

# VLBI将来計画WG

## 極限天体班 現状報告

VLBIから紐解くコンパクト星の誕生と進化（仮）

メンバー：

赤堀卓也（NAOJ）、Eie Sujin（東大/NAOJ）、  
新沼浩太郎（山口大学/班長）、藤澤健太（山口大学）

2020年9月24日-25日 水沢VLBI観測所UM 2020

宇宙最強磁場の起源と極限物理法則の探求

### MONSTER計画

*Monitoring Observations of the Neutron Stars*

*That Evolve Rapidly*



©Astronomy.com

# 目次

- 目標・活動履歴
- 背景：学術的な問い
- 提案する研究
  - 特徴、日本の独自性・優位性
- まとめ
- 要求性能・システム
- 計画

# 目標・活動履歴（2020年4月～）

## ◎サイエンスを基軸に検討

- 極限天体に関する埋もれているテーマ、新規かつ未着手あるいは準備中のテーマ、VLBIが（も）重要な手法になりうるテーマ

## ◎検討スケジュール

- 第1回（4月9日）：トピック洗い出し、検討方針の確認、今後の予定
- 第2回（4月30日）：パルサーアストロメトリについて（他と比較、精度、重要性）
- 第3回（5月21日）：SNR-NS対応、系内BH、系内コンパクト天体、系外超新星
- 第4回（6月18日）：可視赤外の立場から系外SNeのレビュー（ゲスト）、中性子星の研究
- 第5回（7月8日）：中性子星の研究（中性子星の誕生・進化・放射機構）
- 第6回（7月29日）：極限天体の誕生（系外超新星、系外パルサー、系内外孤立形BH）
- 第7回（8月20日）：系内BH（、サマリー文書）
- 第8回（9月16日）：提案整理（、サマリー文書）

緑：ブレストーミング期、青：提案期、黒：集約期

# 目標・活動履歴（2020年4月～）

## 検討方針の共有

### ◎タイムライン

- **短期的**将来計画（2022年から6年程度：**4期中期計画**）
- **長期的**将来計画（4期中期計画以降、15-20年先を見据えて）
- **2021年度は移行期間**という考え（準備研究を進めていく）

### ◎境界条件：科学的テーマを基軸に要求性能・必要装置を検討

- **既存のアレイ**（VERA/JVN/EAVN/VLBA/EVN/ALMA）、既存アレイのアップグレード（u-EAVN, GVA）、**将来の大型装置**（SKA1/ngVLAなど）、**新しい観測装置**
- **マイテレスコープ**（拡大解釈あり）を基軸にした検討もありうる
  - ・ 本WGの特性上、この検討方針もあり得る

