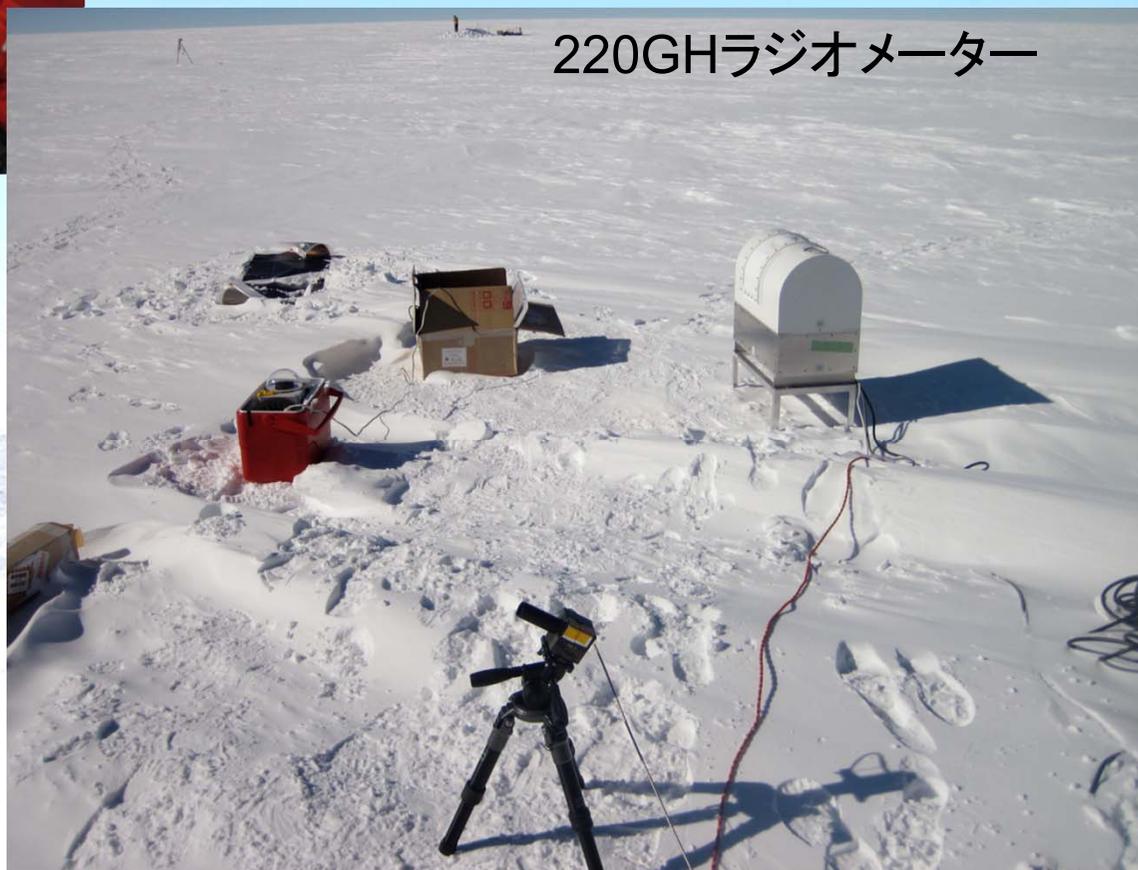
現地2週間滞在



瀬田(筑波大)



