

南極2m赤外線望遠鏡 と 宇宙の化石天体探査

市川隆
(東北大学理学研究科天文学専攻)

南極天文台構想

・10mテラヘルツ望遠鏡

・2m赤外線望遠鏡

いずれも南極の天文好条件を最大限に生かす望遠鏡であり、共通のプロジェクトによって、宇宙初期の銀河から銀河系の星生成領域、系外惑星系まで、宇宙全域で新しい知見をうることができる。

推進組織

- ・ 南極天文フォーラム

(代表)中井直正、瀬田益道(筑波大)

市川隆(東北大)

高遠徳尚、浦口史寛、家正則(国立天文台)

栗田光樹夫(名古屋大学)

- ・ 惑星グループ

岡野章一、坂野井健(東北大)

田口 真 (極地研)

現在の世界最高の天文台サイト

ハワイ島マウナケア山頂



電波(サブミリ)、赤外線、可視光の望遠鏡群

天文サイトの条件

条件	すばる望遠鏡	南極ドームC
晴れる	65%	75%(?)
大気が安定している (星が瞬かない)	0.6" (星像の大きさ)	< 0.5" (?)
標高が高い	4205 m	3250 m
大気温度が低い	0 °	-50 °
水蒸気量が少ない (透過率が高い)	3 mm PWV	< 0.6 mm PWV
風が弱い	平均7m/s	平均 3m/s @地上5m

赤外線観測の障害 - 大気熱放射

目標とする天体の明るさ 1等星の 10^{-9} (1.5×10^{-8} J)
2.2 μ mの空の明るさの10万分の1(S/N=1)

$$\text{信号 / ノイズ} = \frac{\text{天体の明るさ}}{\text{望遠鏡の面積}} \cdot \frac{\text{空の明るさ}}{\text{空の明るさ}}$$

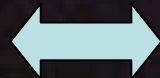
空の明るさが100分の1ならば、望遠鏡の口径は1/10が良い

南極の空の明るさ = マウナケアの数十分の1

口径8.2mすばる望遠鏡 ~ 南極2m赤外線望遠鏡

大気放射のない 衛星望遠鏡ではだめか

- ・高価 (数100億円 ~ 数千億円)
現在、SPITZER
2月 ASTRO-F (日本)
- ・分解能が悪い
地上の数分の1
- ・視野が狭い
- ・寿命が短い



地上望遠鏡と相補的

究極の赤外線望遠鏡

ハッブル望遠鏡の後継機

可視光から赤外線へ

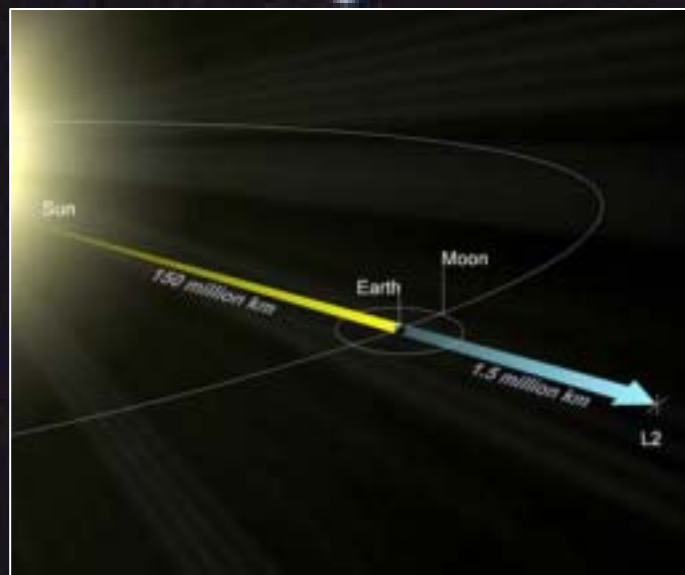
次期宇宙望遠鏡(2013年?)

JWST (James Webb Space Telescope)



6000億円

5年の寿命



太陽の反対側

地球から約150万km

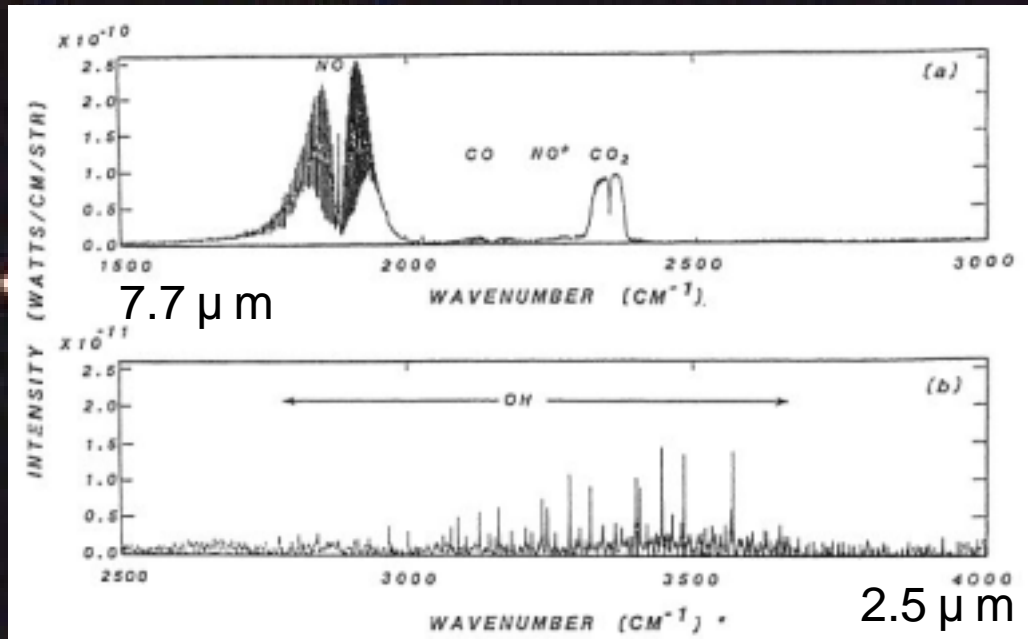
回収・修理は不可能

オーロラの影響

赤外線(>2 μm)では影響はない

0.7~2 μm はOH夜光が支配的で、どこでも同じ条件

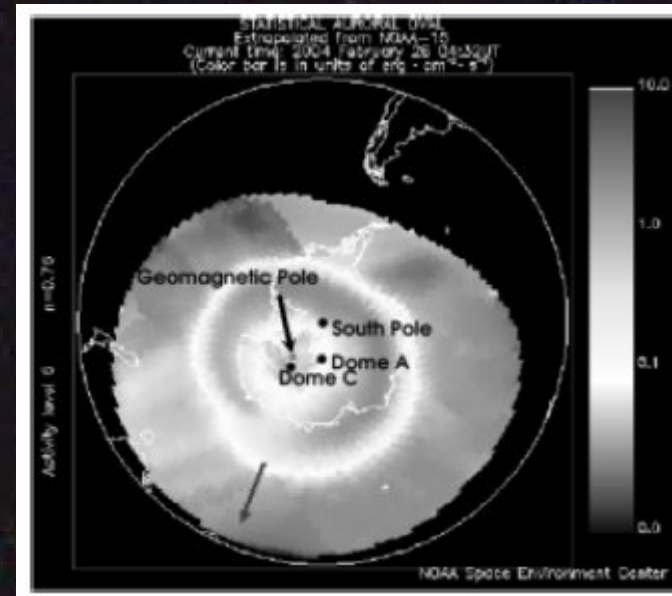
可視光はシーイングや天気が特に良くない限り、メリットは少ない



ロケット観測

Espy et al. (1988)

