

SKA-JP Science Strategy Workshop

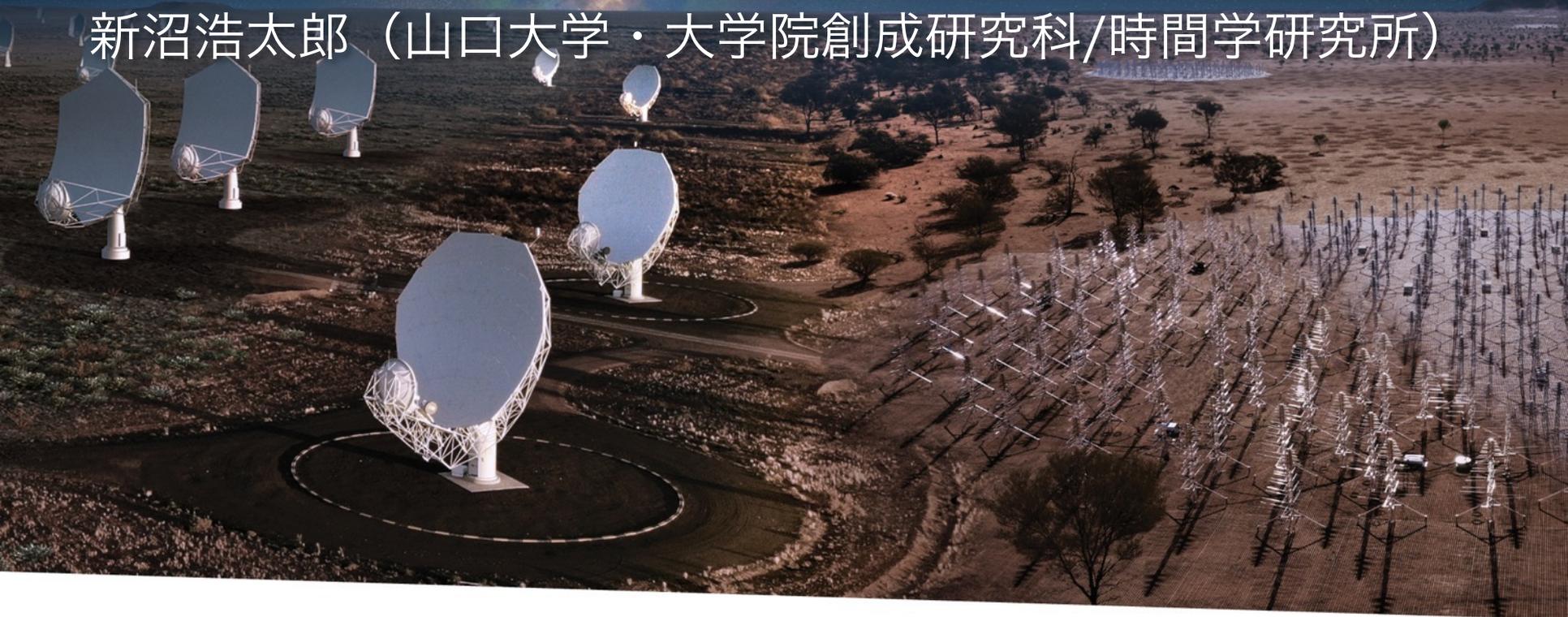
短時間電波トランジェントで挑む 宇宙の進化史

突発天体研究の常識を変えるSKA



SKA-JP突発天体科学検討班（メンバー：29名）

新沼浩太郎（山口大学・大学院創成研究科/時間学研究所）



多様な時間スケールの突発現象

GRB afterglow

AGN jet

Fast Radio Burst



NS-NS merger



Supernova



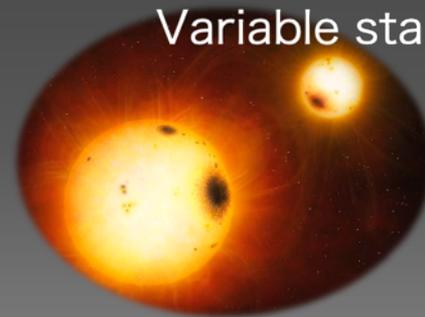
Tidal Disruption Event



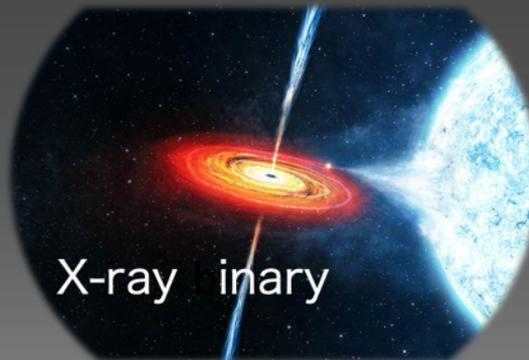
Magnetar Outburst



Variable star



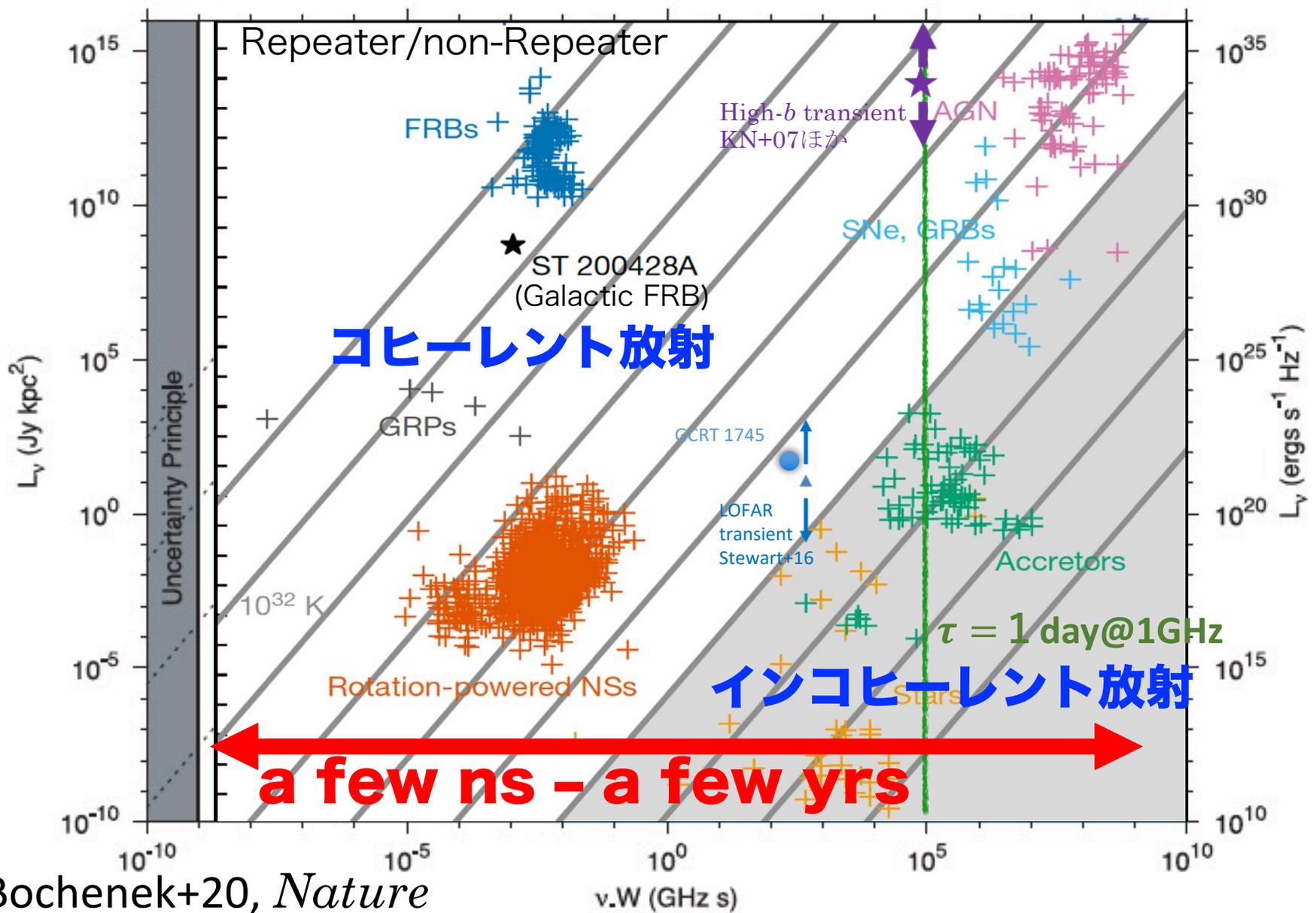
X-ray binary



Pulsar Giant Radio Pulse



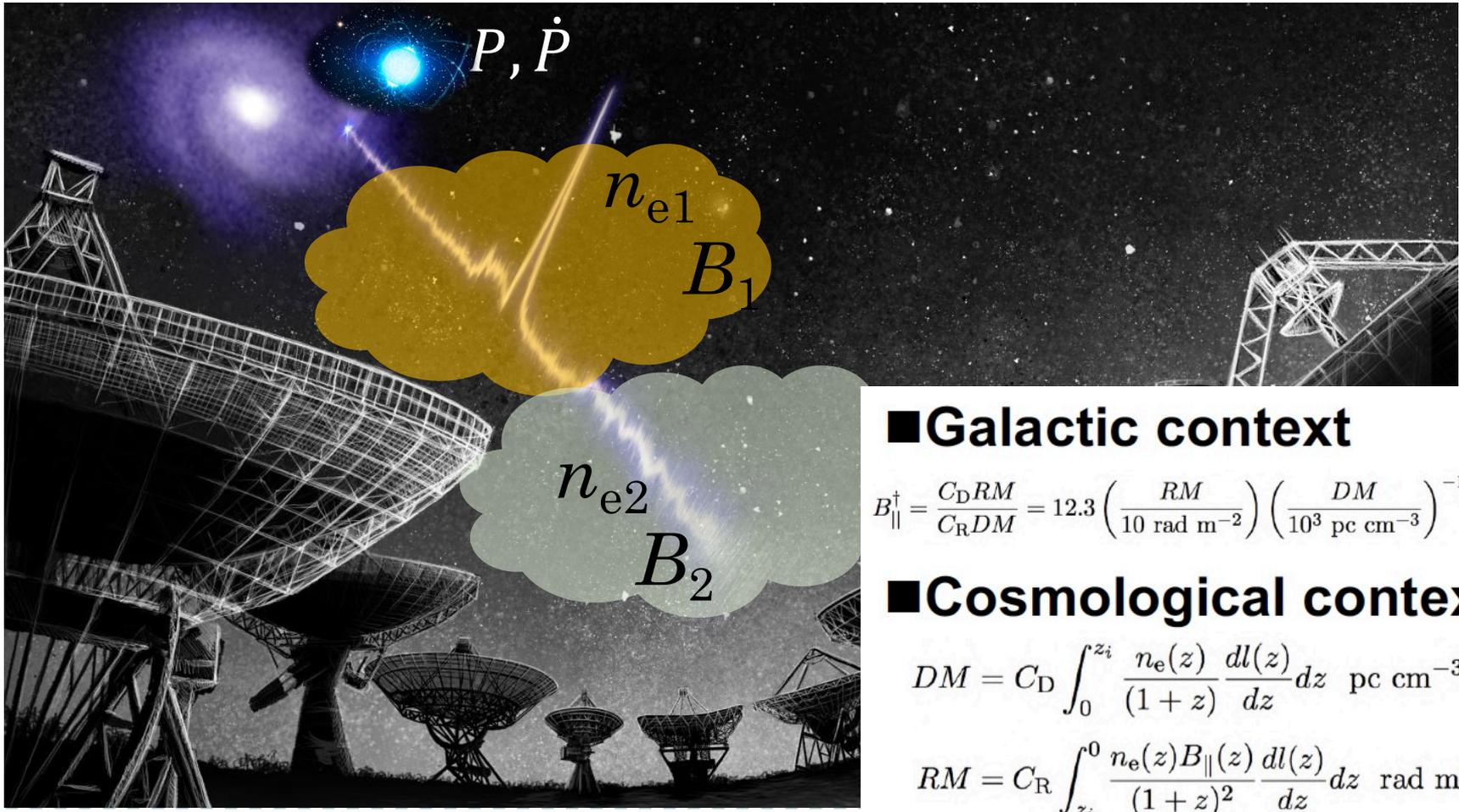
多様な時間スケールの突発現象



