

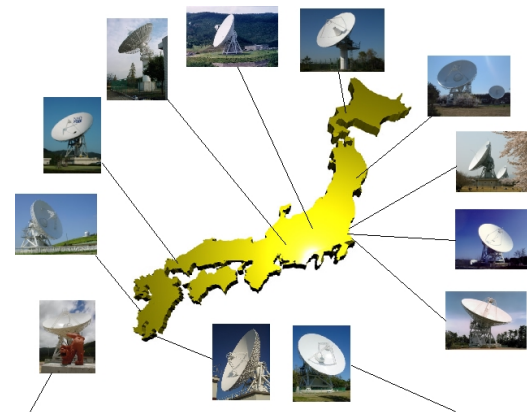


2017/11/4
第15回水沢VLBI観測所
ユーザーズミーティング

JVN短基線を用いた 非定常電離ガス探査とモニター観測

元木 業人
山口大学

Co-I: 大学連携の人々



じくも

1. JVN大規模観測について
2. 原始星進化とHII領域
3. JVN短基線による
Extremely Compact HII Region探査
4. 将来展望

1. JVN大規模観測

環境変化とJVNの今後5年

- 大型プロジェクトの時代 (ALMA、TMT、SKA?)
 - ... 予算と人の集中投資
 - ... その中でJVNをどう位置付けるのか？
- 望遠鏡の老朽化/閉鎖
 - 北海道大学 11m
 - 国土地理院 つくば 32m
- 東アジアVLBIの始動
 - 日韓VLBIの安定化/中国の本格参戦
 - 住み分け/役割分担
- VLBA/EVNとの差別化
 - ✖ イメージング能力 ---- ○ 機動力/長時間観測
- 個別の研究ではなく”大きな仕事”が必要
 - ... 「JVNは○○をやった望遠鏡」

少数基線VLBIによる 大規模電波源探査計画

- JVNの30m級アンテナ (山口、日立/高萩、鹿嶋)による高感度少数基線VLBI
- AGN、系内コンパクト天体、星形成の3分野にまたがって大規模探査を実施する
- 5年で数千天体規模のサーベイを行い、
“JVN電波源カタログ”の作成を目指す (仮)

AGNではすでに実績

- Fermi未同定 γ 線源の電波対応天体候補に対する1基線VLBI探査 (Fujinaga et al. 2015)