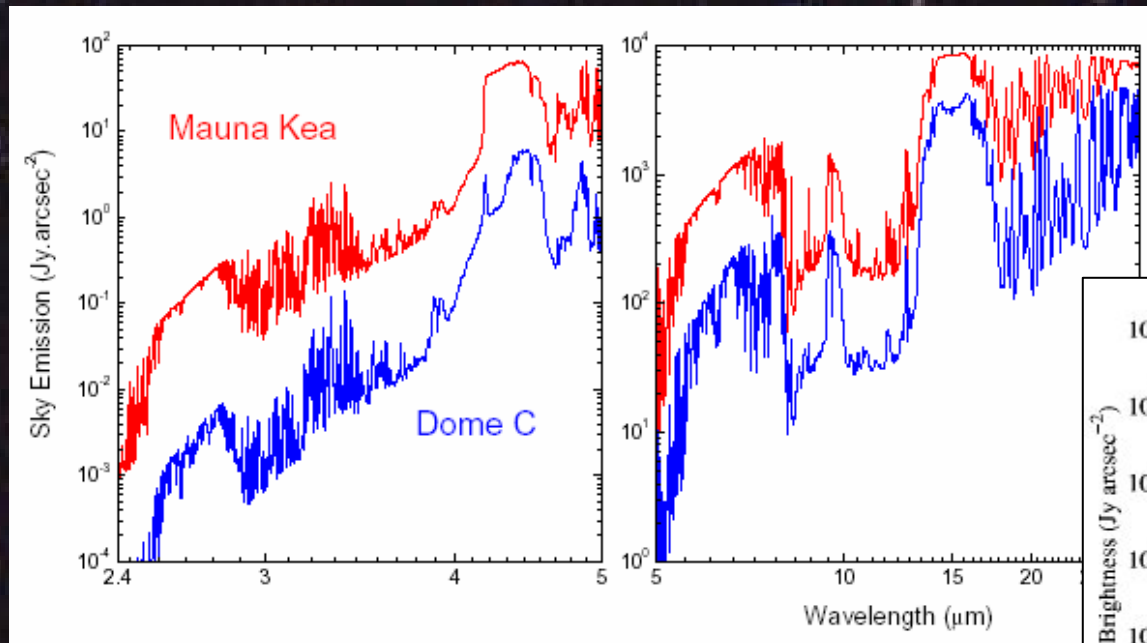
可視光



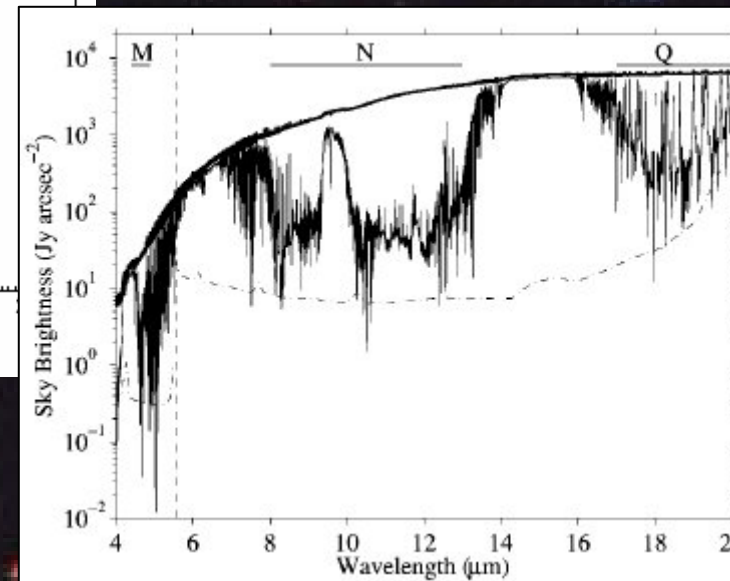
NOAA

赤外線バックグラウンド

Burton et al. (2005) 近赤外で数十分の1



夏期の実測

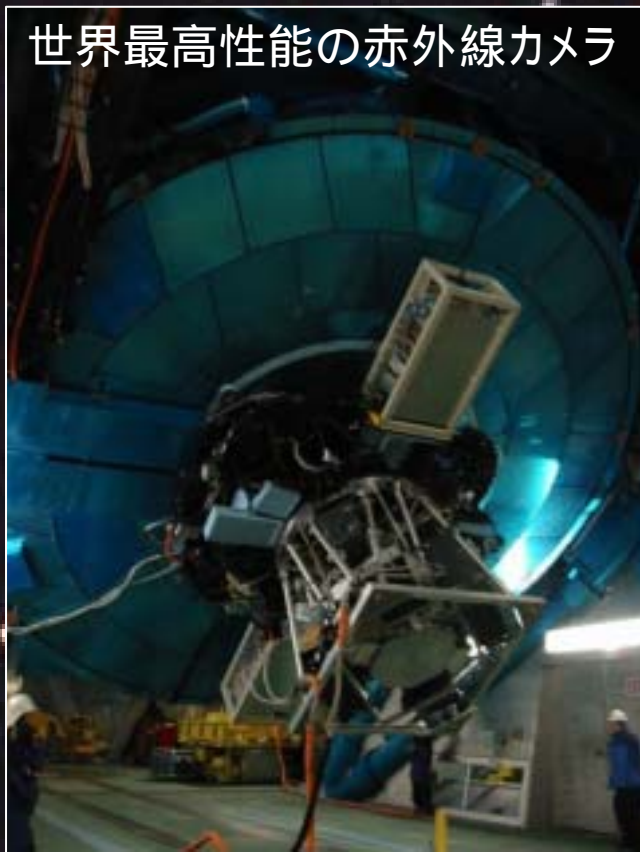


Walden et al. (2005)

ドームふじでは、2.2 μmより長波長に重点を置く

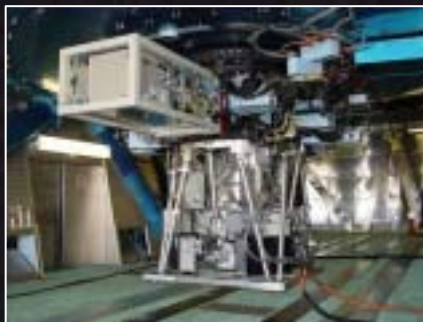
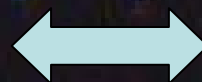
すばる望遠鏡+MOIRCS

世界最高性能の赤外線カメラ



Ichikawa et al. (2005)