突発天体、突発的な電磁波放射

- 放射機構や起源など現象の理解が天体物理学的に重要
 - 中性子星、ブラックホール、コンパクト星連星、潮汐破壊現象
 - 多様な時間スケール、放射機構→極限下における多様な物理の実験場
- **天文学的・宇宙物理学的問題解決のプローブ**
 - マグネターアウトバースト
 - 中性子星の起源/進化、強磁場の起源、親SNR同定 → 物質循環の最終形態
 - Fast Radio Burst
 - 視線方向のIGMおよびIGM磁場の測量 (DM, RM) → 再電離史、大規模磁場構造の解明

コヒーレント (パルス) 放射 ISM/IGM環境調査のプローブ



Galactic context

$$B_{\parallel}^{\dagger} = \frac{C_D RM}{C_R DM} = 12.3 \left(\frac{RM}{10 \text{ rad m}^{-2}} \right) \left(\frac{DM}{10^3 \text{ pc cm}^{-3}} \right)^{-1} \text{ nG}$$

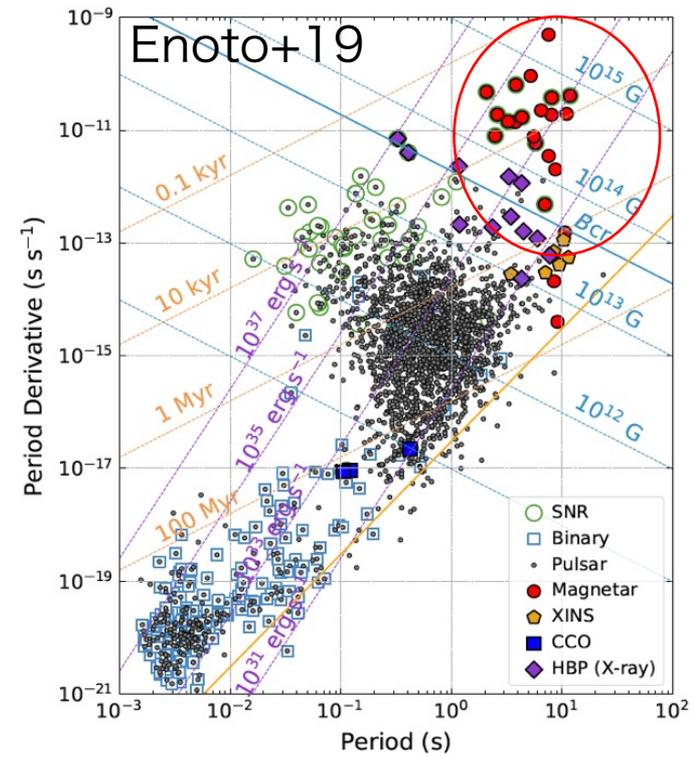
Cosmological context

$$DM = C_D \int_0^{z_i} \frac{n_e(z)}{(1+z)} \frac{dl(z)}{dz} dz \text{ pc cm}^{-3}$$

$$RM = C_R \int_{z_i}^0 \frac{n_e(z) B_{\parallel}(z)}{(1+z)^2} \frac{dl(z)}{dz} dz \text{ rad m}^{-2}$$

マグネター

- X線/ガンマ線における強力なエネルギー
- 電波でも突発的にある時期だけ検出（トランジェント）
 - 短いタイムスケールでパルスの特徴が変化
 - センチ波からミリ波に至る広帯域の放射
- 若く ($\tau_c \sim 10^4 \text{ yr}$)、極限的な強磁場 ($B = 10^{14} - 10^{15} \text{ G}$) を有する中性子星
 - 通常のパルサーとの違いは、その起源？進化過程や進化ステージの違い？親SNRとの関係は？
 - 強力な磁場の起源は？高速運動による周辺物質との相互作用？
- 既知のパルサーは2800天体に対し、マグネターは約30天体（~1%）、6天体（0.2%）のみ電波放射を確認
 - 電波放射有無の違いは？電波放射を引き起こす原因は？