近赤外水蒸気モニター



220GHラジオメーター

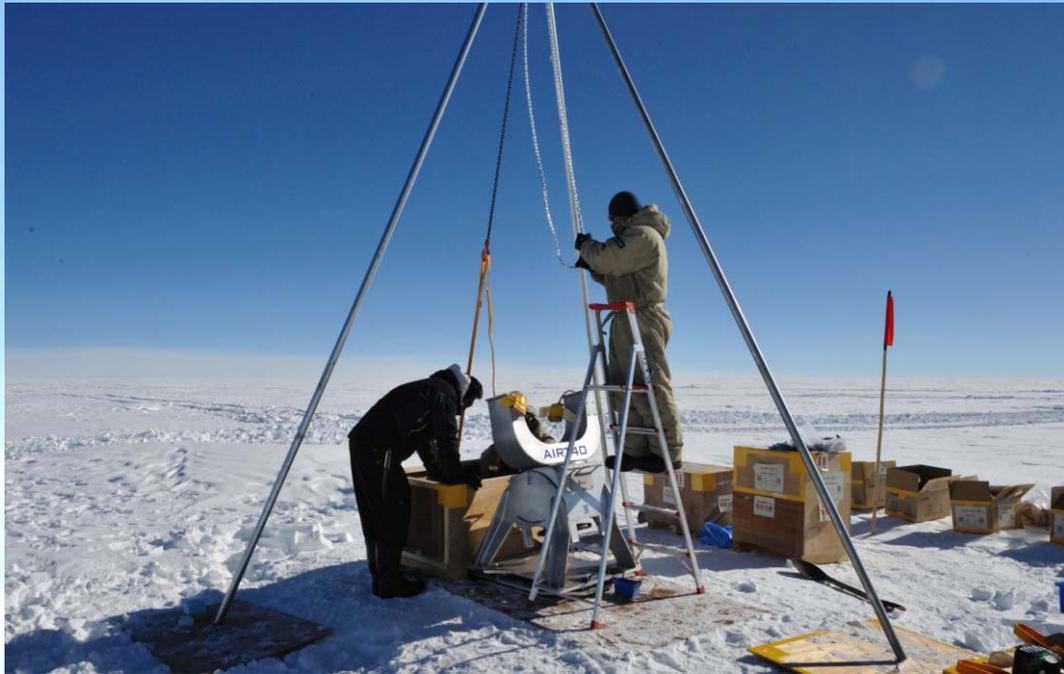
# 2010/2011 第52次ドームふじ隊

## 試験観測と越冬装置の設営(2ヶ月間)



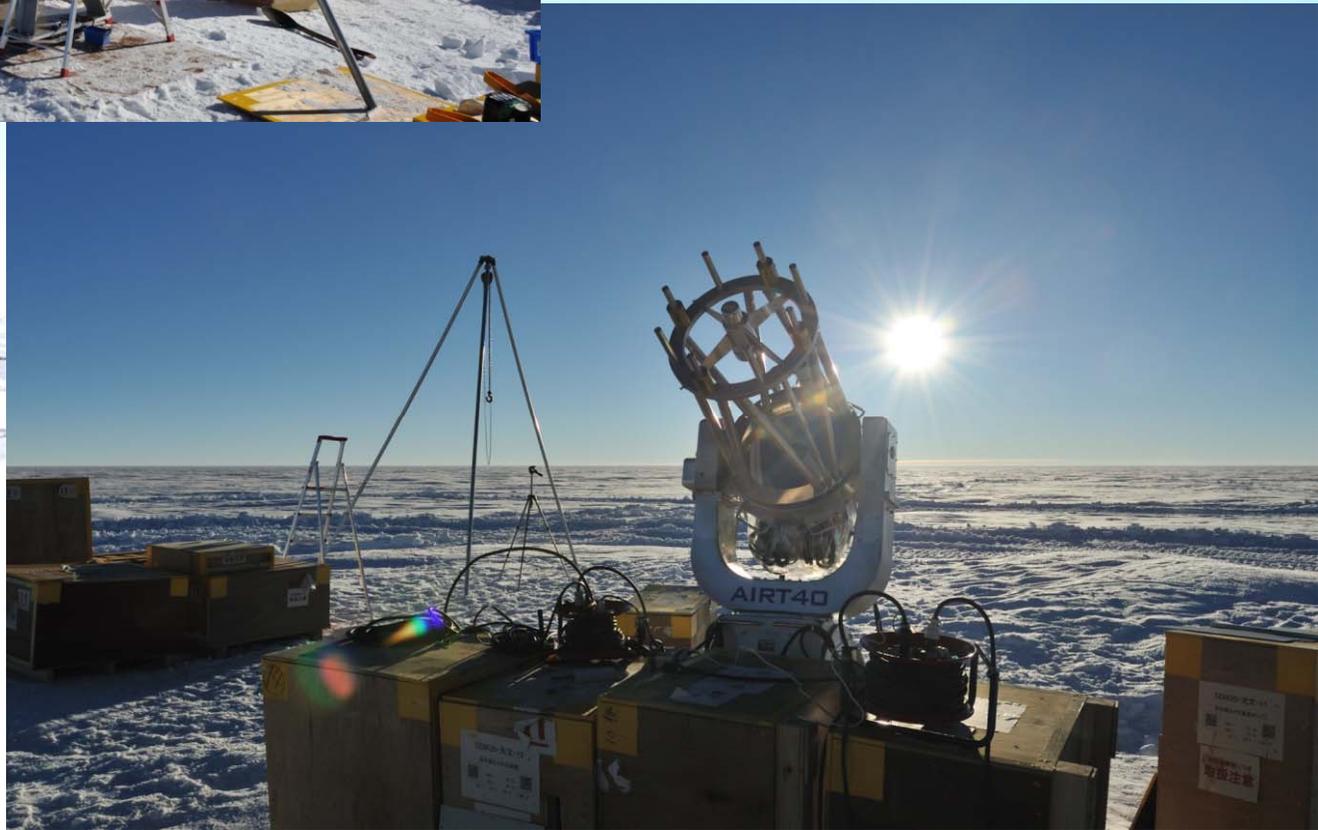
高遠(国立天文台)  
沖田(東北大)





