

マゼラン雲に対する1.1mmダスト連続波観測

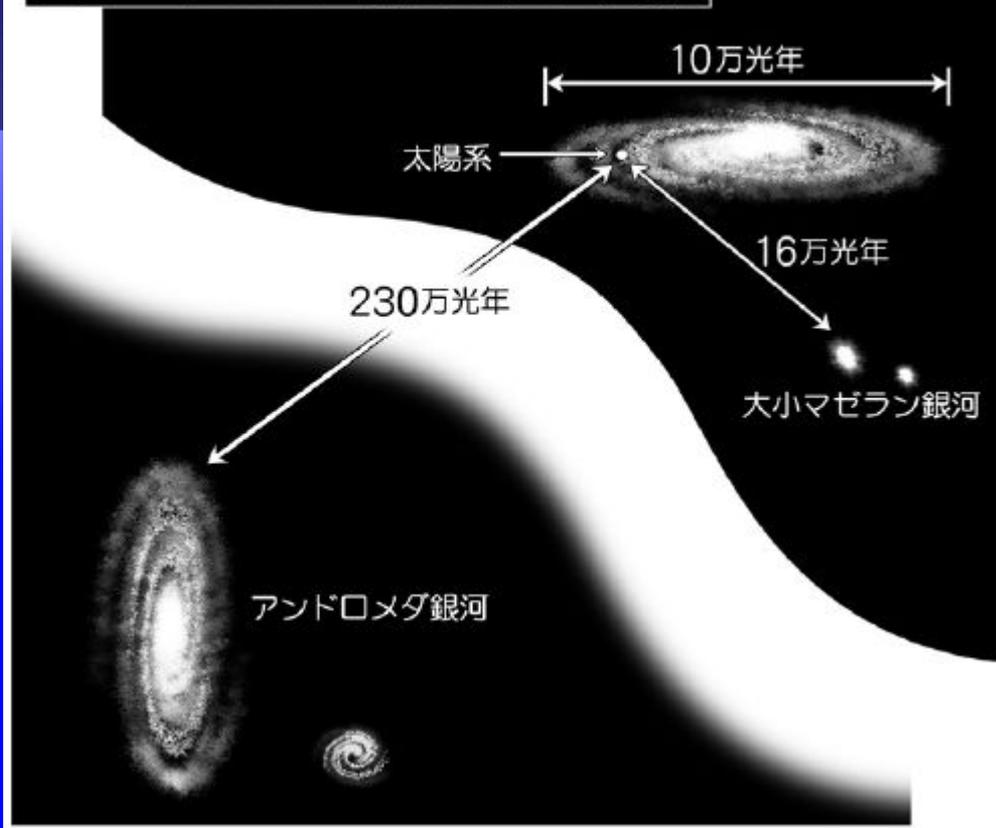
南谷哲宏
(北海道大学 大学院理学研究院)

竹腰達哉、徂徠和夫（北大）、水野範和（国立天文台）、
河村晶子、福井康雄（名大）、大西利和（大阪府大）、
河野孝太郎（東大）、小麦真也（JAXA/ISAS）、濤崎智佳（上越教育大）、
Monica Rubio（チリ大）、AzTEC/ASTE team

- ◆ マゼラン雲
- ◆ 大マゼラン雲の巨大分子雲
- ◆ 大マゼラン雲に対する1.1mm連続波高感度観測
- ◆ その他の領域
- ◆ ASTE搭載多色連続波カメラ

マゼラン雲

図-21 マゼラン銀河の位置関係



ともかく、距離が近い！！
どの望遠鏡で見ても最も詳しく観測できる。

南半球からでないとは観測できない。

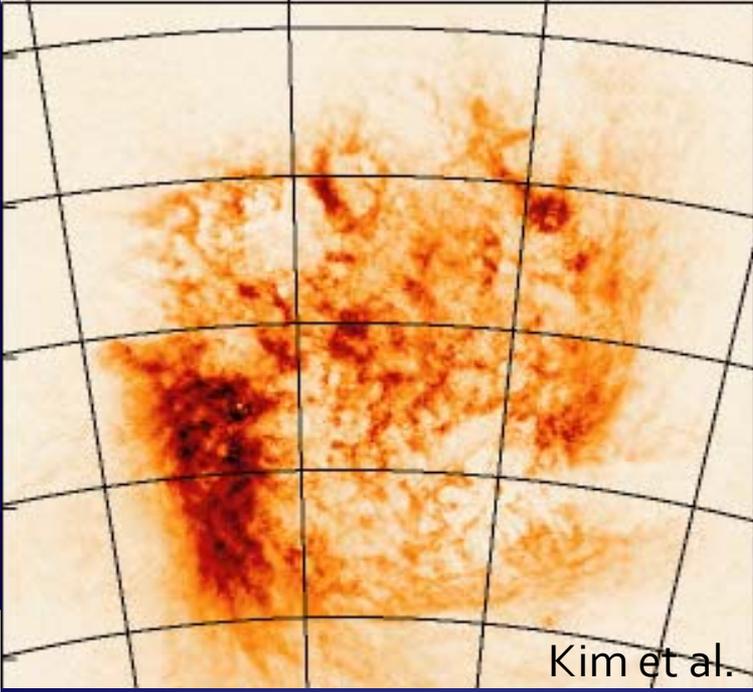
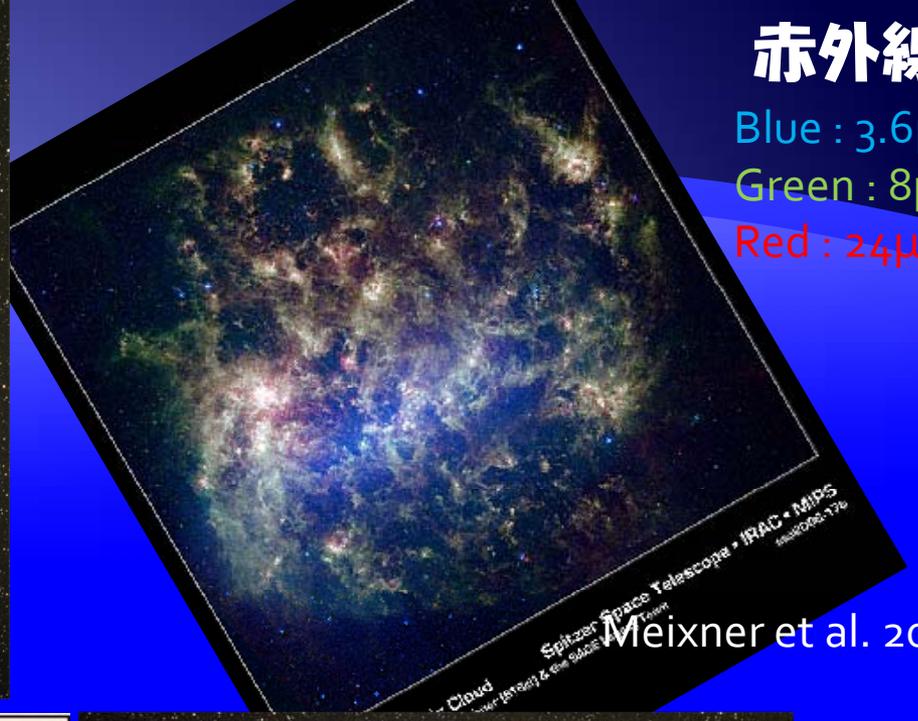


可視光

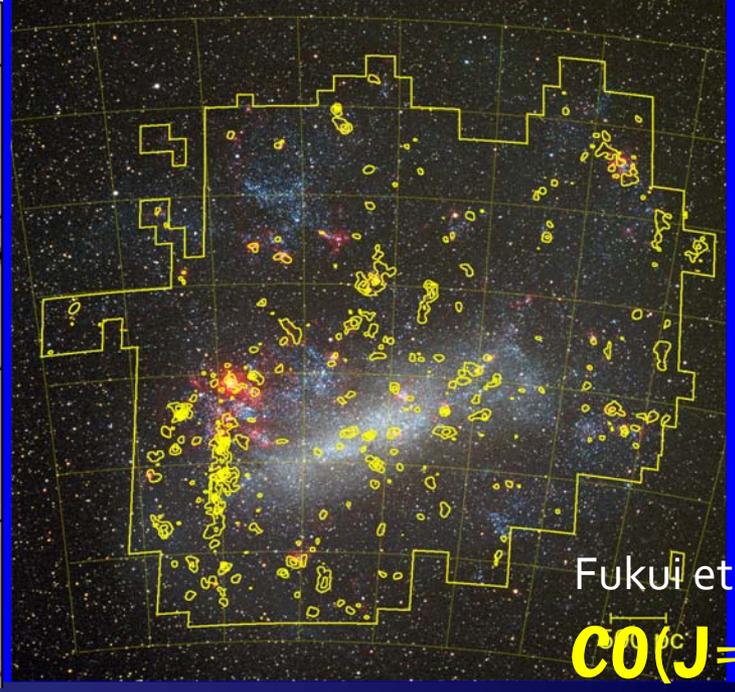


赤外線

Blue : 3.6μm
Green : 8μm
Red : 24μm



Kim et al.



