

2012/10/30光赤外中規模計画資料

# 南極中口径赤外線望遠鏡計画

市川隆 (東北大)

# 目的

- (系外惑星としての)太陽系惑星と系外惑星の大気成分と大気構造の研究
- (大学の顔としての)研究・教育基盤
- 人材の育成、手の届く開発
- テラヘルツ天文学とのシナジー、赤外線干渉望遠鏡などの新しい天文学への準備

# 推進体制

## 東北大学理学研究科

市川隆 (天文学専攻・教授、国立極地研究所・客員教授)  
小原隆博 (惑星大気プラズマ研究センター\*・教授)  
笠羽康正 (地球物理学専攻・教授)  
坂野井健 (惑星大気プラズマ研究センター\*・准教授)  
板由房 (天文学専攻・助教)  
中川広務 (地球物理学専攻・助教)

研究協力(極地サイエンス・工学)

本山秀明(国立極地研究所気水圏研究グループ・教授) 他

研究協力(天文学、装置開発)

高遠徳尚(国立天文台ハワイ観測所・准教授)

南極天文コンソーシアム

他

\* ハワイ大学と共同でハレアカラに1.8m(系外)惑星望遠鏡を建設中

# 概算要求(準備中)

南極赤外線観測装置 <6億円

内訳

超軽量望遠鏡架台 (極地仕様)

光学系(ナスミス)

観測ドーム

望遠鏡タワー

赤外線撮像分光装置

輸送・現地設置費

2017年以降

製作2年、現地建設2年



これまでの観測適地でできなかった  
南極内陸の利点を生かしたサイエンス

- 低い赤外線バックグラウンド
- 高い透明度 (連続スペクトル、新しい波長)
- 安定した大気 (高い測光精度  $< 10^{-3}$ )
- 長期間の極夜 (長周期星観測、繰り返し観測)

赤外線による  
系外惑星の大気成分と構造の研究



# 南極ドームの天文サイト

緯度77度  
平均気温-54℃  
平均風速5.8m/s



ドームF  
(3810m)

昭和基地

1000km

ドームA  
(4090m)



50cmシュミット望遠鏡の  
設置(2012)

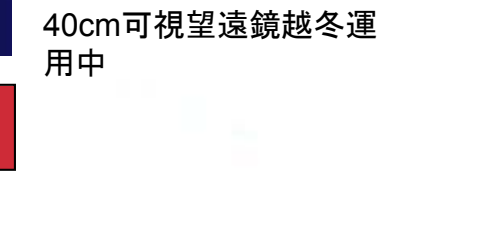
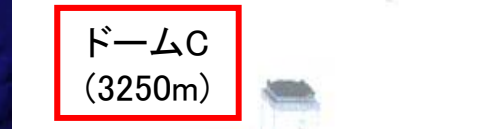
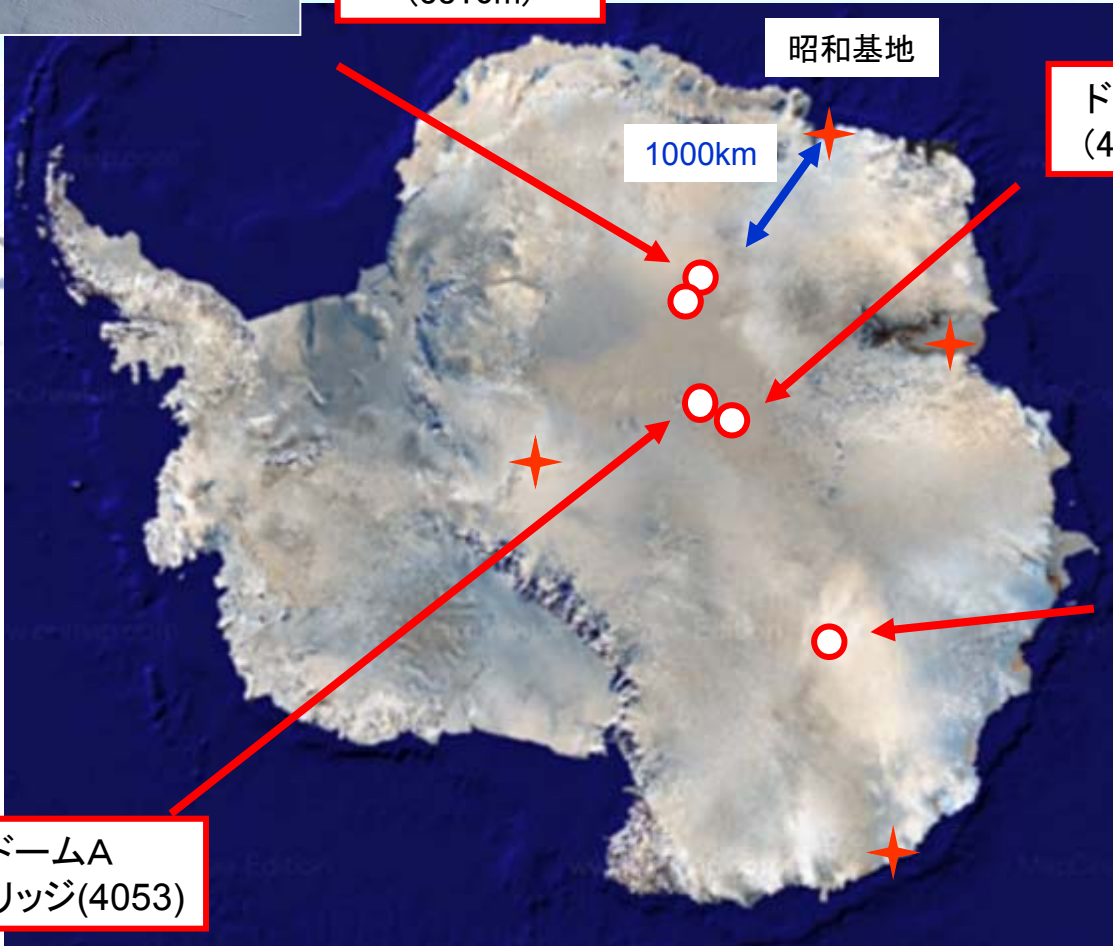
ドームC  
(3250m)



40cm可視望遠鏡越冬運  
用中

ドームA  
リッジ(4053)

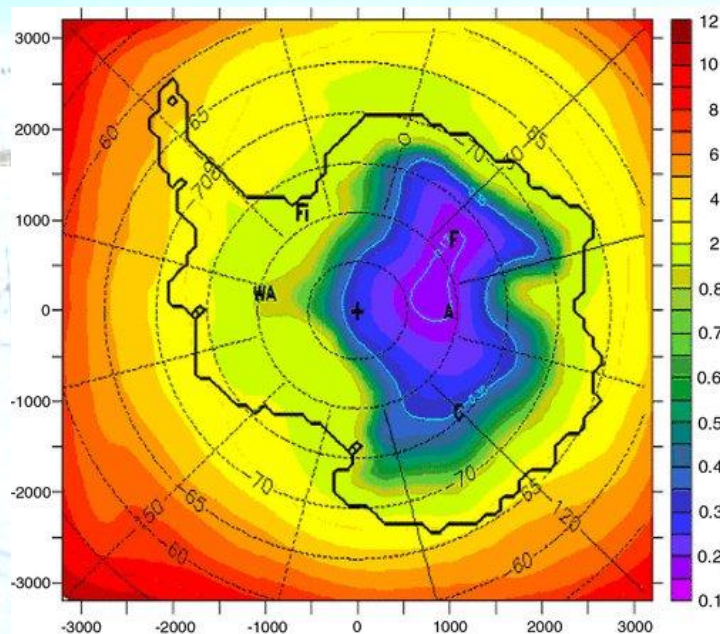
テラヘルツ調査開始(2012)



# 水蒸気量(PWV)

(W. Saunders, et al. 2009 PASP 121, 976)

衛星のデータから推定



Precipitable Water (mm w.e., JJA 2004)

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.