# 望遠鏡の設置と観測

−40°C～−30°Cでの作業

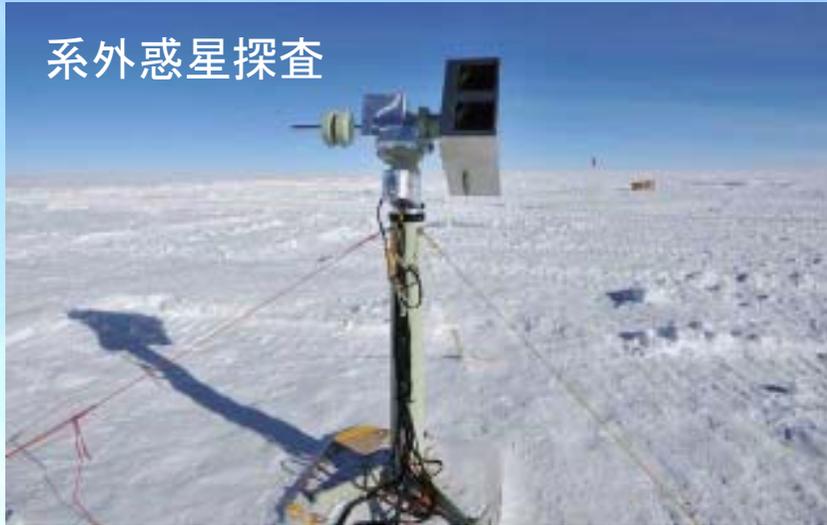


# 越冬観測装置の設営



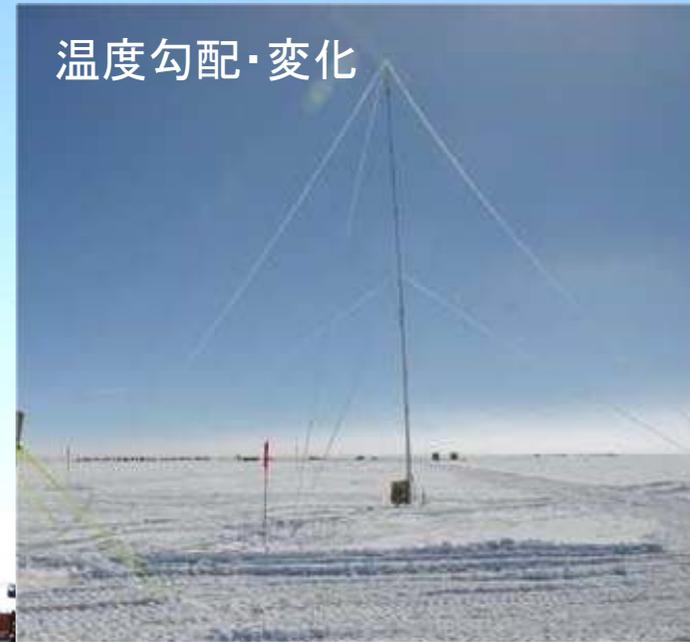
TwinCAM  
10cmx2 赤道儀

系外惑星探査



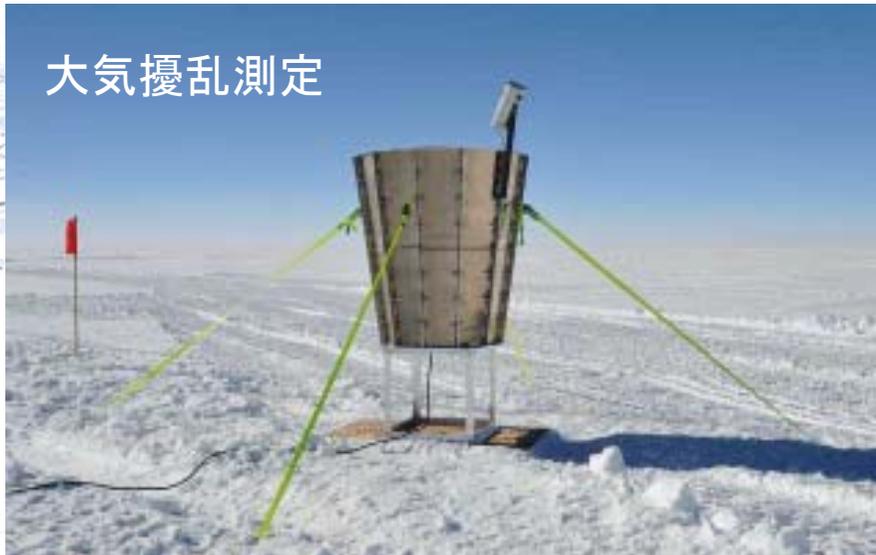
16m 気象ポール  
(鯉のぼりポール)

温度勾配・変化

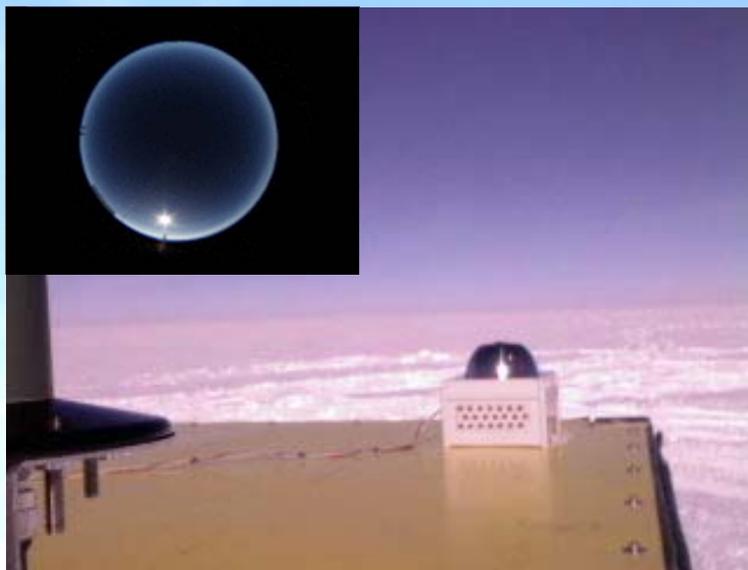


SNODAR (Bonner et al.)

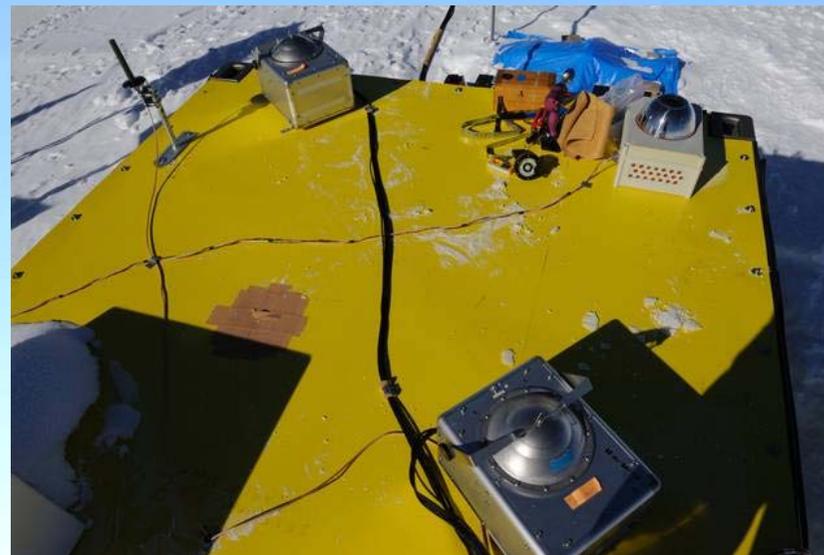
大気擾乱測定



# Webカメラによる実況中継



# 小型カメラ



# 2012/2013 第54次観測隊(1ヶ月半)



沖田、小山(東北大)