同じ性能



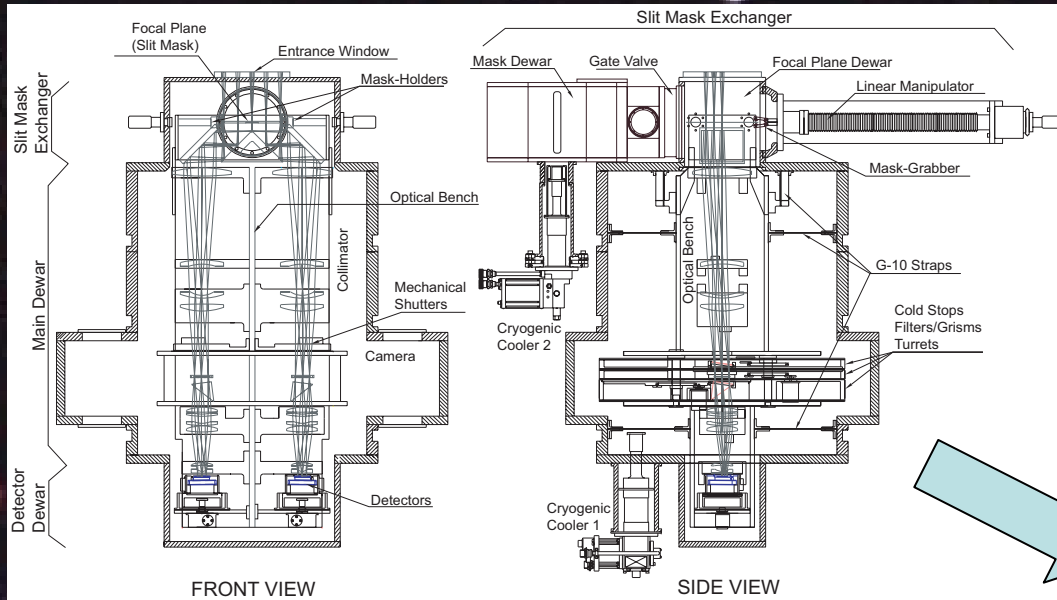
2m × 2m × 2m
2.3トン

南極2m望遠鏡

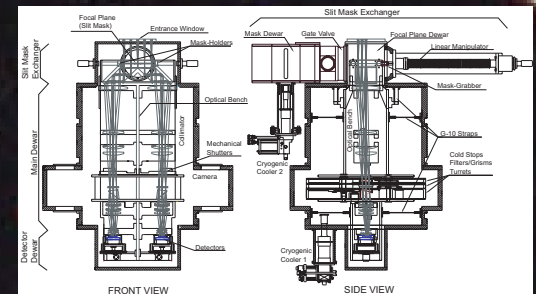


Kurita et al. (2005)

観測装置も小型になる



すばる望遠鏡は倍率が高すぎる
倍率が高いため、縮小して結像するカメラが必要



南極2m赤外線を目指す天文学

豊富な観測時間を生かして

宇宙初期にある銀河の大規模分布

極低質量星(～木星質量)の探査(漂流惑星)

銀河に吸い込まれる原始銀河の探査

長時間連続観測が可能であることを生かして

小惑星のスピンの統計的性質

系外惑星系の探査

宇宙の化石天体探査

銀河の化石



銀河に取り込まれて、過去の姿を留めない銀河
大きな銀河に飲み込まれる銀河

宇宙初期から存在する古い星

ハロー星

極低質量星 (褐色わい星、木星質量天体)



宇宙初期の情報を持っている (金属量、速度、角運動量.....)

銀河群

← 10億光年 →

大規模構造

← 1千万年後年 →

Jenkins et al.