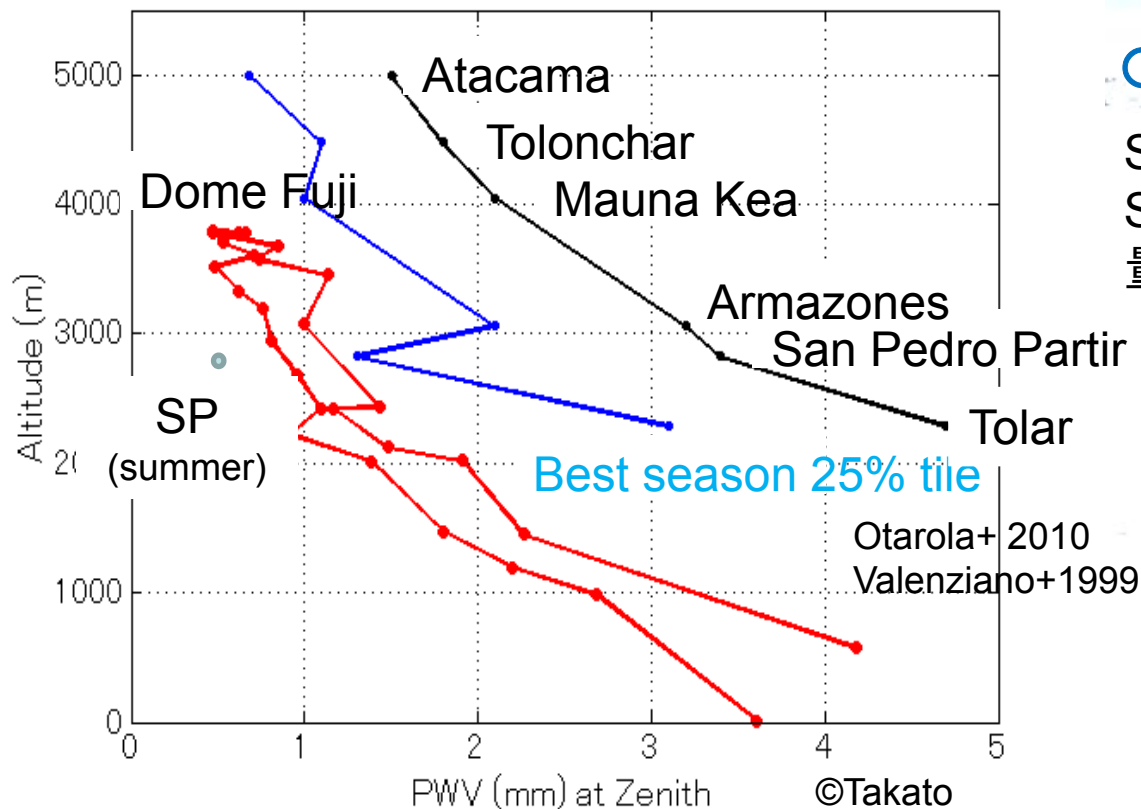
( $\mu\text{m}$ )

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

# 大気水蒸気量の観測

0.9~1.6 $\mu\text{m}$ の分光観測



## ○観測結果

S16 → ドームふじ基地 →  
S16 (+ しらせ船上) で水蒸気  
量の観測を実施

黒: 「温帯」の観測地の値  
青: 「温帯」のベストシーズンの値  
赤: 観測結果

横軸: 大気水蒸気量PWV(mm)  
縦軸: 観測地の標高(m)

夏期 = -20 $^{\circ}\text{C}$  といった最悪条件にもかかわらず、**ドームふじの大気水蒸気量は他の温帯サイトに比べて極めて小さい値(約0.6mm)**であることがわかった。

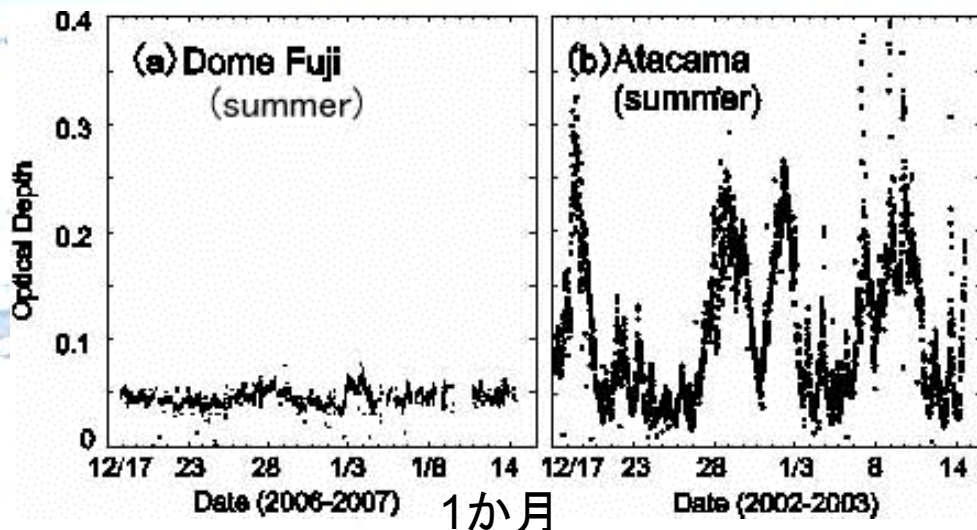


# 大気安定度

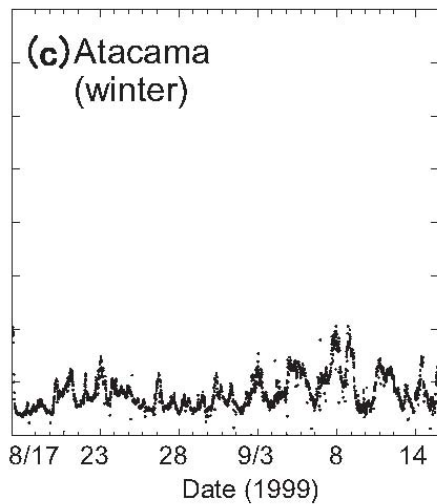
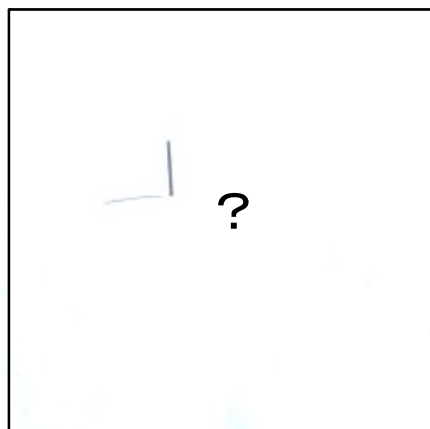
220 GHz@ドームふじ 実測: 2006,09年夏季

ドームふじ チリ(アタカマ 5000m)