天文発電装置と制御棟

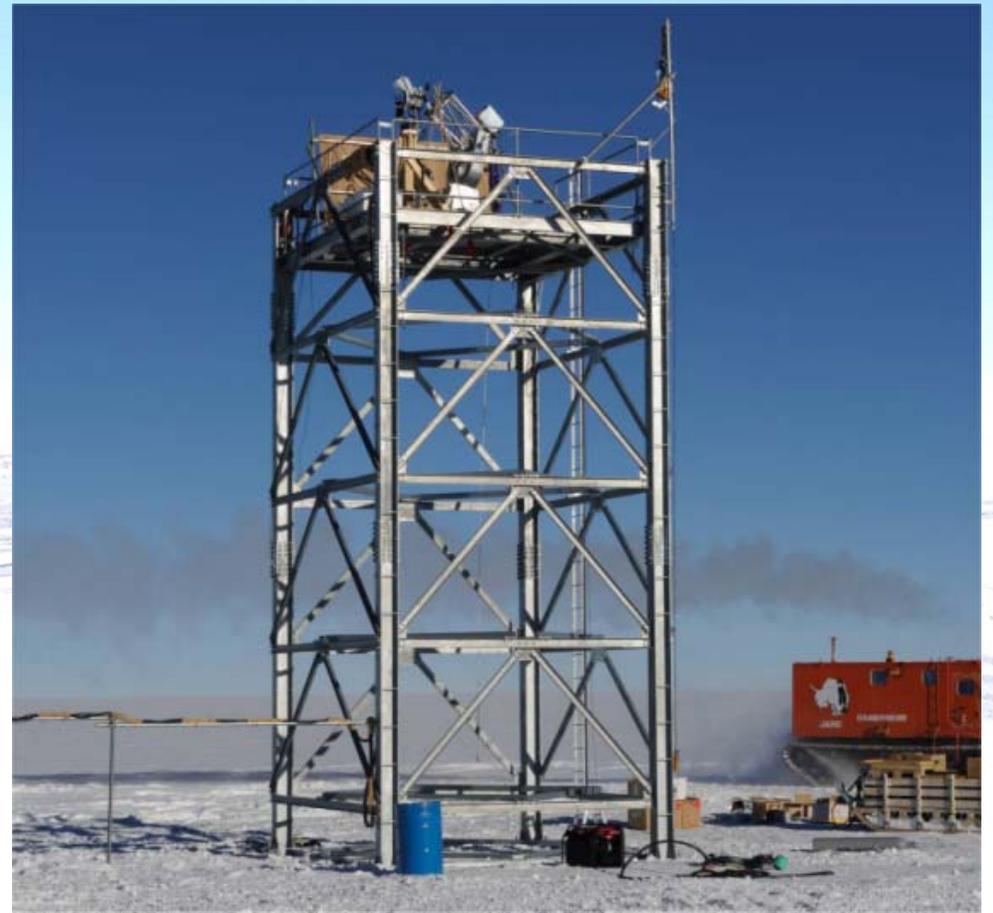
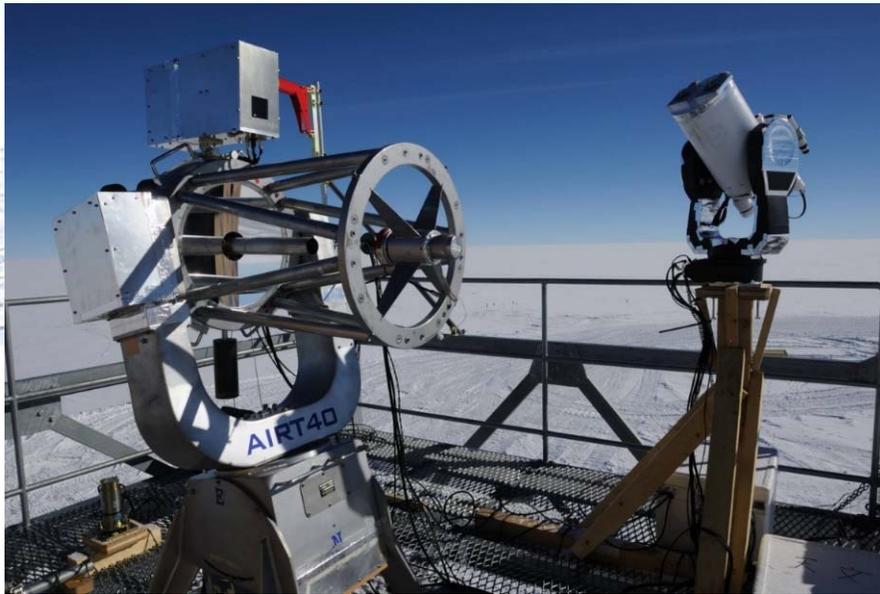
東北大学から学生が2名参加

