

SKA-Japan パルサーグループ

高橋慶太郎
熊本大学

2021年7月12日

パルサー

パルサー

- ・ 周期的なパルス
- ・ 電波～ガンマ線
- ・ 周期：1 ms ~ 10 s
- ・ とても安定な周期
- ・ 2,800個程度発見
- ・ 高速回転する中性子星

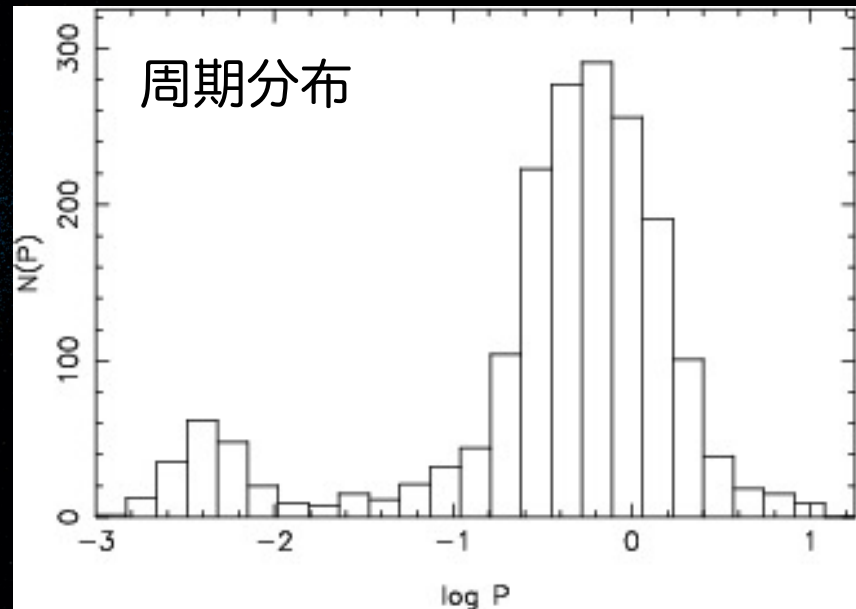
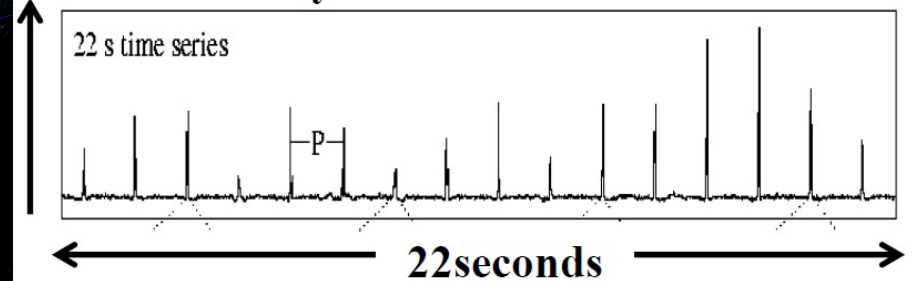
ミリ秒パルサー

- ・ 周期 < 30 ms
 - ・ 250個程度発見
 - ・ このうち数十個は特に周期が安定
- PTA、相対論テスト

Pulses from a pulsar(PSR B0301+19)

(in Lorimer and Kramer, "Handbook of Pulsar Astronomy", 2005)

