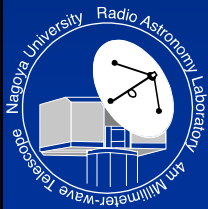


# New View of Molecular Gas Distribution of the Southern Sky CO Surveys with NANTEN

Toshikazu Onishi (Nagoya Univ.)  
and NANTEN group



## NANTEN Telescope

- A 4-m mm-submm telescope
- Molecular cloud survey in the Galaxy, LMC, and SMC
- Since 1996 (transferred from Nagoya Univ.) at Las Campanas Observatory
- Upgrade: NANTEN2 project



# NANTEN

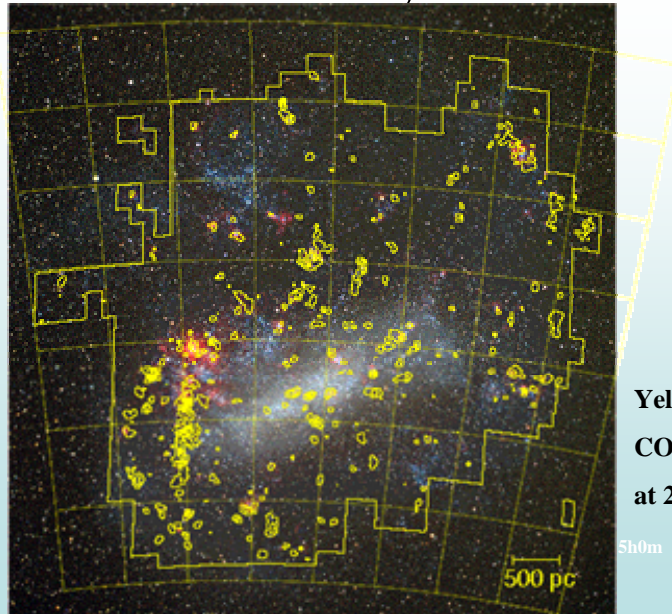


- NANTEN  
=南天(Southern Sky)
- Diameter: 4m  
CFRP + conductive paint
- 85-115GHz, mainly CO (J=1-0)
- Beam size 2.6 arcmin (@115GHz)
- SIS receiver + 2 AOS backend
- Velocity Res. 0.1 or 0.6 km/s
- Band Width 100 or 500 km/s
- Tsys ~ 140K @110GHz  
~ 170 – 270K @ 115GHz

# Targets

- Galactic Plane Survey in Southern Sky
- Magellanic Clouds (LMC and SMC)
- High-mass star forming region (GMCs)
  - Carina, Centaurus, Orion, Bright-Rimmed Clouds,
- SNRs and Supershells
  - Vela SNR, Gum Nebula, Carina Flare
- Galactic Center
- Low-mass star forming region (Dense cores)
  - Ophiuchus, Lupus, Chamaeleon, Pipe Nebula
- Galactic High-Latitude Molecular Clouds
  - Aquila, Infrared-Excess Cloud, High-Latitude Survey

## GMCs in the LMC by NANTEN



Yellow:  
CO J=1-0  
at 2.6mm

5h0m

500 pc

Contours from 1.2 Kkm/s Interval 1.2 Kkm/s

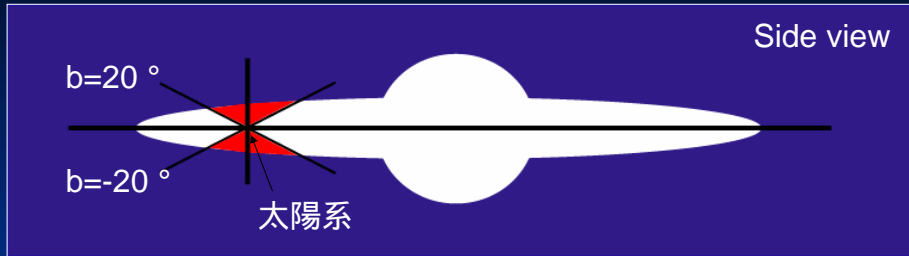
Fukui et al. (2001)

## 分子雲の銀緯方向分布

- 高銀緯分子雲
  - Yamamoto et al. (2003, 2006)
  - 近傍(~100pc)、低密度
- 分子雲スーパーシェル
  - Matsunaga et al. (2001)
- 銀河系Warp領域
  - Nakagawa et al. (2005)