- 天文ステージの建設
- 52次設営装置によるデータ回収
- 発電機などの保守
- シーイングの測定
- 新装置(DIMM、オーロラカメラ等)の設営



## 9mステージの設営

### シーイング観測



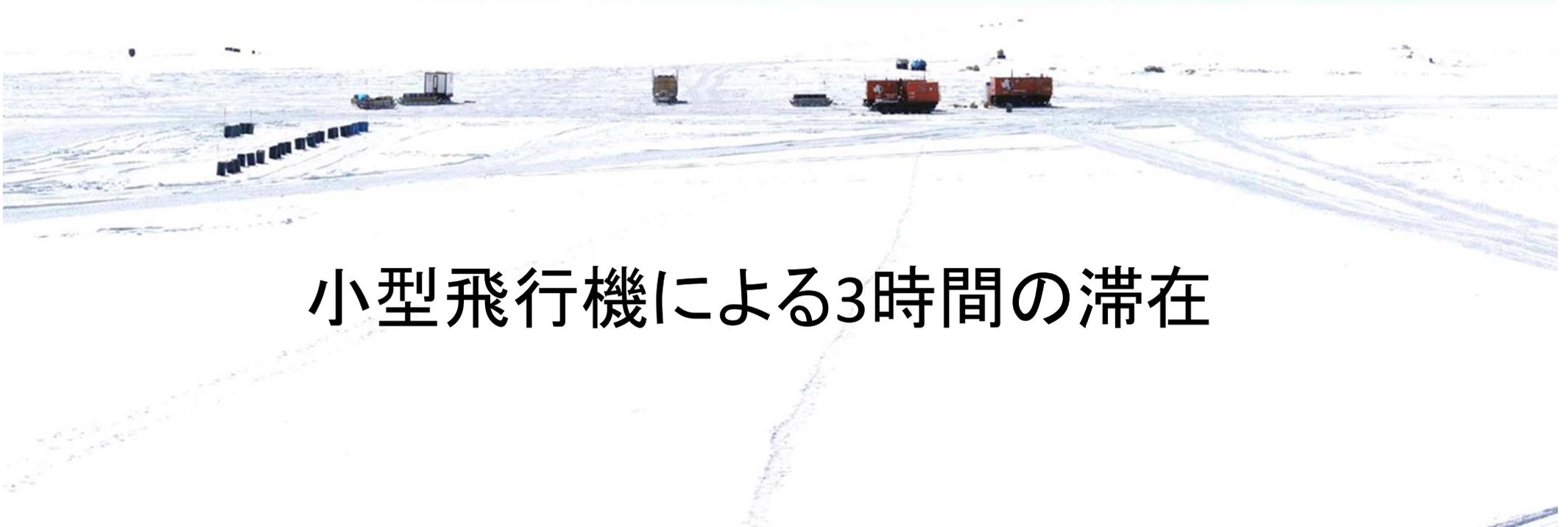
# オーロラカメラによるスカイモニタ



# 2014/2015 第56次南極観測隊ドームふじ遠征(予定)

- 新ドームふじサイトの気象データ回収
- 天文サイト調査データ回収
- 簡単な保守

小型飛行機による3時間の滞在



# 6. 体制、極地研、他分野との協力

## 主な研究課題

- 暗黒銀河の解明
- 地球型惑星の水蒸気大気の発見
- 銀河の広域地図と銀河進化
- 重力レンズ効果による系外惑星の発見
- 重力崩壊型超新星の探査
- 天の川での星間分子の広域探査

## 南極天文 コンソーシアム

### 極地研との窓口

筑波大学
東北大学
国立極地研究所
立教大学
国立天文台
大阪大学

### 設営協力

金沢大学
日本大学
新潟工科大学
東北大学工学研究科

### 研究協力

光学赤外線天文連絡会
京都大学
宇宙電波懇談会
東京工業大学
名古屋大学
立命館大学
NICT

東北大学惑星グループ
埼玉大学
大阪府立大学
東京大学
大阪府立大学
理化学研究所

### 国際協力

ニューサウスウェールズ大学(豪)
SCAR
Astronomy and Astrophysics from Antarctica (AAA)
AAAワーキンググループ

# 天文コミュニティの支援

日本学術会議  
第 22 期学術の大型施設計画・大規模研究計画に関するマスタープラン  
「学術大型研究計画」への応募



推薦

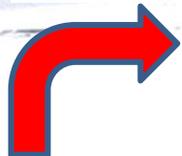
田島節子(大阪大学)  
芝井 広(大阪大学)  
面高俊宏(鹿児島大学)

## 「南極望遠鏡計画」

(代表 筑波大学学長 山田信博)

南極天文コンソーシアム

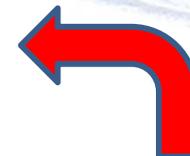
推薦



筑波大学  
10mテラヘルツ望遠鏡

東北大学  
2.5m赤外線望遠鏡

推薦



宇宙電波懇談会

国立極地研究所

光学赤外線天文連絡会

# 国立極地研究所もサポート

日本学術会議  
第 22 期学術の大型施設計画・大規模研究計画に関するマスタープラン  
「学術大型研究計画」への応募



## 極域科学のフロンティア —南極観測・北極観測の新展開による地球環境変動研究—

国立極地研究所所長  
白石和行

計画の概要(抜粋)