- 観測概要

山口 - つくば基線

周波数: 8.4 GHz

観測帯域: 512 MHz

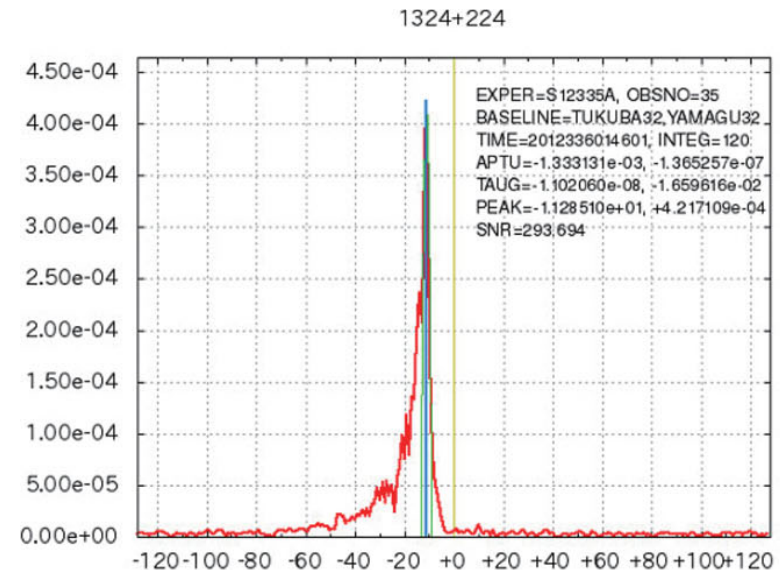
積分時間: 3分/天体

分解能: 9.2 ミリ秒角

基線感度: 0.83 mJy

→845天体中30天体を検出

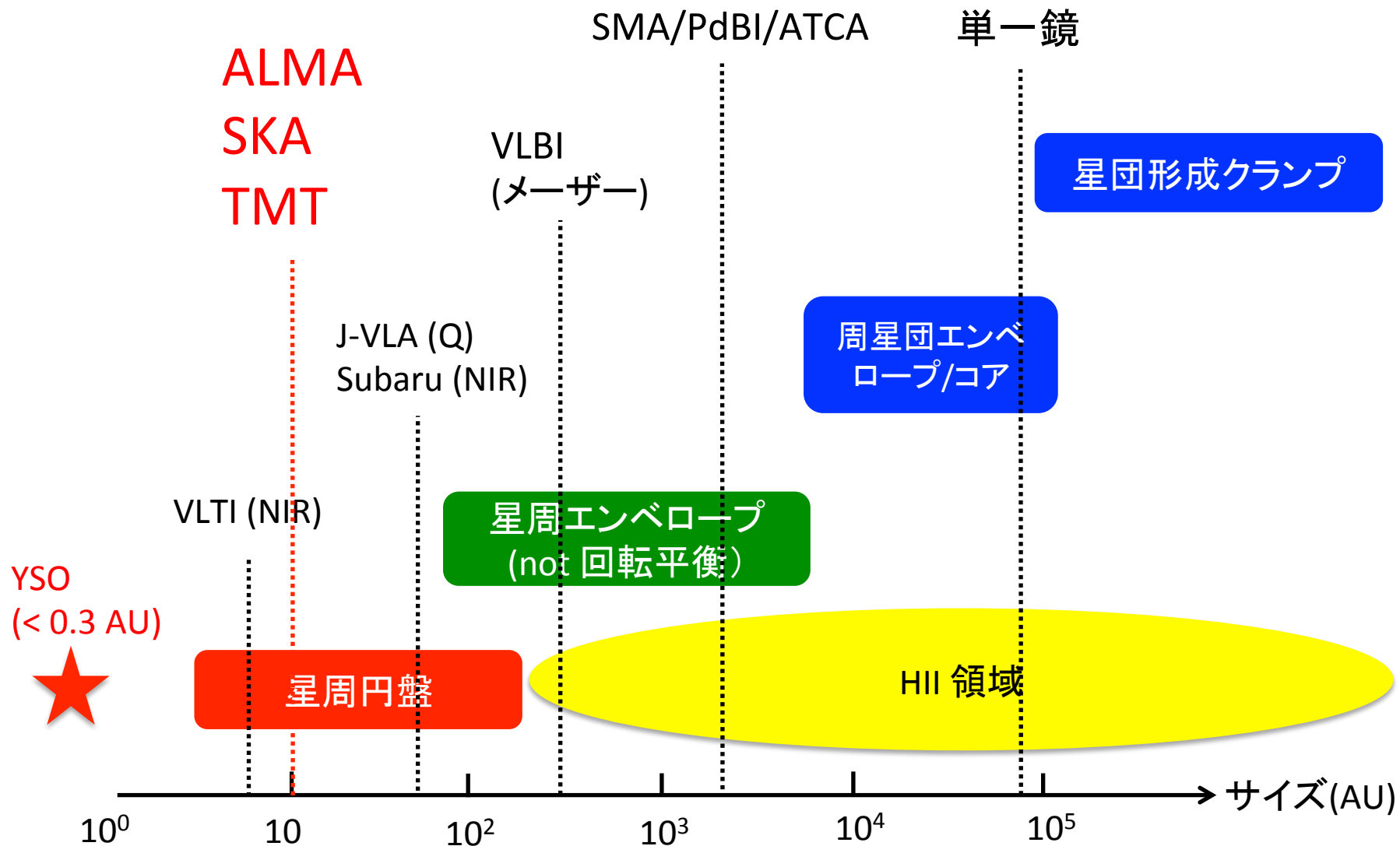
→さらに拡張探査を実施中



検出されたLAGの例

2. 大質量原始星進化とHII領域

構造スケール vs 分解能@1 kpc (2015 – 2030 年代)



