

南極天文学研究部門 活動報告

久野成夫

南極天文学研究部門

1. 高精度望遠鏡を南極高原地帯に設置し、暗黒銀河等を探索し、南極天文学を推進
2. 鹿島34m鏡、野辺山45m鏡、アルマ等の望遠鏡を用いた、銀河、銀河系、宇宙構造等の観測的研究
3. 宇宙・銀河等の構造と進化の理論的研究

南極内陸部は地上唯一の観測場所

①南極内

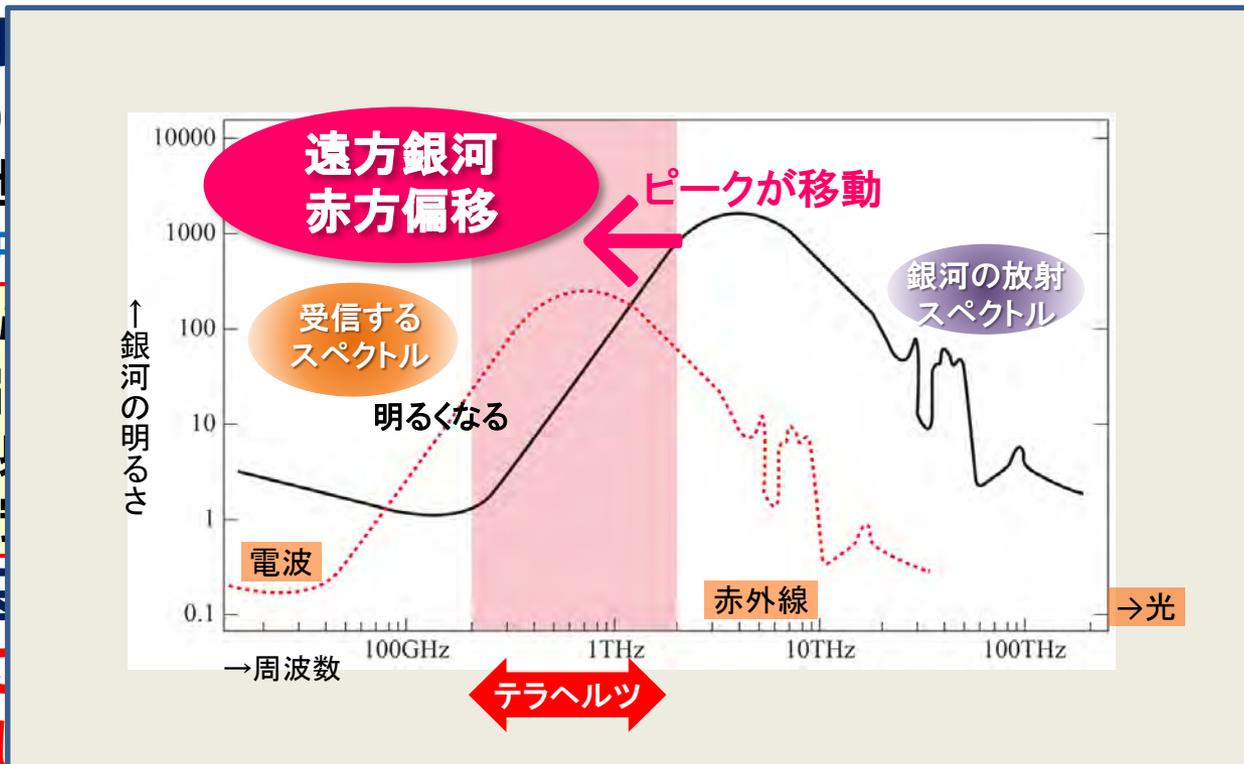
- ◆高地(3000m)
- ◆極寒の地

→大気中

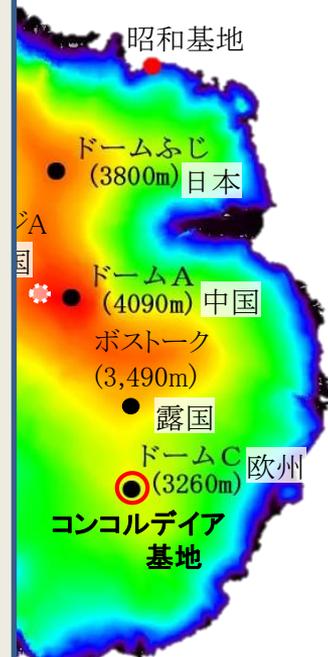
- ・宇宙から唯一届く
- ・大気放射
- ・大気が

②越冬基

→ここに設置し

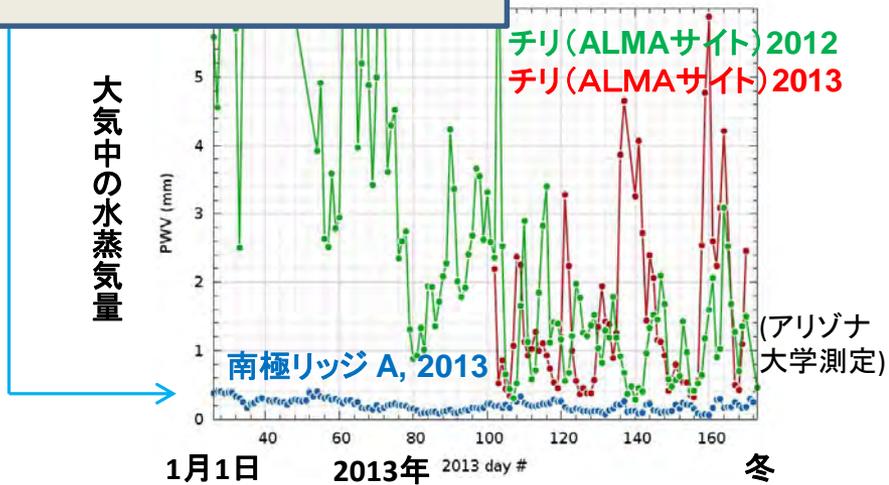
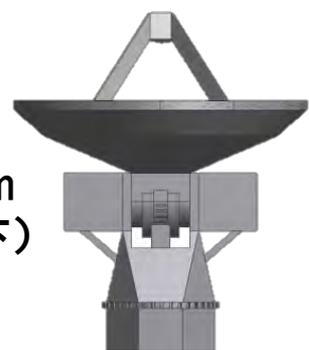


観測場所



10mテラヘルツ望遠鏡

- ・口径10m 超広視野
- ・世界最大の電波カメラ(2万画素)
- ・高精度
アンテナ主鏡面の凹凸<0.02mm
(髪の毛の太さの約4分の1以下)
- ・耐寒対策(-80℃)



1. 南極テラヘルツ望遠鏡計画

- 10mテラヘルツ望遠鏡に向けた技術開発
 - 超伝導電波カメラの開発 ⇒ 新田さん講演
 - 45m電波望遠鏡用109素子MKIDカメラの開発 (Mandal D2、村山、翟 D1)
 - ヘテロダイン受信機の開発
 - 30cm望遠鏡用500GHz受信機の広帯域化 (佐藤 M2)
- 鏡面測定法の開発
 - リッチー・クレチアン光学系での近傍界Phase Retrieval Holography (周 D2)
 - 点回折干渉計による波面測定 (奥村 D2)

可搬式南極30cmサブミリ波望遠鏡

可搬式南極30cmサブミリ波望遠鏡

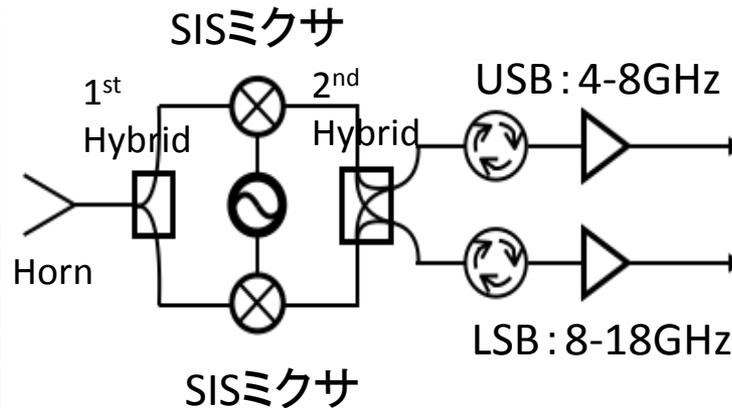


By 佐藤 (M2) (瀬田: 関学)