# 高銀緯に存在する分子雲(高銀緯分子雲)

高銀緯領域 : 典型的に  $|b| \sim 20^\circ$  の領域

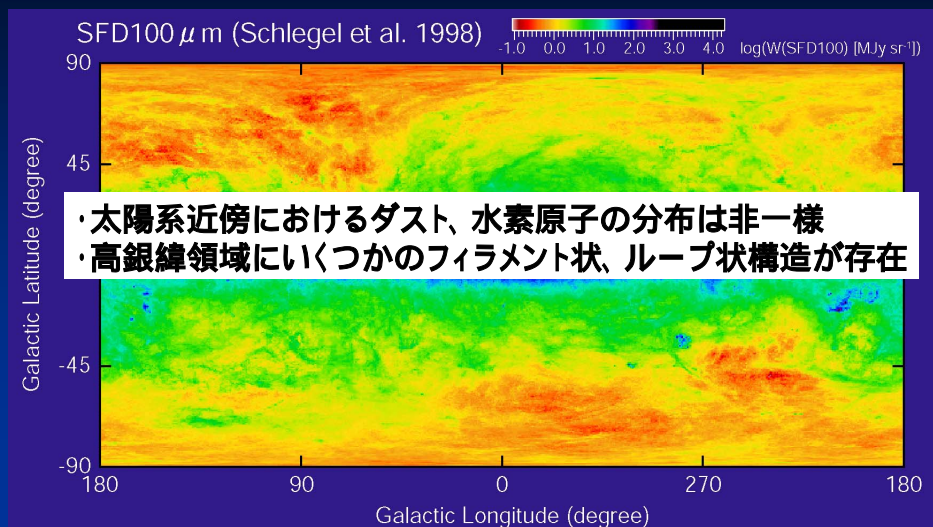


- ・太陽系に非常に近い。距離  $\sim 100$  pc
- ・サイズ、密度が小さいものが多い
- ・視線方向上で他の天体と重なる可能性が低い



分子雲・形成の研究に非常に適している

# 他波長で見る高銀緯領域

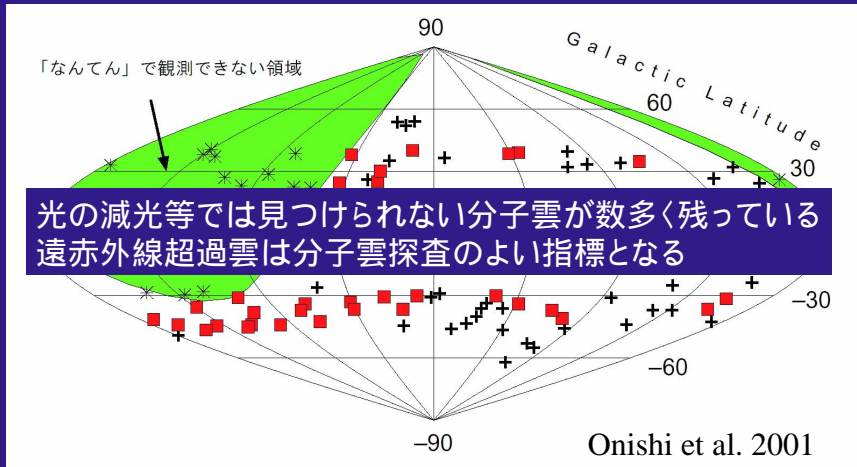


# HIに対する遠赤外線超過雲の観測結果

「なんてん」望遠鏡から観測できる68天体  
について $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線で観測

・COの検出率=32/68 (47%)