Radio Intensity



SKAによるパルサー観測

観測戦略

- ・ 低周波の方が明るい、遅延や散乱が大きい
→ 銀河面は高周波、面外は低周波
- ・ 全天サーベイ
- ・ ターゲット観測（銀河中心、球状星団、系外銀河）

SKA1サーベイ

- ・ 9,000ノーマルパルサー
- ・ 1,400ミリ秒パルサー

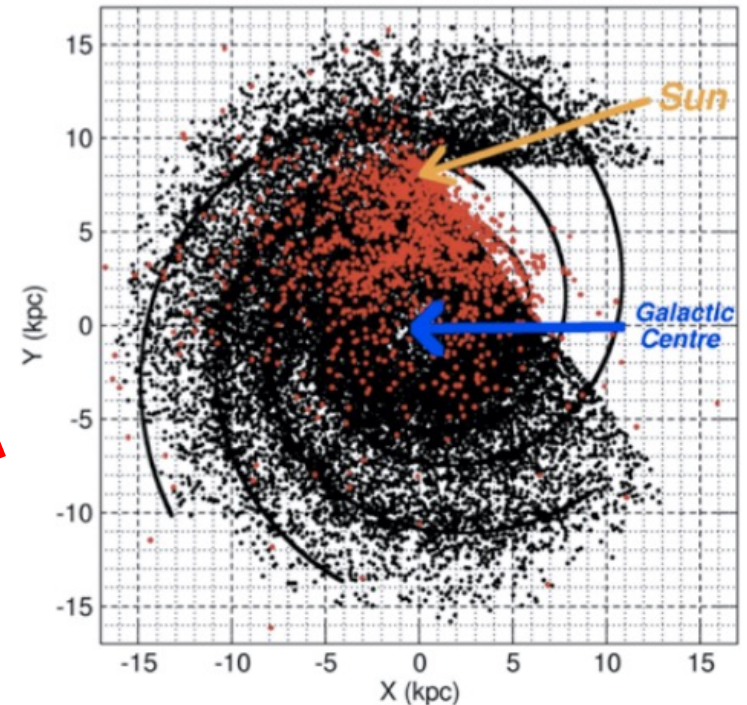
4倍！

SKA2サーベイ

- ・ 30,000ノーマルパルサー
- ・ 3,000ミリ秒パルサー

10倍！

→ こっちに向いてるパルサー全部！

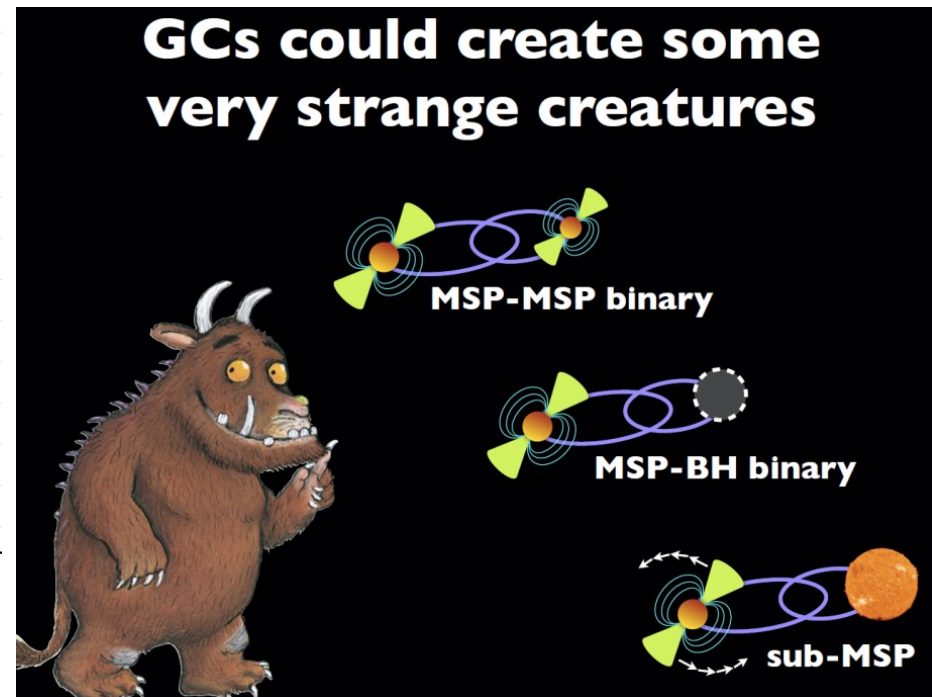
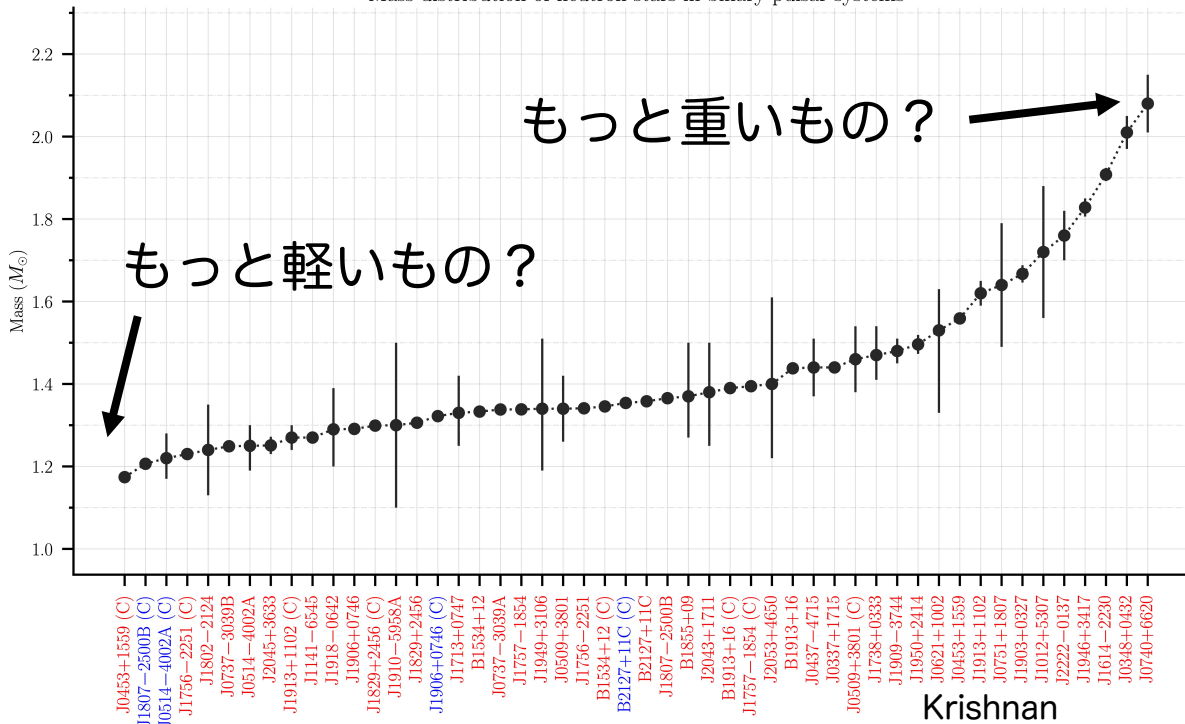