# 「VLBIから紐解くコンパクト星の誕生と進化」

## 背景：学術的な問い

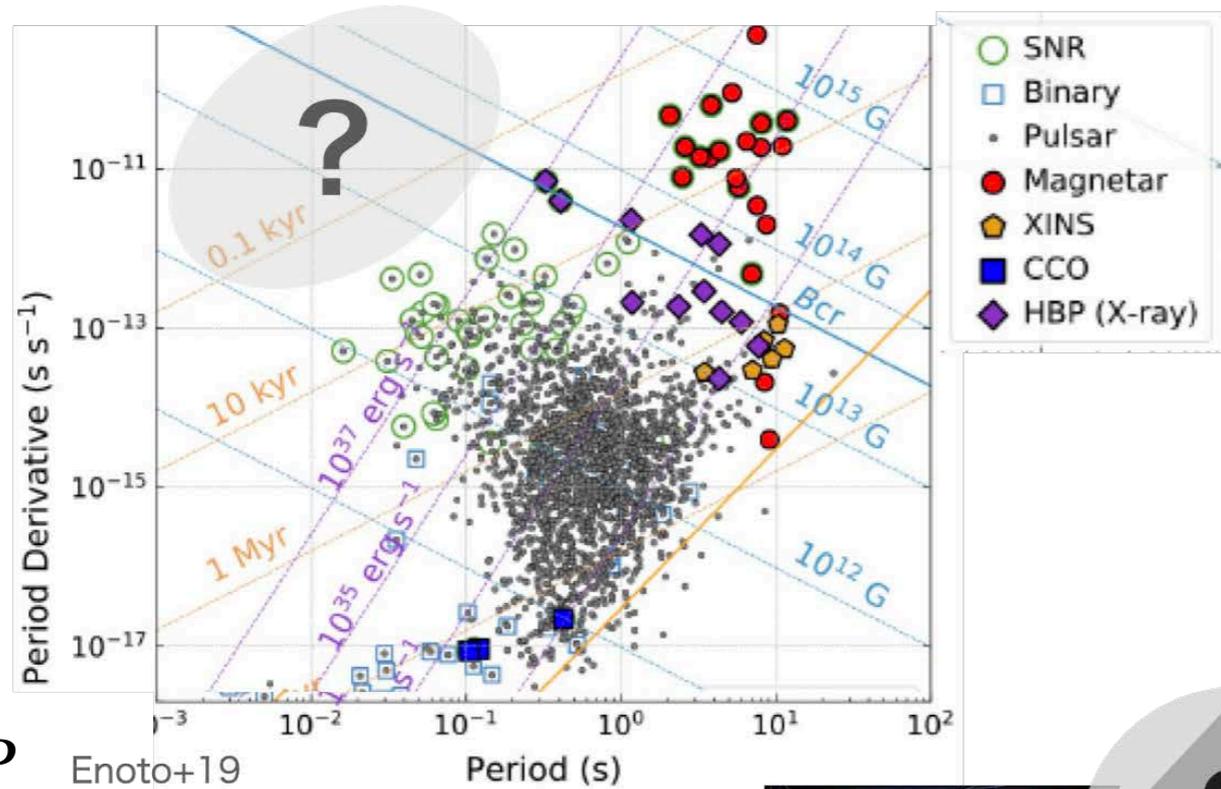
- ◎大質量星の終焉である超新星爆発とともに、コンパクト星がどのように誕生し、そして進化していくのか？
- ◎コンパクト星において観測される、地上では達成できない極限環境下の物理はどのように実現されるのか？