- COの検出された赤外超過雲
- + COの検出されなかった赤外超過雲
- \* 観測できなかった赤外超過雲



## CO輝線が検出されなかった赤外線超過雲

赤外線超過の定義 (超過量) =  $F - S \times N(\text{HI}) - O$

赤外線超過になる原因

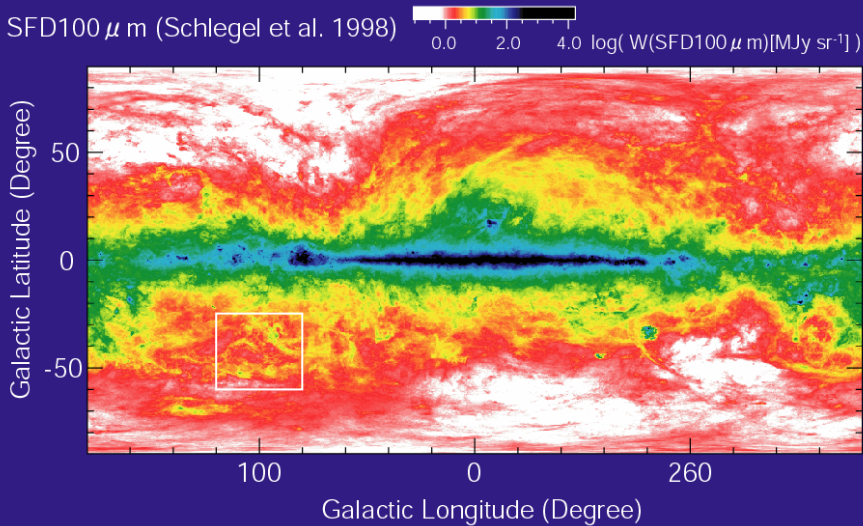
- ・ 水素の大部分が水素分子にかわっている
- ・ ~~Dustの温度が高い~~
- ・ ~~Gas to Dust ratioが異なっている~~

- ・ 赤外線超過雲のDustの温度はその周囲のDustの温度より小さい。
- ・ Gas to Dust ratioが一様に分布する雲の中で異なっているとは考えにくい  
(Blitz et al. 1990)

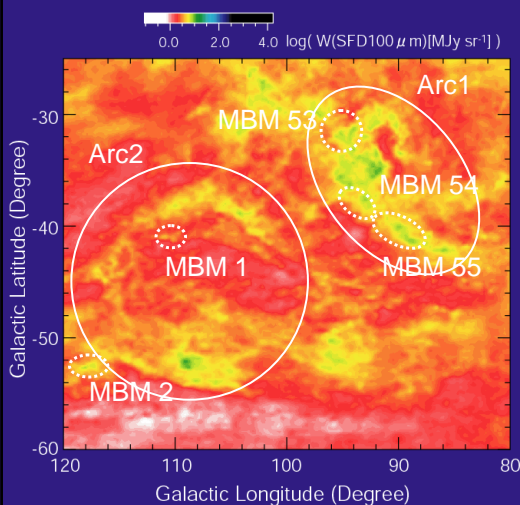
赤外線超過は水素分子の寄与によるものであり、  
これらは水素分子雲。

➡ CO形成前の分子雲である可能性がある。

# 高銀緯大規模構造に対するCO輝線観測



# 高銀緯大規模構造に対するCO輝線観測



2つのフィラメント状または  
ループ状構造が存在

Arc1: MBM 53, 54, 55を含む高銀緯  
分子雲複合体の観測

→  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$  ( $J=1-0$ ) 輝線で観測

- 1)  $^{12}\text{CO}$  ( $J=1-0$ ) の観測  
Magnani et al. (1985)  
MBM 53, 54, 55 が存在
- 2) HI の観測  
Gir et al. (1994)  
HI フィラメントの膨張を示唆
- 3) 複合体までの距離  
Welty et al. (1998) 150pc

Arc2: ペガサス座領域の大規模  
ループ構造に対する観測

→  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$  ( $J=1-0$ ) 輝線で観測

- 1)  $^{12}\text{CO}$  ( $J=1-0$ ) の観測  
Magnani et al. (1985)  
MBM 1, 2 が存在

# 観測結果： $^{12}\text{CO}(J=1-0)$

検出限界： $N(\text{H}_2) \sim 7.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-2}$

検出限界： $N(\text{H}_2)=1.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$

- ・ 110個の分子雲を同定
- ・ 総質量：約1200 M

HLCG92-35

質量：330 M

サイズ：2.6 pc

分子雲の物理量の平均

ピーク温度：3.0 K  
 線幅：3.4  $\text{km s}^{-1}$   
 半径：0.3 pc  
 柱密度： $5.6 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$   
 質量：10.4 M