SKAによるパルサー観測

これだけたくさんあると

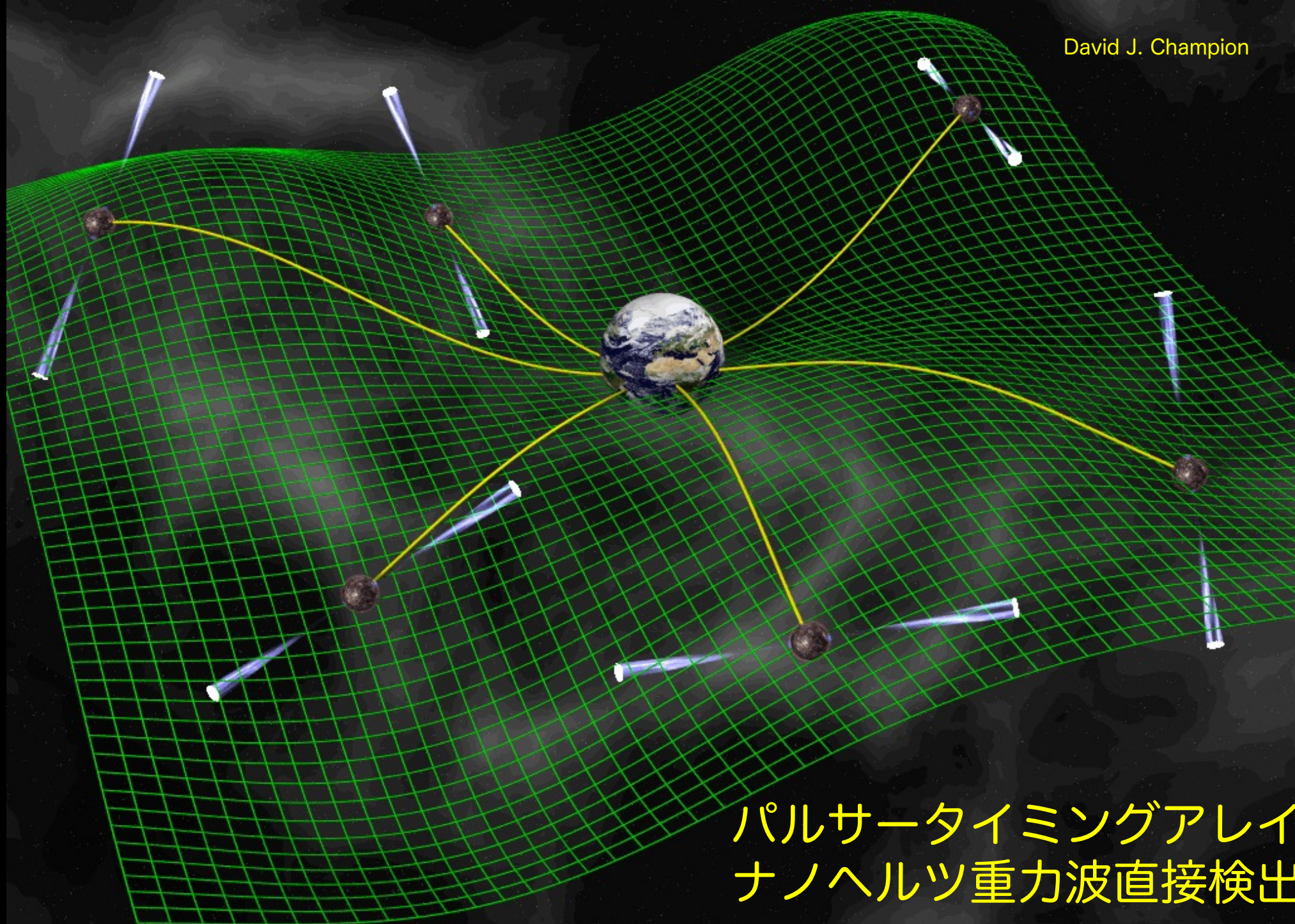
- 統計
 - 光度関数
 - 質量関数
 - 銀河系地図
- 珍しいパルサー
 - サブミリ秒パルサー
 - 最大質量、最小質量
 - 極限的連星

Mass distribution of neutron stars in binary pulsar systems



SKAパルサーサイエンス

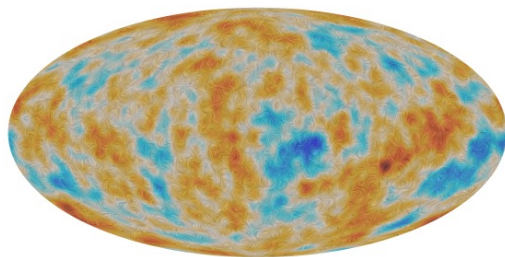
- パルサー国勢調査
 - 基礎物理の探求
 - 強重力での相対論検証
 - 重力波直接検出
 - 核物質の状態方程式
 - パルサー磁気圏
 - パルサー風
 - 中性子星の誕生、進化
 - 銀河系の構造（ガス・磁場）
 - 銀河間ガス
- } SKA highlights