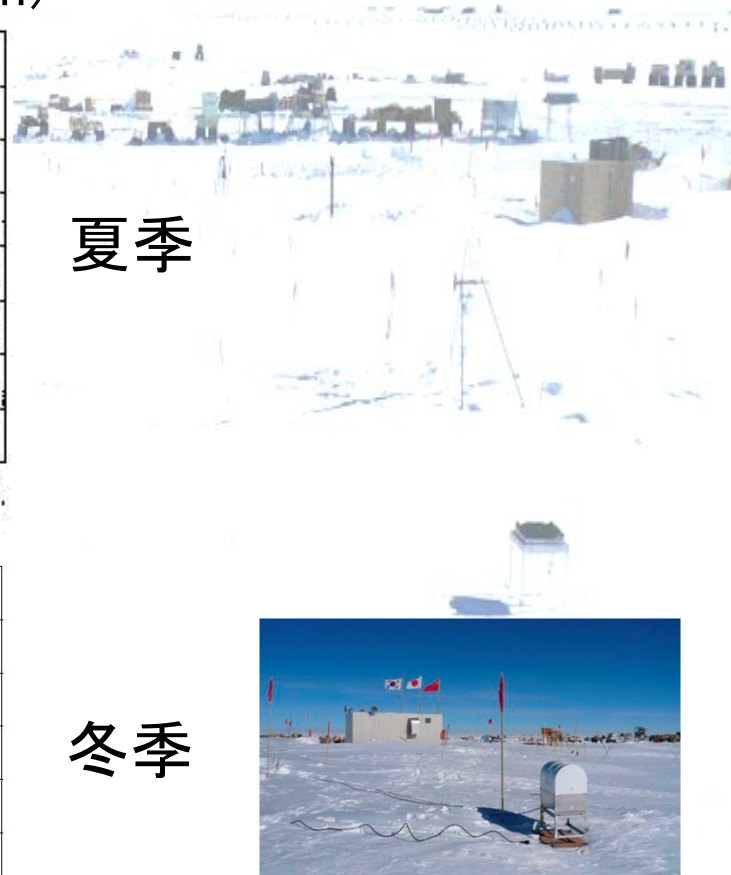
光学的厚み



夏季



冬季

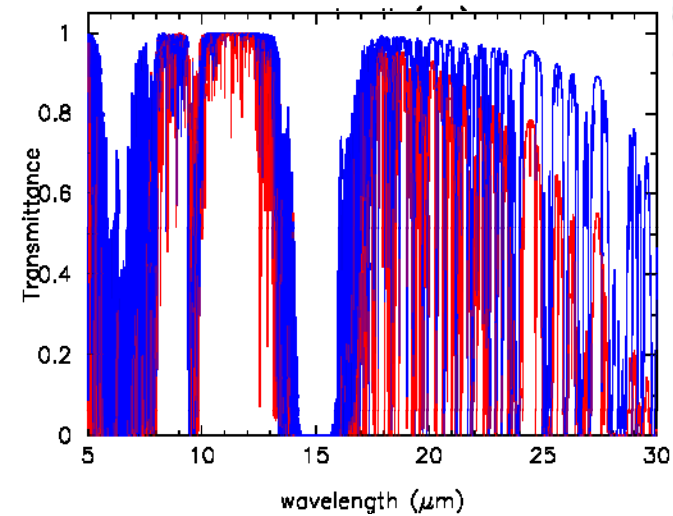
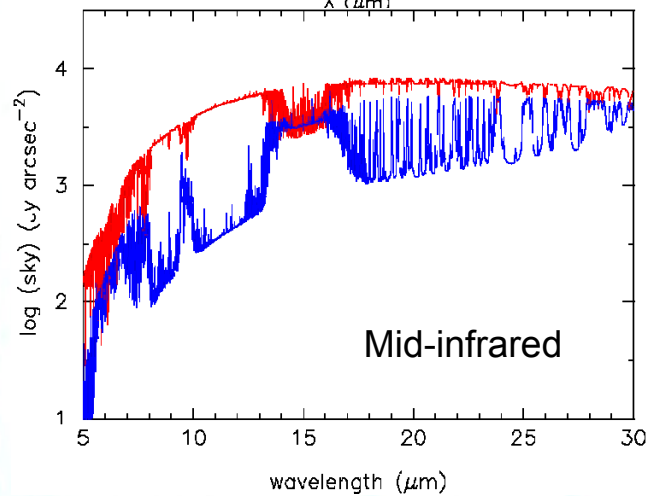
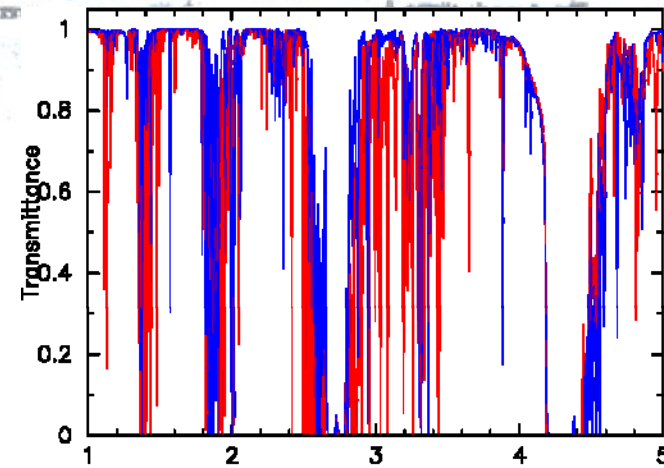
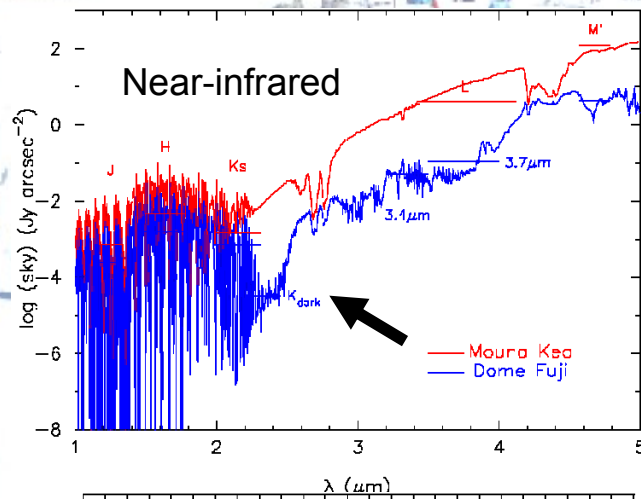


# 大気の明るさと吸収

|      |                        | altitude | temperature | PW    |
|------|------------------------|----------|-------------|-------|
| blue | <b>Dome Fuji</b>       | 3810m    | -70°C       | 0.2mm |
| red  | <b>Mounakea (best)</b> | 4200m    | 0°C         | 1.0mm |

冬の平均 0.16mm (衛星データ)  
夏の平均 0.6mm (実測)

LBLRTM



# 2.5m赤外線望遠鏡

(詳細検討中)

## 栗田式超軽量架台(低温仕様)

雪面上設置のため、軽量化は必須  
保守が容易な簡易な構造

## 光学系

ナスミス(検討中)  $f=30, 0.2''/30 \mu m$   
(観測装置の光学系が1:1)

## エンクロージャー

雪、雨、風の心配がないので、簡易ドームが良い



例  
 $\phi 7m$ 発砲スチロール半球



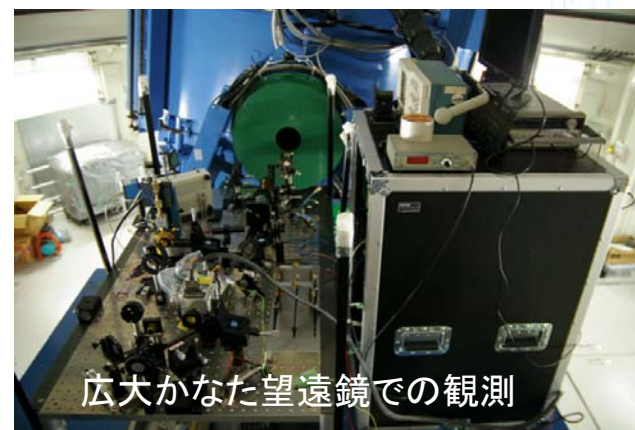
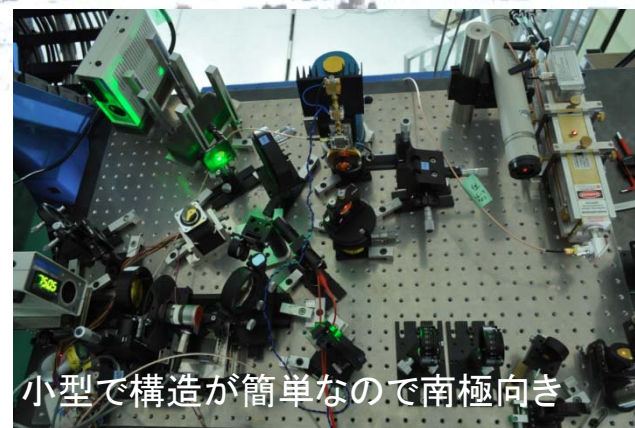
ヘテロダイン分光器による  
➤ 太陽系惑星の大気組成と分布、運動

笠羽、中川他

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

南極では惑星の高度は低いが、  
一部観測可能

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





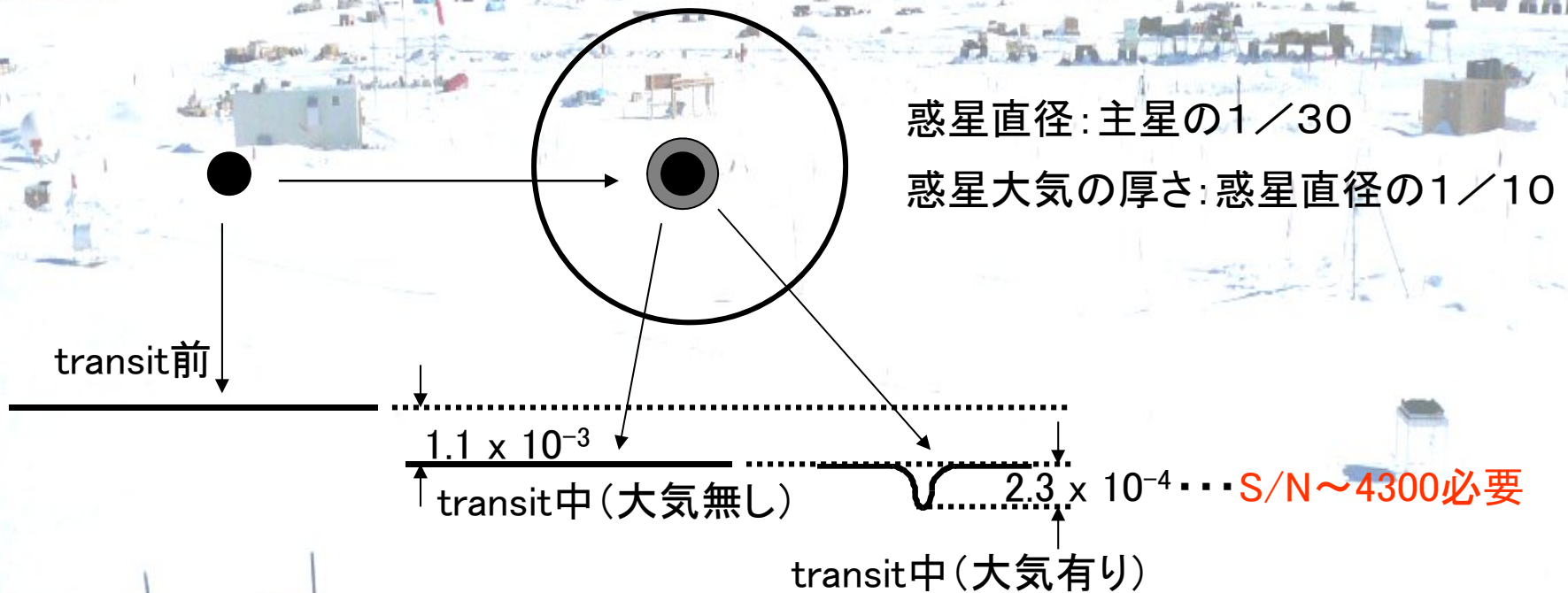


ヘテロダイン分光器の系外惑星のトランジット観測への応用

明るいホットジュピターならば十分可能か

岡野2006

実視等級 $m_v=0$ の星から地球にやってくる波長10mmの輻射エネルギー  
星の表面温度 5000K を仮定すると $P_{s,10\text{mm}} = 3.42 \times 10^{-24} \text{ W/m}^2 \cdot \text{Hz} @10\text{mm}$