を明らかにすることは宇宙における物質の起源を理解する上で本質的である



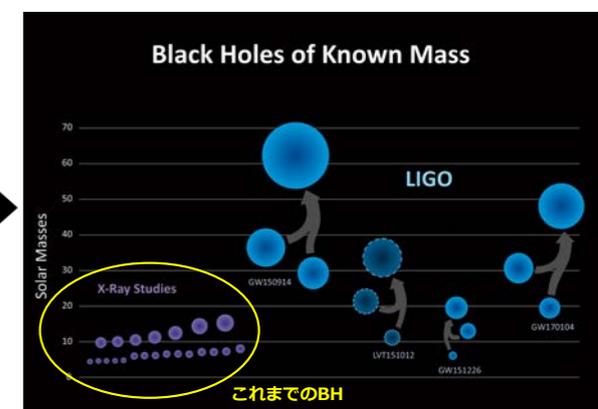
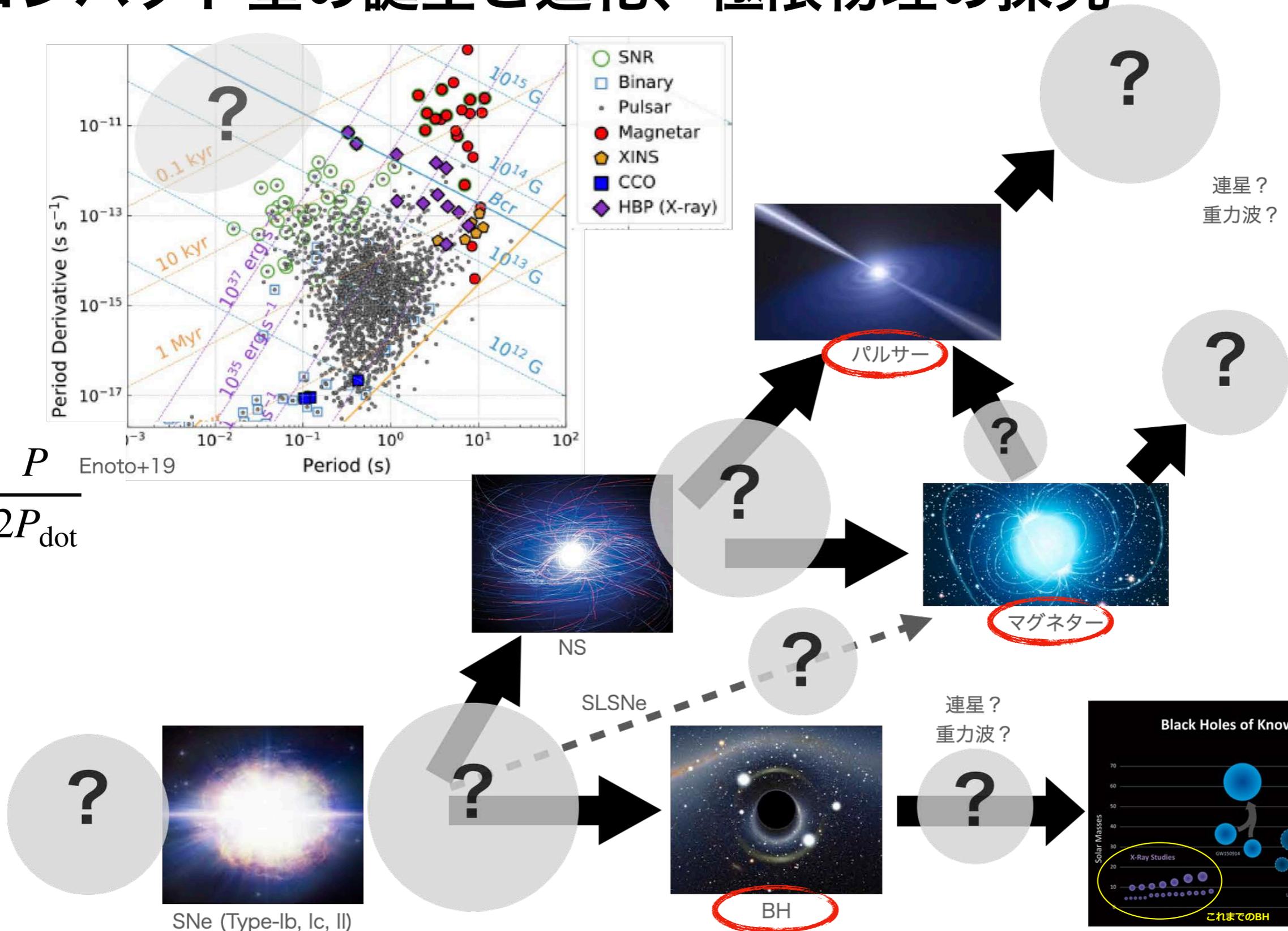
# 星の進化の終焉