- 1) 南極内陸総合観測  
通年観測が可能な南極内陸基地を新たに整備し、地球観測と天文観測の世界先端拠点とする。
- 2) 北極域環境変動研究

# 極域科学のフロンティア —南極観測・北極観測の新展開による地球環境変動研究—

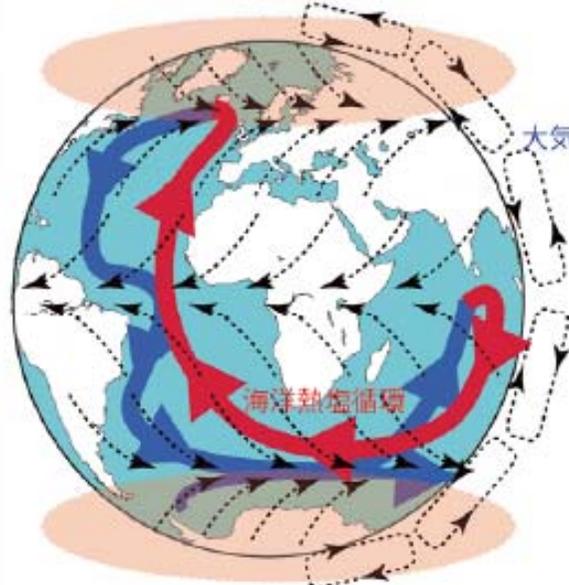
過去の地球の変動を遡る調査・現在の変動を精密計測する精査

モデル、シミュレーション

## 北極：短期間に変動出現

冷却源

急速に変化する北極



巨大な氷床を有する南極

冷却源

## 南極：影響が大規模

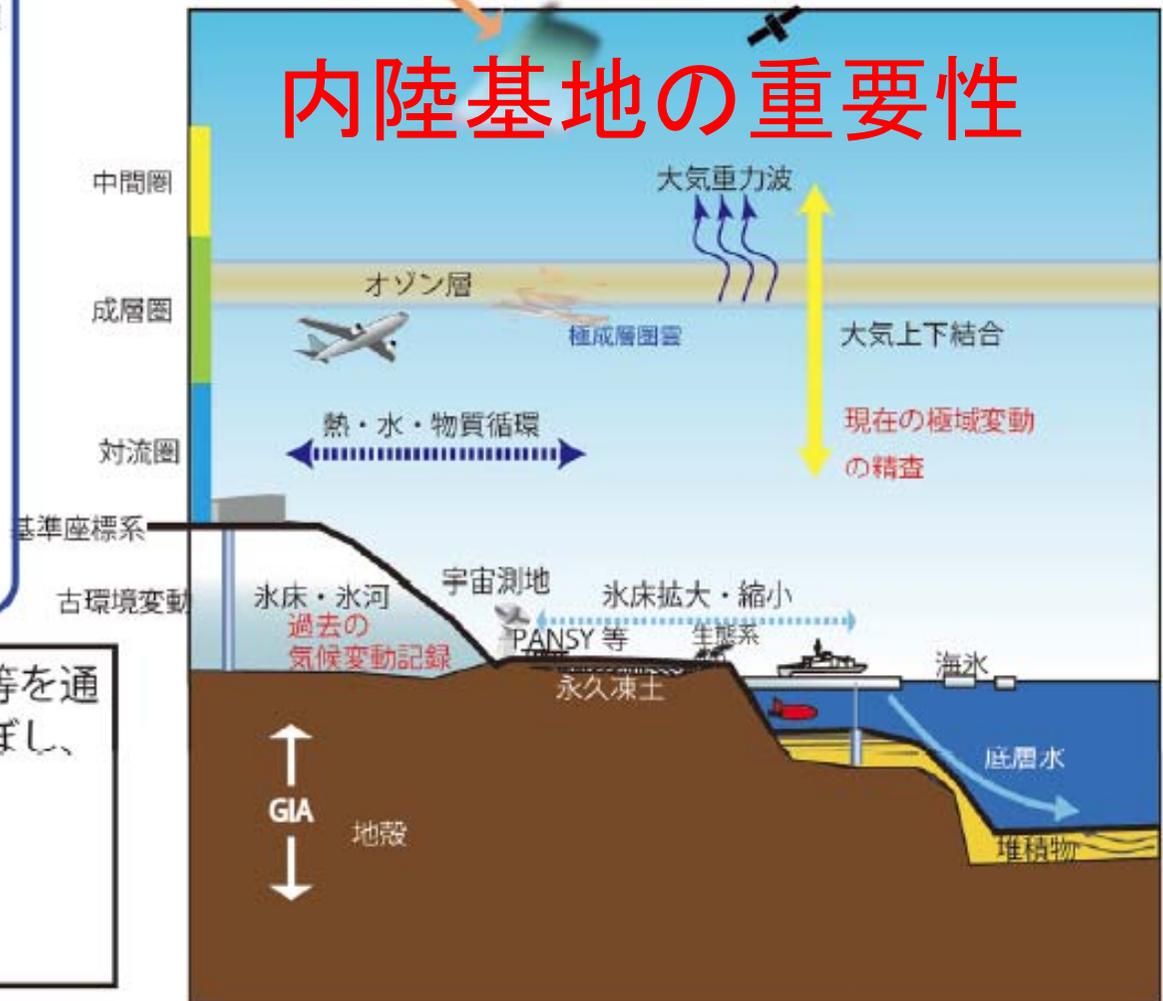
- ①南極内陸総合観測
- ②北極域環境変動研究

新ドーム基地（雪氷コア掘削）  
海水下堆積物掘削  
PANSY, VLBI 等  
観測拠点・観測網  
雪氷コア

環境変動将来予測  
の高精度化

太陽エネルギー 両極の観測

## 内陸基地の重要性



両極は、海洋熱塩循環や大気循環等を通して、地球環境に大きな影響を及ぼし、温暖化が最も顕在化する地域

- ・氷床の安定性→海洋大循環変動
- 海水準上昇

# 現在のドームふじ基地



1995建設  
居住施設  
建設後まもない頃  
ドリフトで雪に埋没

現在:雪の下

収容人員	9名
越冬時	サポート員 5名 観測要員 4名
建設時	テントで宿泊

新しい建物を建設

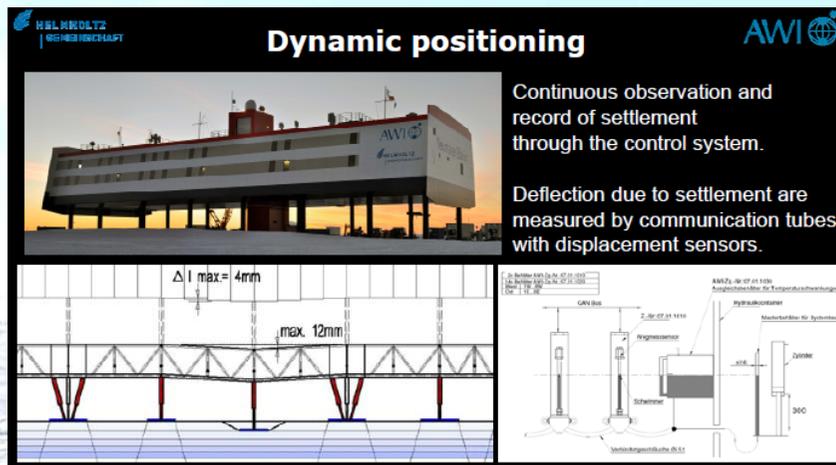


# 新ドームふじ基地の建設

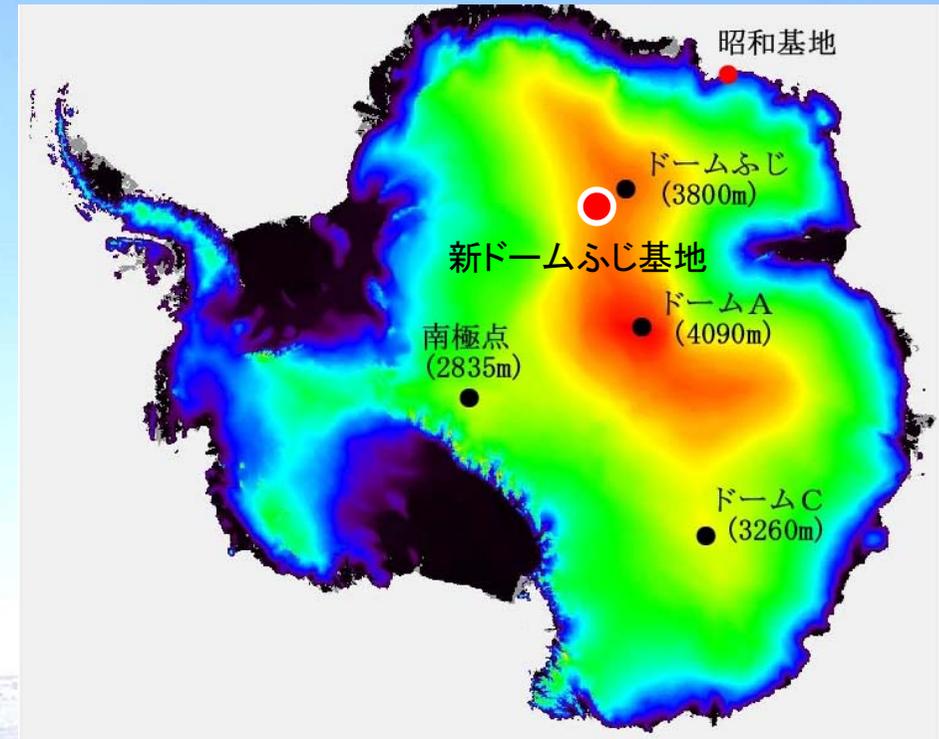
もっと古いアイスコアの掘削

## 国立極地研究所の新たな研究拠点

新基地は埋没を防ぐ新しい建設技術が用いられる



高床式(ドイツ基地の例)



新しい場所は水蒸気量が現在のドームふじ基地より10%少なく、これはドームAと同程度であり、大気のゆらぎも含めて、ドームふじが天文観測にとって、地球上で最も良い場所であることを示している

新基地の検討会議には南極天文コンソーシアムも参加

# 三者間での協議と合意

連携事業として個々に概算要求

15億円

筑波大学  
10mテラヘルツ望遠鏡  
南極観測センター

7.5億円

東北大学  
2.5m赤外線望遠鏡

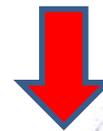
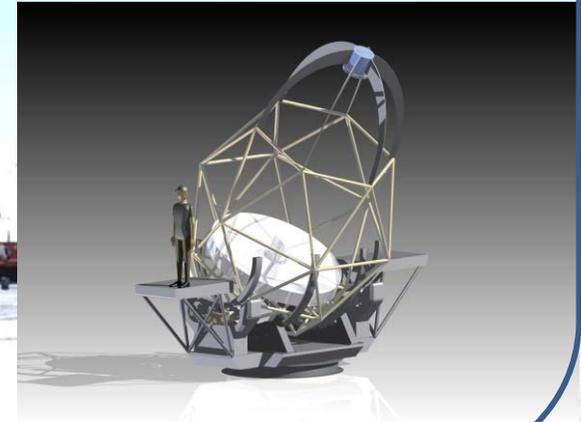
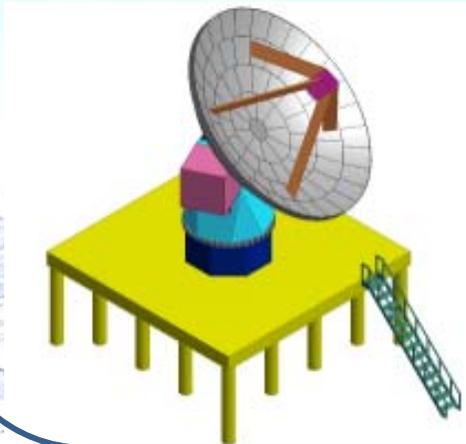


協定書

協定書

国立極地研究所  
新ドームふじ基地

第8,9期南極観測事業



平成27年度概算要求の準備

# 南極天文学推進体制

筑波大学長