深刻な空間分解能不足

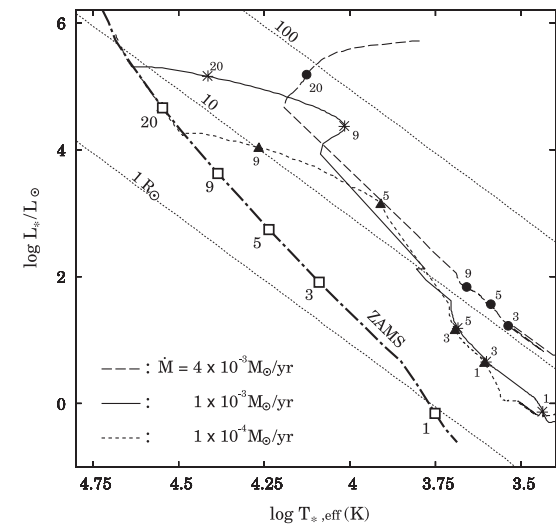
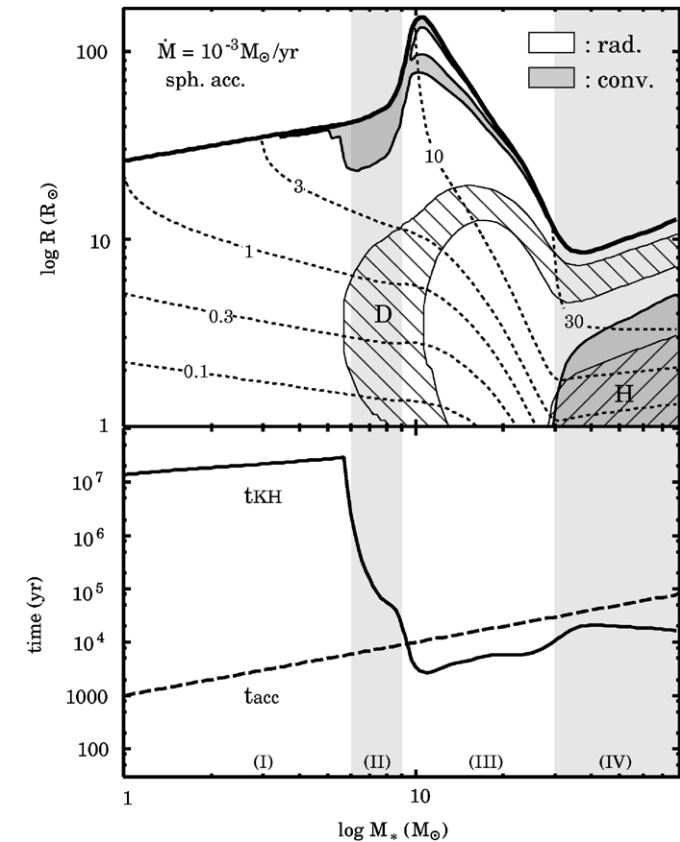
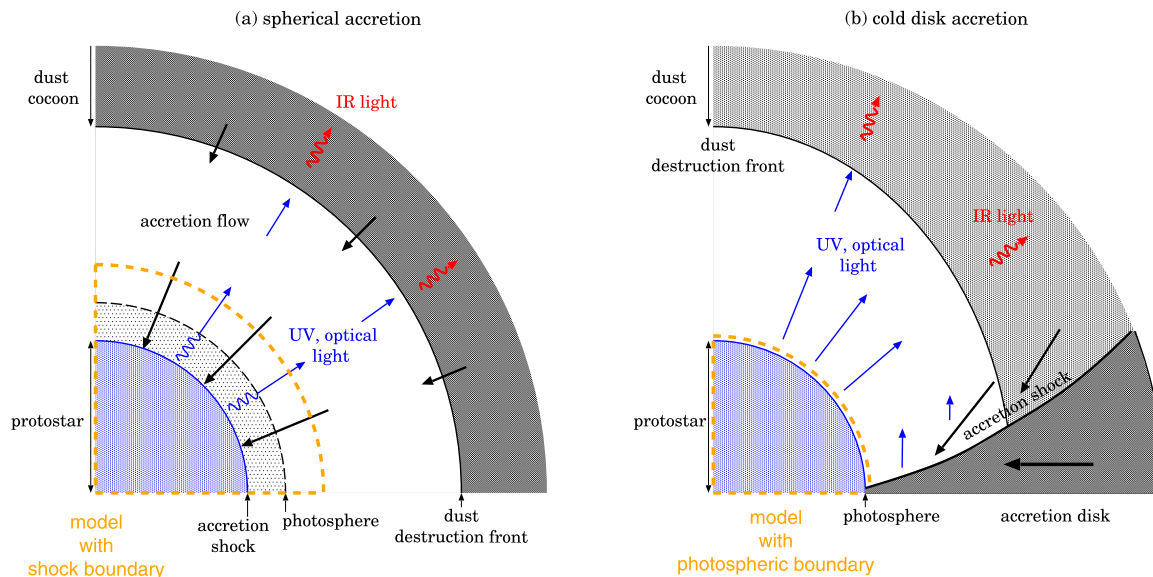
- まだまだ原始星表面まで到達できない
→ 星進化の直接的な検証は困難
- SEDモデルの限界
パラメータ過剰
→ パラメータ \gg データ点で一意に決まらない