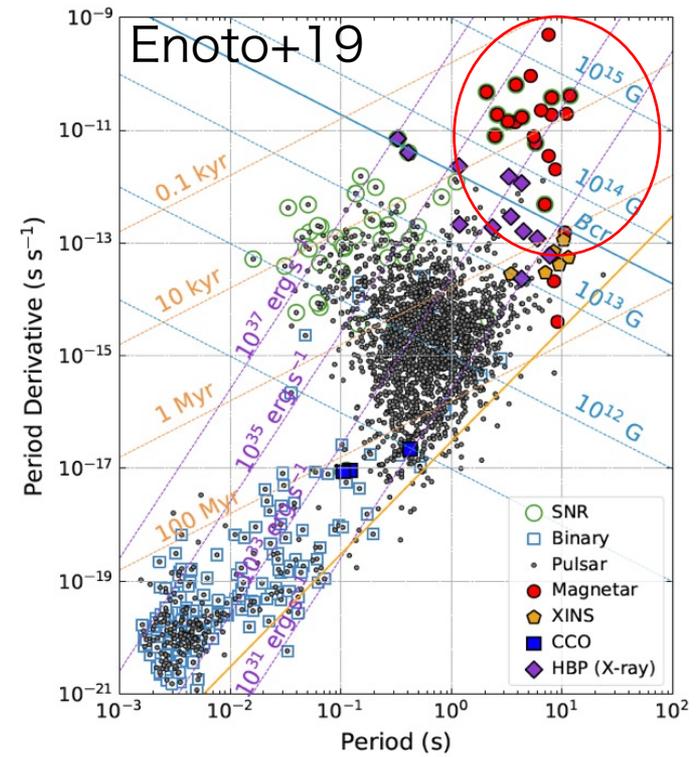
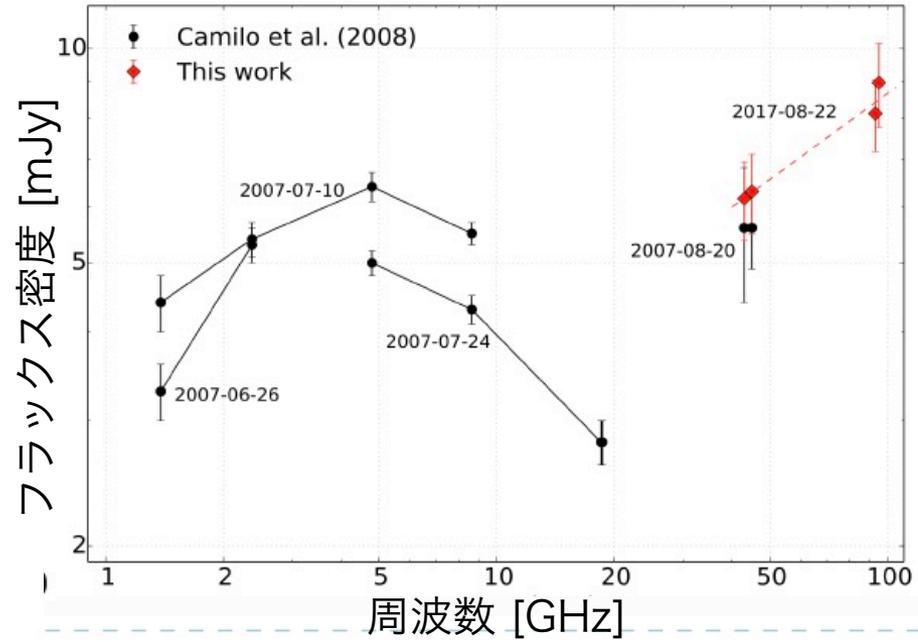
特性年齢 $\tau_c \propto P\dot{P}^{-1}$

双極磁場強度 $B_d \propto \sqrt{P\dot{P}}$

マグネター

- X線/ガンマ線における強力なエネルギー
- 電波でも突発的にある時期だけ検出 (トランジェント)
 - 短いタイムスケールでパルスの特徴が変化
 - センチ波からミリ波に至る広帯域の放射

PSR J1550-5418 (Chu+21)



特性年齢 $\tau_c \propto P\dot{P}^{-1}$

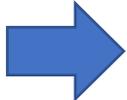
双極磁場強度 $B_d \propto \sqrt{P\dot{P}}$

マグネター

- X線/ガンマ線における強力なエネルギー
- 電波でも突発的にある時期だけ検出（トランジェント）
 - 短いタイムスケールでパルスの特徴が変化
 - センチ波からミリ波に至る広帯域の放射

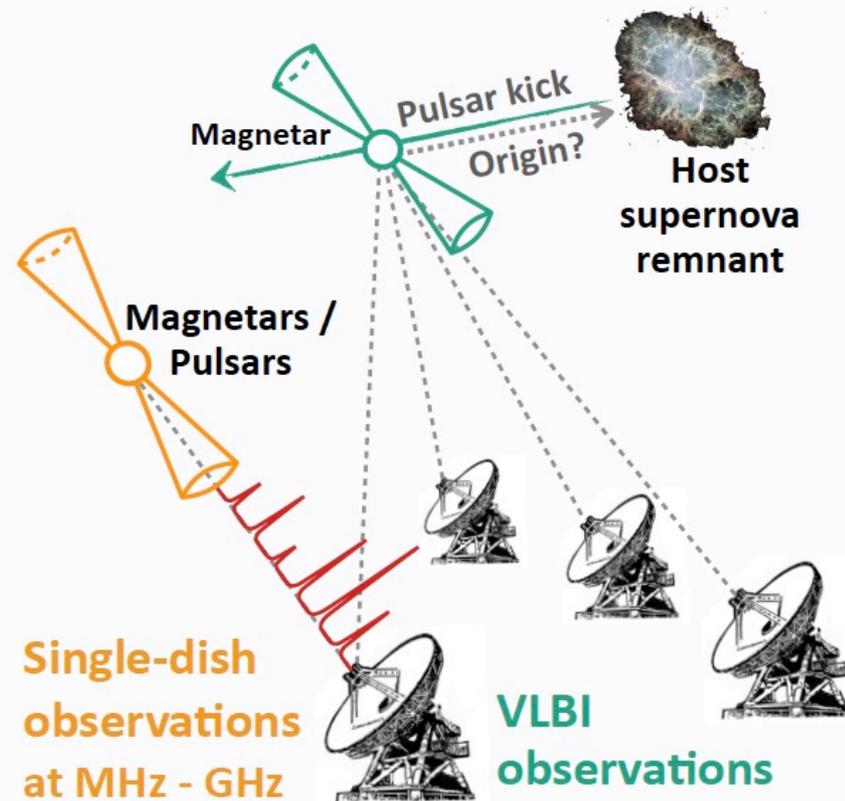
- 若く ($\tau_c < \sim 10^4 \text{ yr}$)、極限的な強磁場 ($B = 10^{14} - 10^{15} \text{ G}$) を有する中性子星
 - 通常のパルサーとの違いは、その起源？進化過程や進化ステージの違い？親SNRとの関係は？
 - 強力な磁場の起源は？高速運動による周辺物質との相互作用？