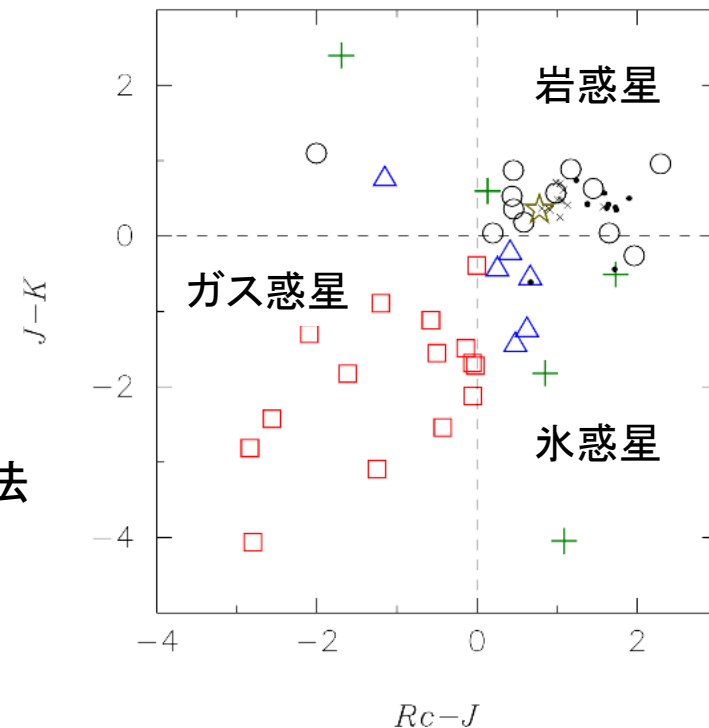
2.5m望遠鏡、帯域幅 $B=1\text{GHz}$ 、積分時間 $t=3$ 日間、劣化係数 $\Delta=2$   
で $S/N \sim 4300$ が可能

# ➤ 系外惑星としての太陽系惑星観測

赤外線と可視光での多色同時観測による惑星の反射率の変化  
(自転、季節変化、天気)

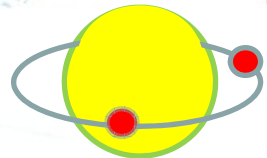
## 新しい分類法の提案

3色同時観測による惑星の分類法  
(反射光)  
Lundock, Ichikawa (2009)



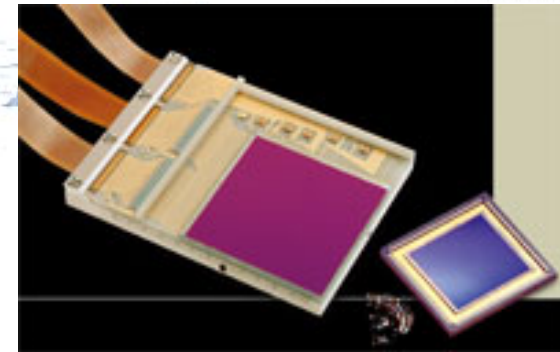
## ➤ 3色カメラ(+低分散多天体分光)装置による トランジット観測

transit と eclipse 観測により、惑星  
大気の温度と成分を知る

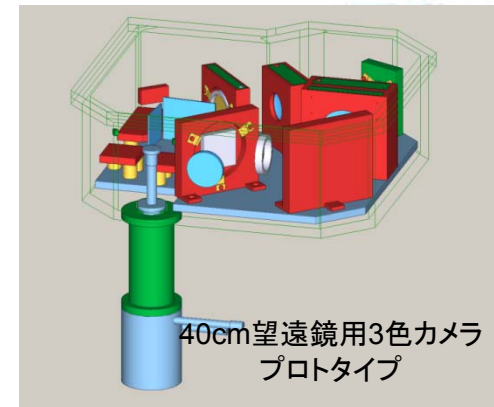


- ✓ 低分散 (R~100) 機能
- ✓ 大きなスリットの多天体機能
- ✓ 0.6~5 $\mu$ m同時

今後2年間かけて詳細設計



2K × 2K InSb (ORION) 3個



40cm望遠鏡用3色カメラ  
プロトタイプ



# 南天でのsecondary eclipse天体候補

現在、南天で観測が可能な天体は約30



WASP

500 square degree per pointing  
 $V < 15$



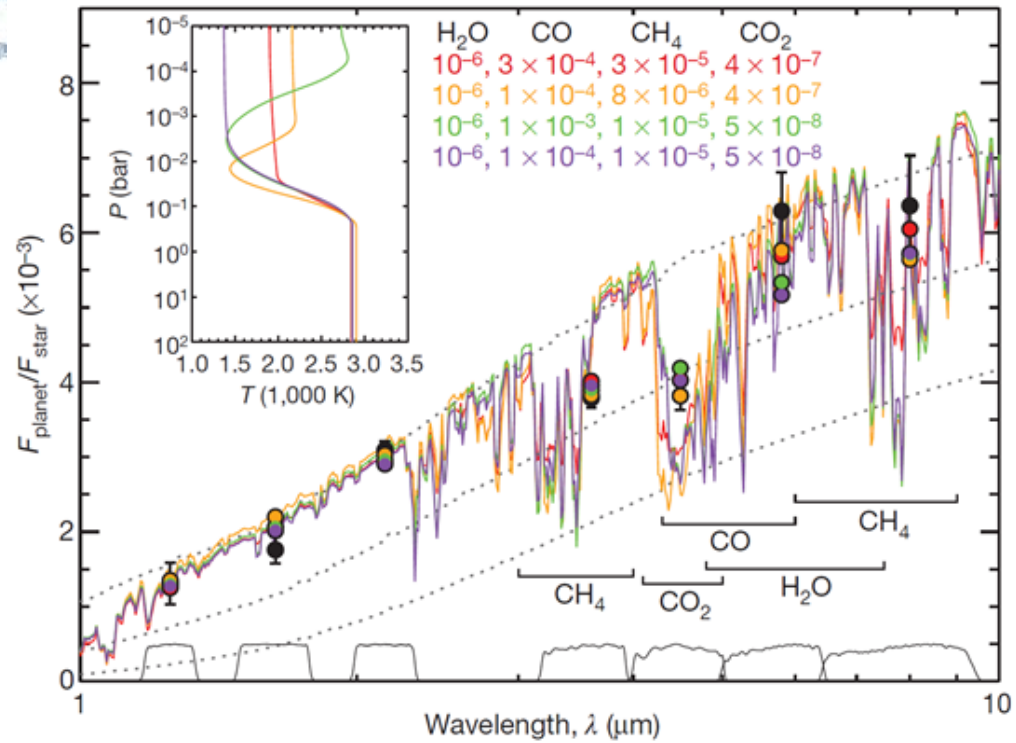
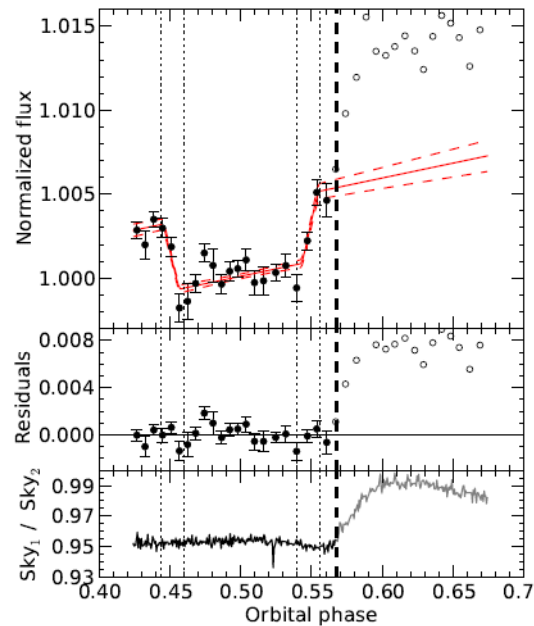
赤外線でのトランジット(分光)観測は系外惑星の大気成分を知る(唯一の)手段。しかし地上からの観測は非常に少ない。スペースはSpitzer, HST、地上からはIRTF, すばる、VLT