## コンパクト星の誕生と進化、極限物理の探究



$$\tau_c = \frac{P}{2\dot{P}}$$

Enoto+19



# 「VLBIから紐解くコンパクト星の誕生と進化」

## 重要な科学的研究

### 1. 中性子星の誕生と進化の探究

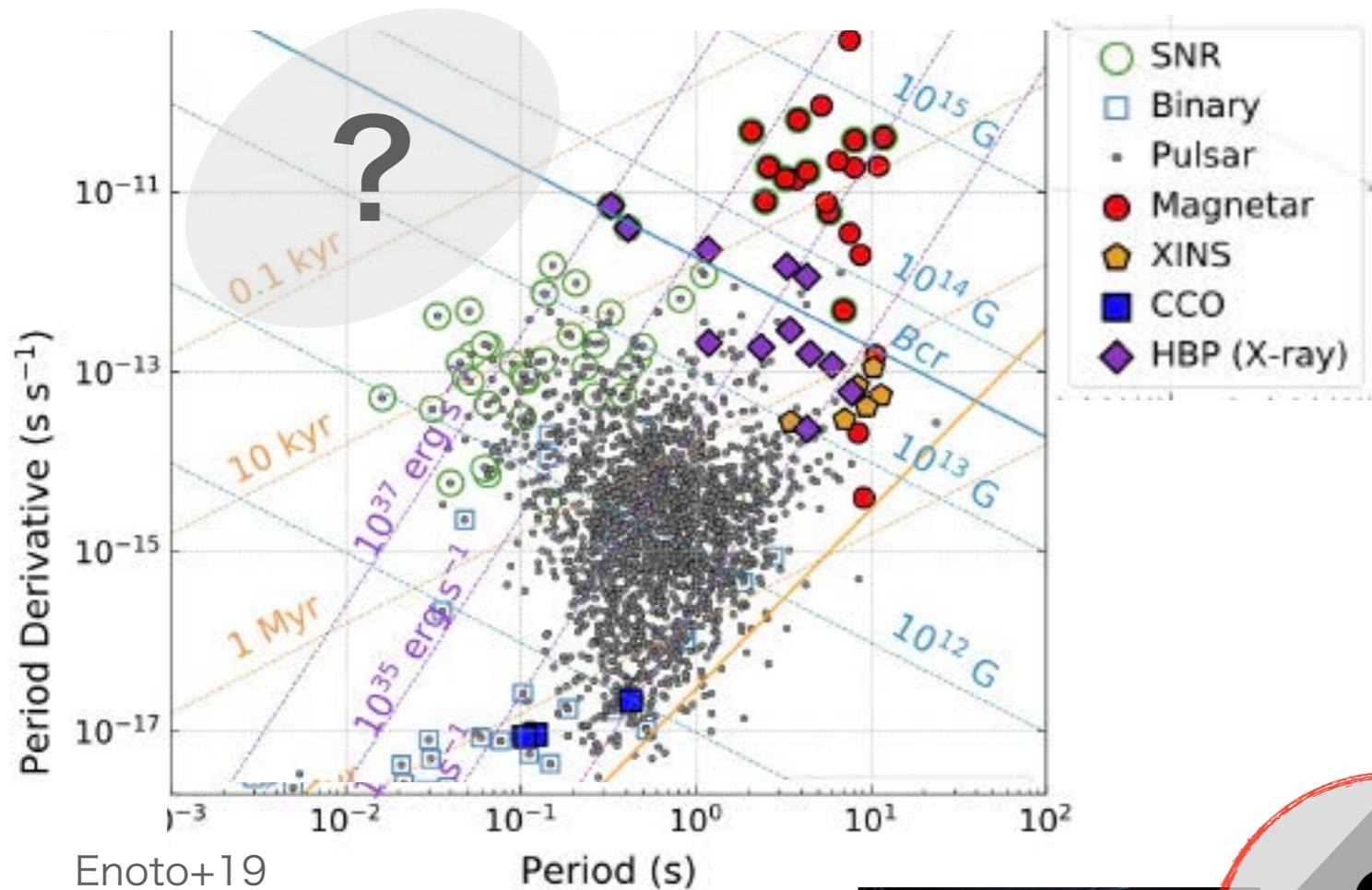
- 自転周期変化率の大きい中性子星のVLBI位置天文観測
- 広帯域電波パルス観測による中性子星の進化と電波放射機構の関係

### 2. 若い中性子星の探査と放射機構の理解

- 系外超新星観測による若い中性子星の探査

### 3. 系内ブラックホールの起源と放射機構の探究

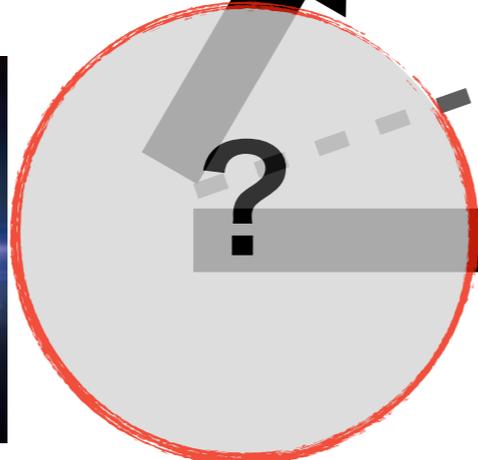
- VLBI位置天文観測による系内BH形成過程の探究
- 高空間・時間分解能観測によるBH連星のジェット形成・放射機構の研究