Fukui et al. 2008

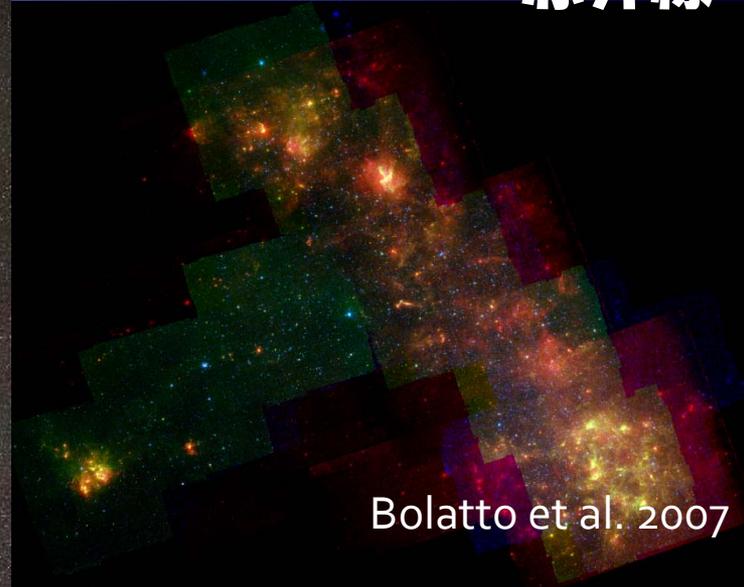
CO(J=1-0)

HI

可視光



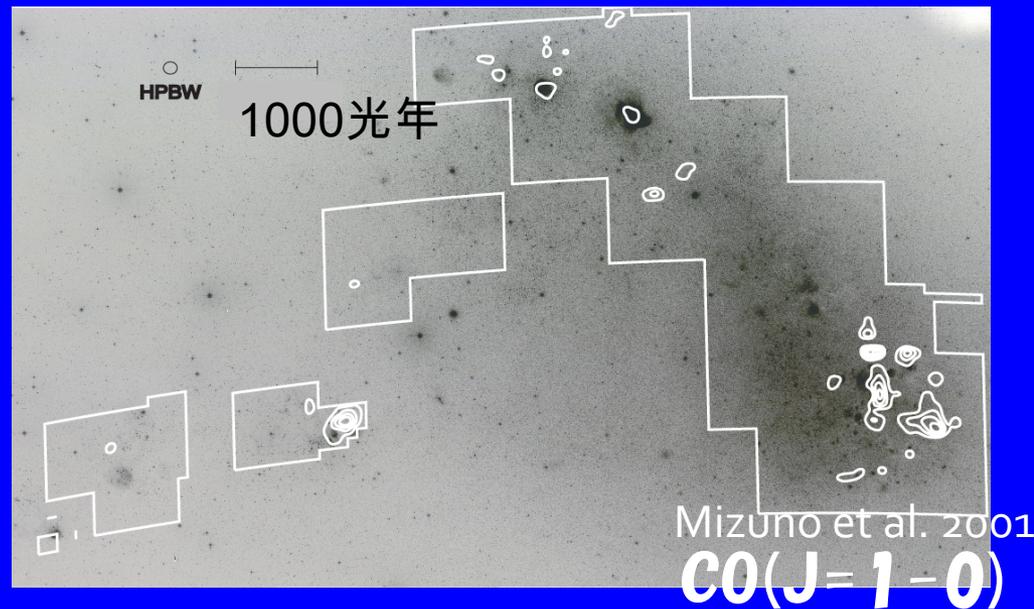
赤外線



Bolato et al. 2007



Stanimirovic et al. 1999

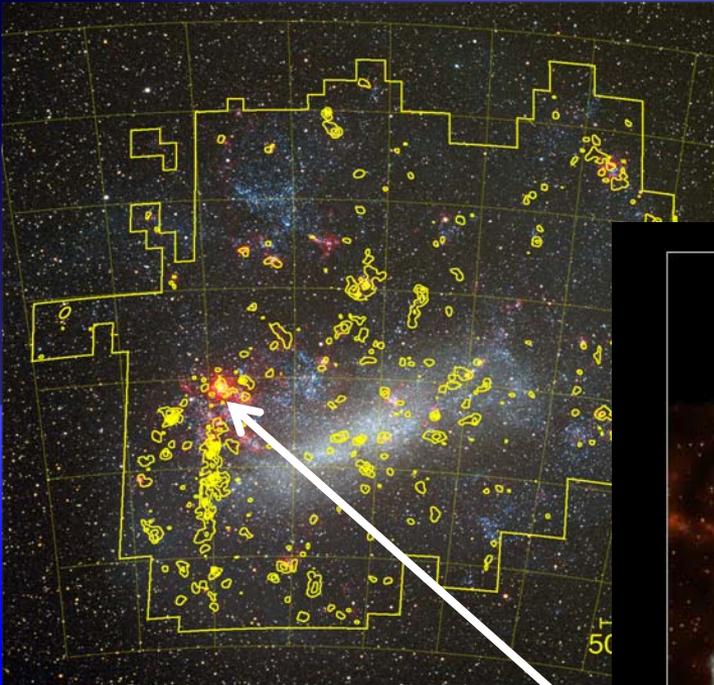


Mizuno et al. 2001

CO(J=1-0)

マゼラン雲の特徴

- ◆ 圧倒的に近距離にある銀河
 - ◆ どの波長で観測しても、最も詳しく観測できる銀河
- ◆ 重元素量が銀河系より少ない
 - ◆ 大マゼラン雲で1/4, 小マゼラン雲で1/10
- ◆ 大マゼラン雲には、若い大規模星団が存在

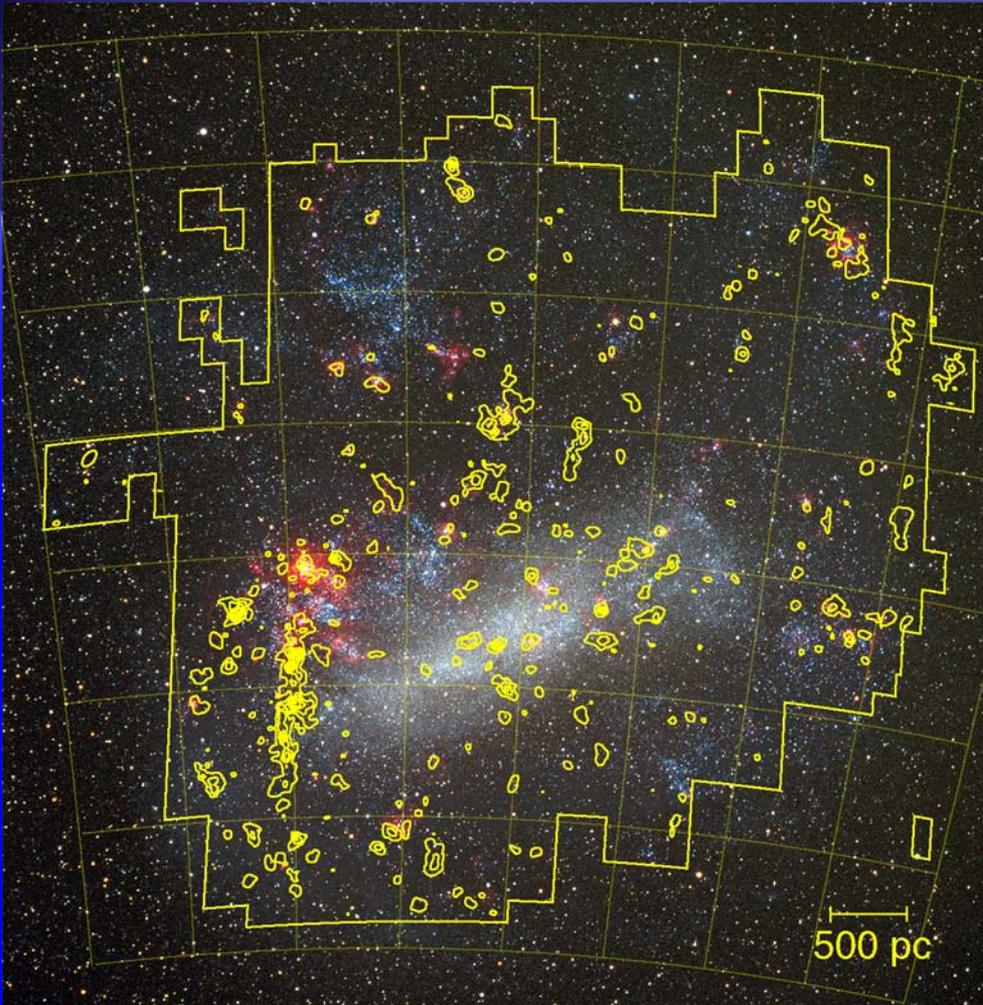


30 Doradus in the Large Magellanic Cloud
Hubble Space Telescope • WFPC2

NASA, N. Walborn (STScI), J. Maíz-Apellániz (STScI), and R. Barbá (La Plata Observatory, Argentina) • STScI-PRC01-21

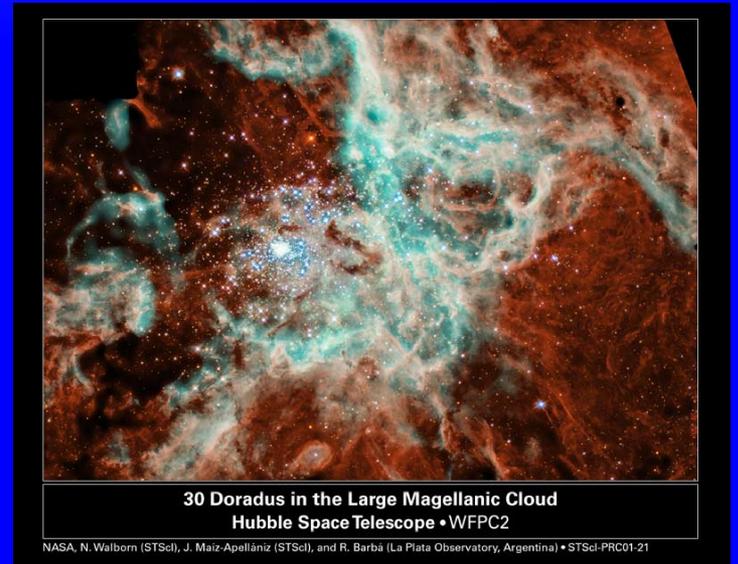
生まれたばかりの、若い星の集まりが、
強い紫外線を出して、周囲のガスを電離している