## 運営委員会

委員長: 筑波大学副学長(研究担当)  
委員: 筑波大学・東北大学・極地研究所・学識研究者

### 掃天観測\*小委員会

筑波大学・東北大学

### 共同利用小委員会

筑波大学・東北大学・天文コミュニティ代表

天文  
コミュニティ

## 南極天文コンソーシアム

\*: サーベイ観測

### 東北大学

代表: 市川 隆

#### 2.5m赤外線望遠鏡

##### 望遠鏡

東北大学(沖田 他)  
京都大学(栗田 他)

##### 検出器

東北大学  
(市川 他)  
大阪大学  
(芝井 他)  
国立天文台  
(高遠 他)



##### 低温対策

筑波大学(永井 他)  
東北大学(市川 他)  
東北大学(大風 他)  
大阪大学(芝井 他)  
日本大学(石鍋 他)  
新潟大学(富永 他)  
立教大学(田口 他)  
国立極地研究所  
(金 他)

##### 振動対策

金沢大学(香川 他)

### 筑波大学

代表: 中井 直正

#### 10mテラヘルツ望遠鏡

##### アンテナ

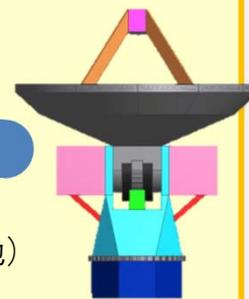
筑波大学(久野 他)  
京都大学(栗田 他)

##### 超伝導電波カメラ

筑波大学(新田 他)  
国立天文台(関本 他)  
埼玉大学(成瀬 他)

##### ヘテロダイン受信機

筑波大学(瀬田 他)  
国立天文台(野口 他)  
大阪府立大学(前沢 他)



### 国立極地研究所

代表: 本山 秀明

#### 内陸基地整備・電力供給



居住用建物(イメージ)

#### 燃料・食料等の内陸輸送



雪上車  
雪上トラクター  
そり

観測船しらせ



# 7. 国際状況と協力

ドームC

仏、伊、豪  
ARENA

40cm可視望遠鏡  
80cm赤外線望遠鏡

ドームA

中国、豪

50cmシュミット望  
遠鏡

ドームF

日本、豪

(サイト調査用カメラ)  
(オーロラカメラ)

リッジA

米国、豪

60cmTHz望遠鏡

運  
用  
中

進  
行  
中

計  
画  
中

~~50cmx3シュミット  
望遠鏡~~

~~40cm赤外線望遠鏡  
30cmTHz望遠鏡~~

~~60cmx2 THz干渉計~~

~~2.5m可視赤外線望  
遠鏡~~

2.5m可視赤外線  
望遠鏡  
5mTHz望遠鏡

2.5m赤外線望遠鏡  
10mTHz望遠鏡



# 国際組織設立

南極における天文学研究の発展が期待されるこの時期に「南極からの天文学・天体物理学 (AAA)」プログラムを立ち上げることはSCARの南極におけるサイエンスフロンティアを切り開く目的に適うものである。