* CO, CI同時観測の意義

南極用のプロトタイプとして開発が進められてきた30cm可搬型サブミリ波望遠鏡は、星形成の母体となる分子雲中のCO($J=4-3$)(461GHz)ならびにCI($^3P_1-^3P_0$)(492GHz)の銀河面サーベイを目的としている。これらの2輝線は、大気透過率の時間変動や周波数依存性が大きいサブミリ波に存在している。CO、CIを同時観測することによって、観測効率の向上、安定したデータ取得のみならず、銀河面サーベイ時におけるアンテナのポインティング精度が高まり、より正確な輝線強度比を求めることができる。

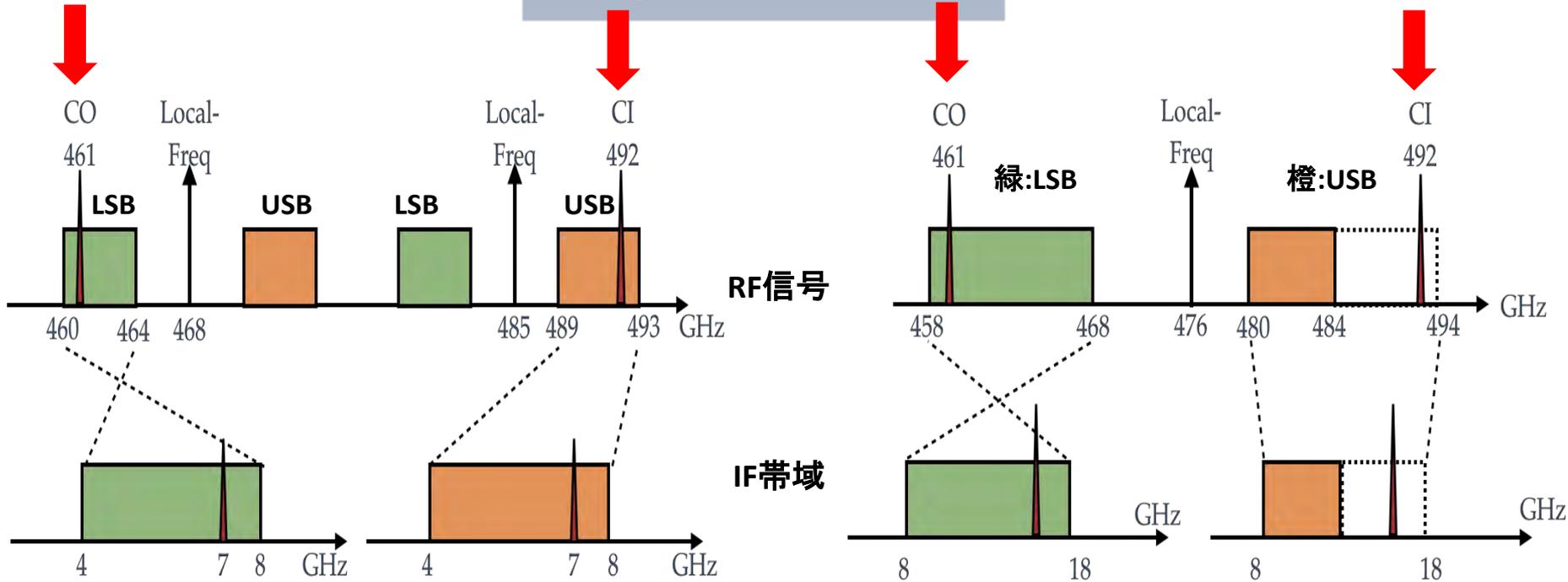
冷凍受信機とブロックダイアグラム



ダブルサイドバンド(DBS)での受信はシングルサイドバンド(SSB)に比べてイメージバンドからの大気雑音が余分に含まれる。大気透過率の時間変動が大きいサブミリ波において、この大気雑音の増加及び時間変動は正確な輝線強度を求める際の妨げとなる。

したがって、本受信機は目的の輝線を同時、かつ、それぞれSSBでの受信が可能な2SB受信方式を採用している。

広帯域IFの重要性



以前のIFの増幅帯域

現在のIFの増幅帯域

ヘテロダイン受信機では、中間周波数帯域(IF)の広帯域化は重要な開発要素である。
以前の2SB受信機は、IFの増幅帯域がUSB,LSB共に4-8GHzであったため、観測する輝線に合わせてLocal周波数を変化させて測定を行っており、CO、CIの同時観測は不可能であった。近年、帯域がより高周波かつ広帯域で使用可能なIFハイブリット、サーキュレーター、低雑音増幅器(LNA)が入手可能になったことで、周波数を固定したままで2つの輝線をそれぞれUSB,LSBの増幅帯域に入れることが可能となった。

1. 南極テラヘルツ望遠鏡計画

- 10mテラヘルツ望遠鏡に向けた技術開発
 - 超伝導電波カメラの開発 ⇒ 新田さん講演
 - 45m電波望遠鏡用109素子MKIDカメラの開発 (Mandal D2、村山、翟 D1)
 - ヘテロダイン受信機の開発
 - 30cm望遠鏡用500GHz受信機の広帯域化 (佐藤 M2)
- 鏡面測定法の開発
 - リッチー・クレチアン光学系での近傍界Phase Retrieval Holography (周 D2)
 - 点回折干渉計による波面測定 (奥村 D2)

By 周 (D2) (西堀 : JAXA)

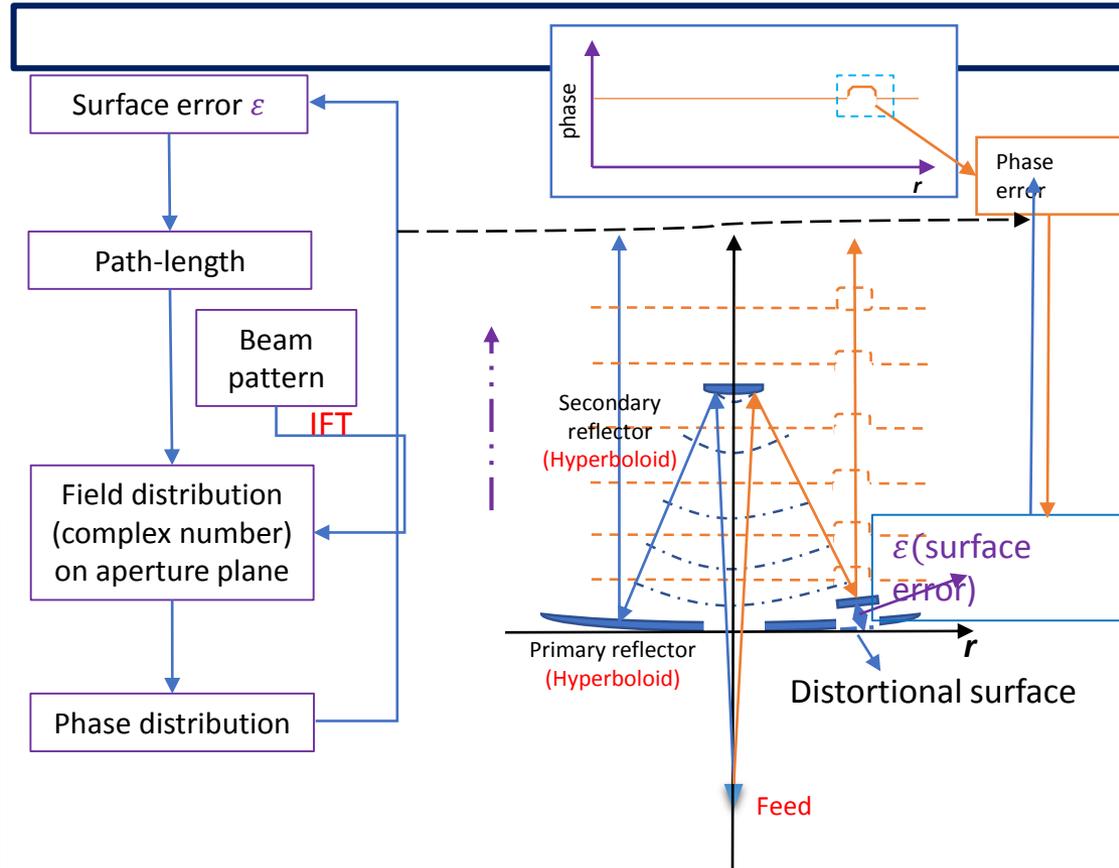
10-m RC telescope & Near-field PRH holography