# 例 WASP-12b

$m(V)=11.7$ 、G0V  
 $m(K)\sim 10.2$

Madhusudhan+ 2011

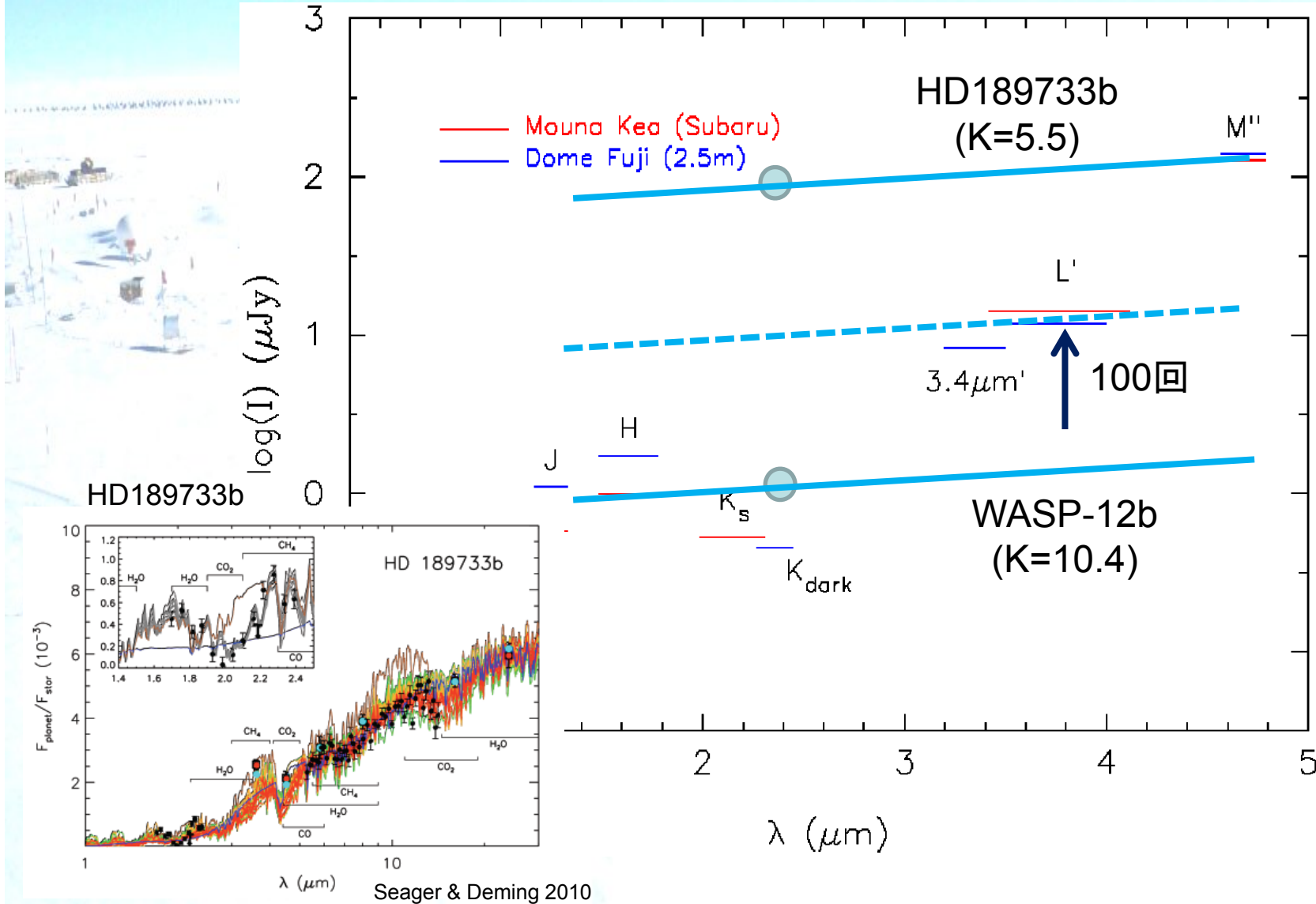
Crossfield+(2012) MOIRCS



南極望遠鏡、R~100でsecondary eclipse観測

# ホットジュピター

R=100, 0.1%減光をS/N=5で検出 (1回の観測)





## 系外惑星の大気成分と構造の研究

地上とスペースからの相補的な赤外線観測が重要  
地上での発見と予備観測、スペース観測のフォロー  
アップ、連続モニター観測



# 南極氷床地域における世界の状況

## 赤外線・テラヘルツ天文学の新しいサイト

cf

南極点(アムンゼスコット基地)  
SPT (サブミリ)  
BICEP (サブミリ、偏光)  
IceCube (ミュートリノ)  
McMurdo Station  
気球 (赤外線、X線)

# 中国



- 現在、50cmシュミット望遠鏡運用中(無人)
- 越冬基地建設中(近々越冬開始)
- 中国の極地研に天文研究者(4名?)雇用
- 2.5m赤外線望遠鏡計画中
- 5mテラヘルツ望遠鏡計画中

# フランス、イタリア

- 40cm可視光望遠鏡運用中
- 越冬基地運用中(2005~天文研究者常駐)
- 80cm近・中間赤外線望遠鏡設営中  
(中止の可能性あり)

- ヨーロッパ、オーストラリア連合(ARENA)による共同体制は撤退か(財政難)
- 2013年ドームCでの天文は撤退?
- フランス・ニース大学は中国ドームAに接近

# 米国

- 中国(ドームA)に一部参加
- リッジAでのテラヘルツ観測調査開始  
(2012)

リッジAは南極点から飛行機で行ける利点  
テラヘルツ天文学を独自路線で(?)



# 日本の国際協力

- 東北大とオーストラリア・UNSWとの覚え書き  
オーストラリアは自動発電装置、サイト調査装置提供
- SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research)  
Astronomy & Astrophysics from Antarctica(AAA委員会)  
欧米、アジアが協力して、サイエンス、サイト調査  
日本からは市川が委員  
(将来、ひとつの南極内陸基地を考えるかどうかは不明)

# 日本(極地研)の状況

- 南極における新しいサイエンスの必要性  
天文は重要なサイエンス
- 昭和基地への接岸断念(2011/2012) (物資輸送の制限) (今年もその可能性がある)
- 昭和基地の維持が優先
- 越冬隊員の人数の制限(ドームふじ基地の越冬を維持できるか)
- 文科省南極地域観測事業の将来計画に依存
- 極地研に天文研究者が不在(協力者は多い)

## 現在のドームふじ基地



新ドームふじ基地の建設は10年後？

天文分野からの後押しが必要

# 現在は地道な開発を継続中

## 南極遠征

| 年         | 観測隊員                   | 同行者       | 主なミッション              |
|-----------|------------------------|-----------|----------------------|
| 2006/2007 |                        |           | 大気透過率、大気擾乱測定依頼       |
| 2008/2009 |                        | 瀬田益道(筑波大) | 大気透過率                |
| 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              |
| 2011/2012 | 市川隆(東北大)<br>小山拓也(東北大)  |           | 昭和基地への運搬             |
| 2012/2013 | 沖田博文(東北大)<br>小山拓也(東北大) |           | 40cm望遠鏡設置            |
| 2013/2014 | (筑波大)                  |           | 昭和基地越冬               |
| 2014/2015 | (筑波大2名)                | (東北大)     | 30cm電波望遠鏡観測<br>データ回収 |
| 2016(?) ~ |                        |           | 新ドームふじ基地建設           |

天文で毎年1~2名の隊員枠

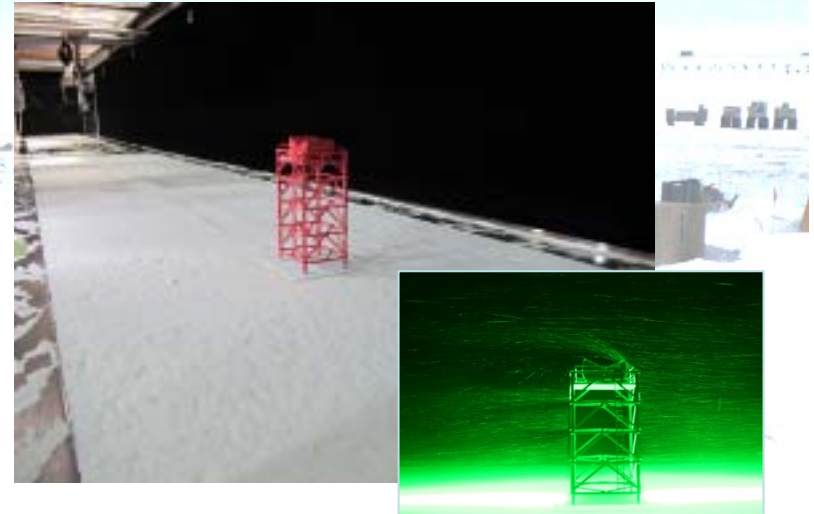


# 技術開発

- -80°Cでの部品・装置の駆動実験・開発
- 望遠鏡材の低温脆性調査
- 保温技術
- ソリの長距離(1000km)運搬
- 雪面上でのタワーの建設と不等沈下
- 通信・ネットワーク(イリジウム、ランドスタット)
- リモート制御・観測
- 自動発電装置(オーストラリア)