大マゼラン雲の分子雲



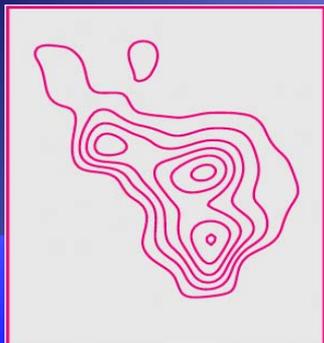
イメージ：光学写真
コントア： ^{12}CO (J=1-0) 積分強度
(Fukui et al. 2008)

- ◆ 距離 $\sim 50\text{kpc}$
(~ 15 万光年)
- ◆ 星形成活動が活発



- ◆ 273個の巨大分子雲
 - ◆ 質量 $> 2 \times 10^4 M_{\text{sun}}$
- (Fukui et al. 2008)

GMCの分類

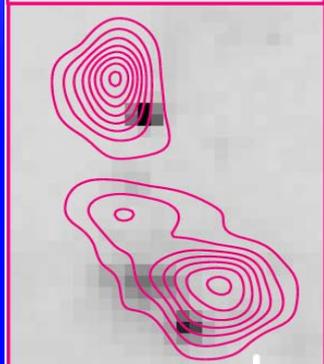


HII領域も若い星団も
付随しない

「星なし」 (Starless)

56 個 (24.3 %)

Type I



小規模HII領域のみ付随

120 clouds (52.2 %)

Type II



若い星団

大規模HII領域が付随

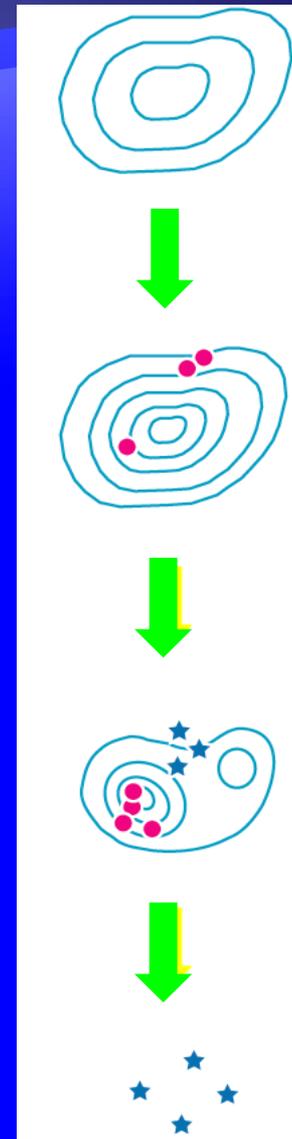
54 clouds (23.5 %)

Type III



150 pc

若い星団のみ



~ 600万年

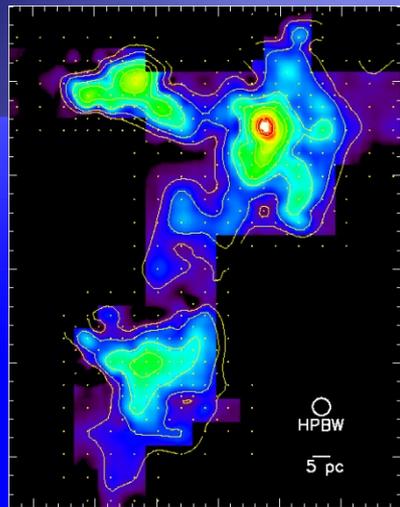
~ 1200万年

~ 600万年

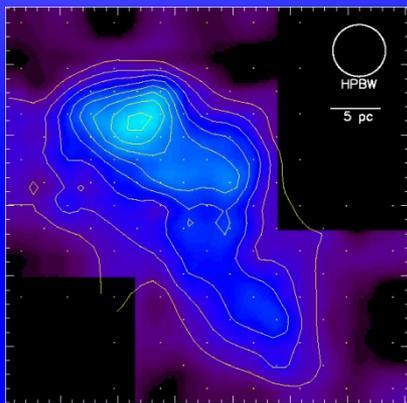
~ 400万年

Fukui (2006),
Kawamura et al. (2009)

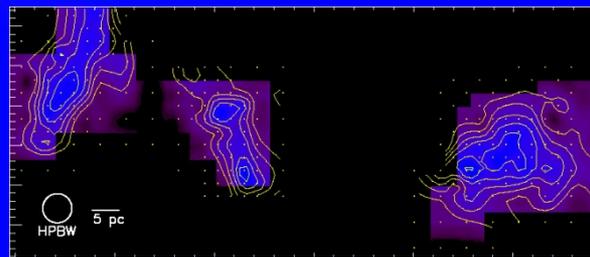
N159 (Type III)



N206D (Type II)

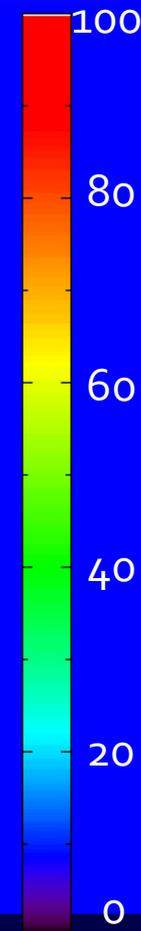
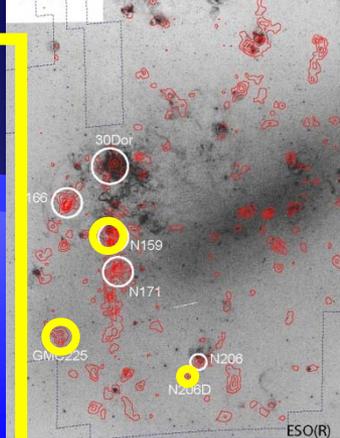
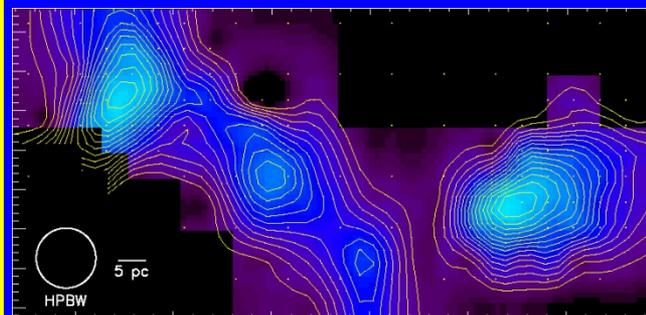
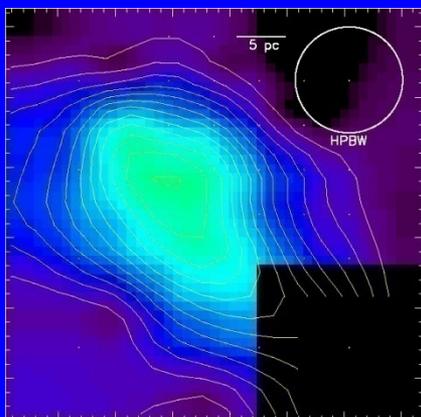
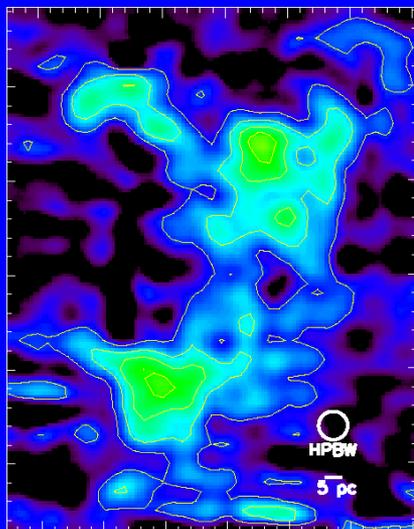


GMC225 (Type I)