78個の分子雲を同定  
 総質量：~64M

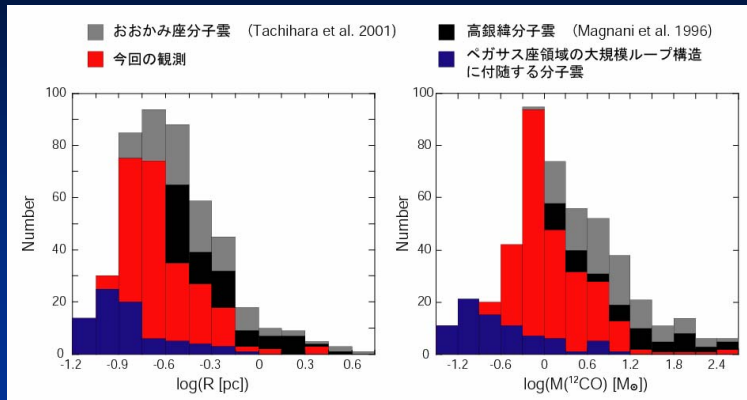
分子雲の物理量の平均

ピーク温度：1.4 K  
 線幅：1.1  $\text{km s}^{-1}$   
 半径：0.2 pc  
 柱密度： $3.6 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$   
 質量：0.8 M

Galactic Longitude (Degree)

## 全領域の分子雲の物理量

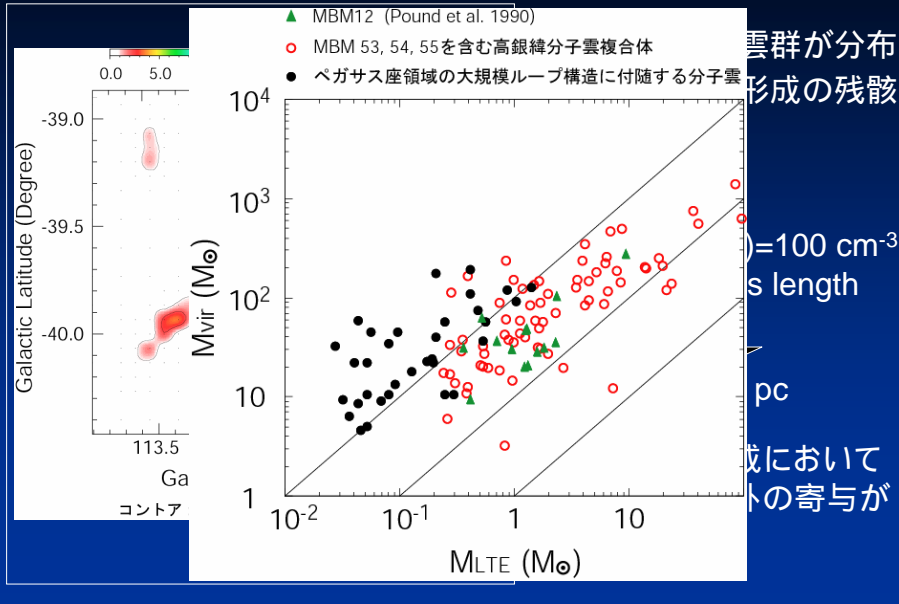
3つの観測で同定された $^{12}\text{CO}$ 分子雲の物理量のヒストグラム



ペガサス座領域の観測においてサイズ、質量の小さい分子雲を検出



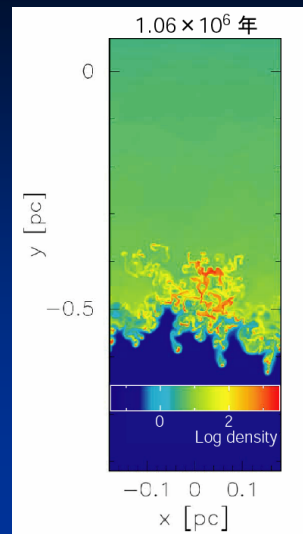
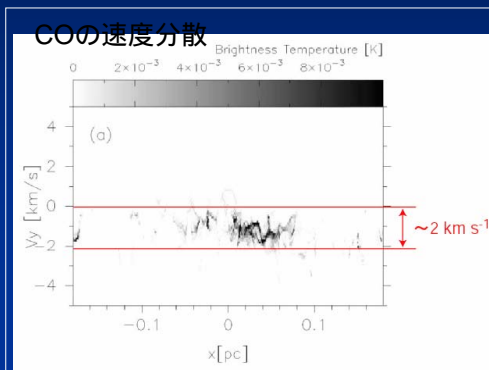
# 小分子雲の起源



# 小分子雲の形成

・Koyama & Inutsuka (2002)