← 1億光年 →

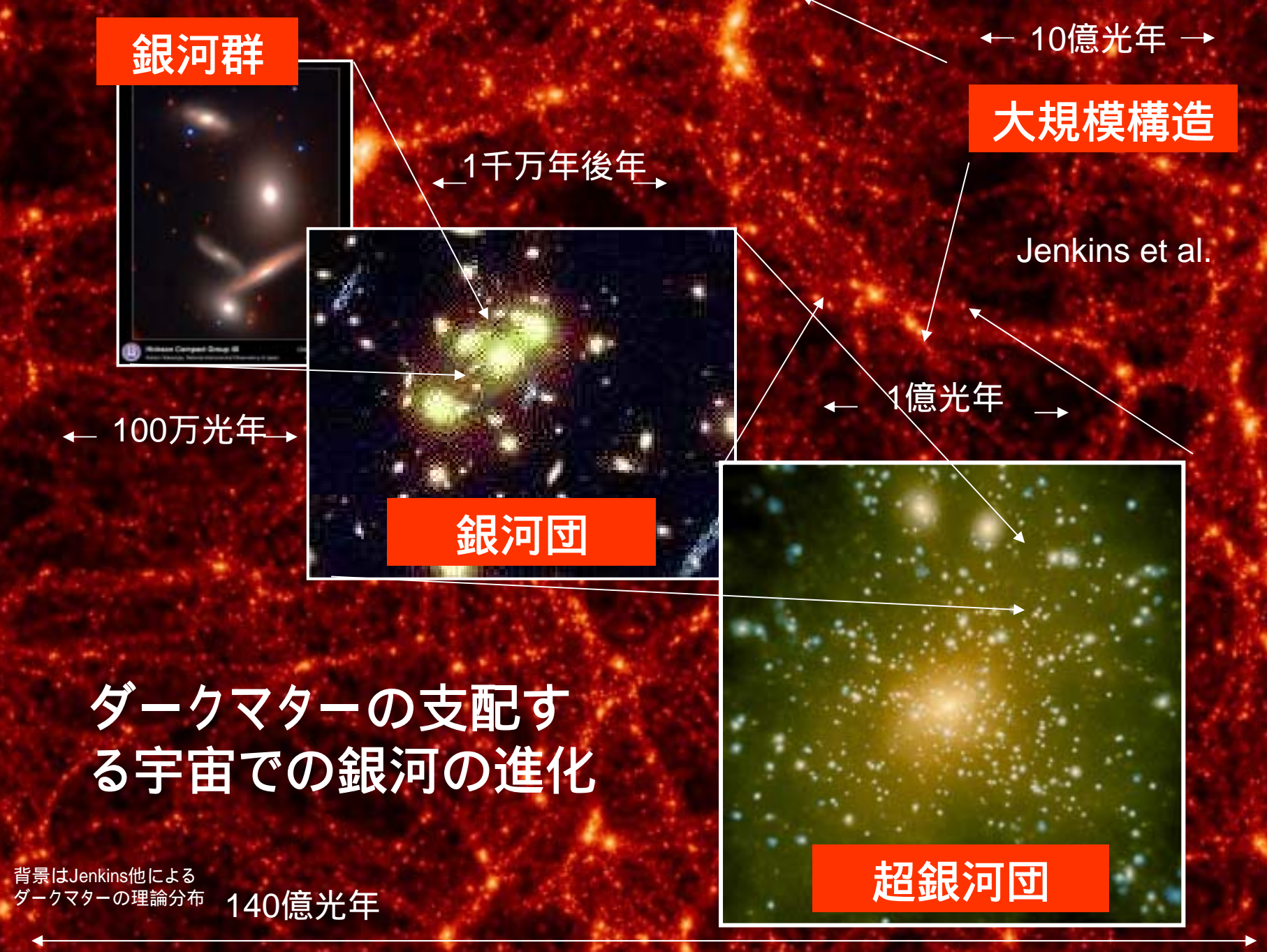
← 100万光年 →

銀河団

超銀河団

ダークマターの支配する宇宙での銀河の進化

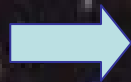
背景はJenkins他による
ダークマターの理論分布
140億光年



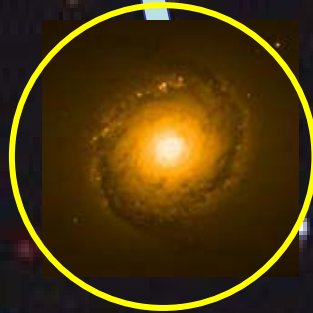
小さな原始銀河の誕生

銀河系はどのようにしてできたか

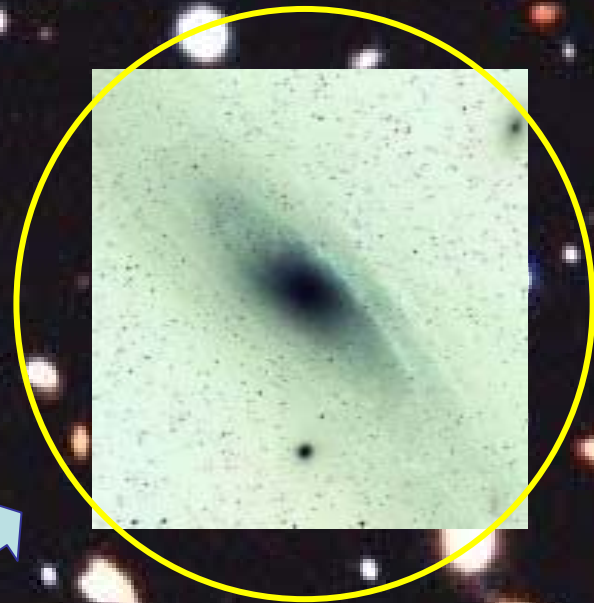
ダークマター



合体

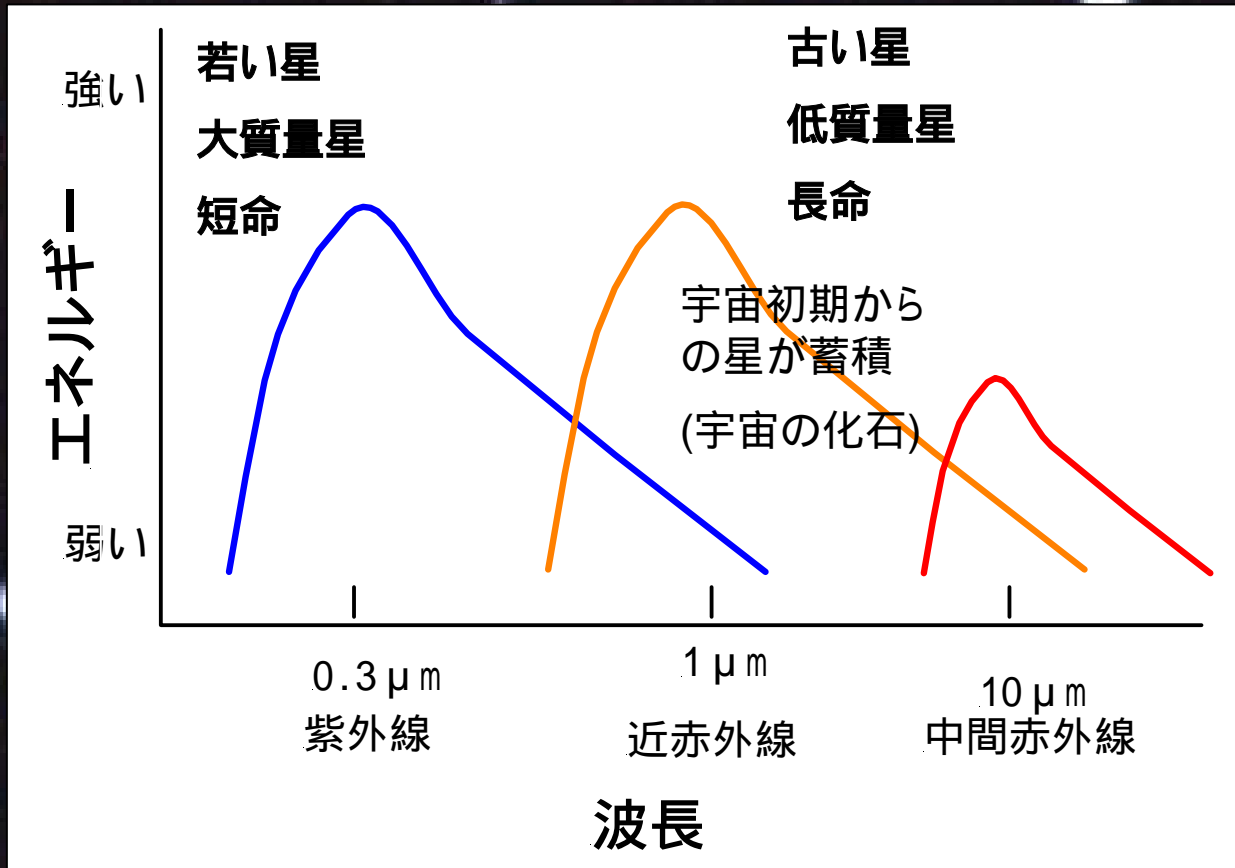


銀河の成長

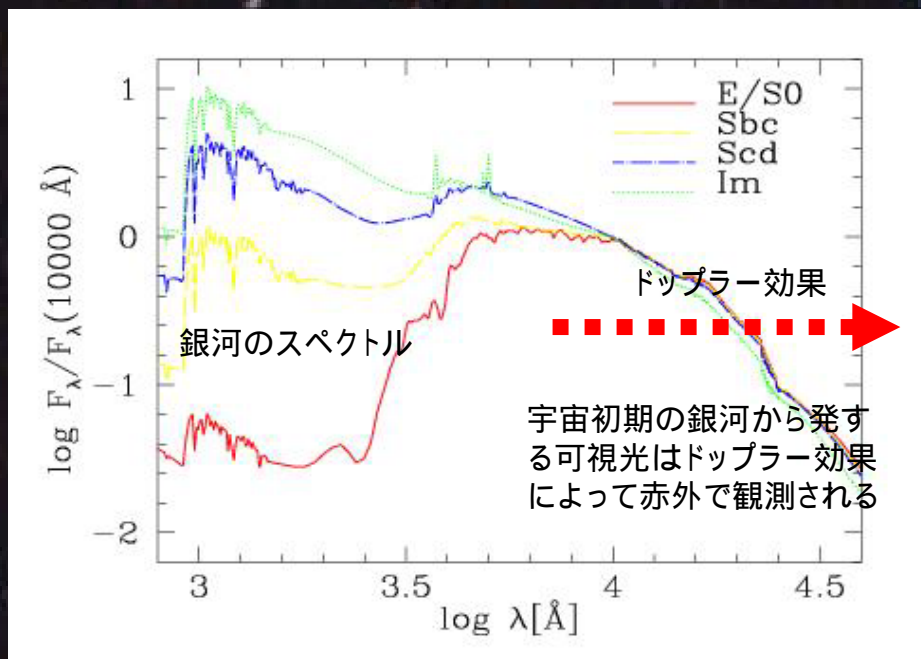


なぜ赤外線が重要か

星のスペクトル



宇宙膨張によるドップラー効果 - 赤方偏移



Bolzonella et al.