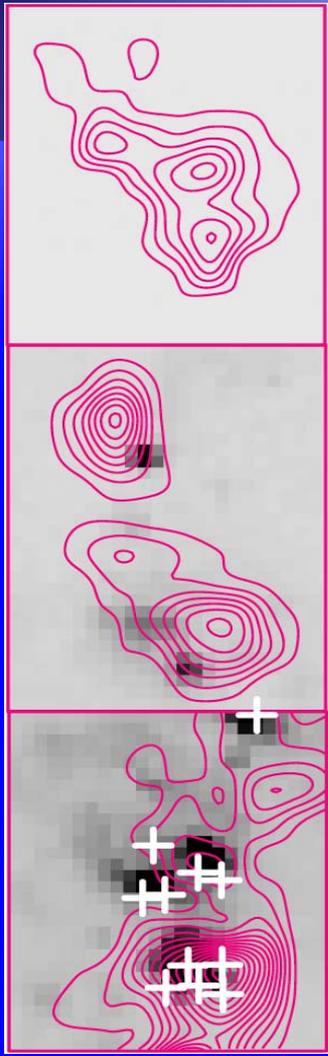
$^{12}\text{CO} (J=3-2)$

$^{12}\text{CO} (J=1-0)$



Minamidani et al. 2008

GMCの進化段階との関係



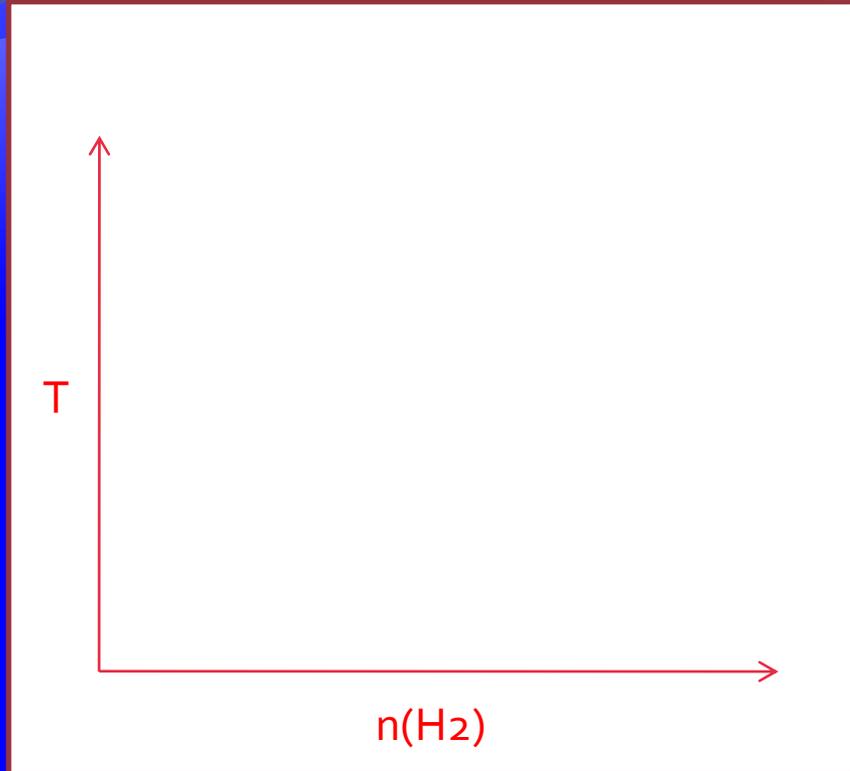
HII領域
も若い星
団も付随
しない **Type I**
(GMC225)

小規模
HII領域
のみ付随 **Type II**
(N206D)

若い星団
大規模
HII領域
が付随 **Type III**
(30Dor,
N159)

150 pc

(Fukui 2006,
Kawamura et al. 2009)



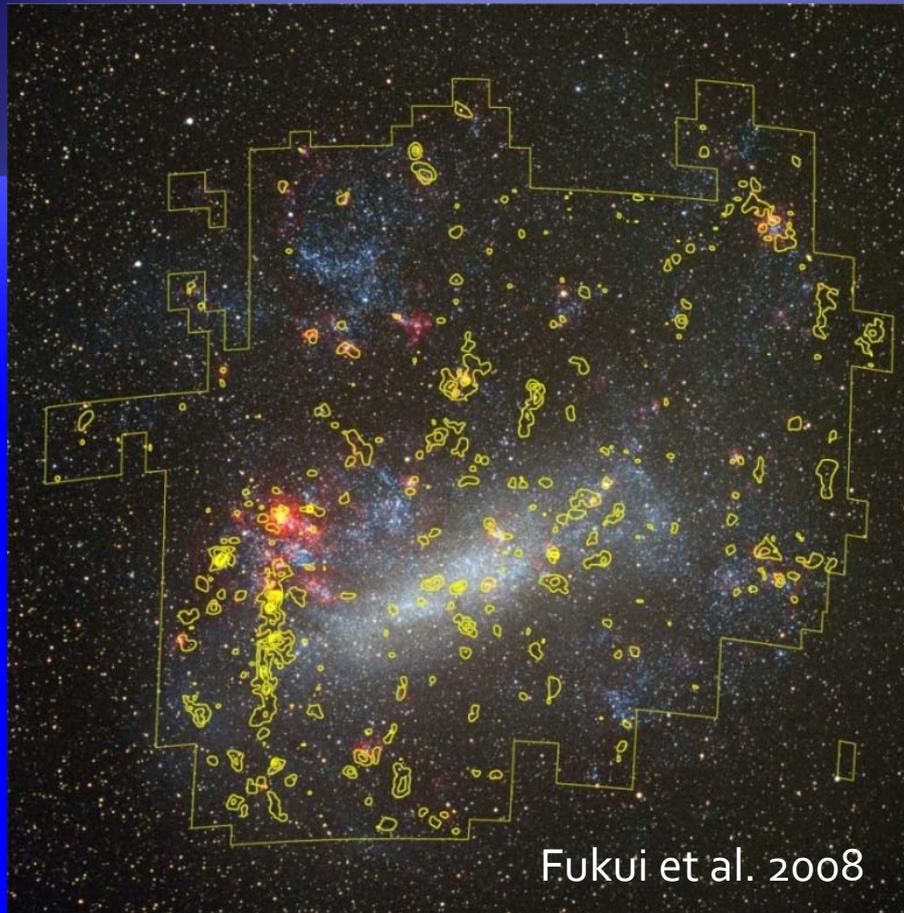
- ◆ GMCの進化
 - ◆ クランプの密度上昇、温度上昇

(Minamidani et al. 2008,
Minamidani et al. in prep.)

ミリ波・サブミリ波帯連続波観測

- ◆ マゼラン雲のような重元素量の小さな銀河における、分子ガスとダストの関係は？
- ◆ そこでの星形成との関係は？
- ◆ 巨大分子雲中の低温ダストからの連続波放射
 - ◆ ダスト質量の大半を担っている
 - ◆ 温度・質量を導く

大マゼラン雲

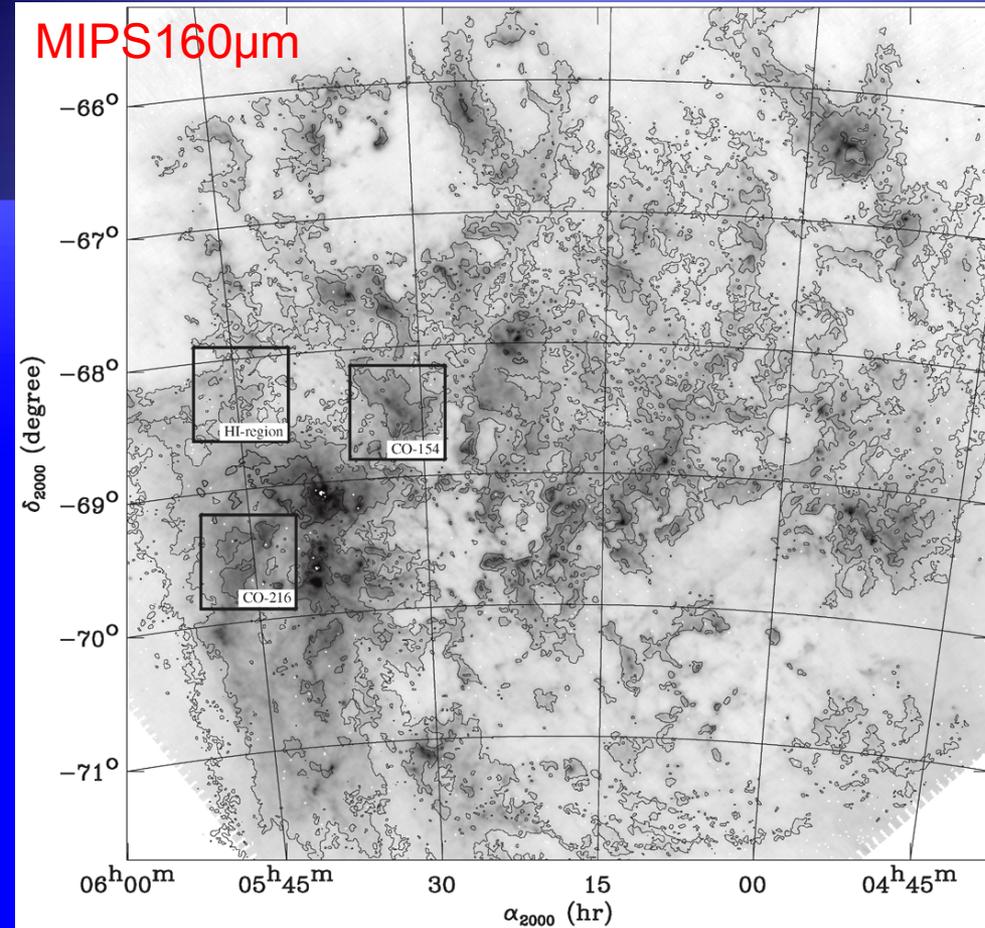


- ◆ 距離 ~ 50 kpc
- ◆ Face-on
- ◆ 重元素量
 $1/3 - 1/4 Z_{\text{solar}}$
- ◆ ガス/ダスト比
銀河系に比べて高い
- ◆ 紫外線放射場が強い