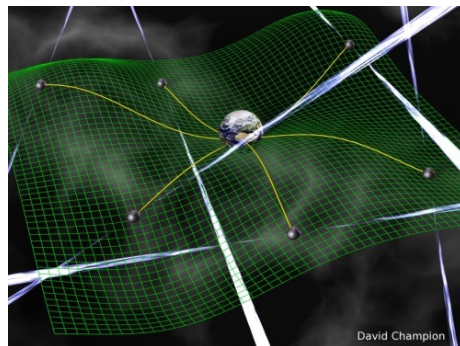
パルサータイミングアレイ
ナノヘルツ重力波直接検出

多波長重力波天文学

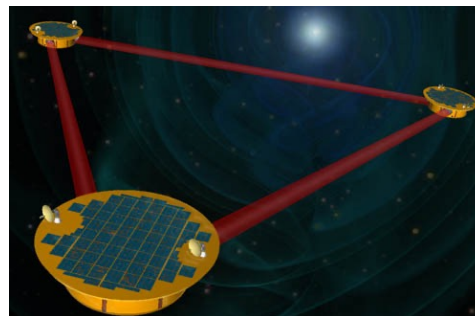
CMB



PTA



space



ground



超巨大BH連星

超新星

コンパクト連星

宇宙ひも

原始重力波

10^{-17}Hz

$\sim 1\text{nHz}$

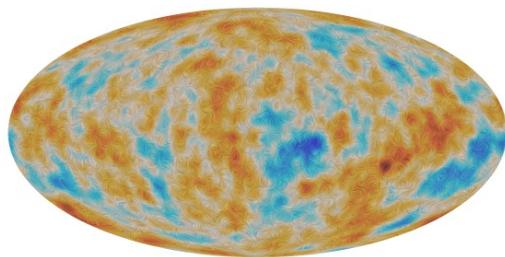
$1\text{mHz}-0.1\text{Hz}$

100Hz

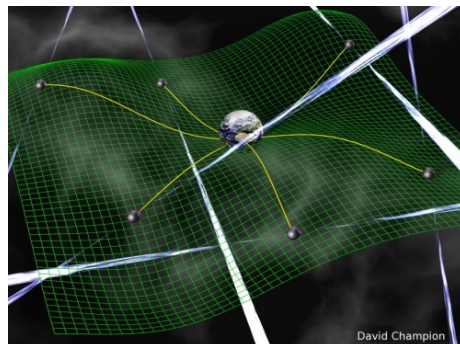


多波長重力波天文学

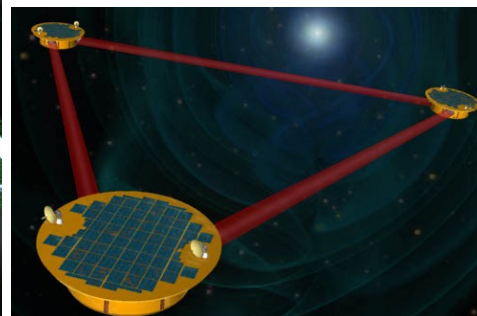
CMB



PTA



space



ground



SKAO



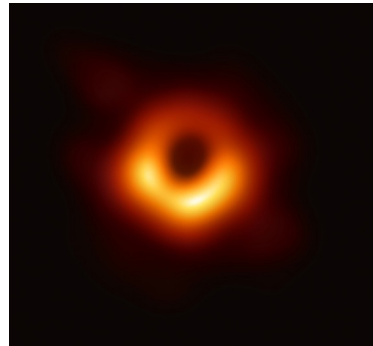
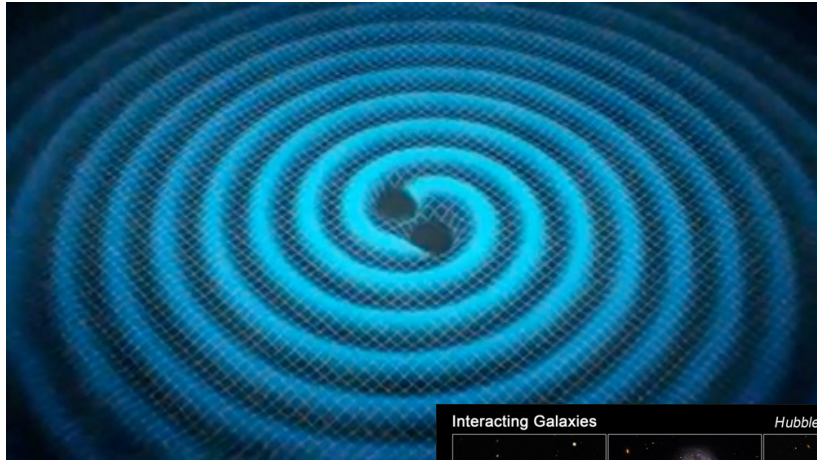
インフレーション宇宙を検証するCMB偏光観測小型科学衛星