赤外線望遠鏡の空間分解能不足
→ 近傍星団メンバーのコンタミ

動的な降着構造
→ 汎用モデルでは対応できない

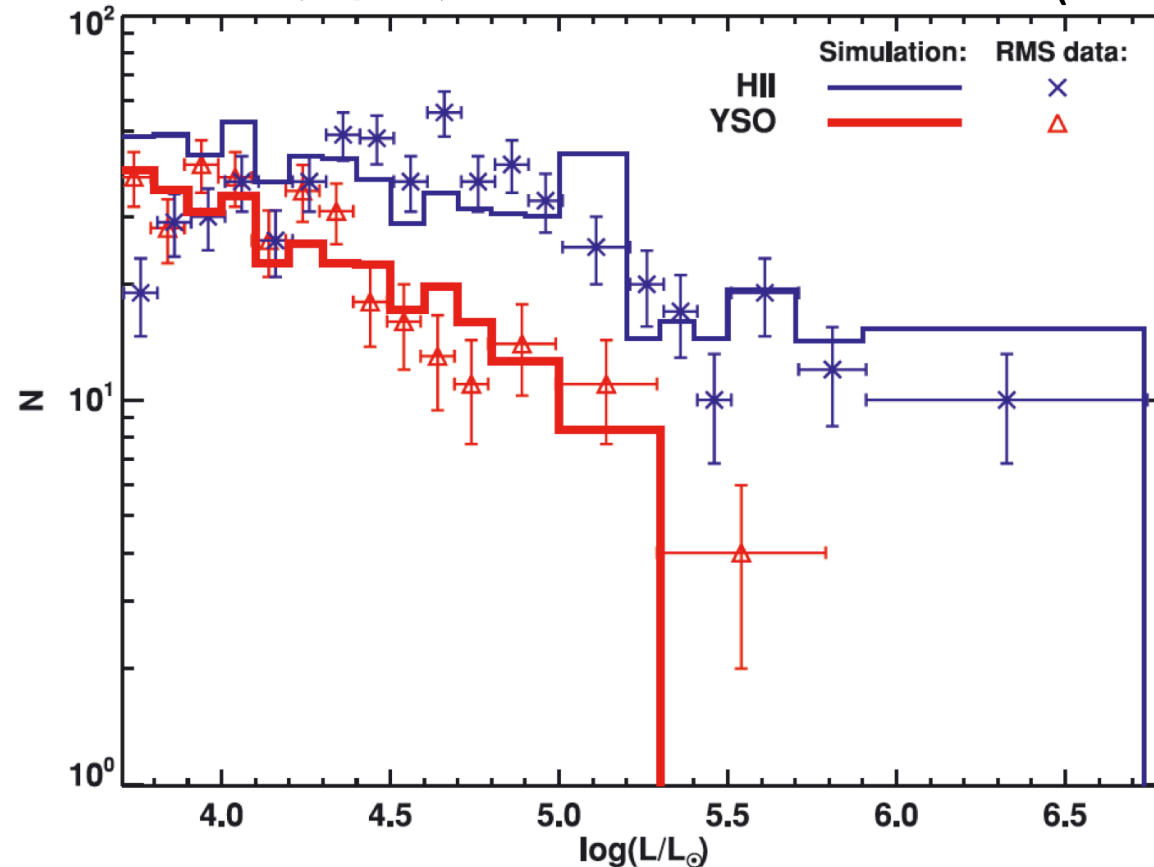
理論的に予想される進化経路

- 高降着率では**膨張** (Hosokawa+ 2009)
 光球サイズ $\sim 100 R_{sun}$
 低温 $T_{eff} < 10^4$ K (A型星相当)
 大光度 $10^5 L_{sun}$
- 進化パスは冷え方(= geometry)に依存