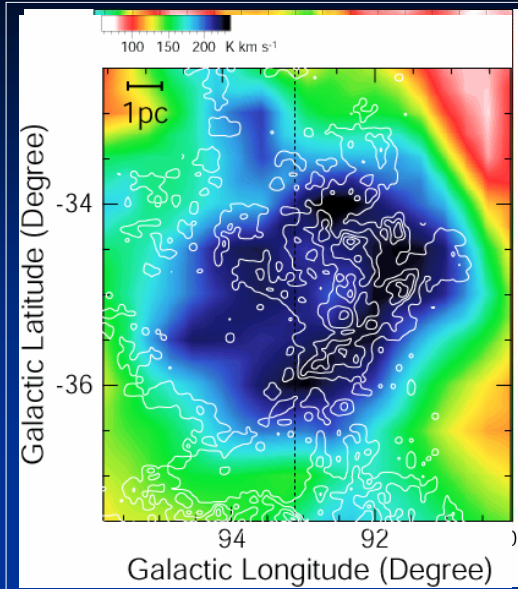
Jeans Length 以下の大きさの分子雲が shocked layer内で熱的不安定により形成  
 ~ 10<sup>6</sup>年程度で0.2 × 0.1 pc 程度の密度の高い領域( $n > 100 \text{ cm}^{-3}$ )を形成





# <sup>12</sup>COとHI

カラー : HI (-19.7 < V<sub>LSR</sub> < 1.0 km s<sup>-1</sup>)  
 コントア : <sup>12</sup>CO



CO / HI 質量比  
 西側 : ~ 0.97  
 東側 : ~ 0.10

HIの積分強度比  
 西側/東側 : ~ 1.1



HI cloud内の進化は  
 一様ではない

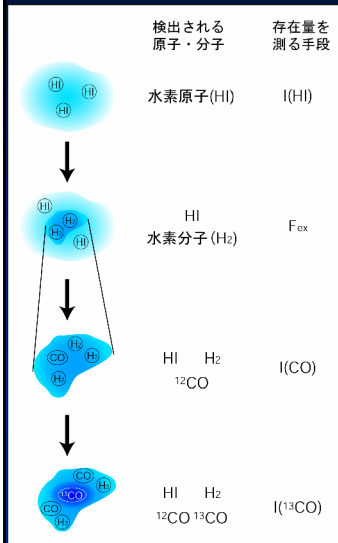
・Gir et al. (1994)はHI  
 フィラメントの膨張を示唆



HLCG92-35は過去の爆発  
 的現象の影響によって形成  
 された

## まとめ

今回検出した分子雲の進化段階



HIに対する遠赤外線  
 超過雲の観測

CO輝線を検出できな  
 かった遠赤外線超過雲

CO輝線を検出した  
 遠赤外線超過雲

大規模構造の観測

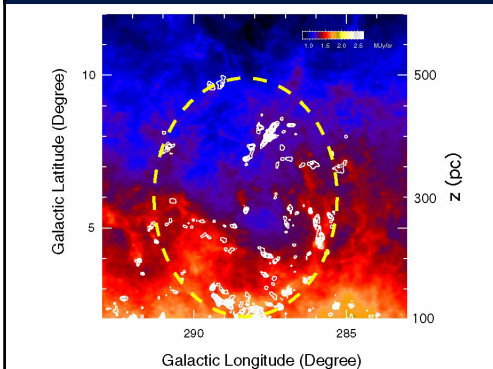
HLC G92-35  
 CO形成段階の分子雲  
 の検出  
 ペガサス座の小分子雲  
 サイズが0.1pc以下の  
 分子雲を検出

ペガサス座の<sup>13</sup>CO輝線を  
 検出した分子雲  
<sup>13</sup>COが見え始めた分子雲  
 の検出

## Discovery of Carina flare

Fukui et al. 1999

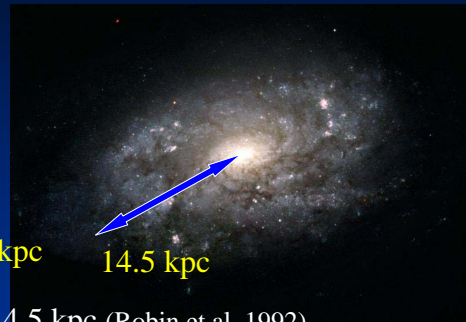
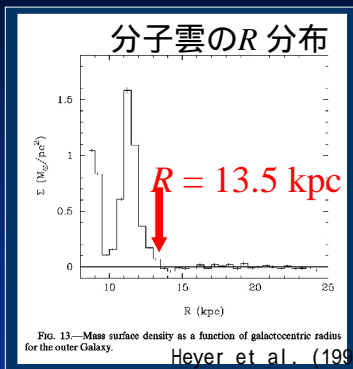
color : IRAS 100  $\mu\text{m}$   
contour :  $^{12}\text{CO}$