LiteBIRD

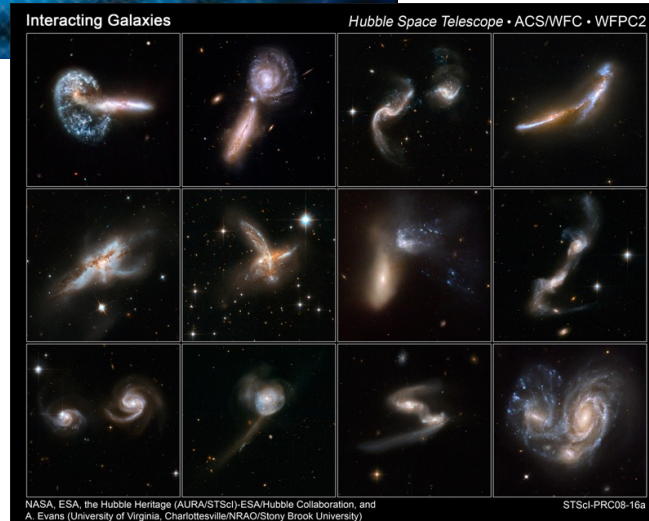
Lite (Light) satellite for the studies of B-mode polarization and Inflation from cosmic background Radiation Detection

ナノヘルツ重力波

超大質量ブラックホール連星

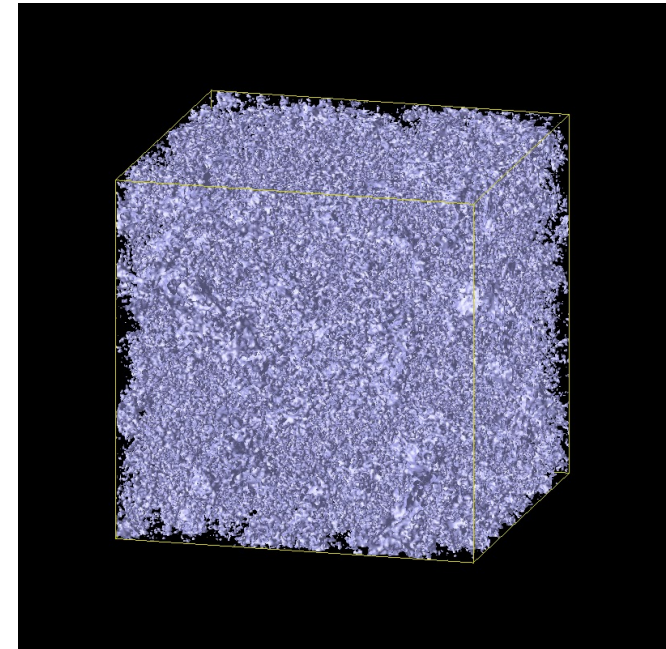


Event Horizon Telescope



NASA, ESA, the Hubble Heritage (AURA/STScI)-ESA/Hubble Collaboration, and A. Evans (University of Virginia, Charlottesville/NRAO/Stony Brook University) STScI-PRC08-16a