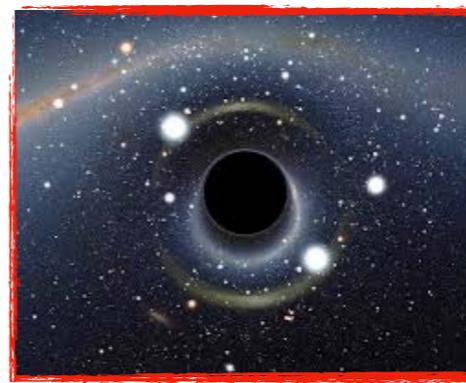
赤枠：本研究によるブレーク  
スルーが期待される



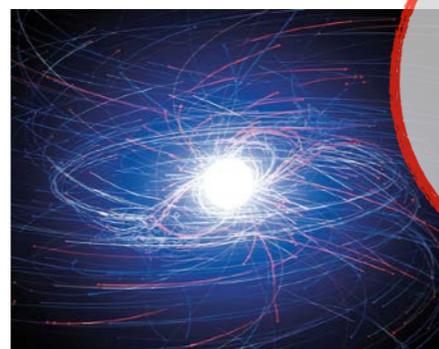
SNe (Type-Ib, Ic, II)



SLSNe



BH



NS



パルサー

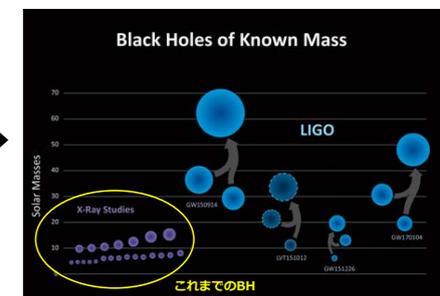
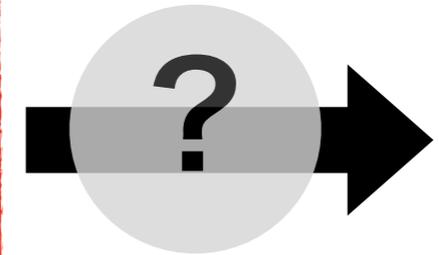


マグネター



連星？  
重力波？

連星？  
重力波？



# 「VLBIから紐解くコンパクト星の誕生と進化」

## 中性子星の誕生と進化の探究

◎自転周期変化率の大きい（若いと予想される）中性子星のVLBI位置天文観測

- 中性子星と親超新星爆発（残骸, SNR）の紐付けによる中性子星の真の年齢を推定

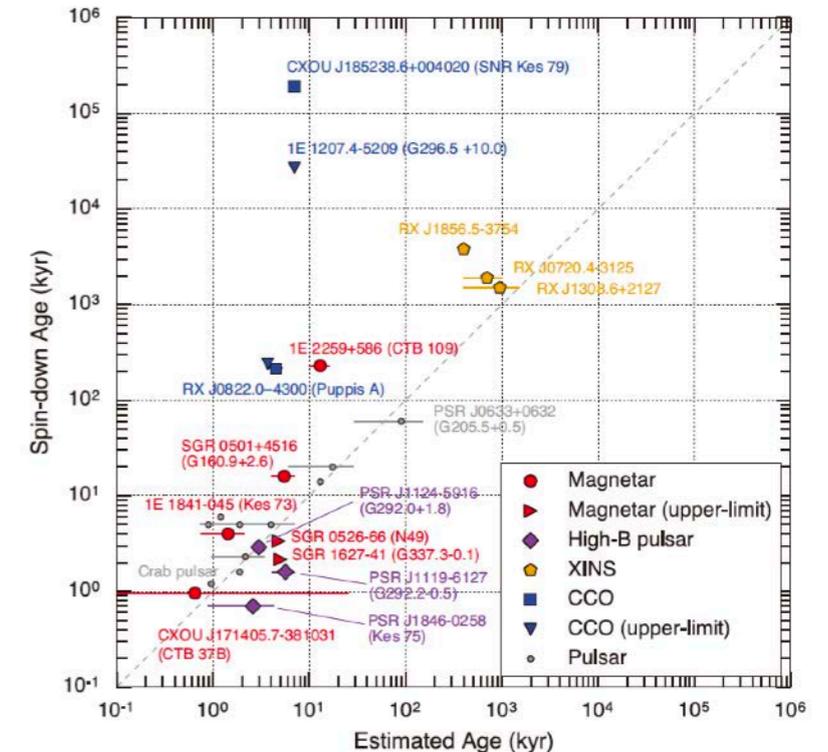
- ・ 強磁場パルサーやマグネターでは両者に大きな差
- ➡進化の過程で分化？生まれながらに異なる種族？