- $M \sim M_{\text{sun}}$
- 500pc distant from disk
- Induced high mass star formation
- Not identified by HI, Columbia survey

## 天の川銀河

- 円盤銀河 (ディスクの厚み ~ 数百pc)



2) 分子雲の分布にcut-off :  $R = 13.5 \text{ kpc}$  (Hever et al. 1998)

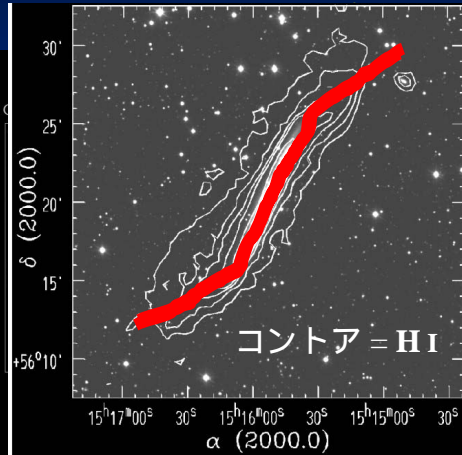
$R = 14.5 \text{ kpc}$ を最外縁部と定義

# 最外縁部（系外銀河）の特徴

<円盤最外縁部の特徴>

円盤銀河 **ウォープ (Warp)** している

円盤をエッジ-オンで見  
時



HI (可視光) による  
系外銀河の観測

Warpは円盤銀河に  
一般的に見られる現象

*Molecular Clouds in the Galactic Warp*

## 最外縁部分子雲の観測

IRAS点源方向観測  
(Brand)

最外縁部分子雲/星形成を発見  
問題 - 全体的な質量/分布、物理的性質

低感度の無バイアス  
(Heyer)

16%にIRAS点源 6倍以上の分子雲  
問題 - 分子雲中の高温部にバイアス

高感度の無バイアス  
(中川)