宇宙ひも



Hiramatsu, KT+ 2013

SMBHの形成と進化
初期宇宙・素粒子モデル

感度予想

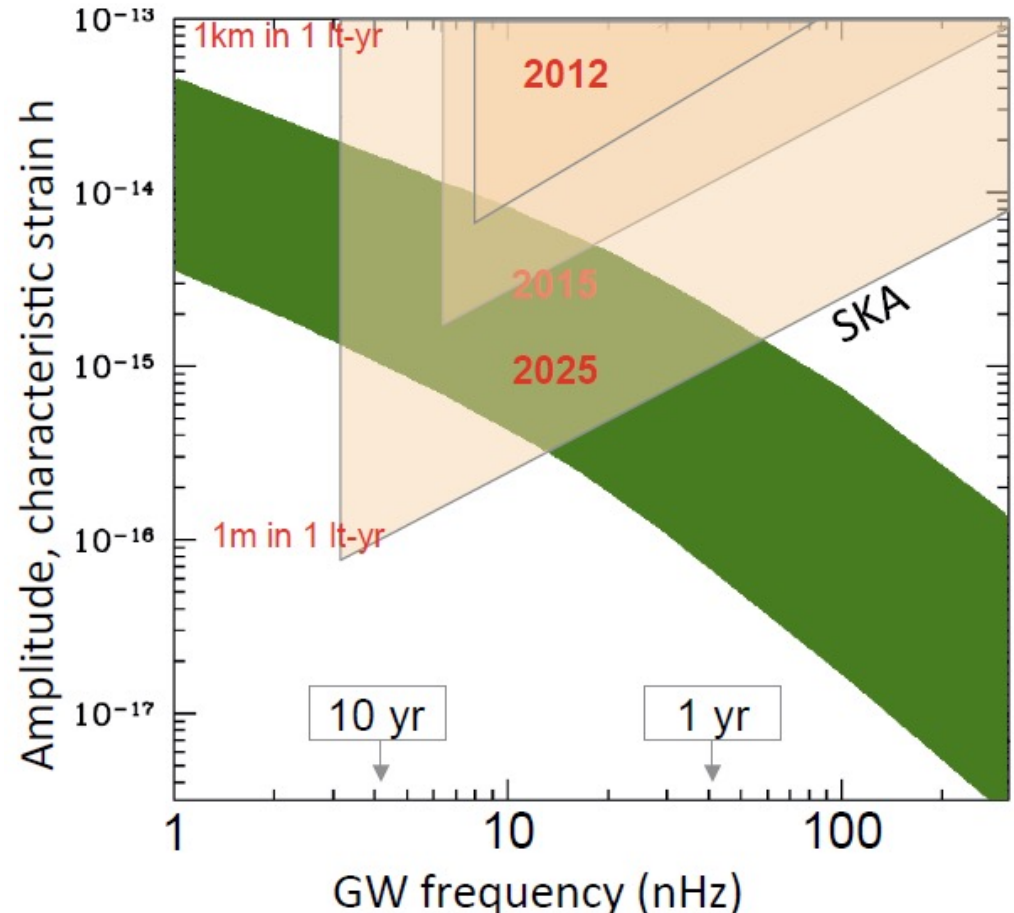
M. Kramerスライド

背景重力波

- すでに感度は予測値の上限に近く、検出の兆候も見られる
- SKA以前に検出される可能性はある
- SKA1なら検出は確実。さらにスペクトル測定も可能に。

単一重力波源検出

- 現状は上限のみ
- SKA1なら可能に

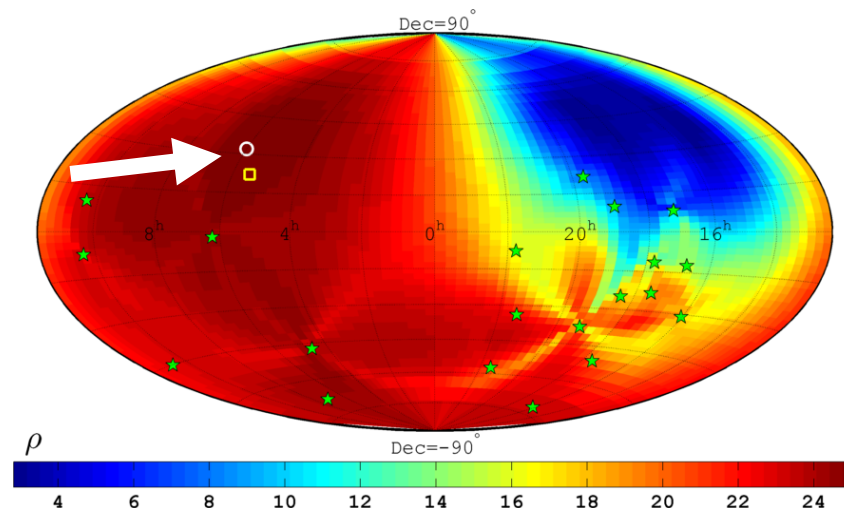


検出だけで満足か？

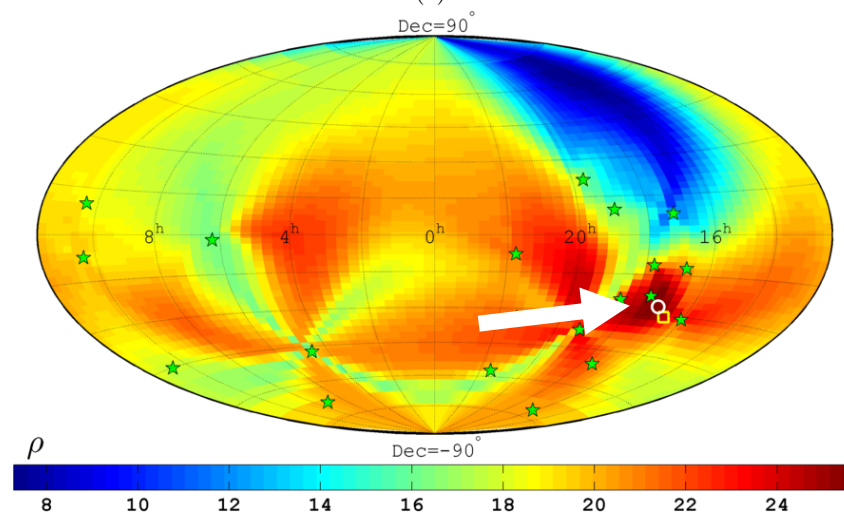
Zhu+ 2014

- 一方、
- ・ 単一重力波源の位置決定
 - ・ 背景重力波の非等方性検出
 - ・ 重力波波形の測定
- はSKAがあっても現状の方法論では難しい。

PPTAにおける単一重力波源の位置決定シミュレーション (Zhu+ 2014)
決定精度は
 $O(10) \sim O(1000)$ 平方度



(a)



(b)