# 他分野との協力・共同研究

- ◆ 極地工学と建設、耐雪、不等沈下  
(極地研 金、日大 半貫他)
- ◆ 気象と大気擾乱  
(極地研 平沢)
- ◆ ソリの震動と天文観測装置の運搬  
(金沢大 香川)
- ◆ オーロラの赤外線への影響  
(極地研 宮岡)
- ◆ データ通信  
(KDDI)



雪の風洞実験(極地研金氏、日大森脇氏提供)

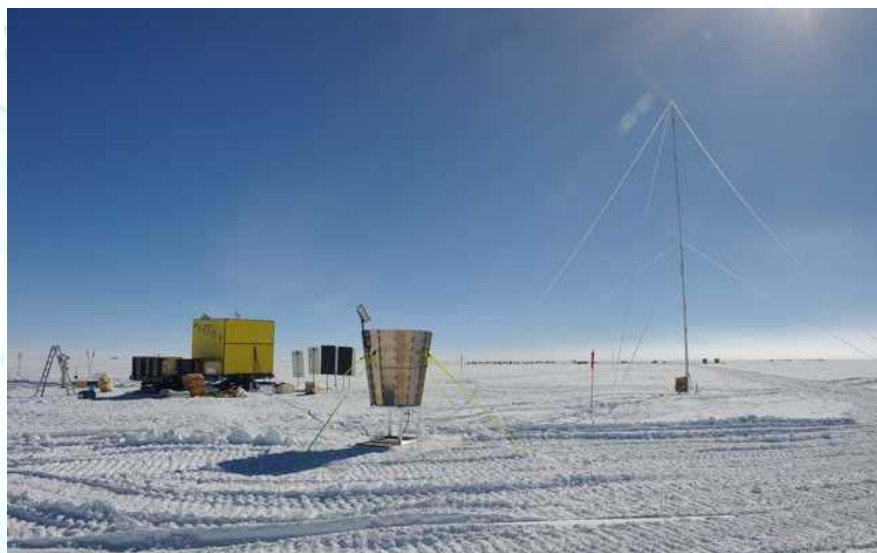


高精度傾斜計による不等沈下の測定

# 2010/2011 第52次観測隊によるドームふじ基地天体観測所開設

南極ドームにて世界初の赤外線ファーストライト

第52次/51次日本南極地域観測隊  
ドームふじ天体観測所  
2011年1月14日設置





# 2012/2013 第54次観測隊

沖田、小山 (東北大)

ドームふじ基地での設営

- 40cm望遠鏡、ステージ、観測室の設置
- 天文気象観測装置の保守、データ回収
- 自動発電装置PLATO-Fの修理・保守



昭和基地に仮設置された40cm望遠鏡



8m高ステージ  
(ジャッキアップ式)



# 南極への道は開けた

- ◆ 国立極地研究所のサポート(設営、運搬、プロジェクト経費、隊員、他)
- ◆ 南極天文コンソーシアム (極地研への窓口)
- ◆ 文科省南極地域観測事業での認知(カテゴリー:「その他」から「天文・その他」)
- ◆ 2011年ドームふじ天体観測所の開設
- ◆ 2018年(以降?)ドームふじ新越冬基地の建設(天文が主たる研究のひとつ)

# 大型計画との関連

TMT

SPICA

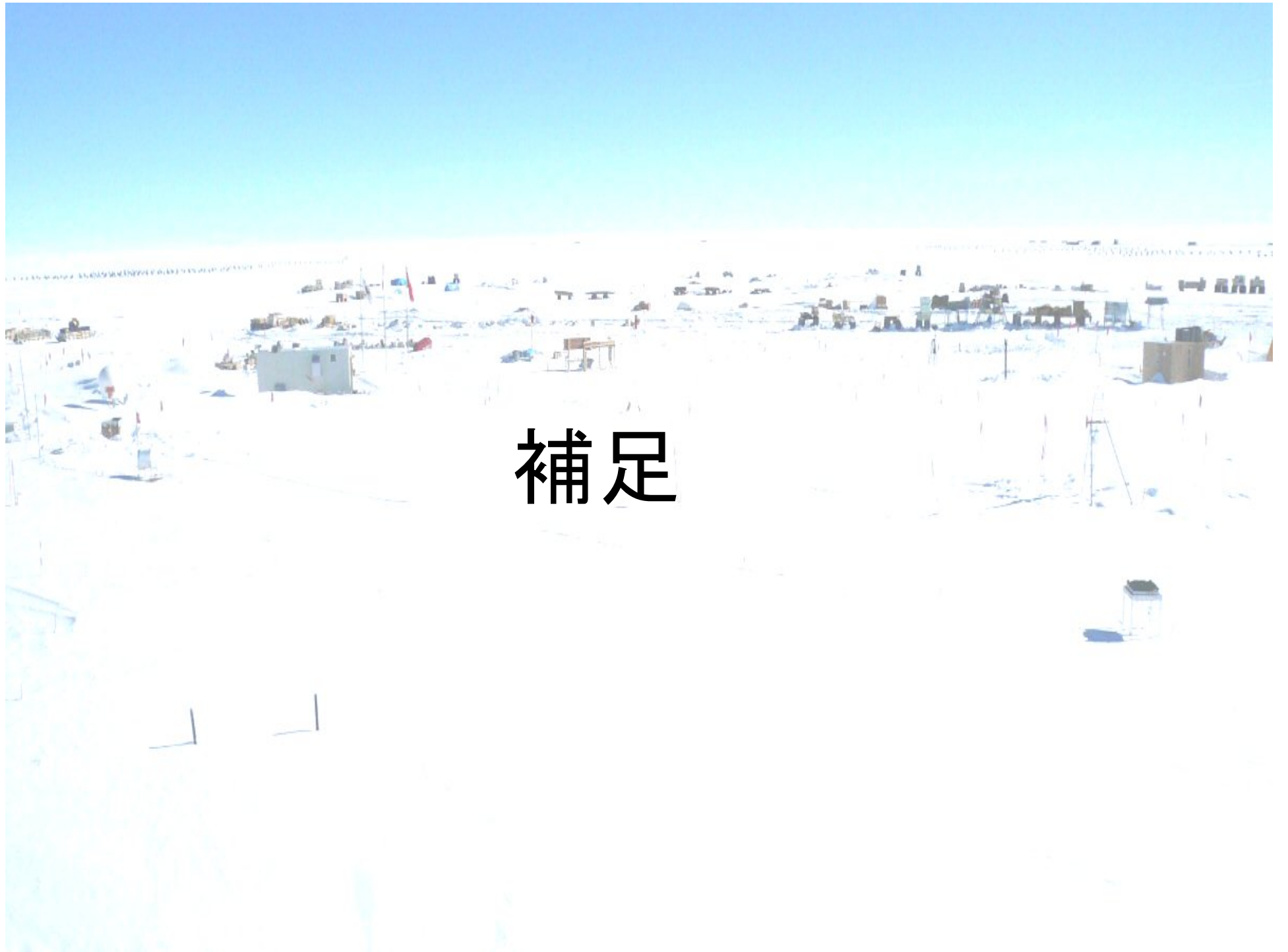
様々な可能性への大小の取り組み

南極望遠鏡

- ◆ 特色ある天文学
- ◆ 独自路線
- ◆ 新しい天文学の可能性
- ◆ 開発・実験天文学の推進
- ◆ 若手の育成

その後

?



補足

# 大気水蒸気量の観測

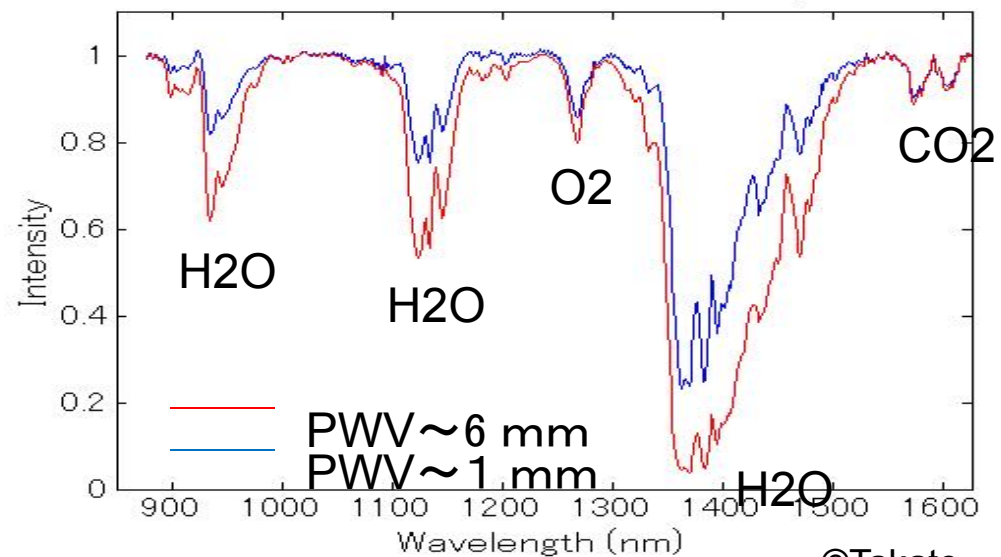


Photo:Takato

PI: 高遠徳尚

近赤外線分光器で太陽のスペクトルを  
観測して水蒸気による吸収線の深さや  
等価幅から大気中に含まれる水蒸気量  
(可降水量PWV)を求める

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| 分光器             | 浜松C9406GC             |
| $\lambda$       | 0.9~1.6 $\mu\text{m}$ |
| $\Delta\lambda$ | 7nm                   |