宇宙

等方一様膨張

宇宙初期の銀河は、大半の光が赤外線で見られる



東北大と国立天文台のプロジェクト

宇宙の年齢が現在のまだ1/5の頃の
宇宙の姿。特に劇的な銀河の進化
の様子や集団化の初期段階の研究



限られた領域で宇宙初期にある銀河の探査

2006年 春

南極2m望遠鏡を用いると、数十倍の天域を探
査でき、宇宙初期の大局的な構造がわかる

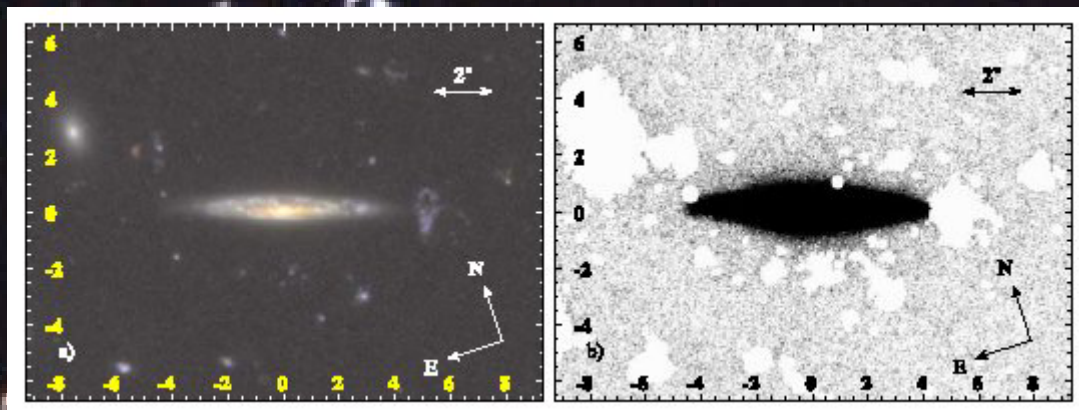


銀河の合体とその痕跡探査



銀河に飲み込まれる古い小銀河

Taniguchi et al. (2005)



Zibetti et al. (2004)

銀河を取り巻く薄い成分
飲み込まれた銀河の化石



将来、大型の銀河に成長する可能性のある銀河群

長時間連続観測が可能

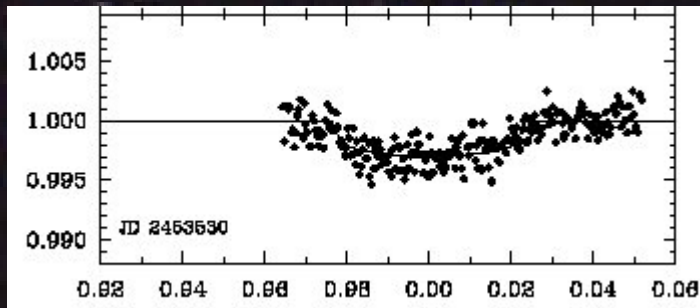
系外太陽系で惑星探査

食変光

惑星の大気を通
する星の光

半径

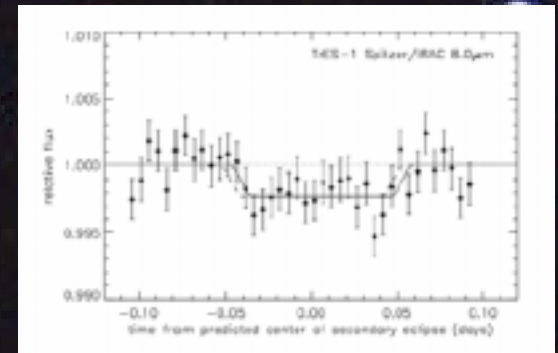
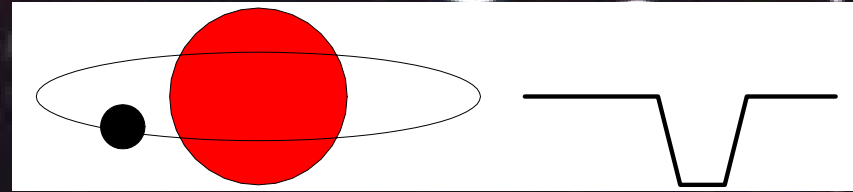
惑星の熱放射



Sato et al. 2005

木星半径、木星の30%の密度の
惑星発見

わずかな変光



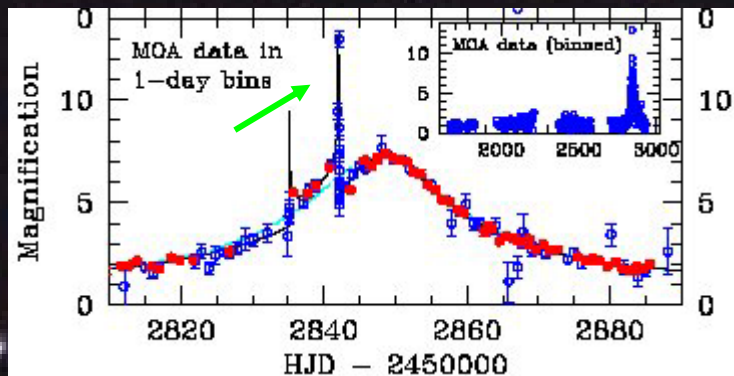
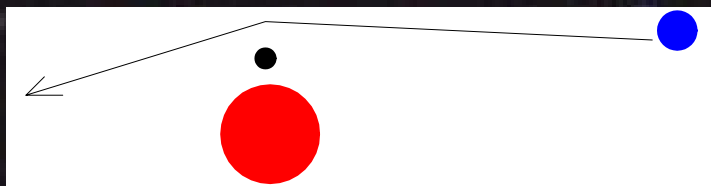
Charbonneau et al. (2005)