低温ダストの性質を調べる

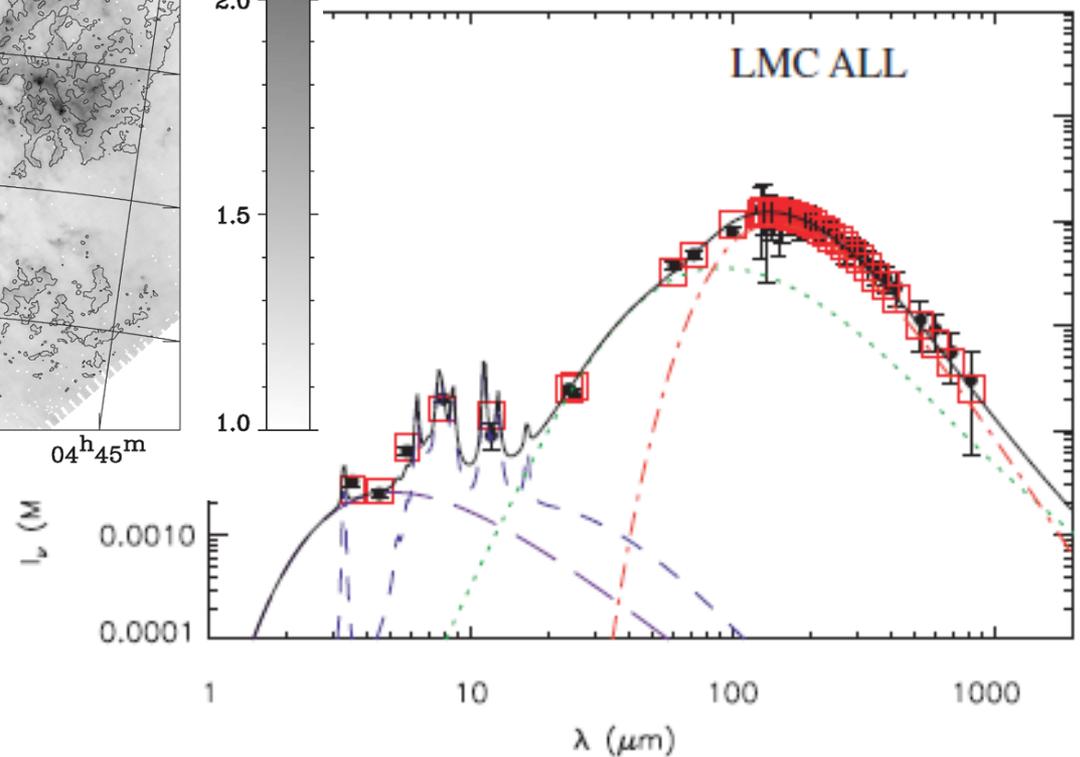
Spitzer衛星による観測

MIPS 160 μ m



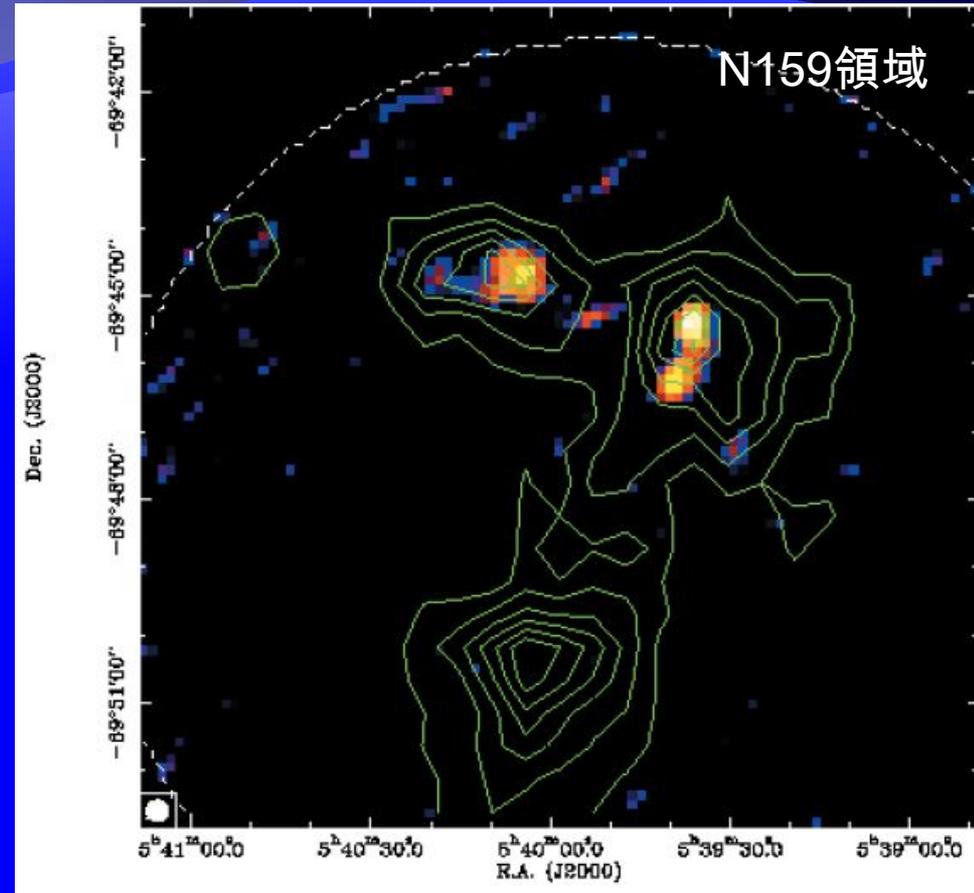
Bernard et al. 2008

分解能 40秒角 ~ 10pc @ LMC



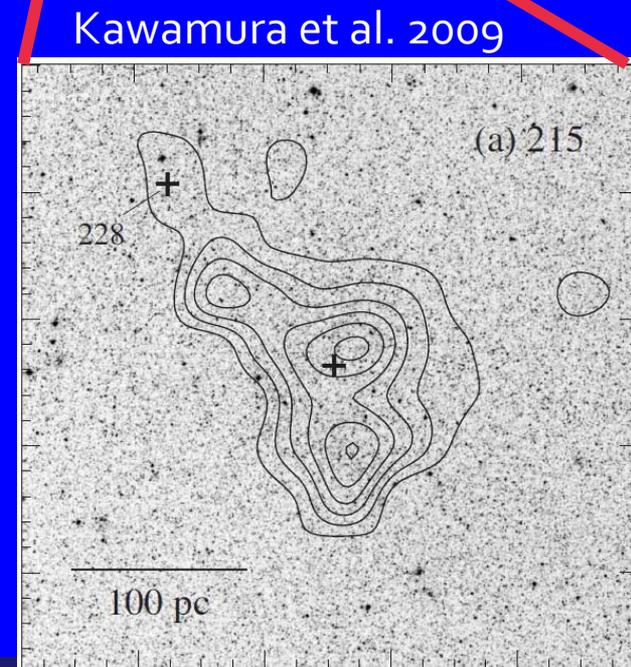
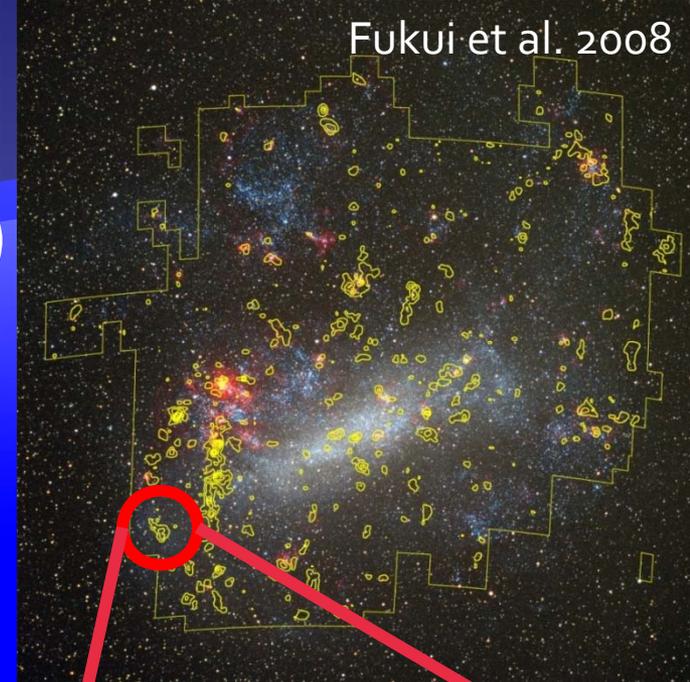
SIMBA / SESTによる観測

- ◆ SEST 15m 鏡
- ◆ SIMBA
 - ◆ 37素子ボロメータ
 - ◆ 1.2mm帯
- ◆ HII領域方向の観測
 - ◆ 30Dor, N159, etc.
- ◆ T_{dust} : 17 - 24K
- ◆ M_{dust} : $\sim 10^3 M_{\text{sun}}$
- ◆ ガス/ダスト比: 10 - 600
(Ferreira 2004)

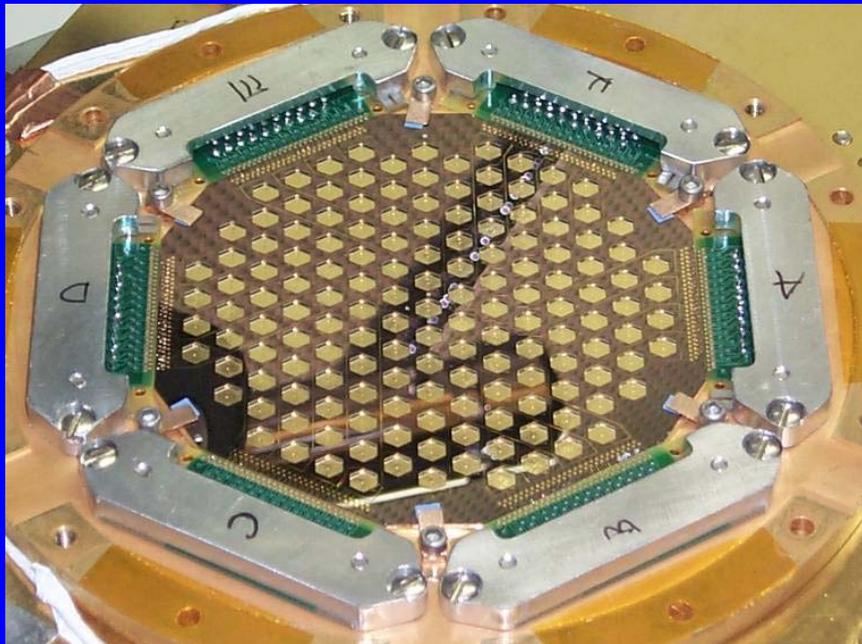


観測天体

- ◆ LMC N J0547-7041 (GMC225)
 - ◆ HII領域も、若い星団も付随しない
 - ◆ Type I GMC
(Kawamura et al. 2009)
 - ◆ $M \sim 1 \times 10^6$ 太陽質量
(Fukui et al. 2008)