観測から示唆されるHII領域形成時の質量

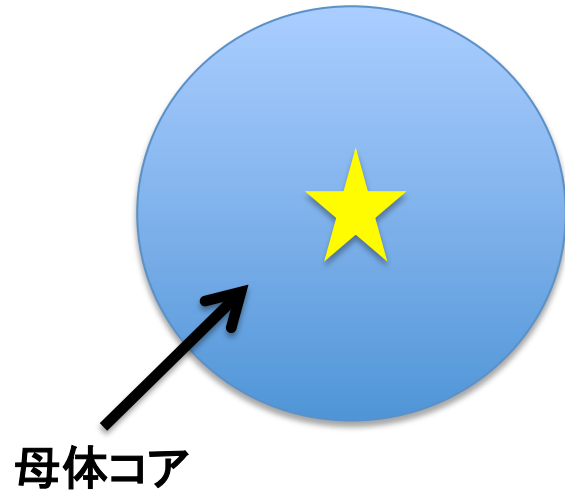
系内MYSOの光度関数とベストフィットモデル(Davies+ 2011)



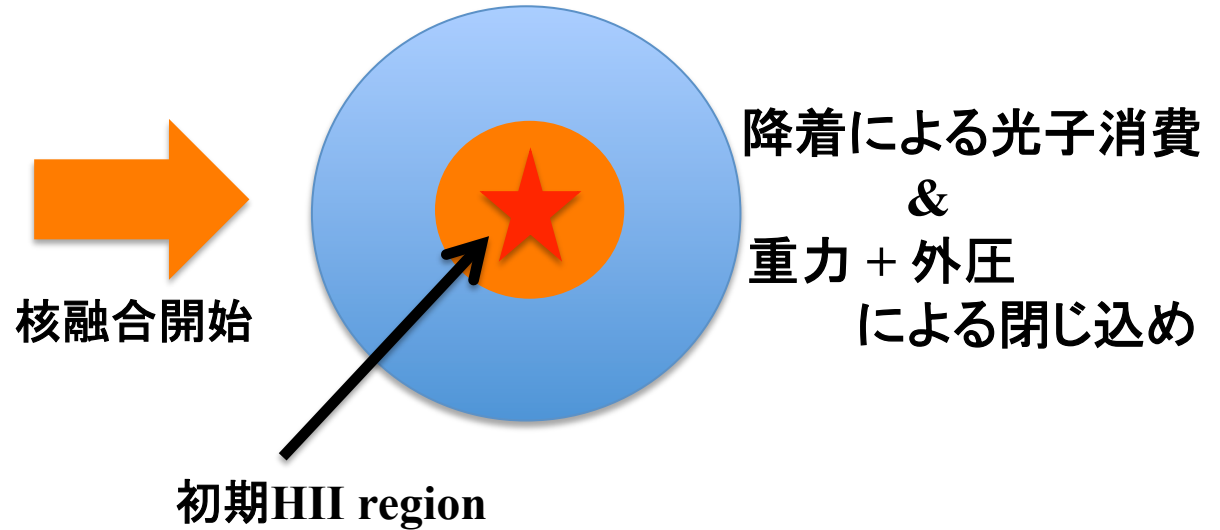
○HII領域無し天体の上限質量 $\sim 25 M_{\text{sun}}$ 前後
→理論的な予想とよくあう

HII領域の初期進化過程

1. 大質量原始星段階



2. 電離平衡で決まるHII領域 (ストームグレン球)



3. 圧力平衡で決まる半径へ膨張
→UCHII領域



電離平衡 $N_L = \frac{4\pi}{3} R_0^3 n_e^2 \alpha$

- 単純な電離平衡から予想されるHII領域サイズ

$$R_0 = 50 \left(\frac{N_L}{10^{47.36} \text{ s}^{-1}} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{n_{\text{H}_2}}{10^7 \text{ cm}^{-3}} \right)^{-\frac{2}{3}} \text{ au},$$

(20太陽質量のZAMSを仮定)