- 既知のパルサーは2800天体に対し、マグネターは約30天体 (~1%)、6天体 (0.2%) のみ電波放射を確認
 - 電波放射有無の違いは？電波放射を引き起こす原因は？

 **SKAは強力な観測装置！**

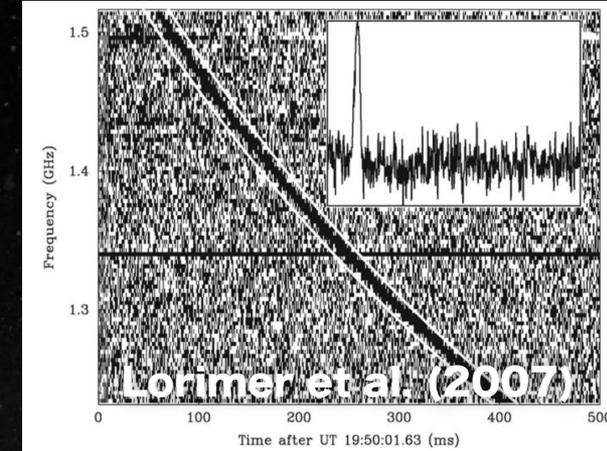
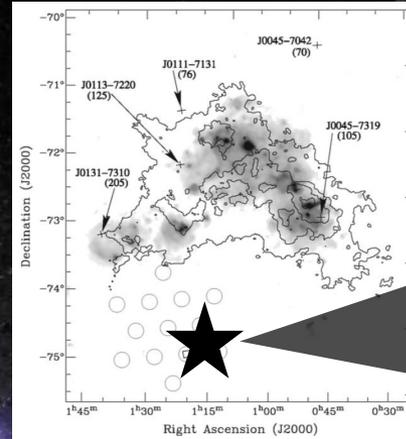
Japan SKA Consortium

Methodology



S. Eie, EA-SKA WS 2021

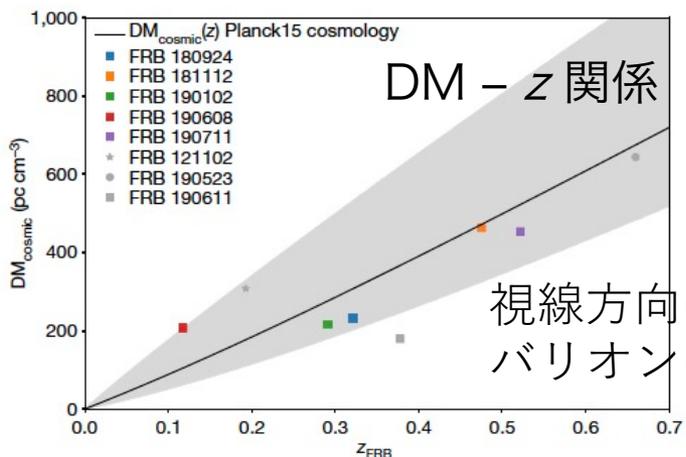
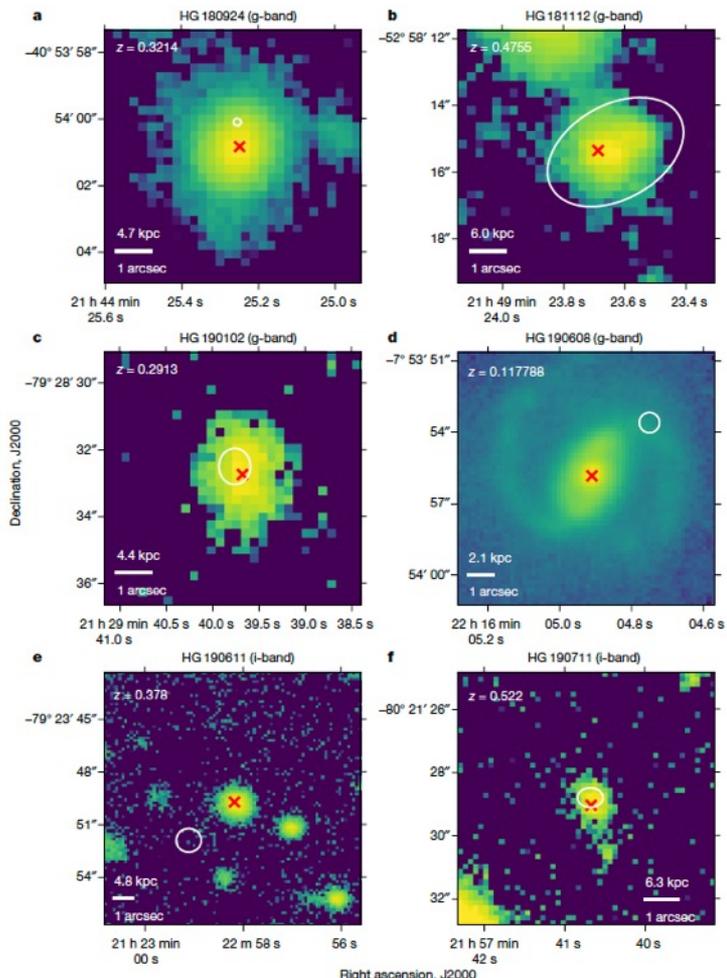
Fast Radio Burst : FRBs