2010年～



## SCAR

### Scientific Research Programmes

The Astronomy & Astrophysics from Antarctica

<http://www.astronomy.scar.org/>

日本からは市川が組織委員

- 2011年第1回 ワークショップ (シドニー)
- 2013年第2回 ワークショップ (シエナ・イタリア)

## 8. 今後の課題

### 現状の問題点

- 昭和基地周辺の氷の状況  
過去2年間接岸できず、輸送に支障、越冬隊の縮小  
現在、進行中の大型事業(PANSY)への影響
- 重量物の大陸への陸揚げ
- ドームふじ基地への安全な輸送
- 極地研に天文学の窓口がない

# 内陸基地への輸送方策(イメージ)

★ロシアのマラージュジナヤ基地に荷揚げ

★内陸輸送は、トラクターと大型航空機で

定着氷の幅が狭く、アクセスは格段に容易

①燃料ドラムを大型航空機からパラドロッパ

マラージュジナヤ  
基地(ロシア)



マラ基地～内陸域のルートは  
ロシア隊で実績あり

ロシア航空機での豊富な実績

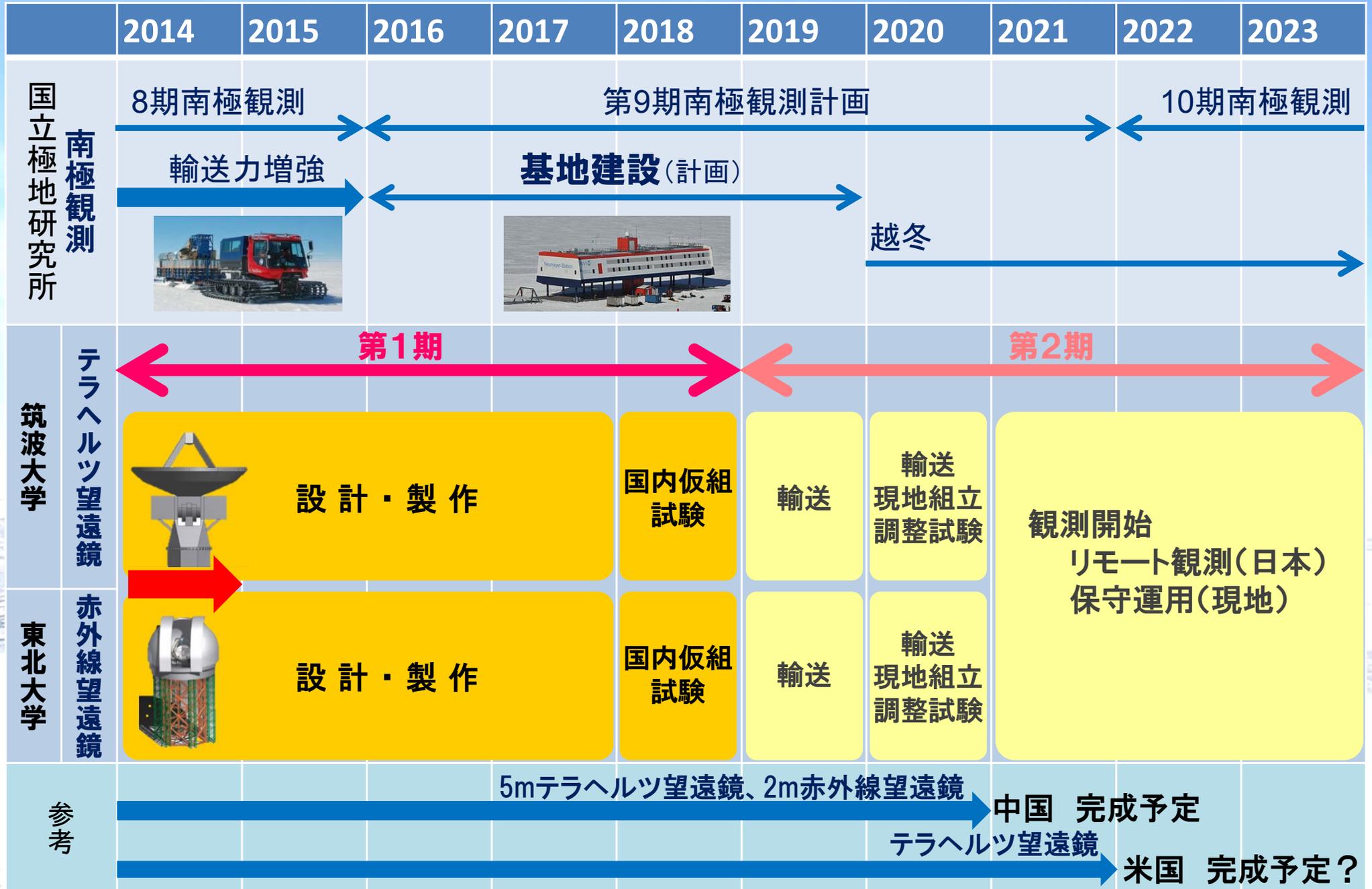
マクマード基地～南極点(1200km)まで米国隊が毎年実施

大型トラクターによる大型物資輸送

②シートタンクによる燃料輸送

昭和基地沖の海水状況に左右されない内陸新基地整備・運用は可能

# 南極望遠鏡の建設計画



# 新天文観測拠点

## 衛星

- ・大気がない
- ・全波長域
- ・高感度

- ・10mテラヘルツ望遠鏡
- ・2.5m赤外線望遠鏡



## 南極ドームふじ基地

- ・比較的大きな望遠鏡、安価
- ・大気の窓では比較的高感度
- ・修理が可能
- ・最新の検出器に交換

## 将来の発展

- ・赤外テラヘルツ干渉計
- ・ . . . .

## 地上

- ・大型望遠鏡
- ・技術容易、安価
- ・アクセスが容易