赤外線観測
が最適

8 μ mでの観測

惑星は赤外線で見える。2/1000の変化
星は赤外線で見えない

マイクロ重力レンズ効果

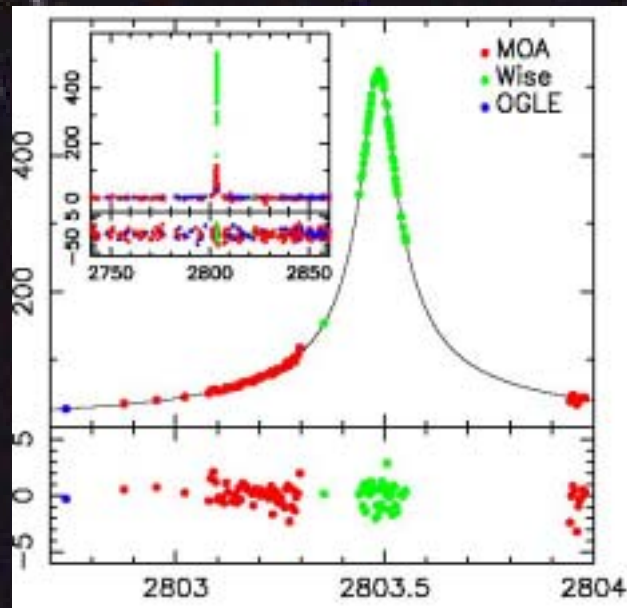


Bond et al. (2004)

0.3太陽質量の星に、1.5木星質量の惑星が地球軌道の約3倍の軌道にある。

地球質量の惑星の検出の可能

特殊な変光曲線



Abe et al. (2004)

この星には2.3-3.6地球軌道半径に地球質量以上の惑星はない

広い視野でたくさんの星を同時に観測して、効率を上げる。長時間連続観測が不可欠

(1) サイト調査

+ 30 - 50 cm 自動測光モニター

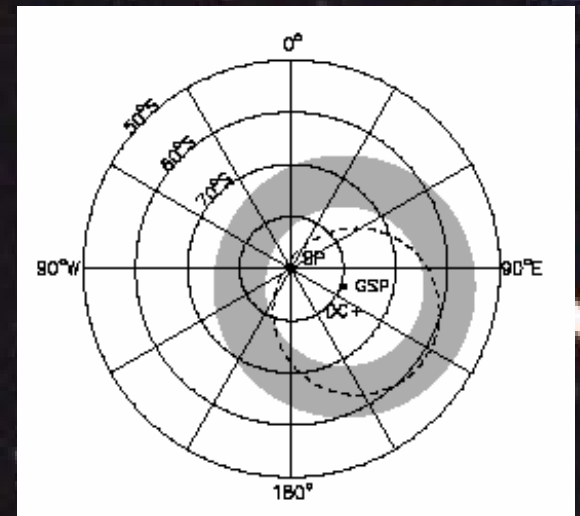
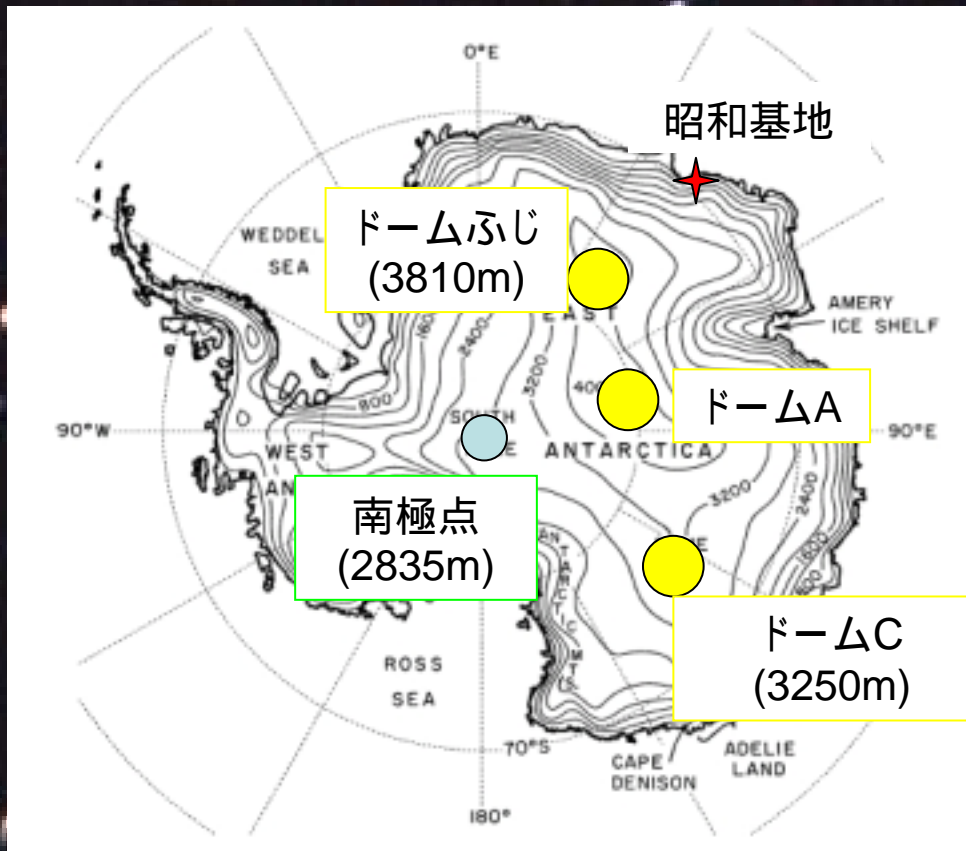
小惑星の非主軸回転成分の検出

= > 族ごとの違い

= > 族形成年代の違い

= > 太陽系の力学的擾乱の歴史

外国の取り組み



フランス・イタリア・オーストラリアなどヨーロッパ諸国による

南極 Dome Cの天文開拓

PILOT2m望遠鏡計画

将来の巨大望遠鏡群候補地?



Antarctic Research, a European Network for Astrophysics
2006-2008 コンソーシアムによる具体的検討

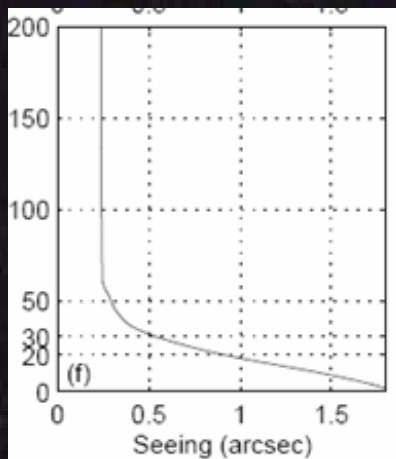
ドームCにおける

2003年から本格的な天文気象調査



標高	3250m
風速	平均 3m/s @地上5m
快晴	74%
オーロラ	なし
シーイング (Vバンド)	夏 0.27" 0.58" @ 5m 冬 1.3" @ 8.5m 0.36" @ 30m

大気の水蒸気量
0.6mm PWV



接地境界層が20-30mにある

外国のグループと組んで、Dome Cに建設参加か
日本独自に計画を進めるか

日本の利点

日本独自の拠点がある(ドームふじ)