2007年に初報告 (検出は2001年)

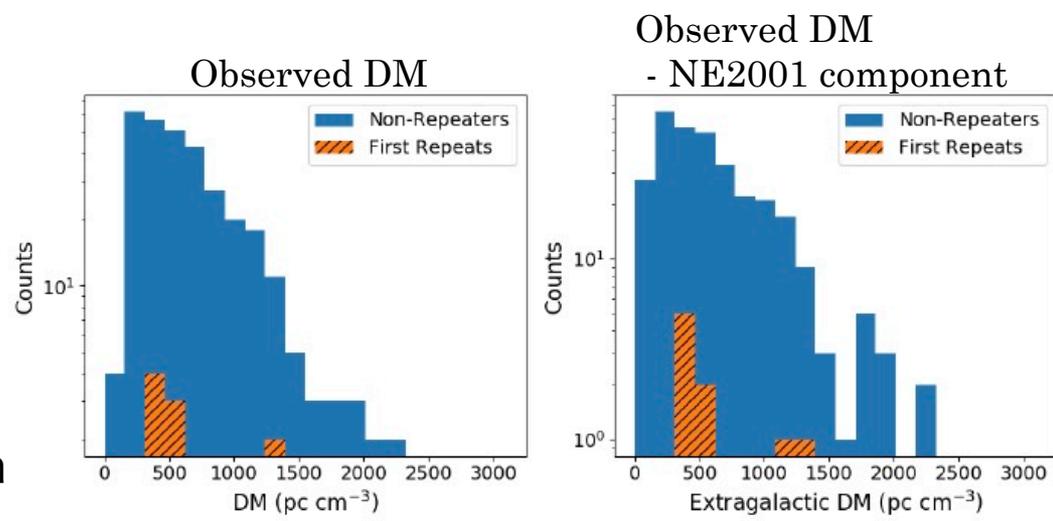
- 小マゼラン雲の南に出現
- 非常に大きな分散度 $DM_{IGM}(z) = \int_0^z \frac{n_e(z')}{1+z'} dl'$
→ 系外起源
- 継続時間は数ミリ秒
- 1GHz帯で1 Jyレベルの輝度
- 放射機構・起源ともに不明
- 現在では2種類の現象が知られている
(Repeater/non-Repeater)