- 降着によってHII領域を打ち消すためには

$$\begin{aligned} \dot{M}_{\text{limit}} &= \left(\frac{4\pi m_{\text{H}}^2 G N_L M_*}{\alpha} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= 4.2 \times 10^{-6} \left(\frac{N_L}{10^{47.36} \text{ s}^{-1}} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{M_*}{20 M_{\odot}} \right)^{\frac{1}{2}} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}. \end{aligned}$$

→降着していればそもそも成長できない
(ただし球対称-定常な場合)

→非定常降着では生成消滅を繰り返す

重力の効果

- 理論が正しければHII領域形成時の星質量が大きい
→より重力の効果効く

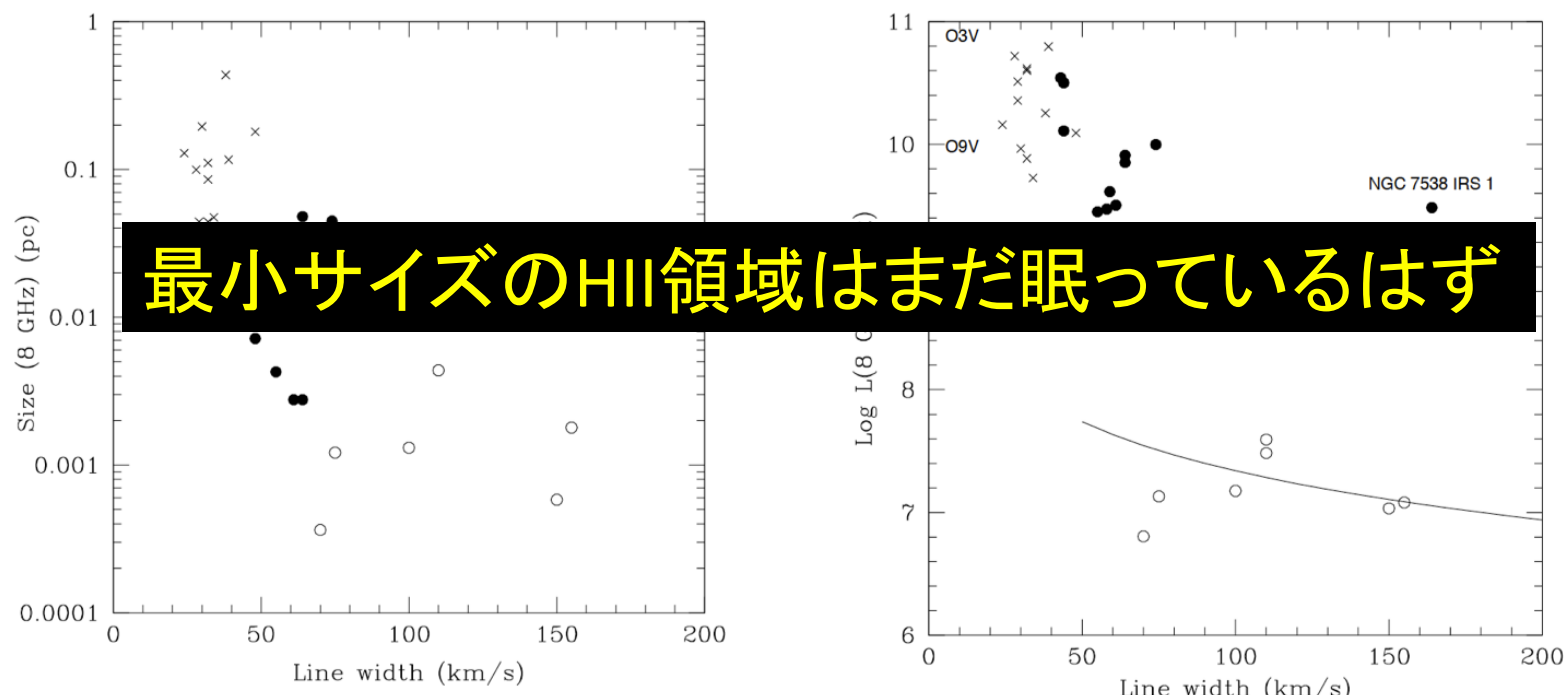
- 電離ガスに対する重力半径

$$R_g = \frac{GM_*}{c_i^2} = 10^2 \left(\frac{M_*}{20 M_\odot} \right) \left(\frac{T_e}{10^4 \text{ K}} \right)^{-1} \text{ au.}$$