*10-m THz Antarctic radio telescope:

- Ritchey–Chrétien(RC) optical system
- Primary and secondary mirror :
hyperboloid
- Designed as wide field of view: $\sim 1^\circ$
- Antenna gain decided by primary surface accuracy : $< 20\mu\text{m}$ (RMS value)
- Surface measurement : **near-field phase retrieval holography**

*Radio holography(far-field case):

- F**ourier **T**ransformation between aperture field and beam pattern
- **B**eam pattern \rightarrow Aperture field, by FT & **I**FT
- Aperture field phase term \rightarrow surface error
- Surface accuracy
- Converting primary mirror's surface



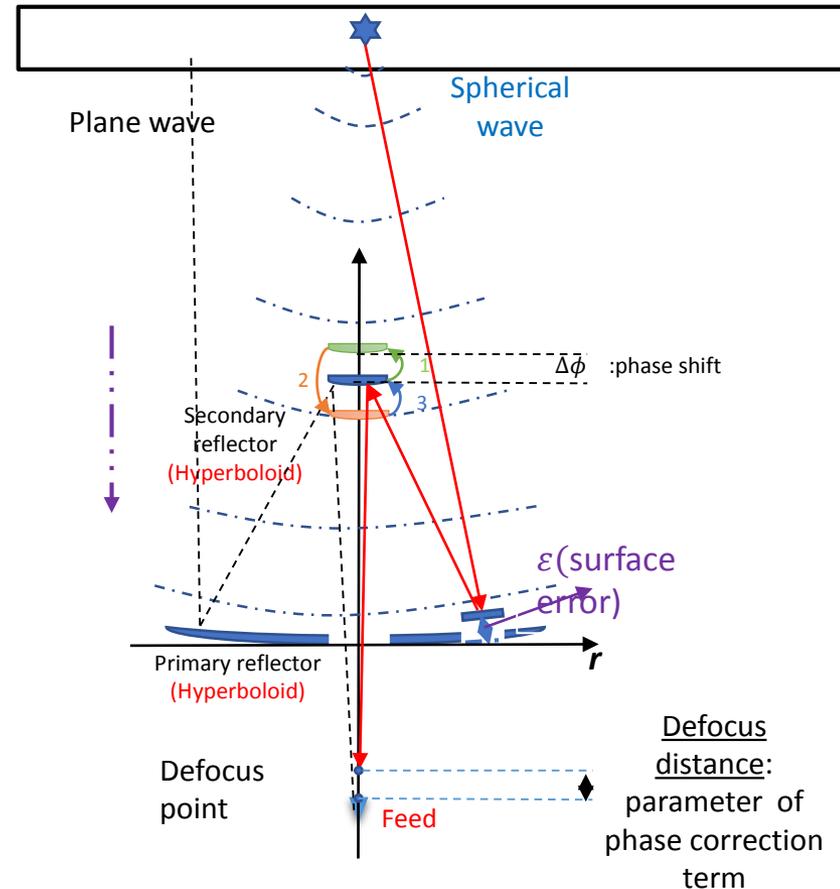
10-m RC telescope & Near-field PRH holography

*Near-field phase retrieval holography:

- Relative low accuracy but convenient
- Saving cost: no additional reference antenna
- High signal to noise ratio:>80dB
- Few researches on such field: significant & helpful for future measurements

*Near-field PRH principle:

- In near field incident wave from radio source(transmitter)→ spherical wave
- RC telescope is special→ more complex path-length
- Move sub-reflector in different positions →different defocus near-field pattern
- Deriving aperture field by beam pattern: **Misell-algorithm (defocus beam pattern & phase shift)**
- Add phase correction value into final result
- Estimate the primary surface's accuracy



点回折干渉計 (Point-Diffraction Interferometer, PDI)

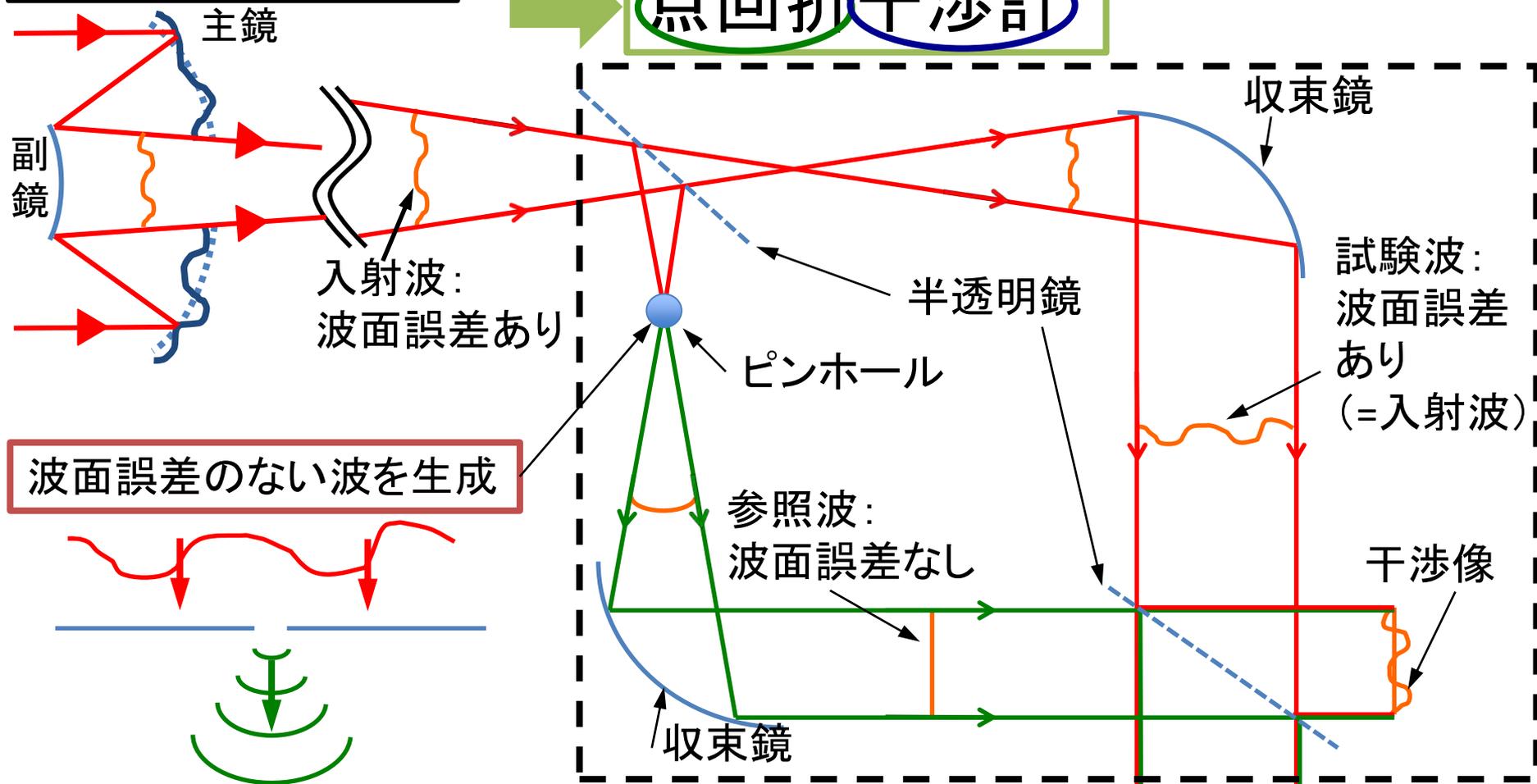
by 奥村(D2)(永井:NAOJ)