◎広帯域電波パルス観測による中性子星の進化と電波放射機構の関係

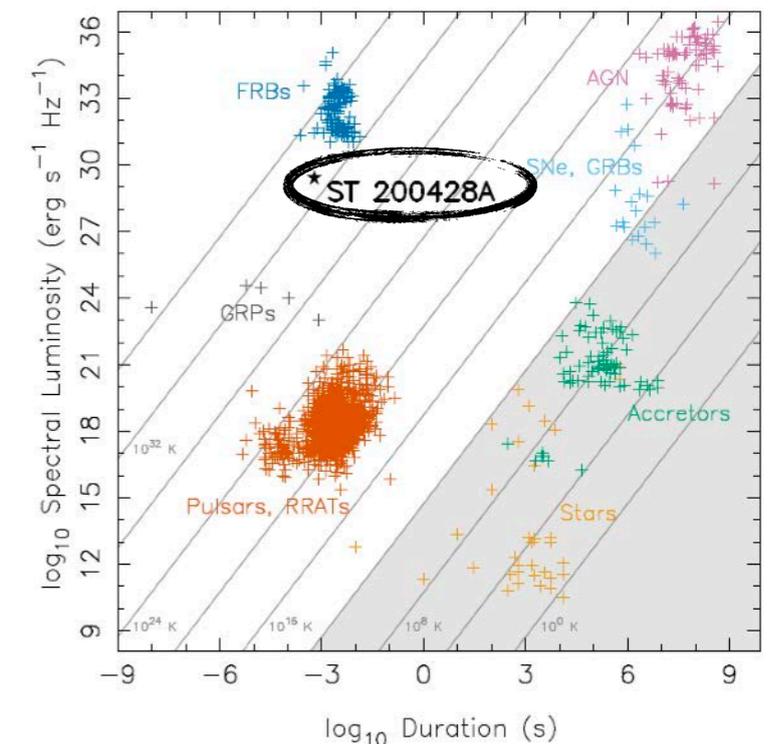
- 狭いスペクトル領域の指数のみでなく、**連続的な広いスペクトル**でのパルス観測が重要
  - ・ マグネターなどの突発パルス：最高エネルギーパルスの見極め（FRBとの関係性を理解するうえでも重要）

◎系外超新星観測による若い中性子星の探査

- 特性年齢 < 100年の領域は空白 = **生まれたばかりの中性子星を観測した例が無い**
- 系外超新星
  - ・ SN1987Aの内部に中性子星が存在する可能性（Cigan+19）
  - ➡**本当であれば30歳の中性子星！**