観測諸元



- ◆ **ASTE望遠鏡**
 - ◆ 口径10m
- ◆ **AzTEC**
 - ◆ 半導体ボロメータカメラ
 - ◆ 144素子
 - ◆ 波長 1.1mm (270GHz)
 - ◆ 帯域幅 50GHz
 - ◆ NEP $\sim 5 \times 10^{-17} \text{ W} / \sqrt{\text{Hz}}$
- ◆ **ビームサイズ: 28秒角**
(7pc @ 50kpc)
- ◆ **2008/10/7, 12/25-26**
- ◆ **観測時間: 16時間**
- ◆ **リサーチスキャン**
- ◆ **$1\sigma \sim 1.4 \text{ mJy/beam}$**

観測結果

カラー: 1.1mm連続波フラックス
黄コントラスト: 5 σ レベル (~7mJy/beam)



カラー: Spitzer MIPS 160 μm

コントア: 1.1mm連続波

分子ガスとの比較

カラー: 1.1mm連続波

青コントラ:

$^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 積分強度
(SESTによる)

ここまでのまとめ

- ◆ 大質量星形成の兆候の見られない巨大分子雲、LMC N J0547-7041に対して、AzTEC-ASTEで、1.1mm連続波観測を行った。
- ◆ $1\sigma \sim 1.4 \text{ mJy/beam}$ という高感度を達成
- ◆ 空間分布は、160 μm や、CO輝線と良い一致
- ◆ SEDフィットから
 $T_{\text{dust}} = 14.3 \text{ K}$, $M_{\text{dust}} = 4.2 \times 10^3 M_{\text{sun}}$
HII領域のものより低温
- ◆ ガス/ダスト比 = 170

SMC NE領域

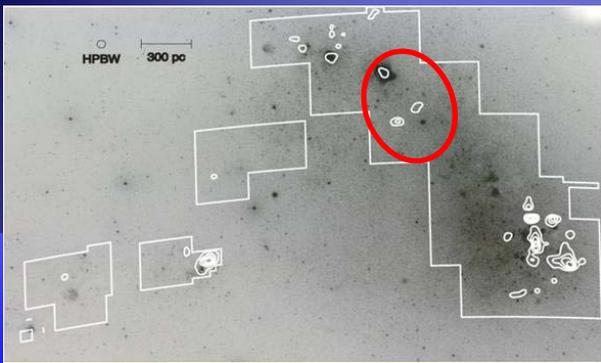


Image: SERC-J

Contour: $^{12}\text{CO}(J=1-0)$
(Mizuno et al. 2001)

「なんてん」の
 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ で検
出したものは、すべ
て1.1mmでも検出。

それ以外にも、
1.1mmソースを多
数検出

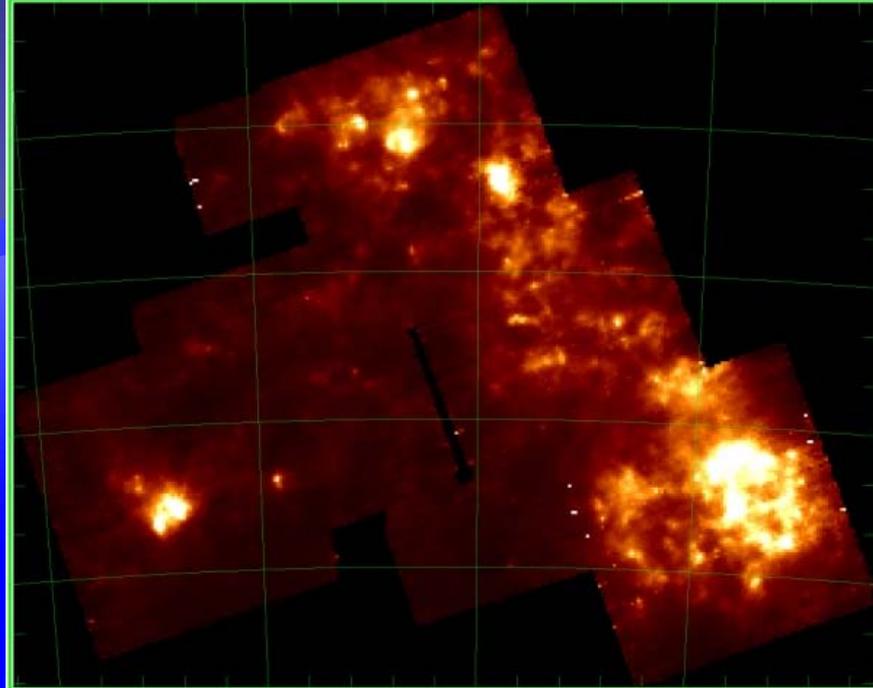
緑コントア： 5σ (~ 2mJy/beam)

SMC全面観測

28" (8pc)スケールの分解能
での初めての全面観測

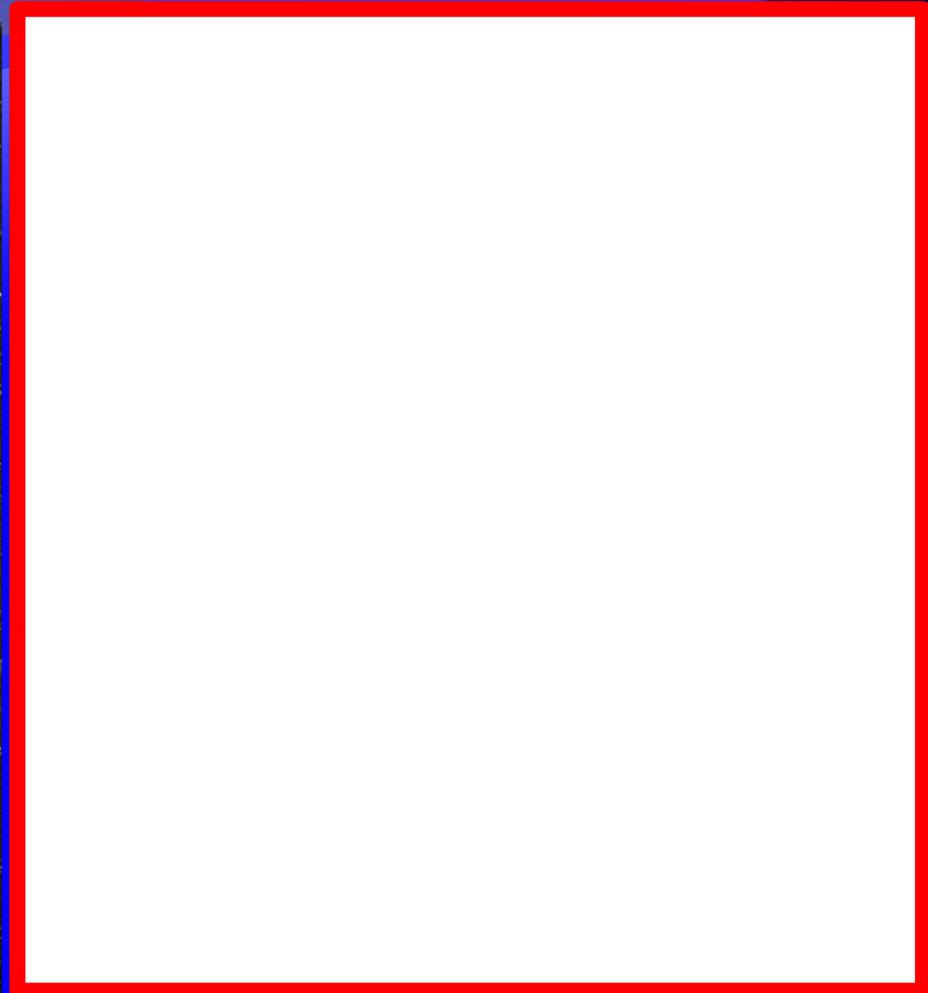
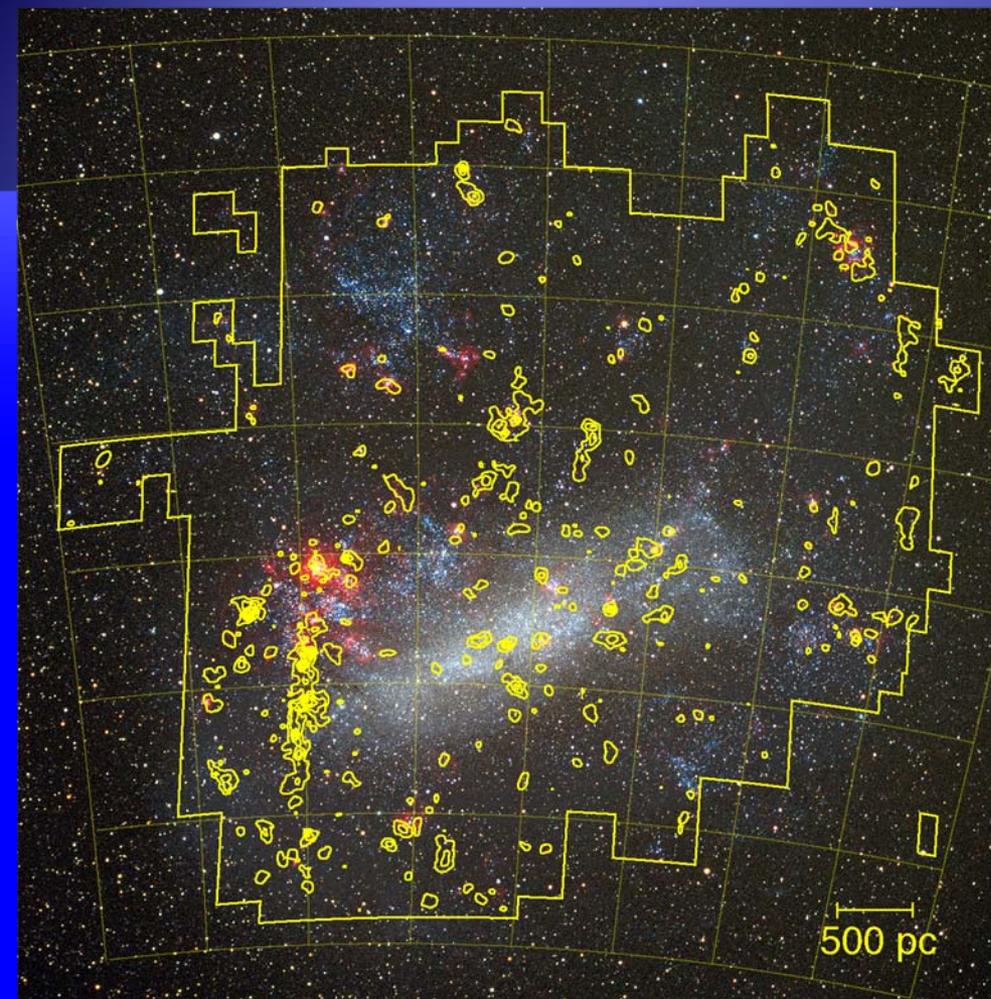
上: Spitzer 160 μm
下: AzTEC 1.1mm