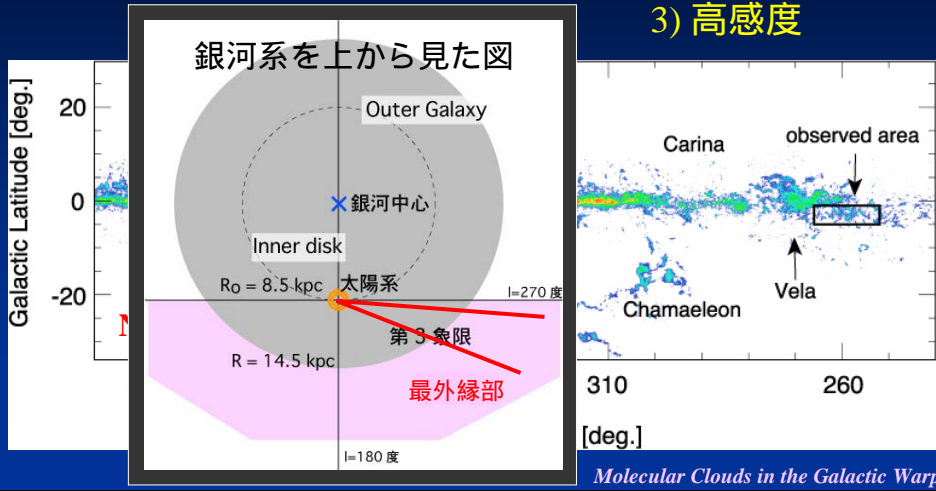
分子雲の分布、物理量を  
正確に求める

*Molecular Clouds in the Galactic Warp*

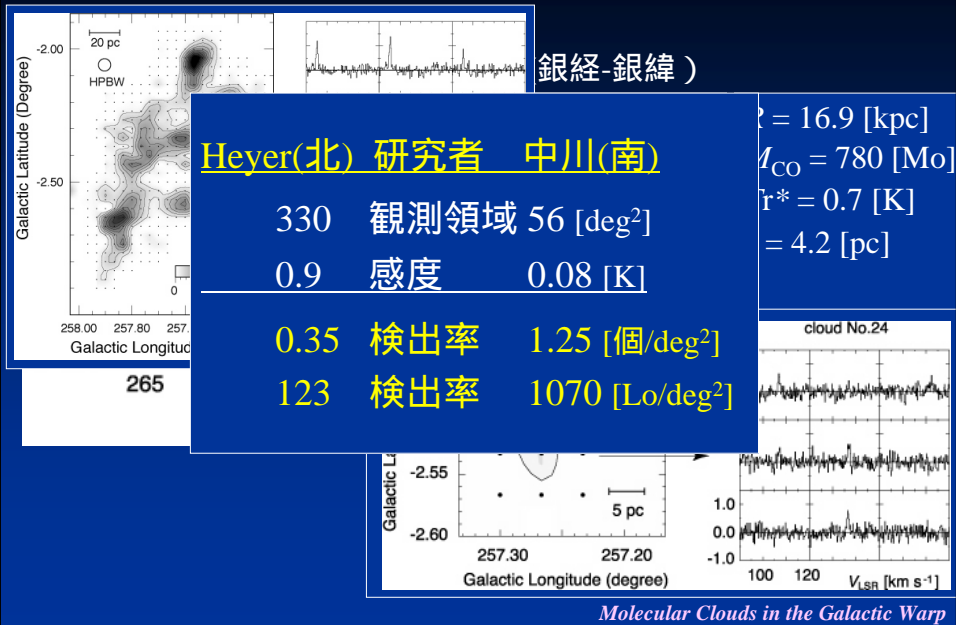
# 本研究の観測

$^{12}\text{CO}(J=1-0)$  輝線 with NANTEN望遠鏡  
 $252^\circ < l < 266^\circ$ 、 $-5^\circ < b < -1^\circ$

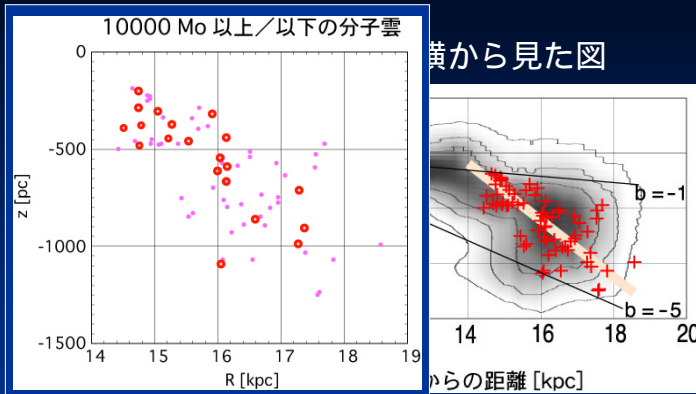
- 1) 無バイアス
- 2) 広域
- 3) 高感度



# 結果(1-1) : $l - b$ 分布



# 結果(1-2) : 分布



- 1) **Warped disk** :  $R \sim 13-14$  kpcから始まる、シフト  $z > 1$  kpc
- 2) **フレア** :  $d_z$ の増加  $R$ 大で重力場[弱]