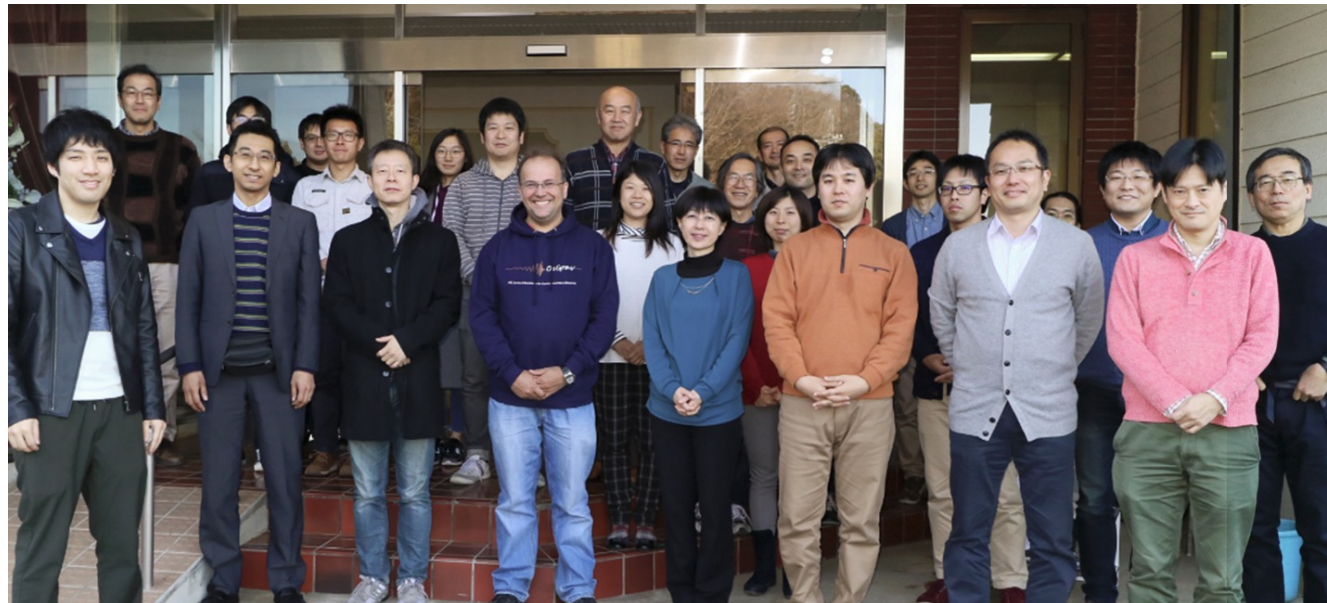
SKA-Japanパルサーチーム

- メンバー：20名
- 月1回のzoom会議
- 研究会開催
- パルサー理論、パルサー観測、重力理論、宇宙論などの混成チーム
- Parkes、InPTA、MWA、NANOGravなどとの共同研究

JSPSパンフレットより



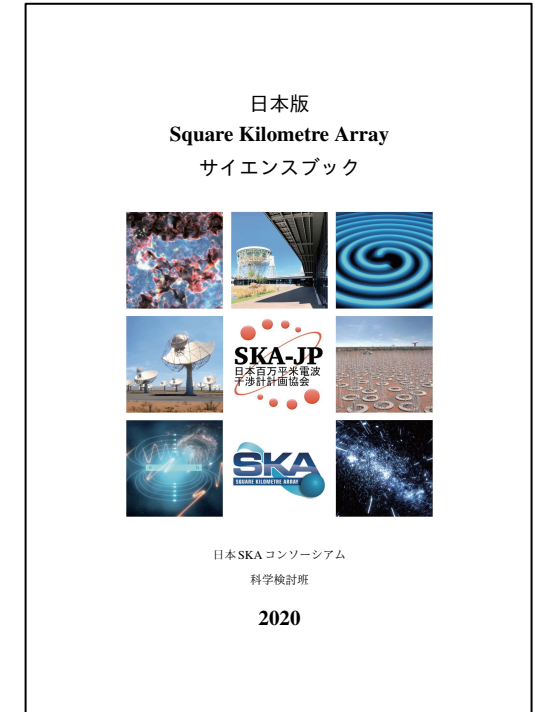
オーストラリア(OP)との共同研究(熊本大学、高橋慶太郎准教授)



研究会
@鹿島(2018)