波面を測定したい → 直接『位相』を検出するのは難しい

→ **きれいな波**との**干渉像の測定**から求める

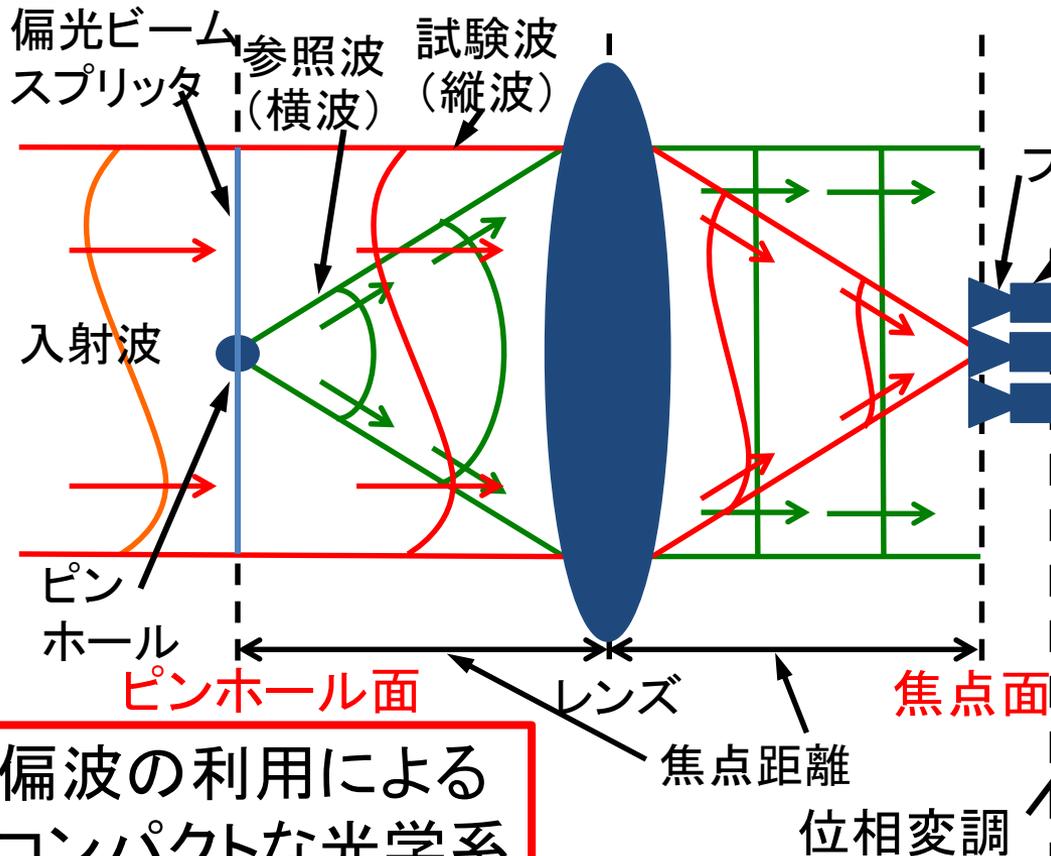
基本的な光学系例

点回折干渉計

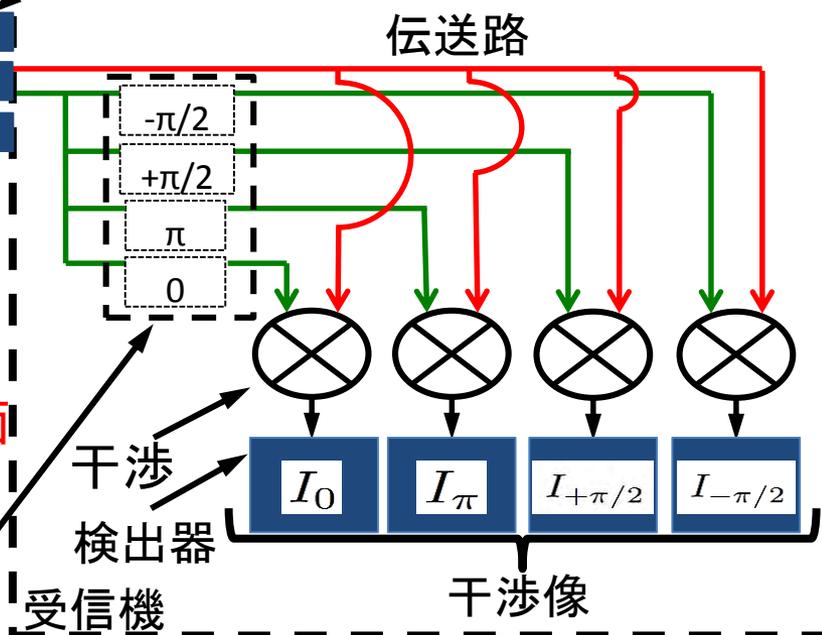
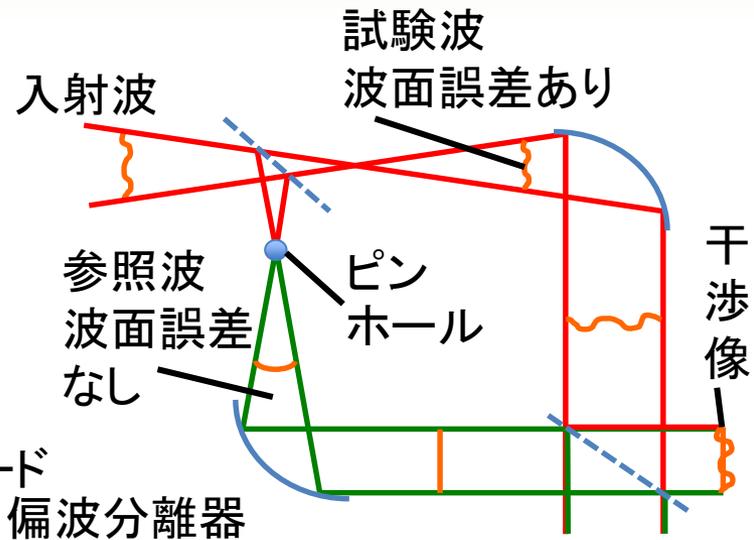


電波点回折干渉計(RPDI)

本研究で考案する測定方法：
偏波を利用した点回折干渉計を用いた
波面測定法『偏波点回折干渉計』



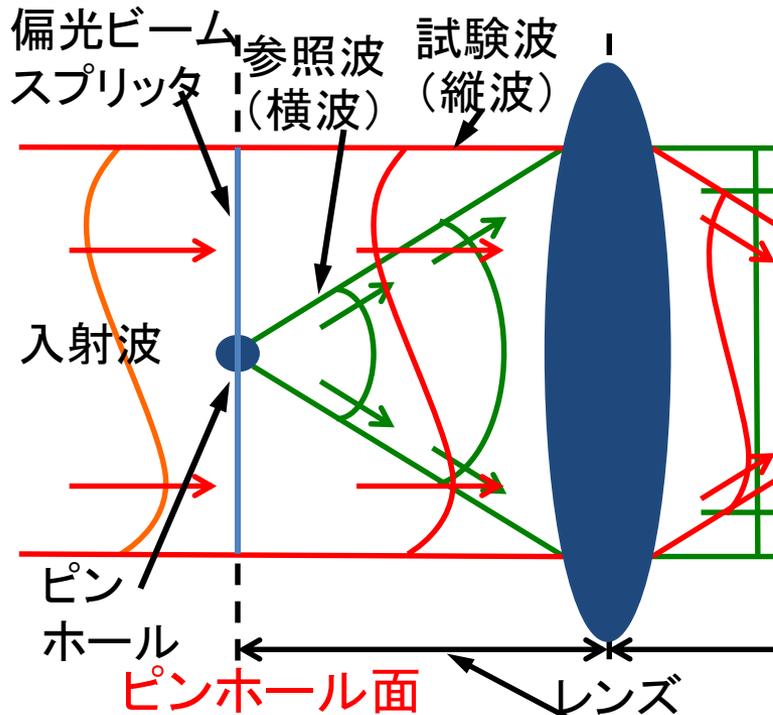
偏波の利用による
コンパクトな光学系



電波点回折干渉計(RPDI)