・ $5\sigma \sim 25\text{mJy/beam}$



LMC 全面観測

28" (7pc)スケールの分解能
での初めての全面観測



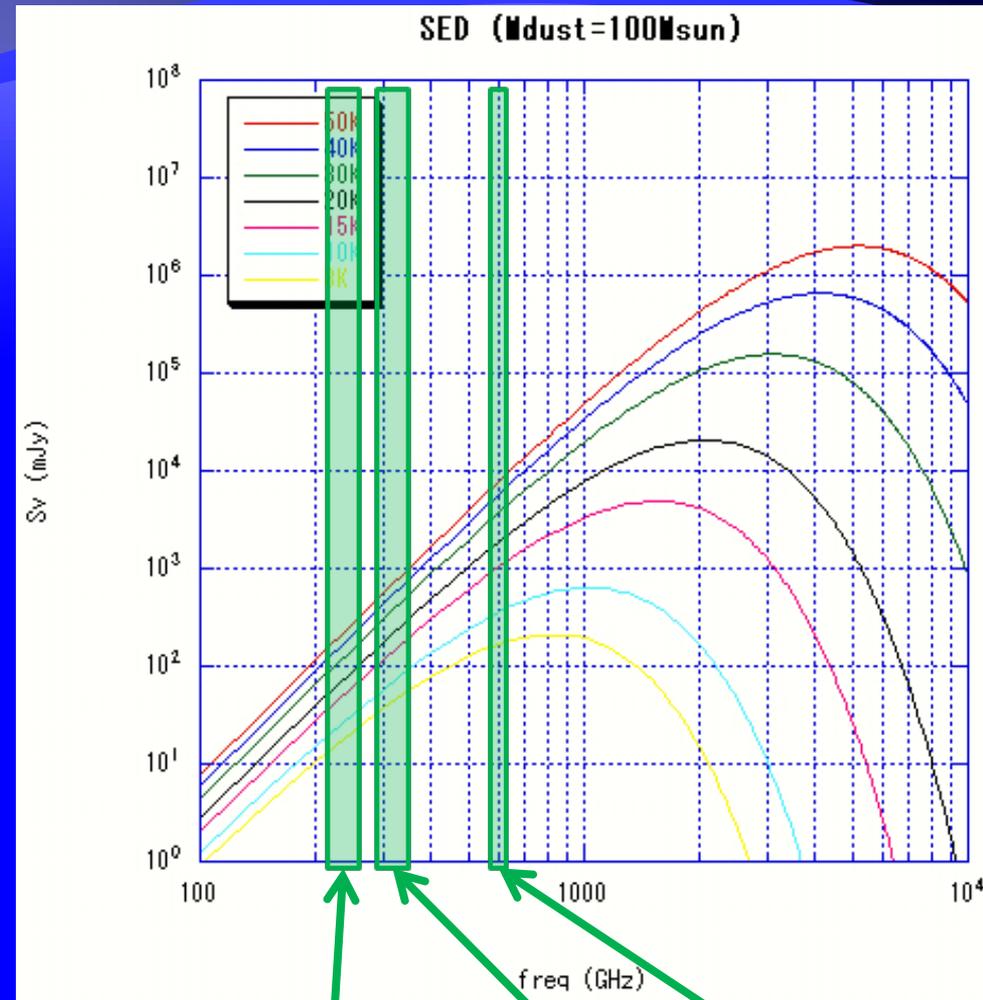
AzTEC 1.1mm

イメージ：光学写真

コントア： ^{12}CO (J=1-0) 積分強度
(Fukui et al. 2008)

ASTE搭載多色連続波カメラ開発

- ◆ やほい、ミリ波～サブミリ波帯の連続波カメラが欲しい！！
- ◆ 特に短波長(高周波)側
- ◆ ASTEに搭載する連続波カメラを開発中
(東大・国立天文台・北大)



大島泰 (NRO)、川村雅之 (東大/NRO)
南谷哲宏、竹腰達哉 (北大)
田村陽一 (NRO)
河野孝太郎 (東大)、江澤元、川辺良平 (NRO)

1.1mm帯

0.85mm帯

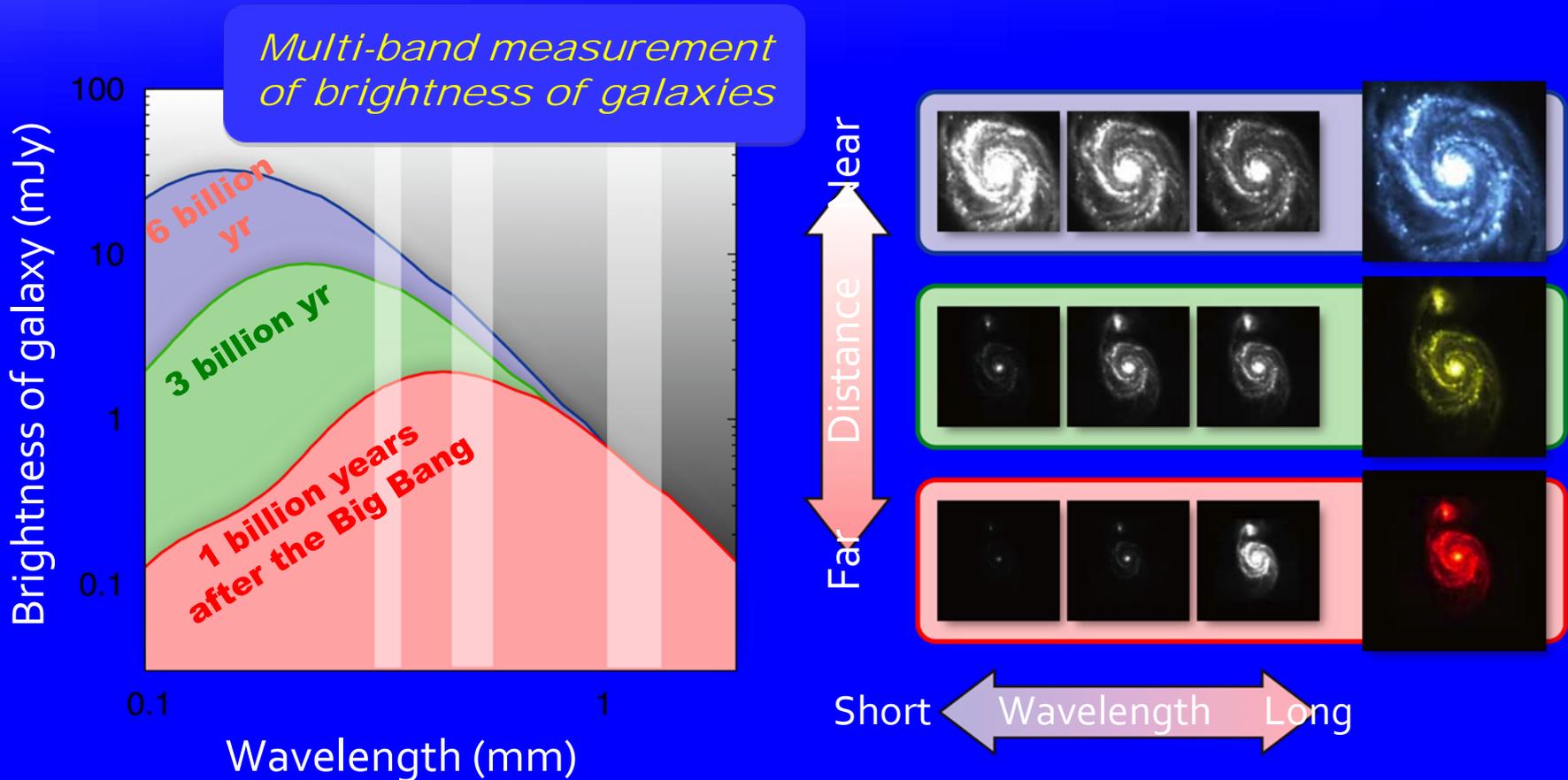
0.45mm帯

Distance measurement of SMGs

- ◆ Difference of color in sub-mm \rightarrow Difference in distance

- ◆ 'Redder' galaxies = more distant

\rightarrow Extensive MULTI COLOR SMG imaging observations!!!