ここで $R_g > R_0$ であればHII領域は圧力膨張できない
→HII領域の**最小サイズ**が R_g となる

実際に観測されるHII領域のサイズ

- 基本的には ~ 1000 AU
- 最も小さいもので ~ 300 AU程度



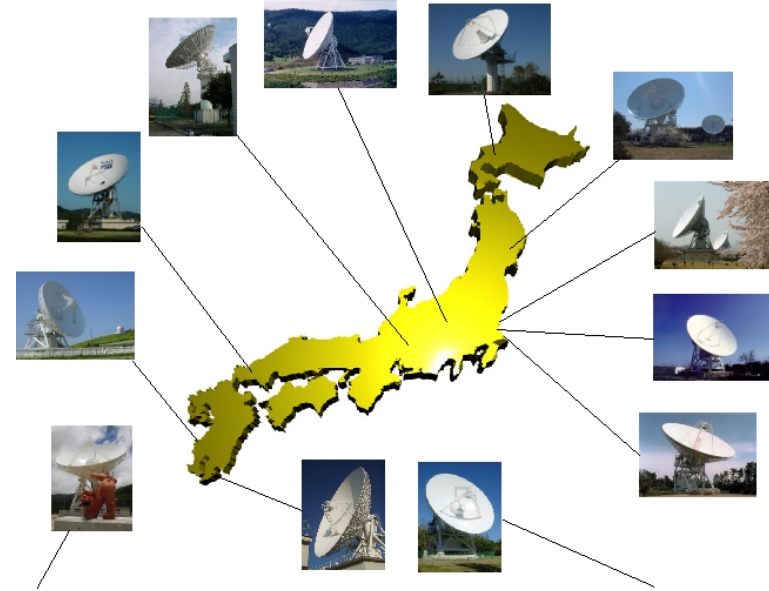
最小サイズのHII領域はまだ眠っているはず

縦軸: HII領域のサイズ or 電波/赤外光度比 (× UCHII, • HCHII, o 大質量原始星)
横軸: RRLの線幅 Hoare et al. (2007)

3. JVN短基線による Extremely Compact HII Region探査

茨城 - 鹿嶋 基線

基線長: ~ 82 km
帯域: 512 MHz
30m級アンテナx3台



角分解能: 80 mas (X) / 110 mas (C)
基線感度: 0.4/0.8 mJy rms (10分積分)

→輝度温度で**9400 K / 17000 K (10 σ)**

→大質量原始星周囲の**熱的放射**が検出可能

探査の目的

- 発生直後の電離領域を探査
Pre-HCHII領域 (or ECHII領域)

副産物として...