ミッシングバリオン



視線方向の（電離）
バリオンの直接計測

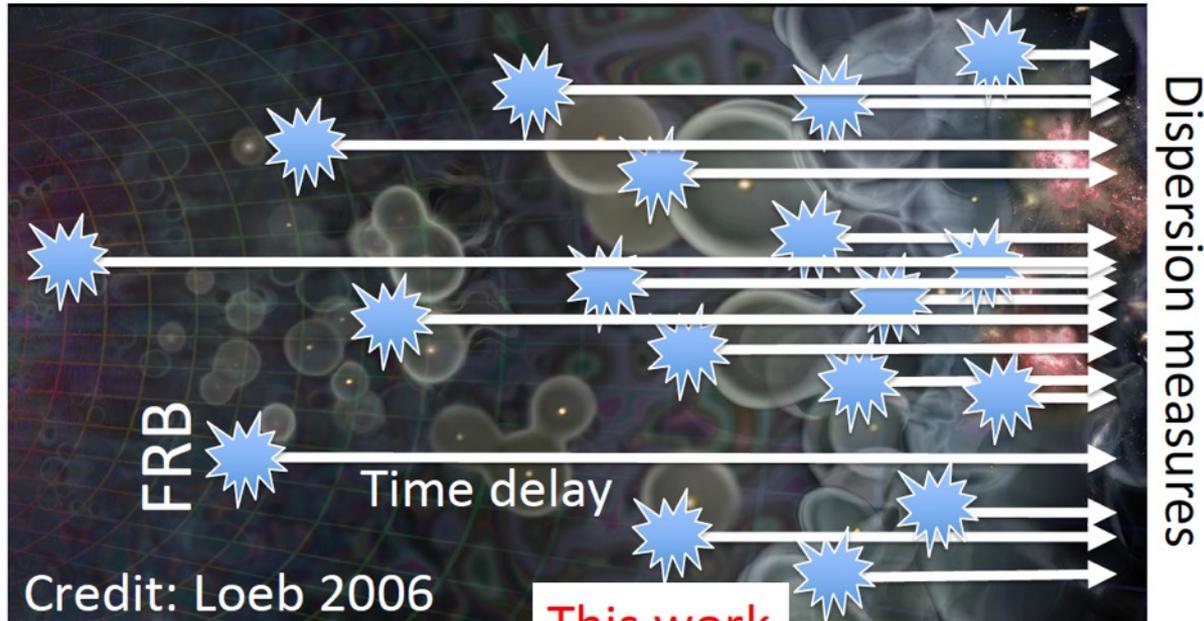
Macquart et al. (2020), *Nature*



VLTイメージとASKAP Localization

宇宙再電離史の探査

Hashimoto, EA SKA Workshop 2021



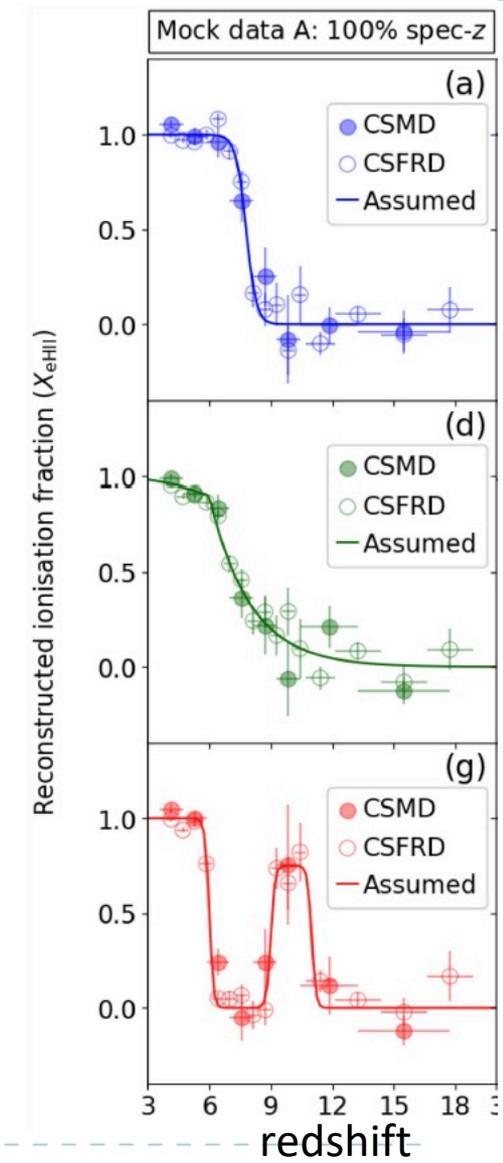
This work

Dispersion measures

$$DM_{IGM}(z) = \int_0^z \frac{n_e(z')}{1+z'} dl,$$

$$dDM/dz \propto n_e(z), X_e$$

Ionization fraction



宇宙磁場の探査

RM Measurement:

$$RM_{\text{obs}} \equiv \frac{\Psi(\lambda_1) - \Psi(\lambda_2)}{\lambda_1^2 - \lambda_2^2}$$

$$RM \text{ (rad m}^{-2}\text{)} \approx 811.9 \int \left(\frac{n_e}{\text{cm}^{-3}}\right) \left(\frac{B_{\parallel}}{\mu\text{G}}\right) \left(\frac{dr}{\text{kpc}}\right)$$

Faraday Tomography

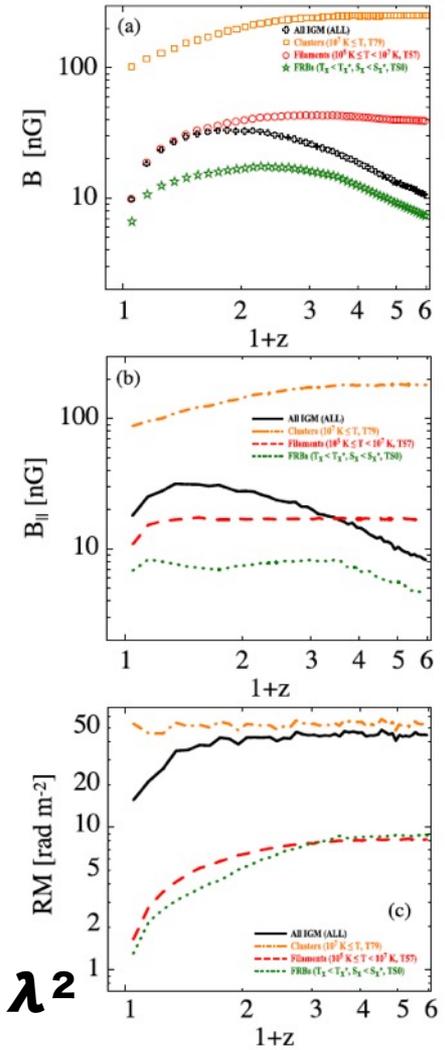
Pol. Int. $P(\lambda^2) = Q(\lambda^2) + iU(\lambda^2)$

Faraday Spectrum $F(\phi)$

$$F(\phi) = \int_{-\infty}^{+\infty} P(\lambda^2) e^{-2i\phi\lambda^2} d\lambda^2$$

Components: Ionosphere (ERR), Milky Way (ISM), Clusters, Galaxies (DIG), Intrinsic (INT)

We have to distinguish these components



Akahori, YITP Workshop 2021

SKA1 -> Wide range of λ^2



日本の狙い：方針と体制

Galaxy evolution & high-z universe

Cosmic Magnetism

Pulsar

亀谷、久野、喜久永ほか

宇宙再電離史

橋本ほか

IGM磁場の構造・起源

赤堀ほか

特異なNSの起源と進化

年齢と種族
強磁場の起源
FRBとの関係

DM, 高精度z

FRB

RM, DM, 高精度z
Wide range of λ^2
ファラデーモグラフィ

マグネター

周期・周期変化率
広帯域スペクトル
DM, RM

久野、喜久永、池邊ほか

Eie、赤堀、寺澤、榎戸ほか

位置天文観測

SKA-VLBI

広帯域観測

SKA1-LOW/MID (ALMA)

赤字は学生

↔
連携が期待

SKA1によるサーベイ観測

パルサー・トランジェント探索

他波長観測 (X線)

NICER, XRISM など

日本の取り組み：現在、今後

- 国内電波望遠鏡による観測
 - 観測・解析ノウハウの蓄積（寺澤、Eie、赤堀、池邊、本間、新沼）
 - データフォーマット変換および標準ソフトウェア使用の可能性調査（久野ほか）
- 光学望遠鏡との同時観測の実施（FRB）、X線との連携（マグネター）
 - 光学高速撮像装置（木曾、京大3.8m）など大学間の連携（前田、新沼、寺澤ほか）
 - X線観測（NICERなど）との連携（榎戸、寺澤、赤堀、Eieら）
 - マルチメッセンジャー協力（端山、新沼ほか）
- MWAを用いたFRBの観測、Parkesアーカイブデータの解析、FASTによるマグネター観測の提案（久野、Eie、赤堀ほか）
- その他Precursor/Pathfinderデータを用いた準備研究の可能性調査（久野、赤堀、新沼）
 - 若手の活躍の場開拓、他のSKA-JP WGとの横断的な研究体制構築の重要性（特にEoR班、宇宙磁場班、パルサー班などと）