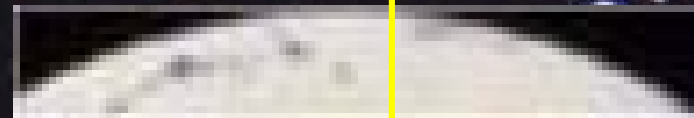
テラヘルツ望遠鏡計画・赤外線望遠鏡で共同で進めることができる

超軽量望遠鏡と赤外線観測装置の技術がある

外国とは情報交換しながらも、現段階では、独自に調査を進めていく

サイト調査計画

- 大気ゆらぎ(シーイング)の高度分布
特に高度50m以下の接地境界層
- 夜間の晴天率、雲量
- 気象環境
- オーロラの影響
 - 頻度、分布、強度、スペクトル...
- 南極での実際的技術の獲得



ピンぼけ像

シーイングは天体観測の生命線

暗い天体が見えなくなる、細かい構造がわからなくなる

できる限り早い時期に、大気の揺らぎの調査をしたい

(大気ゆらぎ以外は現在の気象データである程度評価できる)

2006-2008 夏期に同行して

- (1) ラジオメータによる220 GHz の大気透過率の測定およびフーリエ分光器による0 ~ 2 THz の大気透過率の測定等を行う。
- (2) 実際の星(カノーパス、高度22° ~ 52°)を観測して大気ゆらぎシーイング)を測定する。
南極でのシーイング悪化は接地境界層で起こると言われているので、ドップラー SODAR ($25\text{ m} < h < 1000\text{ m}$)、micro-thermal センサー ($2\text{ m} < h < 15\text{ m}$; ポールに設置、またはクレーンから吊り下げる)を使って境界層の乱流を調べる。
- (3) 加速度センサー + ロガーを荷に設置し、雪上車による輸送時の振動を記録する

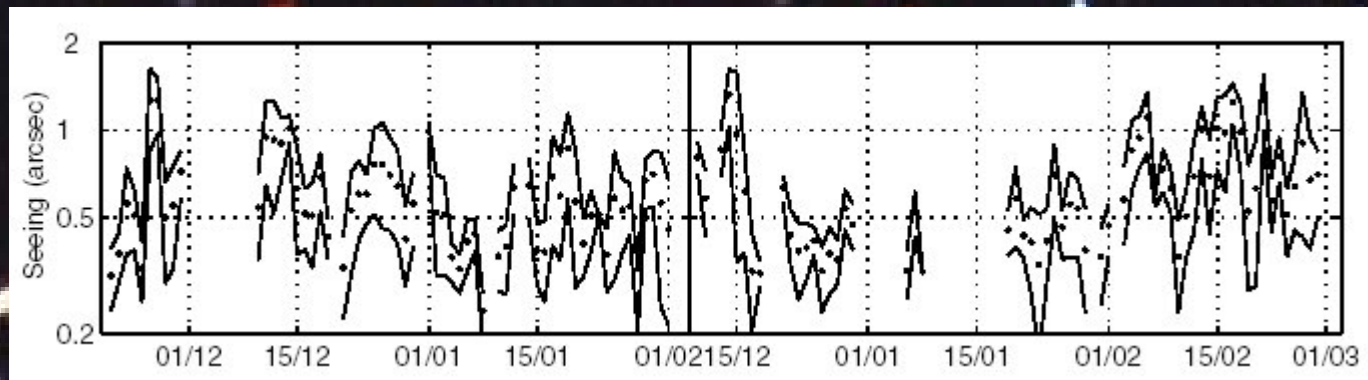
Dome C の星像の大きさ(シーイング)

cf. すばる望遠鏡 0.8"

Aristidi et al. (2005)

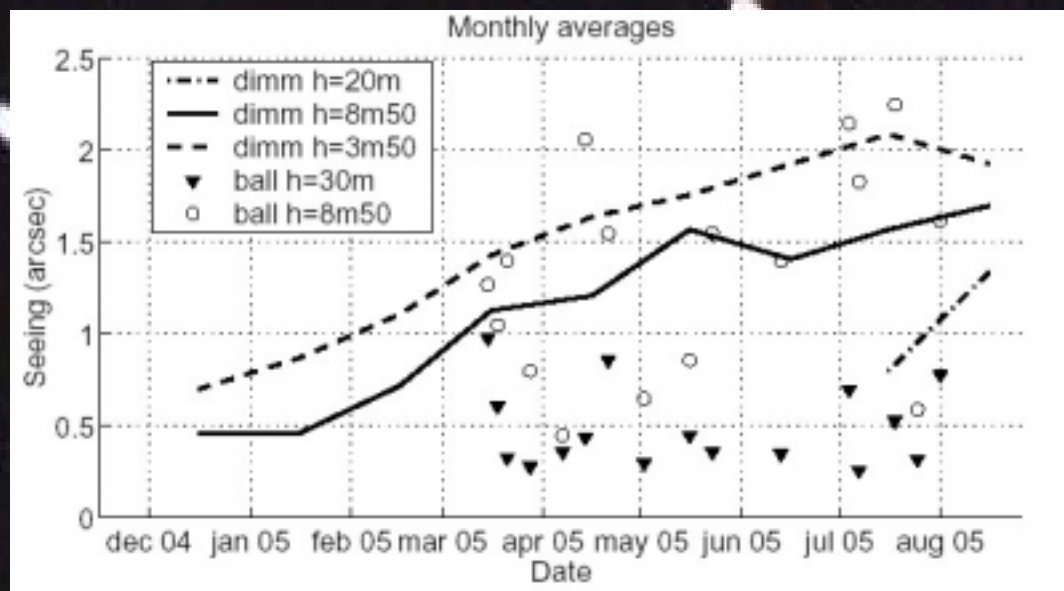
夏期

平均0.54"



Agabi et al. (2005)

冬期

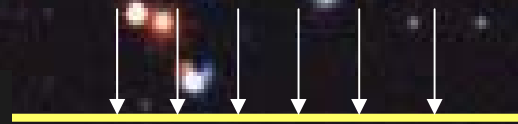


大気ゆらぎの測定

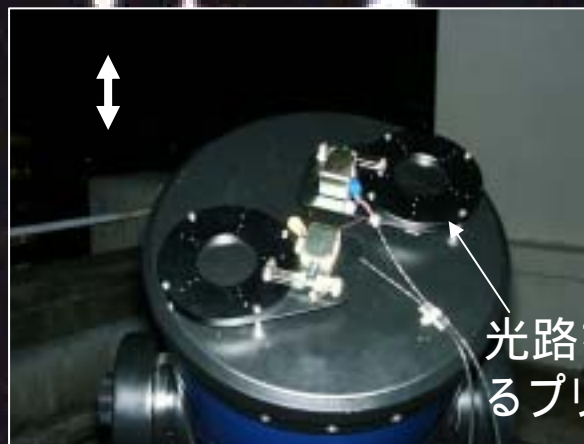
ふたつの小窓を通る波面の向きの変化



波面(平面)