特性年齢（縦軸）と超新星残骸の推定年齢（横軸）の関係  
赤いプロットはマグネター（Enoto+19）



1.5MJy ms@1.4GHzでの検出報告がされたSGR1935+2154のphase-space上のプロット（Bochenek+20, arXiv）

# 「VLBIから紐解くコンパクト星の誕生と進化」

## 系内ブラックホールの起源と放射機構の探究

### ◎ VLBI位置天文観測による形成過程の探究

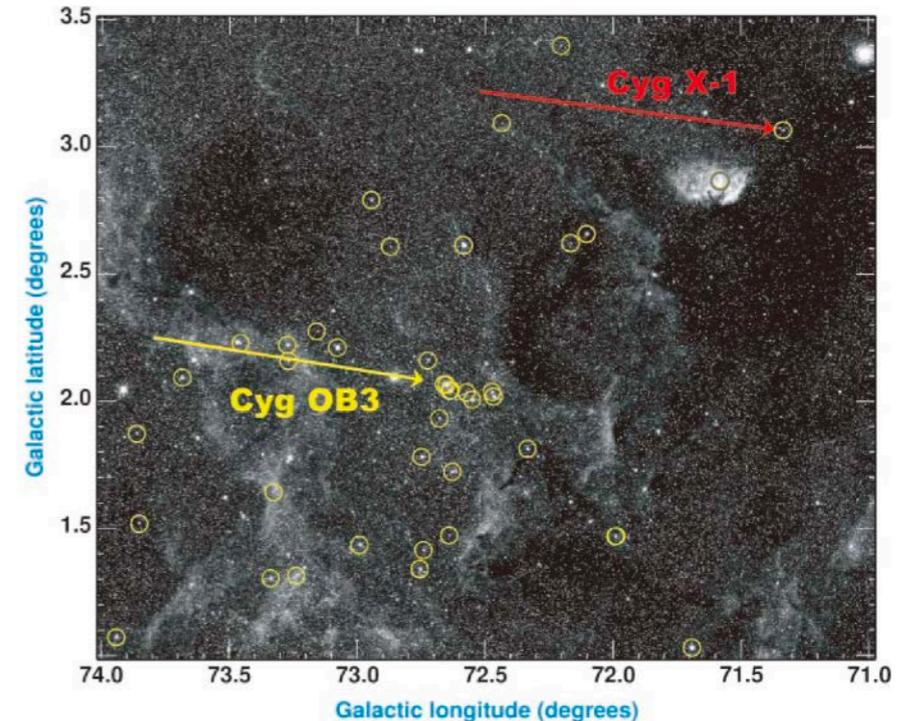
- 超新星爆発により誕生するにも関わらず特異運動を示さないμクエーサーがある (Cyg X-1; Mirabel & Rodrigues 2003)

### ◎ 高空間・時間分解能観測によるジェット形成・放射機構の研究

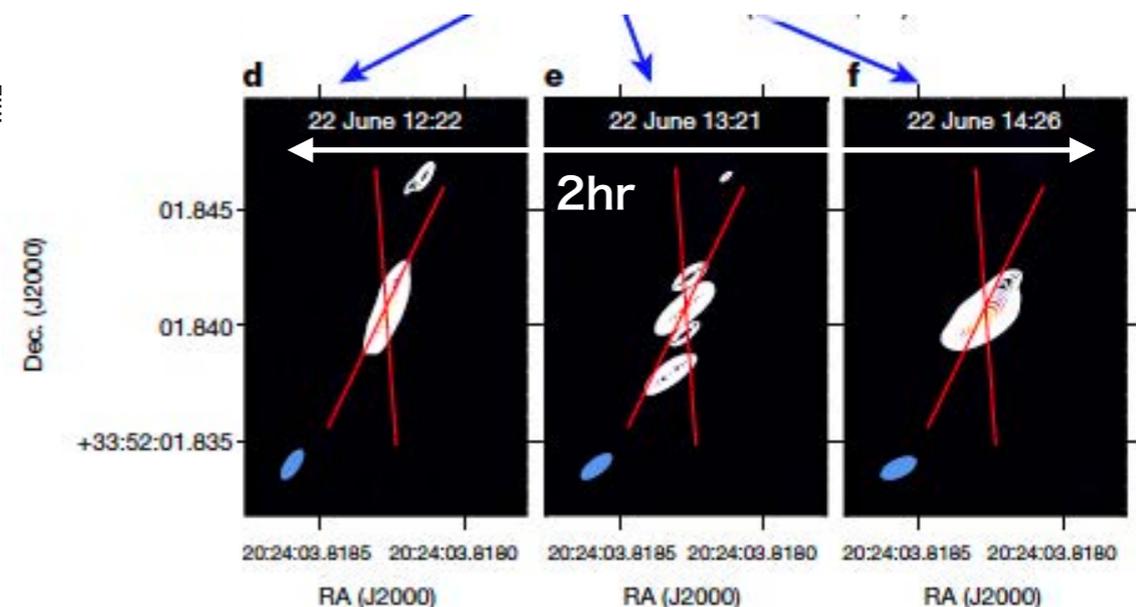
- X線 (円盤放射) と電波 (ジェット) で放射領域が異なるにも関わらず、両者の光度に強い相関が見られる (e.g., Islam & Zdziarski 2018)
  - ・ ジェット放射機構・噴出機構 (Disk-Jet connectionの立場から、近いが小さい)
- **30分程度の時間分解能でのイメージング**が直接的 (藤澤さんの講演 (GRS1915の例) )
  - ・ 空間スケールで数AU = 0.4mas@10kpcに相当