日本の取り組み：マグネター

litate 31m (0.3 GHz), Kashima 34-m (2 GHz), Hitachi 32-m (7/8 GHz), four VERA 20m (22 GHz), and NICER and Swift



18.12.18
19.01.07
19.01.21
19.02.15



18.12.18
19.01.07
19.01.21
19.02.15



18.12.14
18.12.18
19.01.07
19.02.15
19.04.23
19.06.12



18.12.13
18.12.18
19.01.07
19.01.09
19.02.15
19.03.04
19.03.31
19.04.23
19.06.12



18.12.18
19.01.07
19.01.21
19.02.15

18.12.18
19.01.07
19.01.21
19.02.15

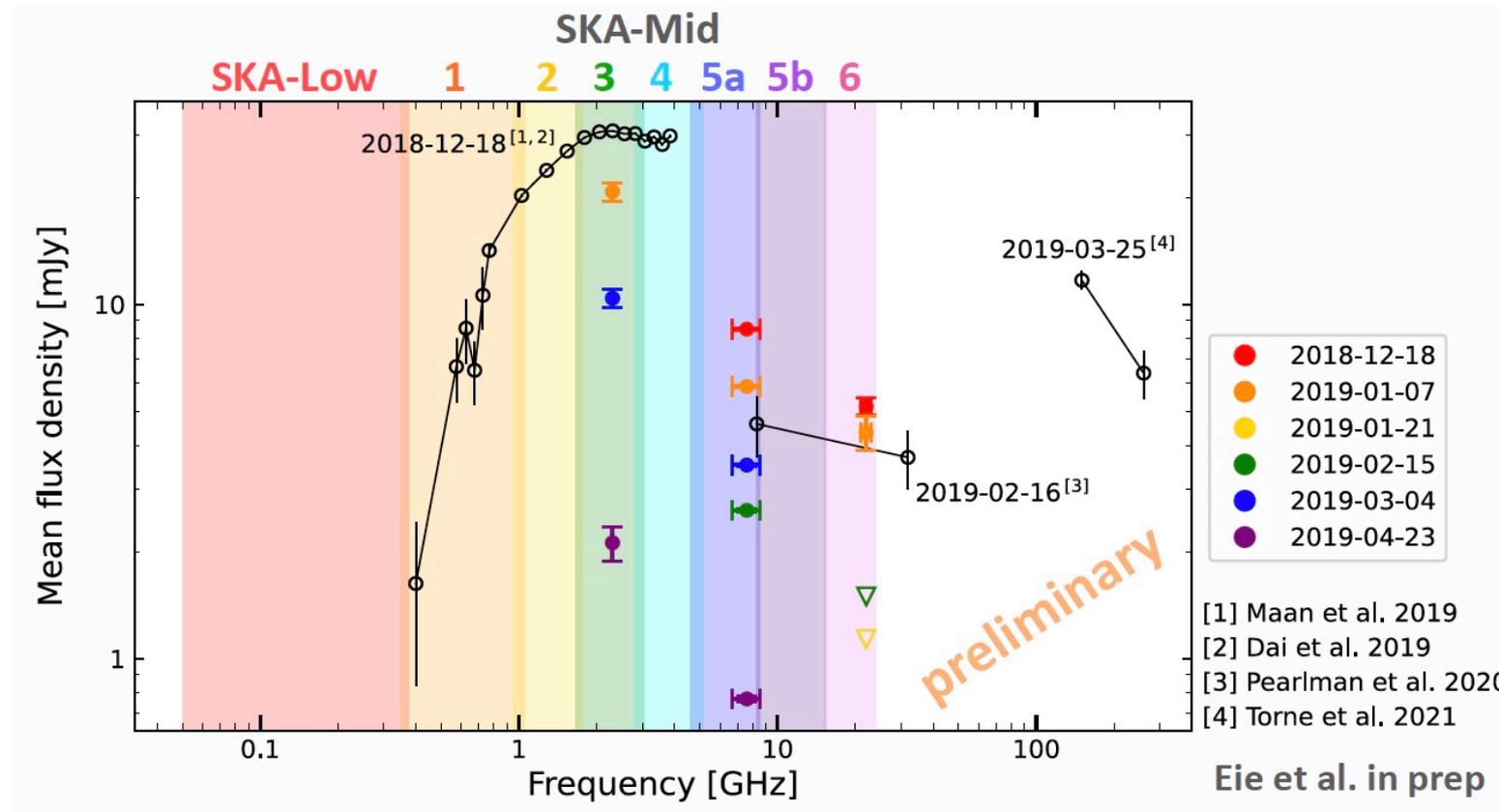


18.12.14
19.01.07
19.02.15
19.03.04
19.04.23
19.06.12

JVN

日本の取り組み：マグネター

国内望遠鏡によるXTE J1810-197の追観測 in 2018-2019



まとめ

- 日本の戦略、方針、体制
 - 短時間トランジェントをプローブにした**中性子星における極限的な強磁場の起源や進化、宇宙再電離史や宇宙磁場の起源**にアプローチ
 - 他のSWGと独立/相補的な手法による検証→強い連携が期待
 - 遅れをとっているFRBの観測についても自前望遠鏡による経験の蓄積と他波長連携
 - 若手の参入・育成に向けた先行機・開拓機アーカイブによる準備研究の可能性調査
- SKA時代の高感度・広域サーベイによる突発天体研究で宇宙物理学・天文学へ大きなブレークスルーが期待
 - 電波マグネターの増加、超強磁場マグネターの発見
 - 超高DM-FRBの発見
 - FRB母銀河（DM+母銀河同定+高精度z特定）と銀河進化、FRB rate & CCSNe rate etc… → 検出から統計的理解へ