本研究で考案する測定方法:

偏波を利用した点回折干渉計
波面測定法『偏波点回折干渉計』



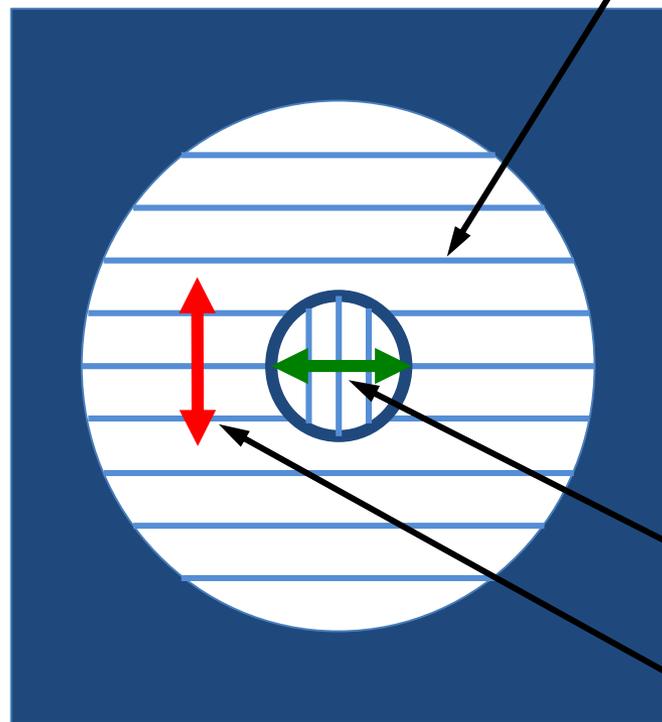
偏波の利用による
コンパクトな光学系

入射波

試験波
波面誤差あり

偏光ビームスプリッタの例

金属製のワイヤー



ワイヤーとは
直交した向き
の偏波だけを
通す

周辺部とピン
ホールで異なる
偏波を通す

ピンホール:
横波だけ通す

周辺部:
縦波だけ通す

位相変調

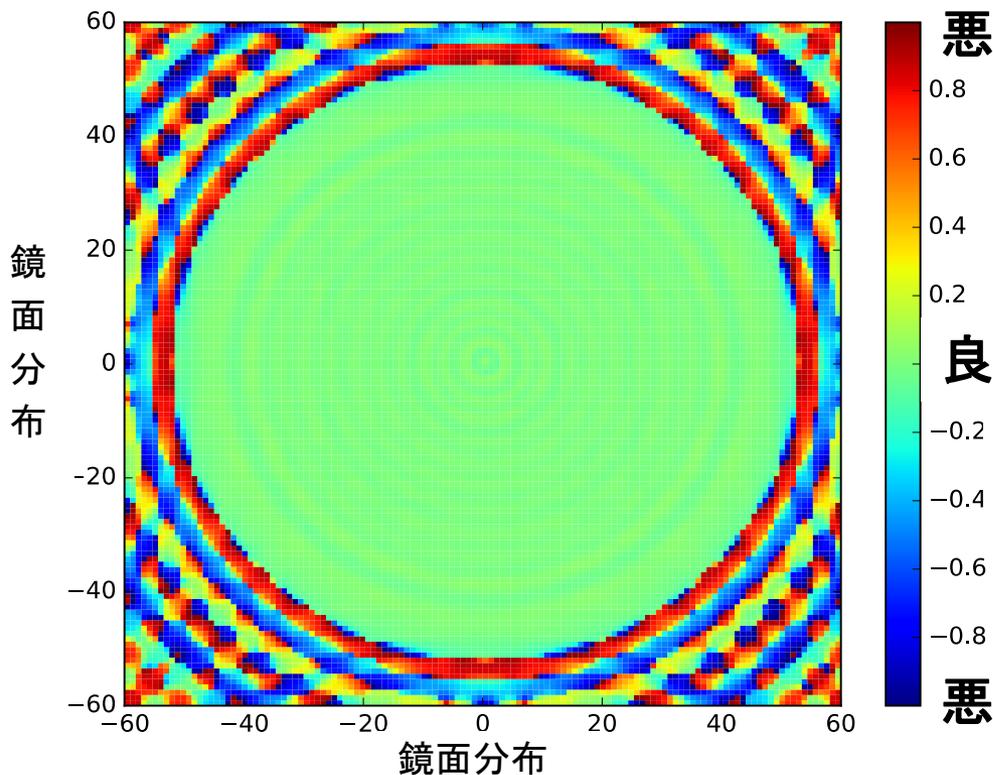
検出器

受信機

I_0 I_π $I_{+\pi/2}$ $I_{-\pi/2}$

干渉像

物理光学手法によるシミュレーション



鏡面形状推定精度

→ 位相のずれの推定誤差のRMS

$$= 4.72 \cdot 10^{-2} [\text{rad}]$$

$$= \lambda/133 \quad @ \text{空間分解能} 0.48 [\text{mm}^2]$$

(半径50[mm]、128²点)

★南極テラヘルツ望遠鏡
の鏡面測定としての目

標: $\lambda/10$ @空間分解能 $3.0 \cdot 10^5 [\text{mm}^2]$
(半径 $5.0 \cdot 10^3 [\text{mm}]$ 、約270点)

→十分な空間分解能で
目標精度を達成

RPDIは南極テラヘルツ電波望遠鏡の波面測定法として実装し、鏡面形状を推定できる可能性がある

2. 既存の望遠鏡による観測的研究

- ALMA

- 棒渦巻銀河のパターン速度 (田中D2、久野)

- 鹿島34m鏡 (齋藤他)

- 野辺山45m鏡

- CO輝線による銀河面サーベイ
(久野、齋藤、院生)
- CO輝線による近傍銀河サーベイ
(久野、渡邊、院生)

情報通信研究機構 鹿島宇宙技術センター34m鏡

- 筑波大学-NICT: 共同研究契約を締結
- 大学連携VLBI観測(クェーサー、銀河系中心BH)
- 単一鏡としてアンモニア、水メーザーによる星形成領域・銀河の観測
- 34m鏡能率測定
- ホログラフィーによる鏡面測定



2. 既存の望遠鏡による観測的研究

- ALMA
 - 棒渦巻銀河のパターン速度 (田中D2、久野)
- 鹿島34m鏡 (齋藤他)
- 野辺山45m鏡
 - CO輝線による銀河面サーベイ
(久野、齋藤、院生)
 - CO輝線による近傍銀河サーベイ
(久野、渡邊、院生)

• 野辺山宇宙電波観測所レガシープロジェクト

- 45m電波望遠鏡＋マルチビーム受信機FOREST
- 観測時間およそ1000時間/1プロジェクト
(2014年-2017年)
- 国立天文台と大学の連携
(筑波大学は中心メンバー)

- FOREST Unbiased Galactic plan imaging survey with Nobeyama 45-m telescope (FUGIN)
 - 一酸化炭素3輝線による銀河面サーベイ
- CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies (COMING)
 - 近傍銀河の一酸化炭素3輝線による撮像サーベイ

FOREST Unbiased Galactic plan imaging survey with Nobeyama 45-m telescope (FUGIN)