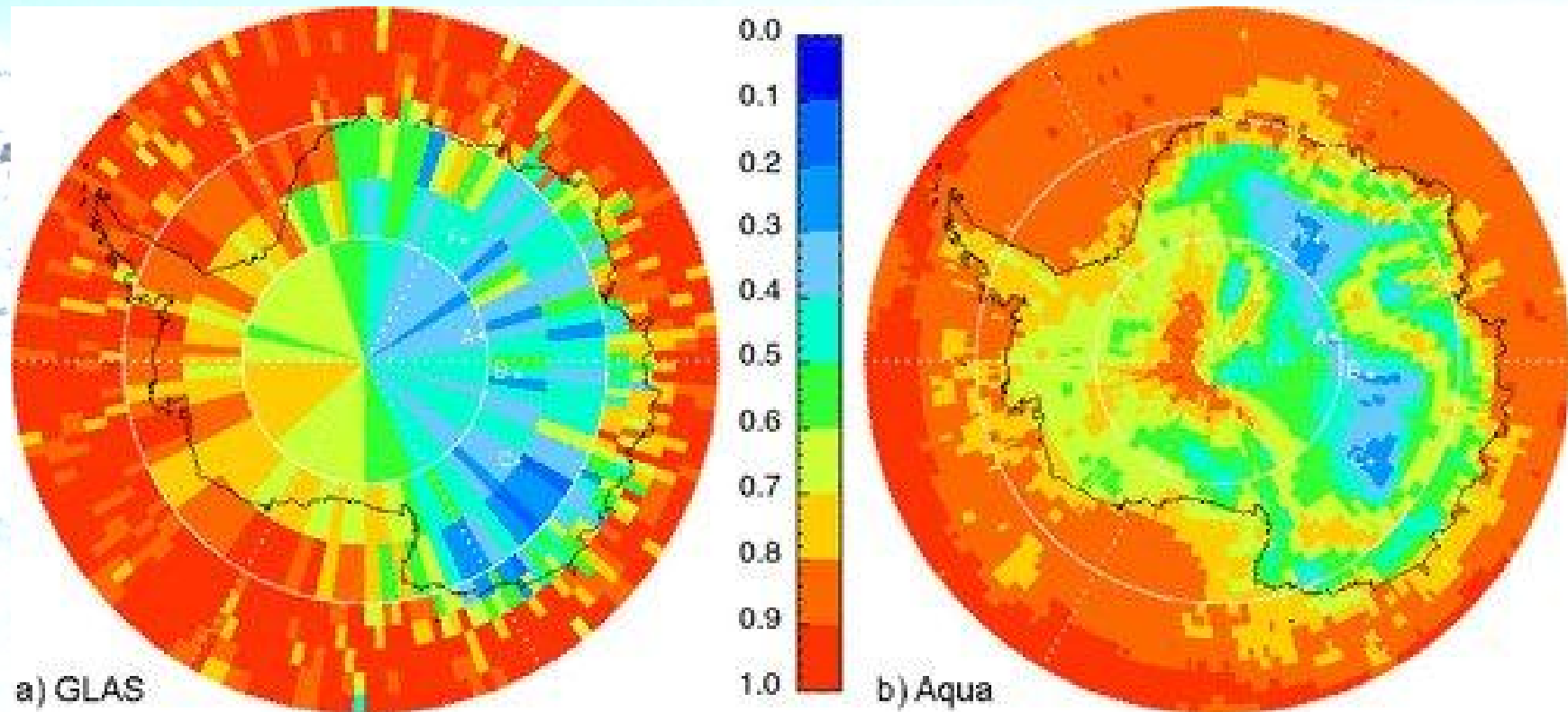
©Takato



# 晴天率

(W. Saunders, et al. 2009 PASP 121, 976)

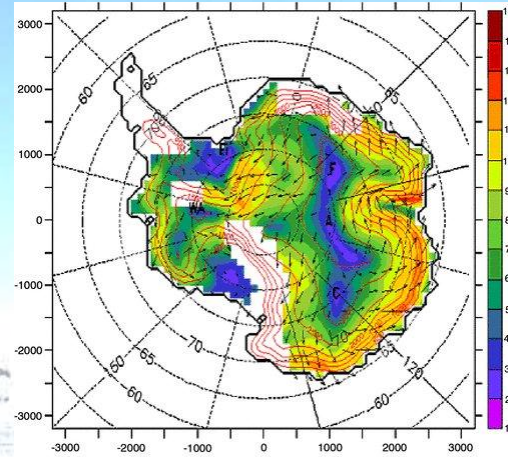
## 夜間の雲量(年平均)



ドームふじ  
(極地研実測⇒)

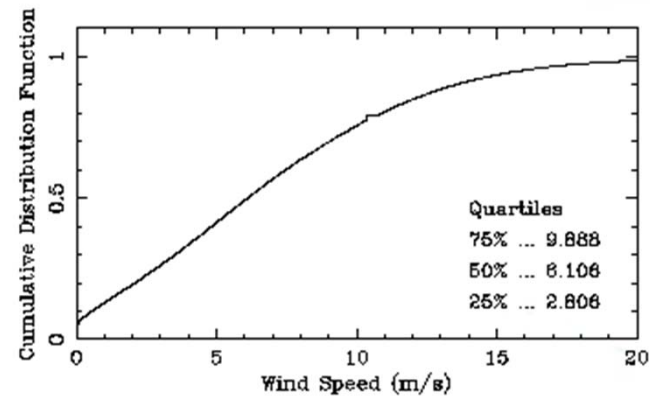
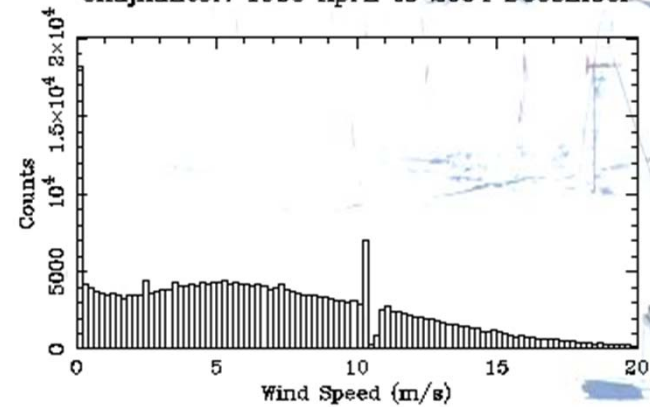
完全な晴天=68% (1994-95、年間)  
晴天=85%?

# 風速

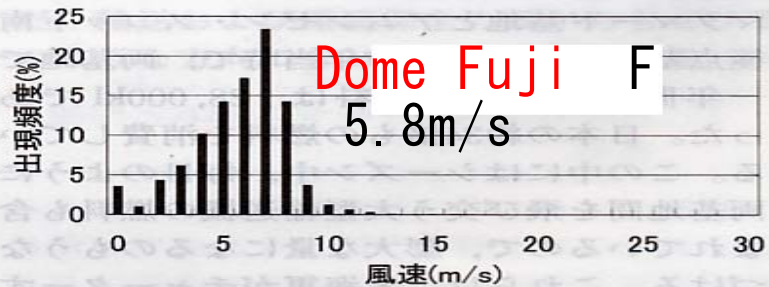
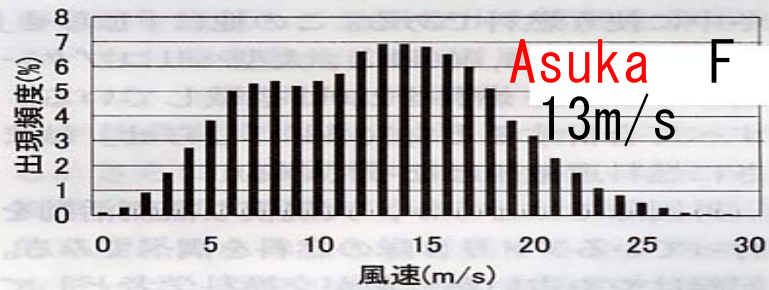


Surface Wind speed (m/s, JJA 2004)