### ◎ 準備研究として取り組める天体 数天体くらいはある

- GRS1915, Cyg X-3, LS 5039などは静穏期で5-20mJy
- 感度向上 (検出感度で~1mJy) が重要→10天体以上



Cyg X-1の例 (Mirabel & Rodrigues 2003)



V404 Cygni with VLBA@15GHz (Miller-Jones+19)

# 「VLBIから紐解くコンパクト星の誕生と進化」

## 新規性・学問的インパクト・周辺分野への波及

- ◎誕生間も無い中性子星の発見、大質量星を伴うX線連星においてBH誕生と超新星爆発の結びつけ、は1天体でも大発見（質的）
- ◎国内VLBI業界の研究の方向性を変える質的な転換をもたらす
  - 学術的重要性にもかかわらず、中性子星・系内ブラックホールの研究は国内VLBI・電波天文コミュニティにとって従来は主要なテーマではない（研究者はいる）
  - 日本で培ったVLBIの実績を活かした新たな学問分野の開拓という位置づけ
- ◎波及効果
  - 分野横断的な波及効果は大きい
    - ・ 国内の他波長・理論研究のコミュニティは、中性子星・X線連星の研究で世界の中でも競争力がある
    - ・ 超新星爆発の研究コミュニティへのインパクト（高光度超新星がマグネターを駆動するという説もあり、爆発のメカニズムへの重大な示唆を与える可能性）

# 「VLBIから紐解くコンパクト星の誕生と進化」

## 日本の独自性と優位性

- ◎水沢VLBI観測所におけるVLBI位置天文の経験・技術の蓄積
- ◎JVN/EAVNおよびアジアへの拡張性
  - 大学望遠鏡を中心とした高感度VLBIによる時間領域天文学への取り組みの実績（フレア星、 $\mu$ クエーサー）
  - 低周波観測可能な大型望遠鏡との観測に向けた協力関係を構築済み
- ◎低周波観測や中性子星の研究に向けた技術的検討を継続
  - 国内望遠鏡による研究の経験（単一鏡/VLBI）
    - ・ 単一鏡や鹿島-臼田基線によるGRPの観測、VERAによるマグネター観測
  - 広帯域フィードの検討、低周波観測用の高温超電導フィルタの開発経験（水沢VLBI観測所や大学・企業との共同研究）
  - パルス解析の技術的経験の蓄積、高感度観測に向けたパルサーゲートシステムの方法論の確立

# 極限天体班

## 現状報告まとめ

- ◎系内コンパクト天体の研究は国内のVLBIコミュニティとして、  
これまでは主力サイエンスではなかった
  - これまで蓄積したVLBI位置天文的手法により重要な科学的成果を生み出す可能性がる
  - 将来の大型計画とも相補的な研究になる可能性は大きい
  - cm波主体、時間領域、他波長との連携
- ◎研究計画や実現性は引き続き検討継続
  - 準備研究はすでに開始
- ◎開発項目は開発WGとも相談中