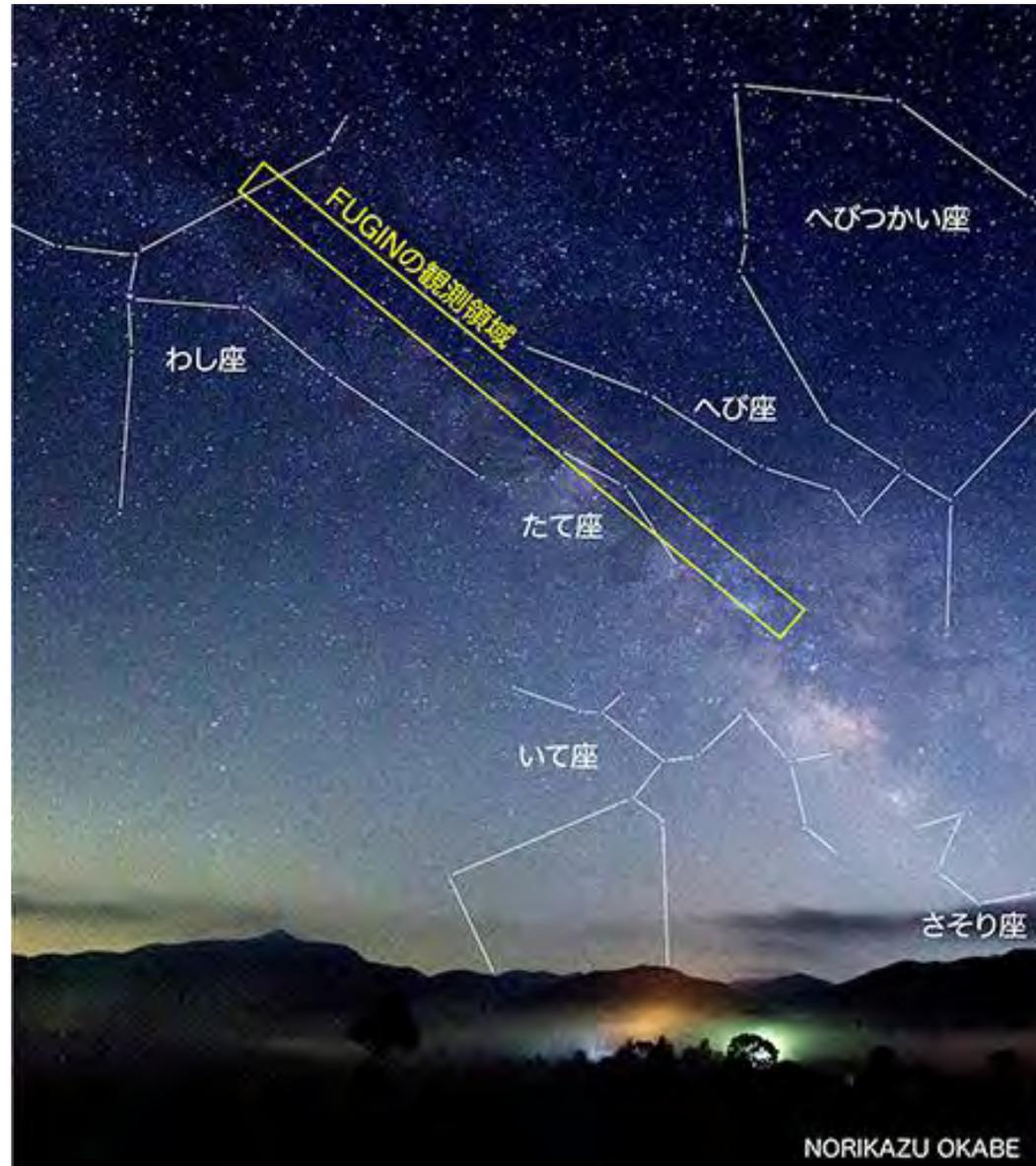
- 観測範囲: $2^\circ \times 40^\circ$

- CO 3輝線

$^{12}\text{CO}(J=1-0) > \sim 10^2 \text{ cm}^{-3}$

$^{13}\text{CO}(J=1-0) > \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$

$\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0) > \sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$



FUGIN

風神
FUGIN

FOREST Unbiased Galactic plane Imaging survey with Nobeyama 45-m telescope

・これまでになかった空間ダイナミックレンジ

・銀河系構造(数万光年)~巨大分子雲~高密度クランプ(<1光年)

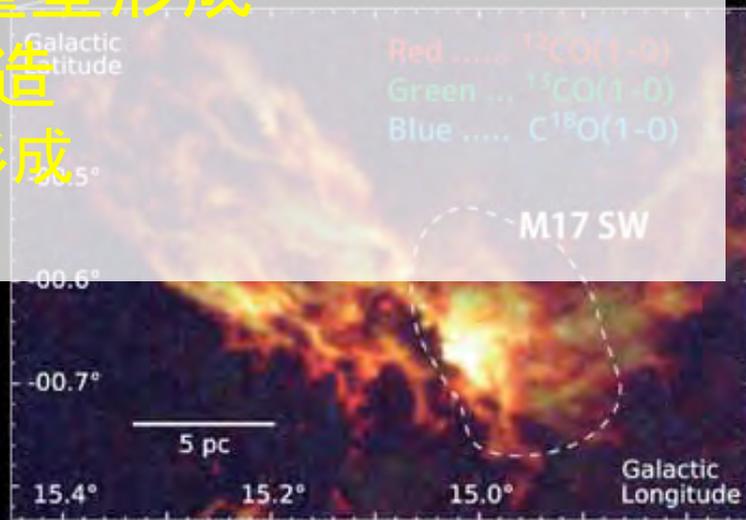
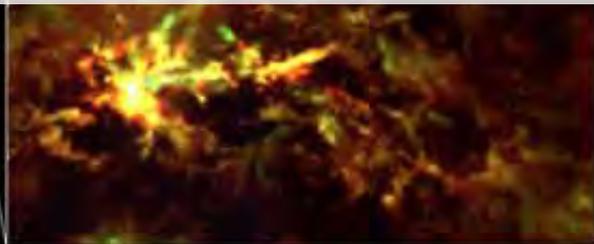
・異なる密度領域をカバー