乱れた波面

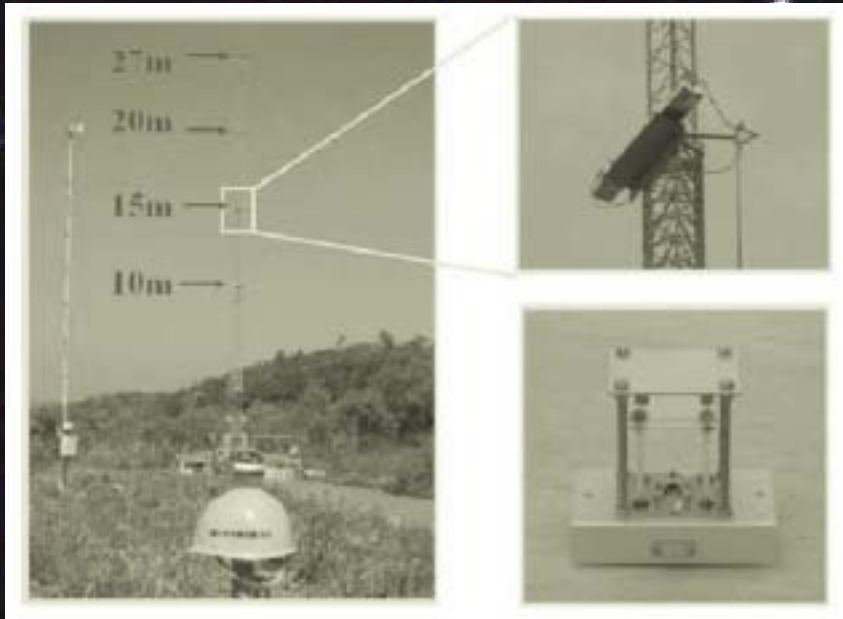
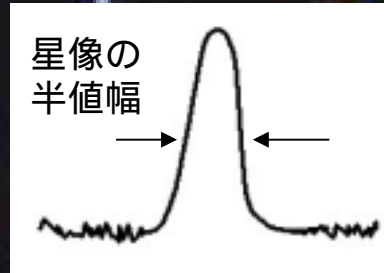


光路を少し変える
プリズム

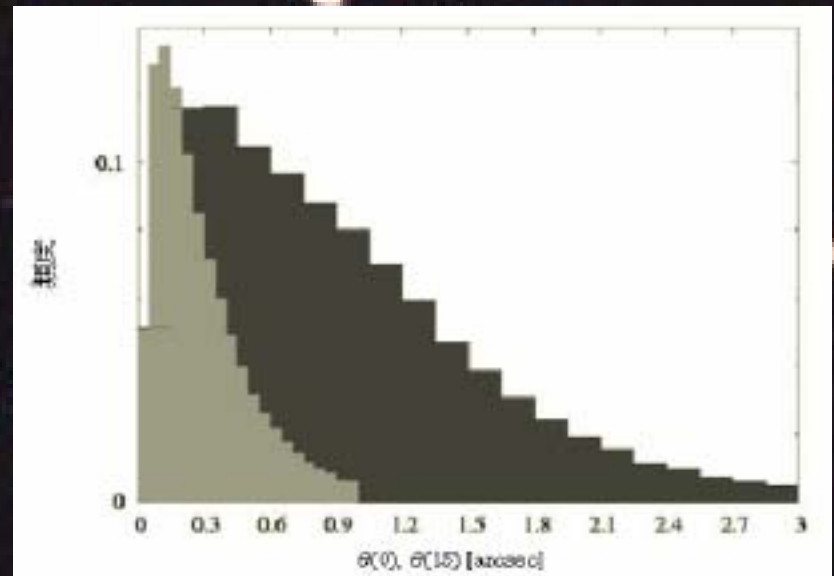


C_T^2 センサータワー

Wada et al. (2004)



$$\begin{aligned} \theta(z) &= 5.3\lambda^{-1/5} \left(\frac{7.9 \times 10^{-5} P}{T^2} \right)^{6/5} [C_T^2(0) \exp\left(\frac{-z}{z_h}\right) z_h]^{9/5} \\ &= 5.3\lambda^{-1/5} \left(\frac{7.9 \times 10^{-5} P}{T^2} \right)^{6/5} [C_T^2(z) z_h]^{9/5} \end{aligned} \quad (10)$$



抵抗体(ニッケル線)の温度変化

温度の微小変動から接地境界層の高さや大気のゆらぎ

Doppler SODAR

sonic detection and ranging



ラジコン飛行機



ハワイ島での実験

(将来の)モニター観測

- 10 μm での雲モニタ



南極赤外線望遠鏡の課題

- 雪やダイヤモンドダストの鏡面への付着をどのように取り除くか
- 望遠鏡を覆うドームはどうするか
- 極低温環境での精密望遠鏡駆動
- プリザードからの防御
- メンテナンスフリーのリモート観測

名古屋大学で開発された 超軽量望遠鏡用架台(2.5~3m用)



高さ 7m 旋回半径4m

分解時 2.5m × 2.5m × 1.5mの箱に収まる

総重量 約5t

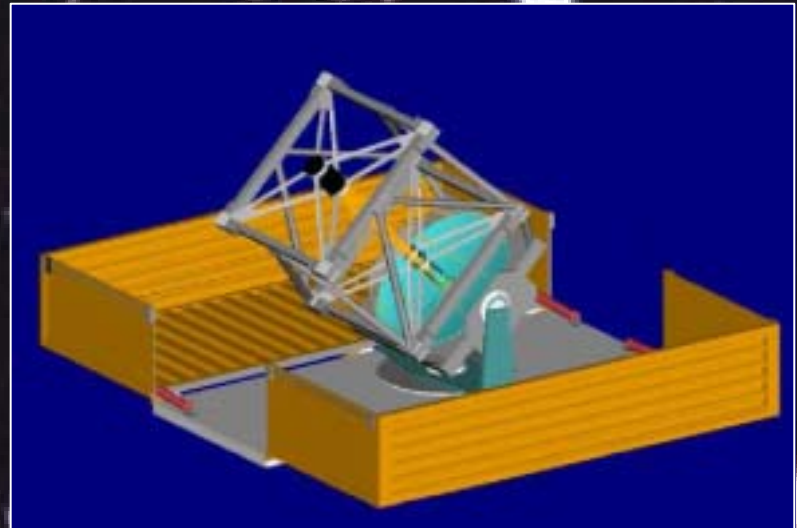
電力 5kW

ドーム



通常のドームは困難

ヨーロッパ連合のアイデア



Arcidiacono et al. (2004)

ロードマップ

サイト調査(シーイングモニタ等)と短期成果

- | | |
|-----------|-----------------------------|
| 2006-2007 | 夏期観測隊に同行者参加 (既存の装置持参) (申請中) |
| 2006-2009 | 調査用小口径望遠鏡の開発 |
| 2010 | 越冬観測 |

2m望遠鏡

- | | |
|-----------|-------------|
| 2005-2007 | 設計 |
| 2008-2011 | 製作 |
| 2012 | 国内試験観測 |
| 2013 | 南極移送 |
| 2014 | ドームふじにて組み上げ |
| 2015 | 観測開始 |