Chajnantor: 1995 April to 2004 December



チリ: 5000m、平均6.1m

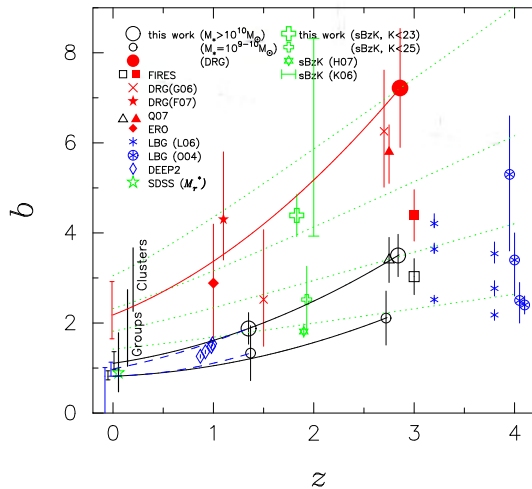
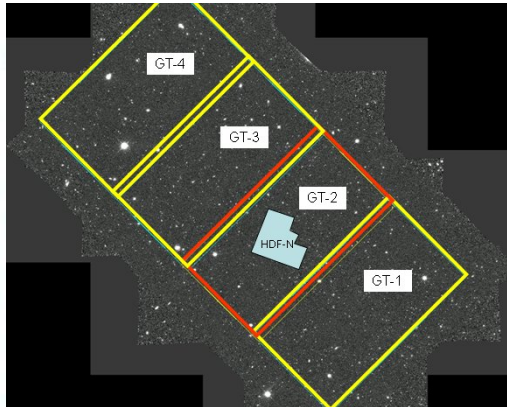


# ➤ 近赤外線広域銀河探査

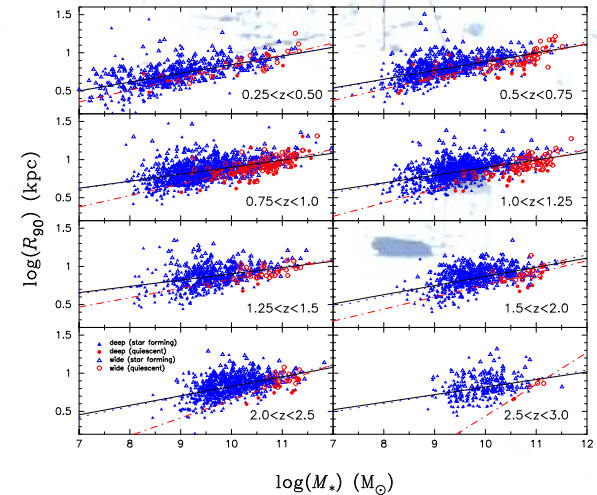
2.4 $\mu$ m~5 $\mu$ m

これまでの地上観測の最大の深さ(MODS)で、最大の広域銀河探査を行い、特に  $z \sim 3$  領域までの低質量銀河 ( $M_{\text{star}} \sim 10^9 M_{\odot}$ ) の分布から星系質量を基とする銀河の基本的構造パラメータやクラスタリング進化を研究する。特に、波長2.4 $\mu$ mの窓は可視光並みの深さで観測が可能である。3.4 $\mu$ m、4 $\mu$ mとの同時撮像観測を行う。

すばる望遠鏡とMOIRCS



低質量銀河のクラスタリング進化  
(Ichikawa et al. 2007)



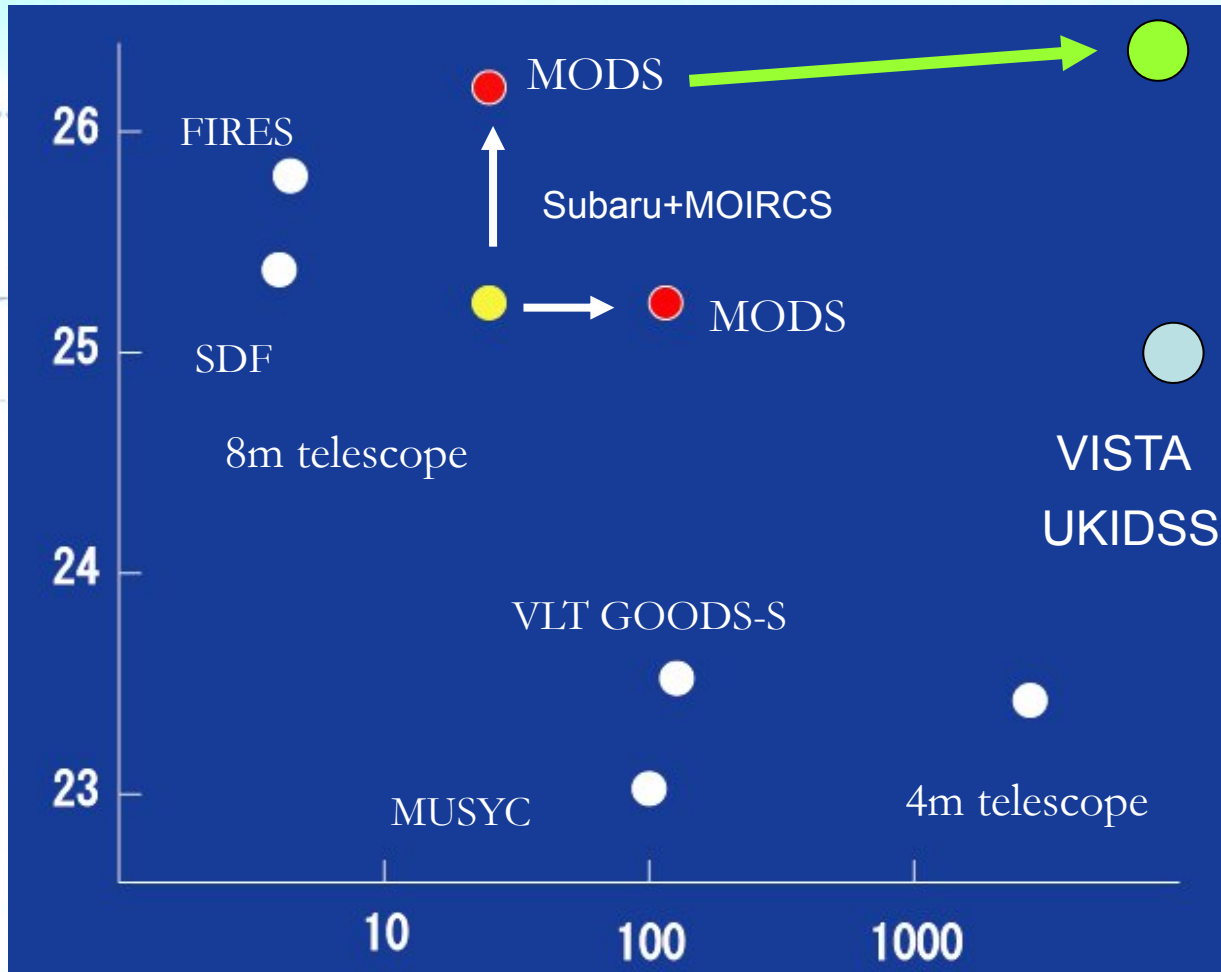
銀河の質量とサイズの普遍的関係  
Ichikawa et al. (2012)



# Kバンドでの銀河サーベイ

深さ

( $K_{AB}, 5\sigma$ )



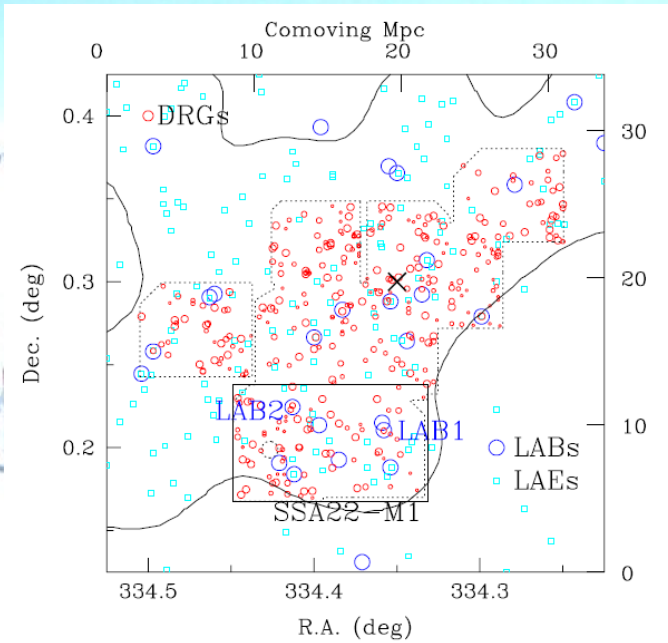
南極での目標

広さ (arcmin<sup>2</sup>)



# MOIRCSによるSSA22領域( $z \sim 3$ )の大質量銀河の分布 (Uchimoto+2012)

K=24.3



約100倍(1平方度)を1冬(極夜)で完成

100Mpcx100Mpc領域における低質量銀河(building block)分布の解明