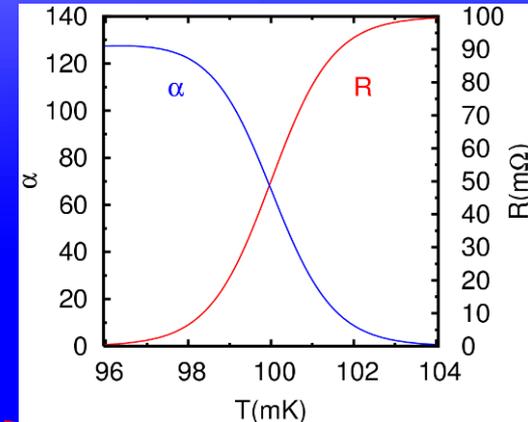


TES bolometer array

◆ TES bolometer

TES: Utilize rapid resistance change in superconducting - normal state transition

- ◆ High sensitivity and fast response
- ◆ High yield based on micromachining technique
- ◆ Multiplexable
- Large & sensitive array
- ◆ Low vibration sensitivity → use of mechanical cooler
- No more cryogenics! + remote operation capable!



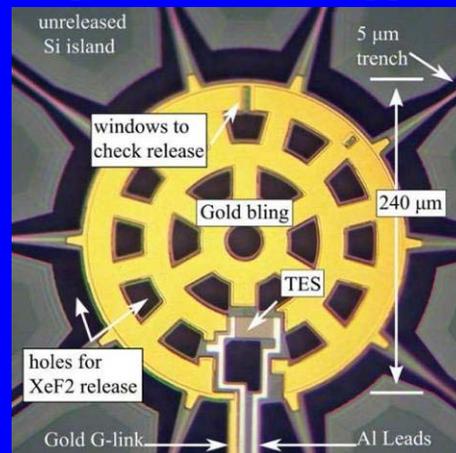
◆ Array design based on SPT spider web type absorber

◆ Coupling to optics

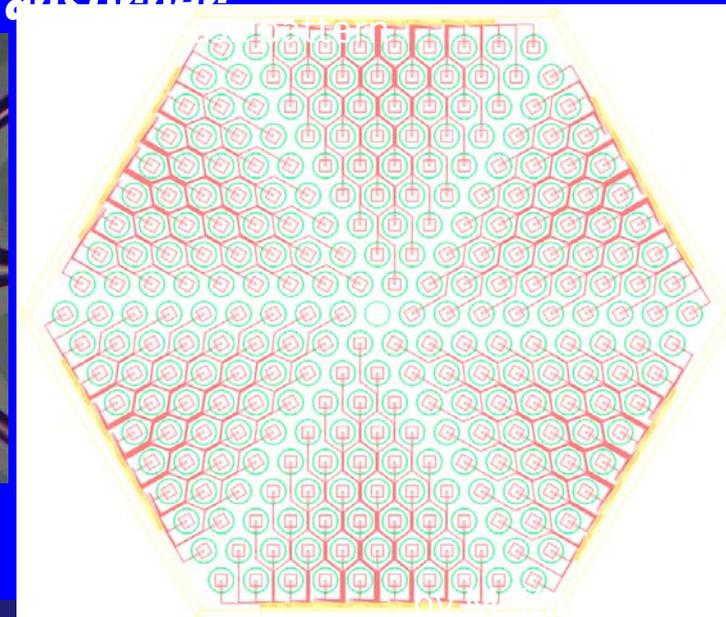
- ◆ conical horn array
- ◆ resonance cavity

◆ Bolometer NEP (expected)

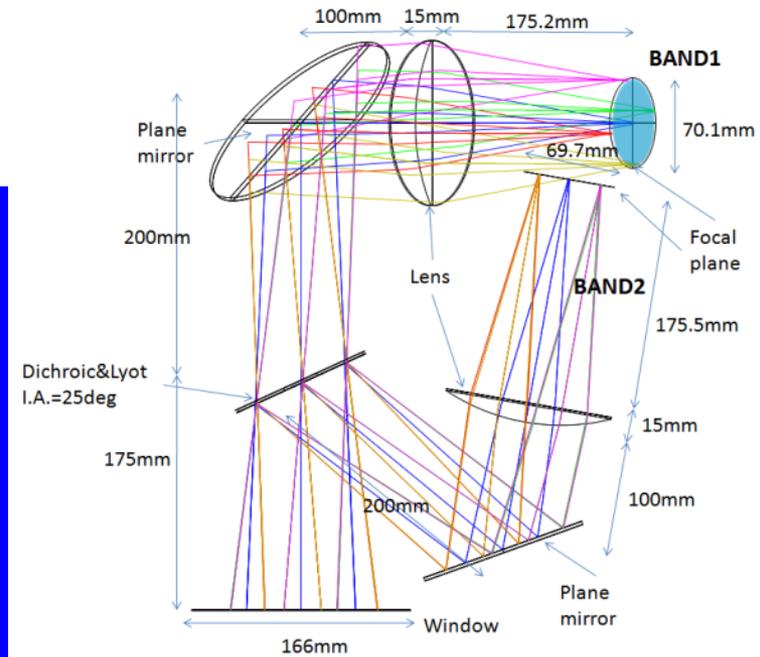
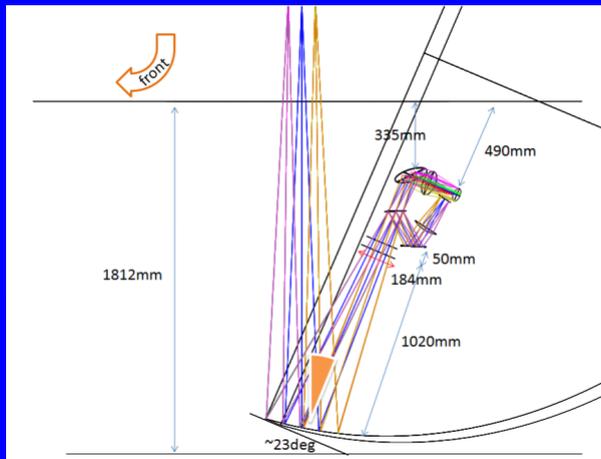
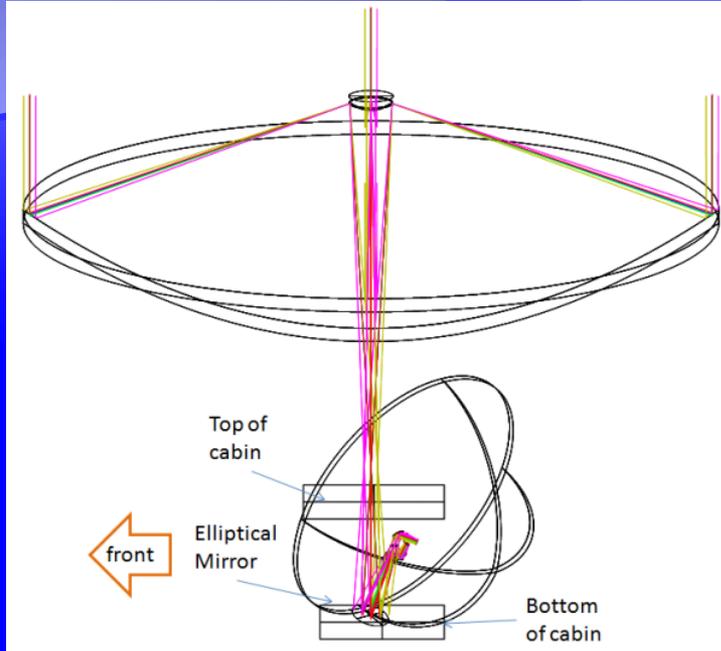
- ◆ $60 \text{ aW} / \sqrt{\text{Hz}} @ 270 \text{ GHz}$
- ◆ $70 \text{ aW} / \sqrt{\text{Hz}} @ 350 \text{ GHz}$
- ◆ $100 \text{ aW} / \sqrt{\text{Hz}} @ 650 \text{ GHz}$
- Background limited (BLIP)



Shirokoff+2009



ASTE望遠鏡搭載 連続波カメラの開発



Phase	I	II	III
搭載時期	2010年10月	2011年6月	2012年6月
バンド数	2	2	2
周波数帯	270/350GHz	270/350GHz	350/670GHz
波長帯	1100/850 μ m	1100/850 μ m	850/450 μ m
画素数	169/271	169/271	271/881
FWHM	28/22"	28/22"	22"/11"
視野	7.5'	7.5'	7.5'
NEFD	10/35mJy/ \sqrt{s}	10/35mJy/ \sqrt{s}	35/80mJy/ \sqrt{s}
Options			Multi color TES? (O'Brient+2009)

◆ **2010年10月 ASTE望遠鏡搭載**

まとめ

- ◆ 大質量星形成の兆候の見られない巨大分子雲、LMC N J0547-7041に対して、AzTEC-ASTEで、1.1mm連続波観測
 - ◆ $1\sigma \sim 1.4 \text{ mJy/beam}$ という高感度を達成
 - ◆ 空間分布は、160 μm や、CO輝線と良い一致
 - ◆ SEDフィットから
 - $T_{\text{dust}} = 14.3 \text{ K}$, $M_{\text{dust}} = 4.2 \times 10^3 M_{\text{sun}}$
 - HII領域のものより低温
 - ◆ ガス/ダスト比 = 170
- ◆ LMC全面, SMC全面, SMC NE領域も観測済み
- ◆ ASTE搭載多色連続波カメラを開発中
 - ◆ 2010年10月 ASTE望遠鏡搭載予定！！