ジェット/降着衝撃波による電離ガス
シンクロトロンフレア/ジェット

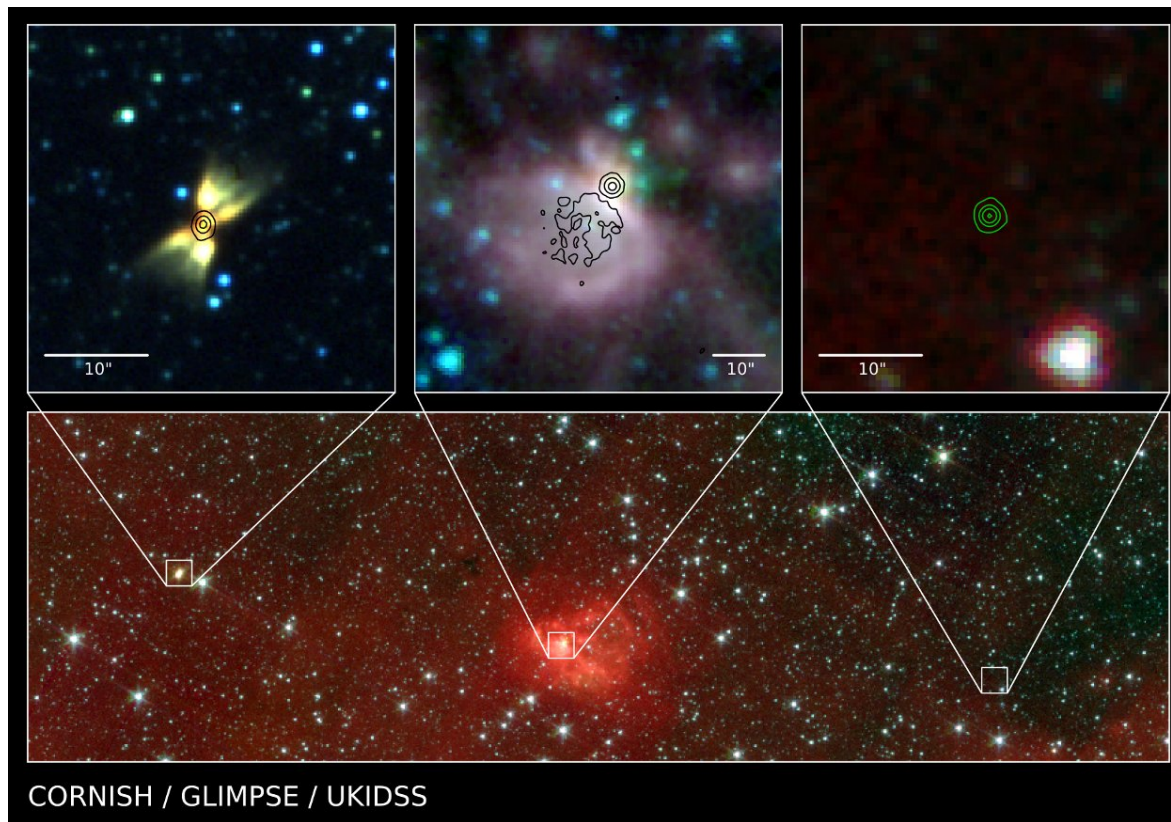
- 検出天体のモニター観測
1天体10分で密な変動モニターが可能
→大質量YSO周囲の活動性を調査

初期観測計画

- VLBIによる無バイアス探査は困難
 - VLA CORNISHサーベイ (Hoare et al. 2012)
の点源を対象としたスナップショット探査
- 観測時間
 - 700天体 x 10分 = 117時間 (on-source)
 - overhead 30%こみで150時間

CORNISH survey (Hoare et al. 2012)

- J-VLAによる北天銀河面探査 ($l = 10 - 65\text{deg}$)



配列: B
周波数: 5 GHz
分解能: 1.5秒角
感度(1σ): 0.4 mJy/b
検出数: 3000天体

→今回の探査と
ほぼ同程度の感度

ターゲットの絞り込み

1. CORNISH探査で点源である
2. 赤外線で暗い
→進化初期の十分に若い天体
3. フラックスが5 mJy以下
→十分にコンパクトであることを意味
(10^4 Kで ~ 100 mas程度)

フォローアップ

1: C帯でのフォローアップ観測

→スペクトル指数から放射の起源を推定

2: モニター観測(〜2-3年)

円盤内奥(1 AU)の力学時間 〜2年

星表面(< 0.3 AU)の力学時間 〜2週間

100 AUのLight crossing time 〜14時間

→星表面での変動は一瞬で伝わる

→非定常降着の有無へ示唆

3: VLA/ALMAによるイメージング観測

星周構造/降着率/温度分布などを調査

今後の日程

10/30 日立局にてバンキアラ測定



10/31 鹿嶋局にてバンキアラ測定



11/20以降?: VLBI観測による実感度測定

参加局: 日立/高萩/鹿嶋/山口

対象: 既知のAGN

(1, 3, 10, 20, 50, 100 mJy)

年度内: パイロット観測(〜50 - 100天体)

まとめ

- 今後5年間のJVN観測プロジェクトとして大口径少数基線による大規模VLBI電波源探査を予定 (JVNカタログ)
- 星形成は茨城 - 鹿嶋基線(80 km)による熱的放射の探査がメイン (10^4 K = 10σ @10分)
- ターゲットは形成直後のECHII領域(~ 100 AU)
- 初期観測はX帯でCORNISH探査の点源(700天体)を対象
- 年度内に100天体程度のパイロット観測を開始(したい)
- 成功すればフォローアップ実施
 - C帯でのVLBI \rightarrow SED測定
 - C/X VLBIモニター: 非定常降着の有無などを調査
 - ALMA/VLA観測: SED、星周構造、アウトフロー質量から
降着率/星進化などを議論