$R = 17$  kpcの「円盤の厚み」は $R = 15$  kpcの約2倍

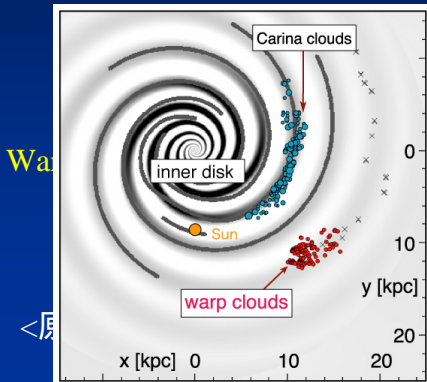
*Molecular Clouds in the Galactic Warp*

# 考察 1 : Xファクター

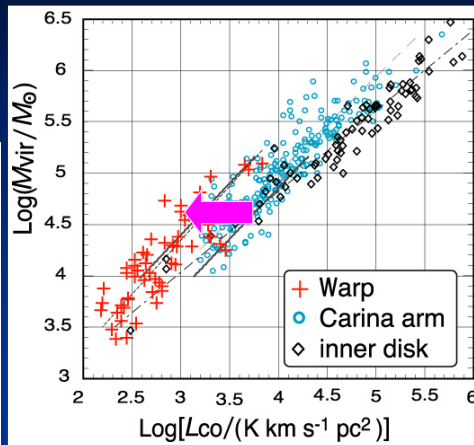
同質量の分子雲の  $L_{CO}$  を比較

Inner disk > カリーナ > Warp

$R = 4$  kpc < 10 kpc < 16 kpc



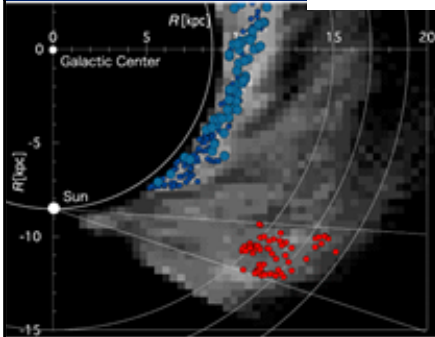
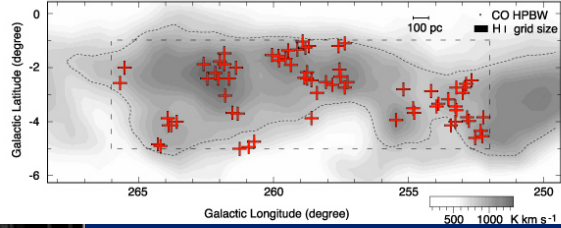
質量 -  $L_{CO}$  図



*Molecular Clouds in the Galactic Warp*

# 考察2 : HIとの比較

銀経 - 銀緯



銀河系を上から見た図

高感度観測により、初めてHIとの直接比較が可能になった

65/70(=93%) Warp分子雲は  
HI コントア > 800 K km/s

分子雲形成の研究には  
高空間分解能 HIデータ必要

*Molecular Clouds in the Galactic Warp*

## 今後の展開



新鏡面によるサブミリ波帯の観測

アタカマに新なんてん

492GHz CI  
炭素をカギとして CI , CII , CO

銀河系全体の構造

巨大分子雲 + シェル

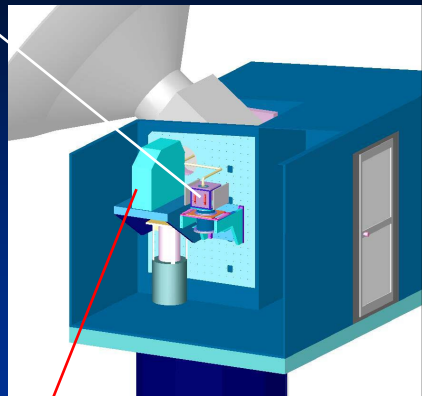
=> マゼラン他の系外銀河との比較



## 受信機

### Nagoya RX

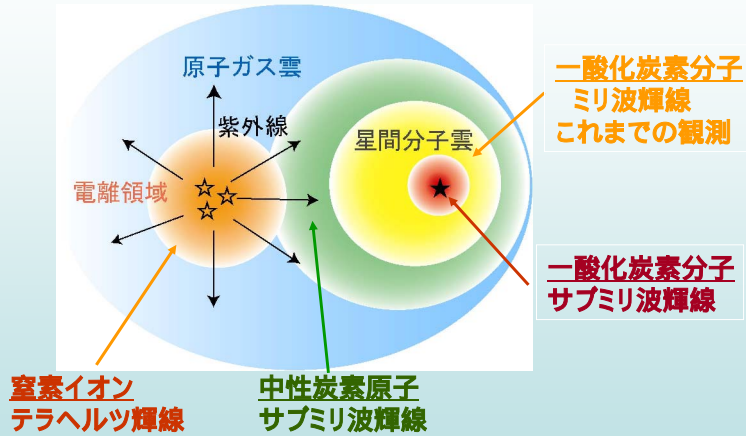
SiO maser	86GHz	3.5 (HPBW)
CO(J=1-0)	115 GHz	2.6 (HPBW)
CO(J=2-1)	230 GHz	1.3 (HPBW)
CO(J=3-2)	345 GHz	0.9 (HPBW)
CO(J=7-6)	806 GHz	22" (HPBW)
CI ( $^3P_1 - ^3P_0$ )	492 GHz	37" (HPBW)
CI ( $^3P_2 - ^3P_1$ )	809 GHz	22" (HPBW)



KOSMA SMART (8 beam x 2)



# サブミリ波ではじめて見える星間雲の全貌



すべての星間相の総合的理解