⇒ ・分子雲衝突による大質量星形成

・分子雲の詳細な内部構造

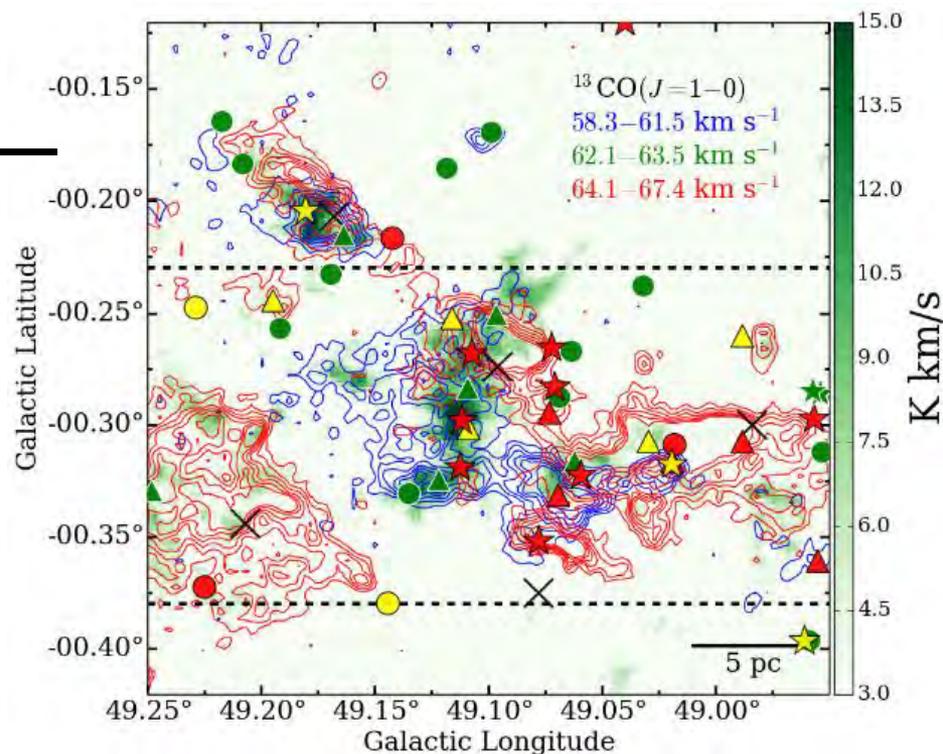
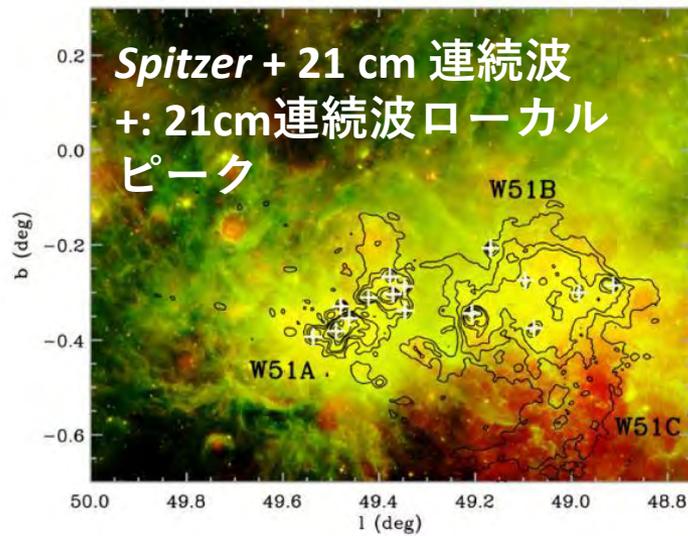
・フィラメント状構造→星形成

など



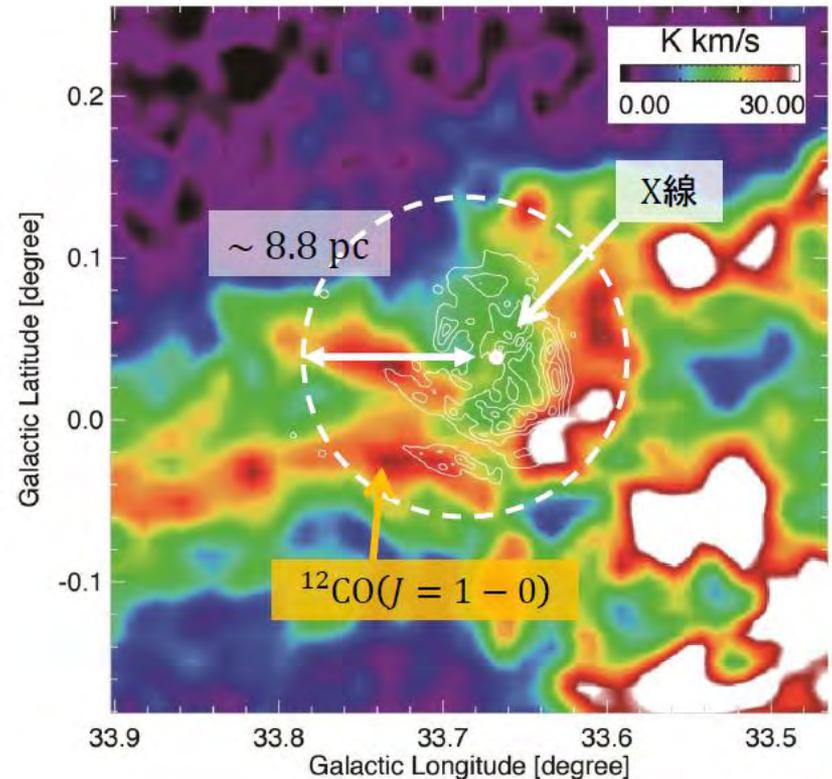
巨大分子雲W51（藤田D論2017）

- W51内部の詳細構造
 - 内部分子雲同士の衝突
⇒大質量星形成のトリガー
 - 超新星爆発による
分子ガスの加速
⇒新たな衝突へ



超新星残骸Kes79（栗木修論2017）

- 超新星残骸Kes79に付随する分子雲の同定
 - Kes79の運動学的距離の決定
 - ガンマ線光度（宇宙線と星間陽子から）とガス密度
- ⇒ Kes79からの宇宙線陽子全エネルギーを推定
- ⇒ 超新星による宇宙線陽子の加速効率



COMING

CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies

• 近傍銀河 146個 **世界最大のサーベイ**

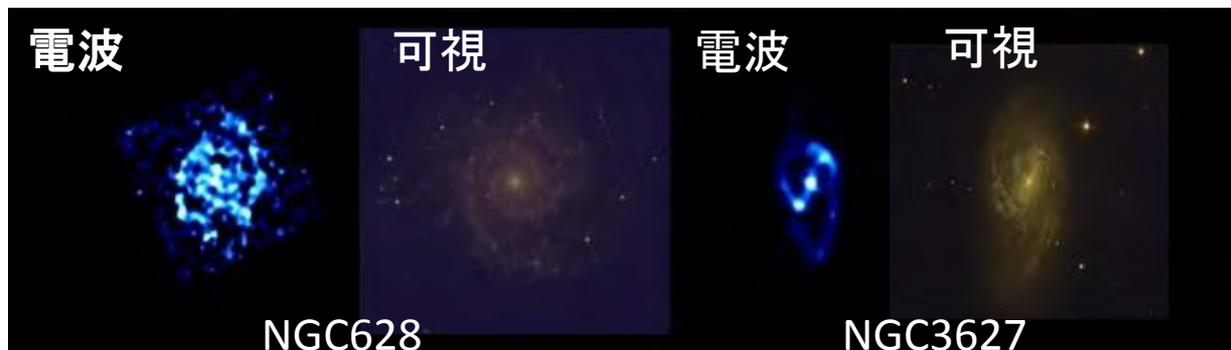
• CO 3輝線

$^{12}\text{CO}(J=1-0) > \sim 10^2 \text{ cm}^{-3}$

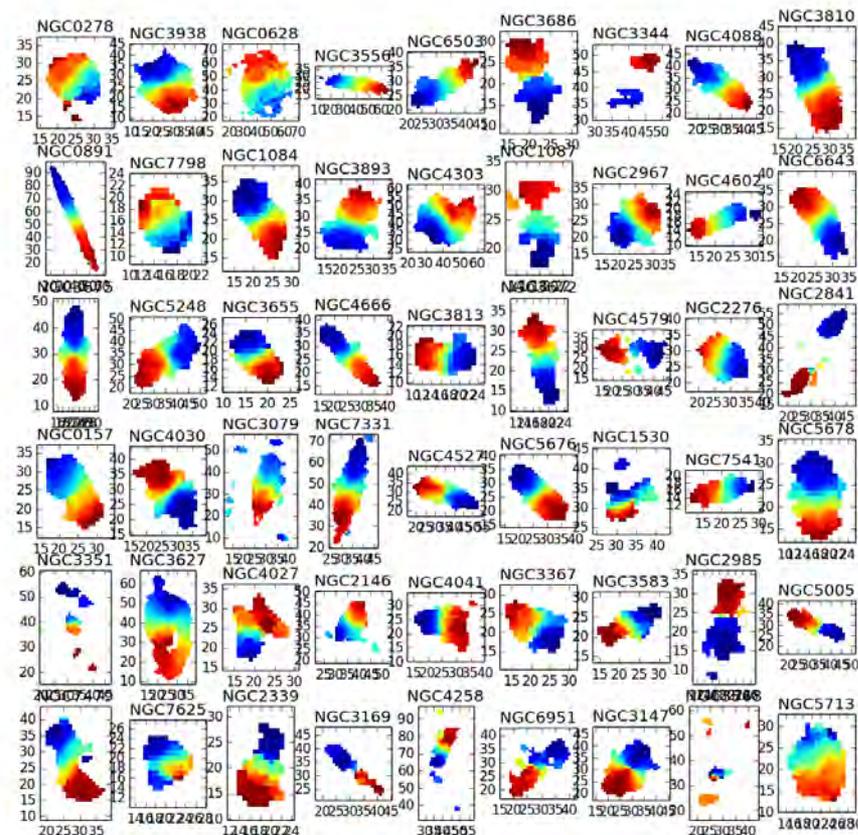
$^{13}\text{CO}(J=1-0) > \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$

$\text{C}^{18}\text{O}(J=1-0) > \sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$

COMING

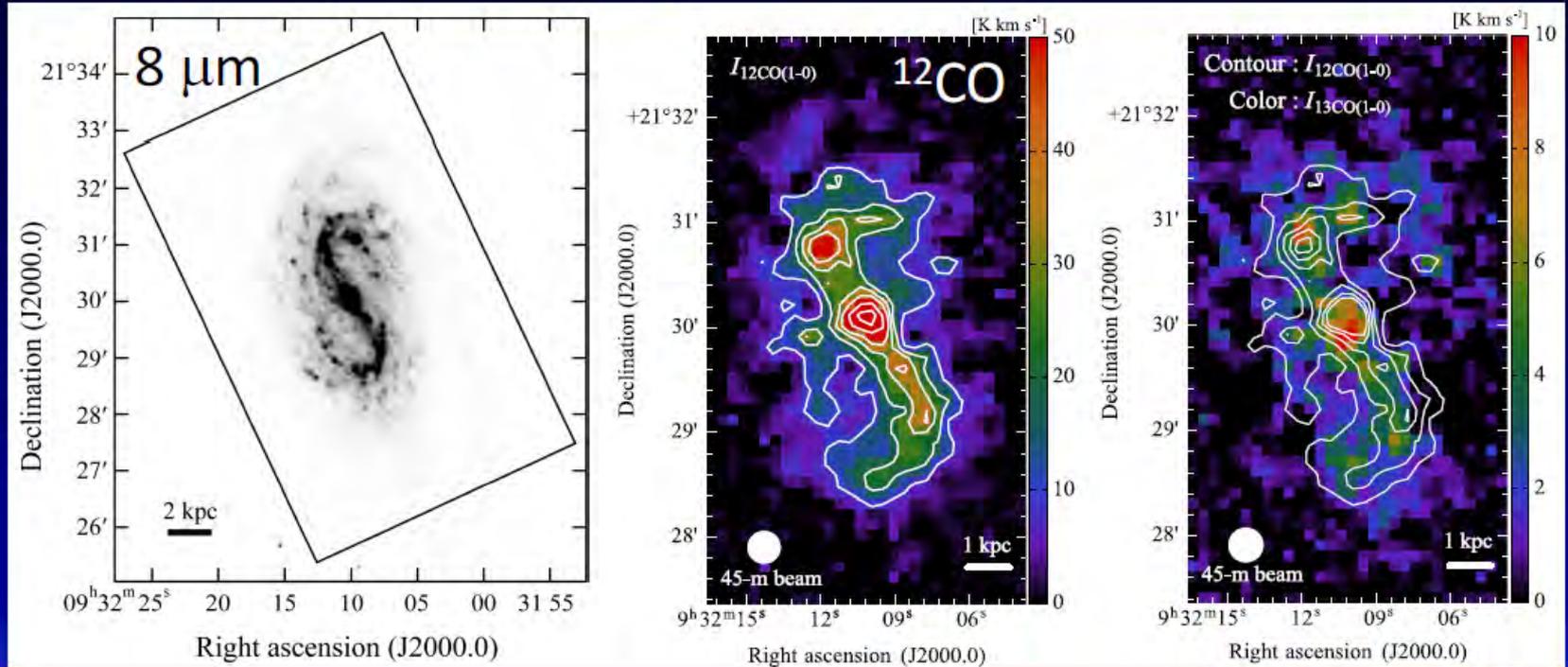


- 147個の銀河(世界最大の撮像サーベイ)
- 銀河の種類による分子ガスの分布・運動の違い
- 銀河の構造と分子ガスの物理状態、星形成活動との関係
⇒ 銀河進化との関係



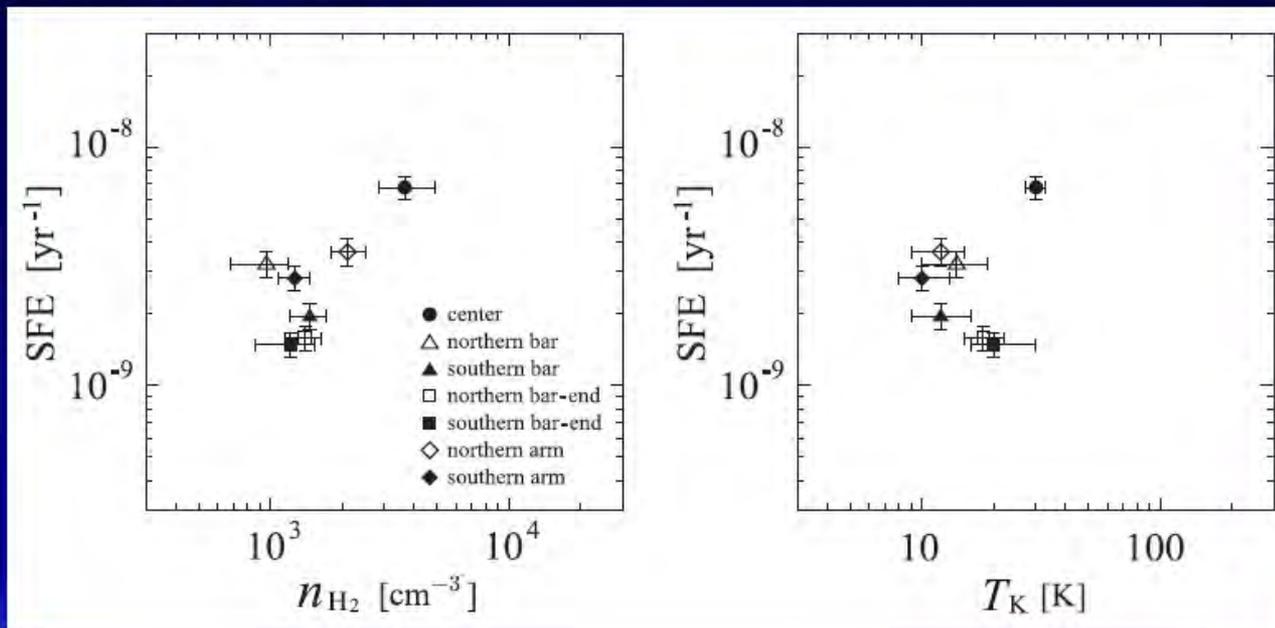
Case study (1) NGC 2903

- Muraoka et al. (2016), PASJ, 68, 89
- a barred spiral galaxy



Molecular gas and SFE

- relation $n(\text{H}_2)$ (not $\Sigma(\text{H}_2)$) and SFE in disk
- molecular gas density governs the spatial variations in SFE



COMING

南極天文学研究部門

- 南極天文学の推進
 - 野辺山45m電波望遠鏡超伝導電波カメラの開発
 - ヘテロダイン受信機の広帯域化
 - 鏡面測定法の検討（点格子干渉計、PRH法）
 - 30m級テラヘルツ望遠鏡のサイエンス検討
 - 10m級テラヘルツ望遠鏡のフィジビリティースタディ、低コスト化の検討
 - 南極での運用、国際連携にむけた体制の検討
- 既存の観測装置による観測的研究
 - 野辺山45m鏡レガシープロジェクト
 - CO分子輝線による銀河面サーベイ（FUGIN）
 - CO分子輝線による近傍銀河サーベイ（COMING）
 - 鹿島34mアンテナ
 - 大学連携VLBI
 - 性能測定
 - ALMAによる銀河観測