サイエンスブック

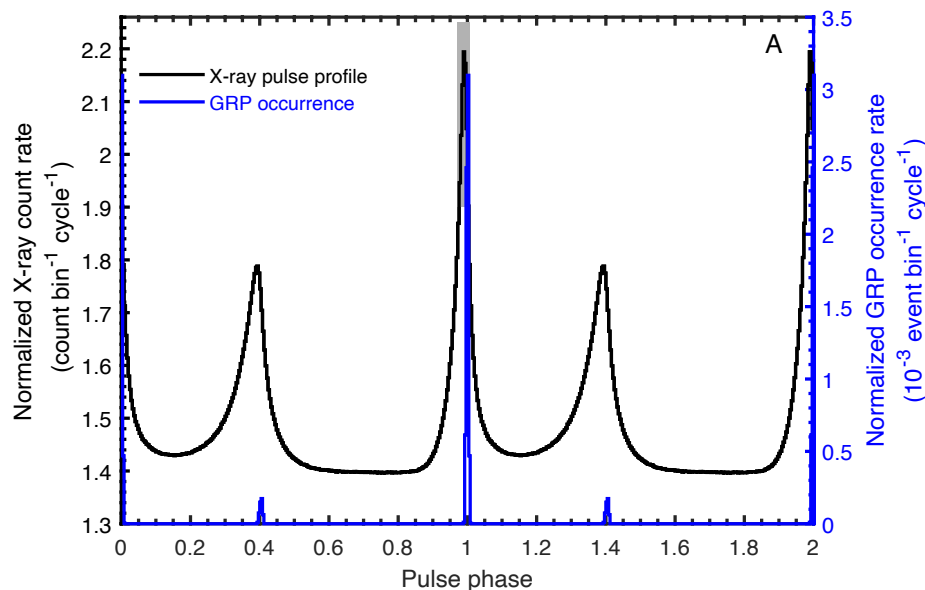
第5章 パルサー	162
5.1 パルサー研究の現状と未解決問題	162
5.1.1 パルサーの多様性	162
5.1.2 パルサー磁気圏	164
5.1.3 パルサーによる重力波検出	165
5.1.4 パルサーによる一般相対論検証	167
5.1.5 パルサーを用いた銀河の磁場構造の研究	169
5.2 国際SKAのサイエンス	171
5.2.1 SKAを用いたパルサー探査	171
5.2.2 天の川銀河中心のパルサー	172
5.2.3 SKAによる重力波天文学	173
5.2.4 Tests of Gravity with Pulsars (パルサーによる重力理論の検証)	175
5.2.5 パルサー磁気圏	177
5.2.6 Structure and the Magnetoionic Interstellar Medium	179
5.3 日本のサイエンス	180
5.3.1 パルサーサーチの新技术	180
5.3.2 パルサータイミングアレイによる重力波検出	181
5.3.3 パルサースピンドアウン率統計による超低周波重力波検出	184
5.3.4 パルサータイミングアレイによるアキシオン探査	185
5.3.5 パルサーによる重力理論の検証	187
5.3.6 パルサー磁気圏	188
5.3.7 グリッチの観測的研究	189
5.3.8 モンテカルロシミュレーションによる銀河系磁場構造の決定	189
参考文献	192
著者一覧	195



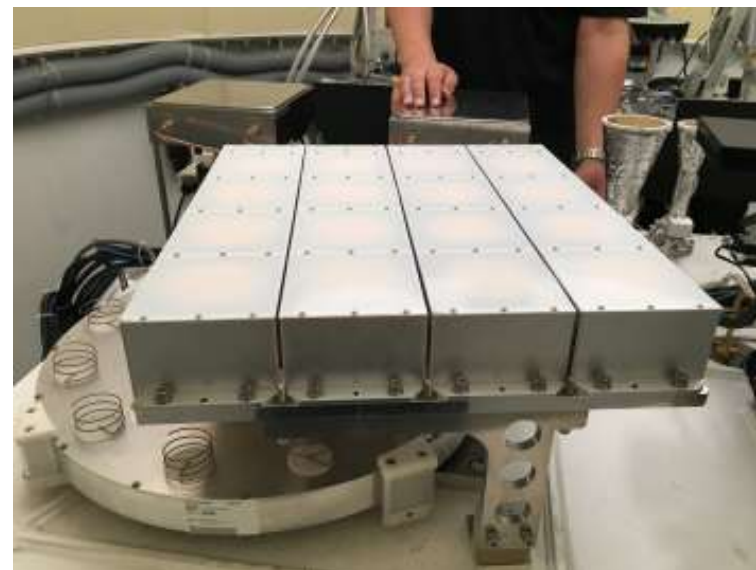
日本の研究 1

- X線との同時観測 (Enoto, Terasawa, Kisaka, Shibata+, 2021)
- 国内パルサー観測体制の構築 (亀谷・寺澤・今井・新沼)
- MWA100MHz帯でのパルサー探査 (久野)

巨大電波パルスとX線パルスの相関
(Enoto+, 2021)



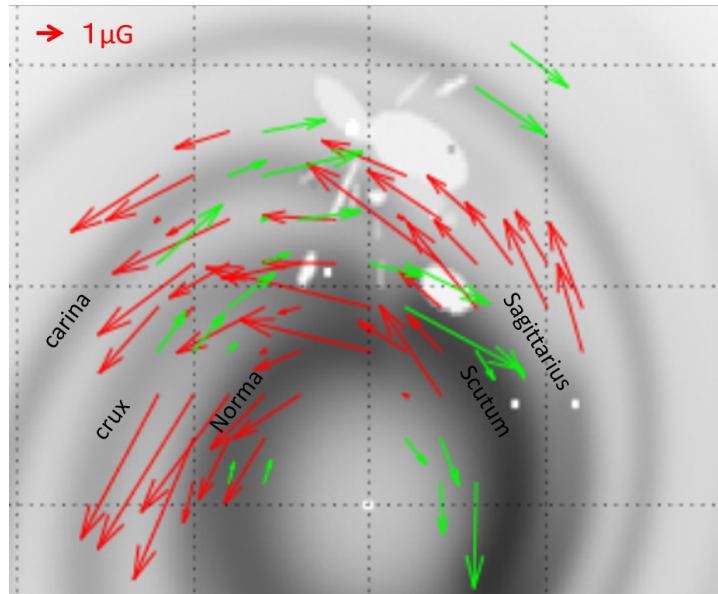
VERA水沢局、石垣島局のL帯受信装置 (亀谷さん提供)



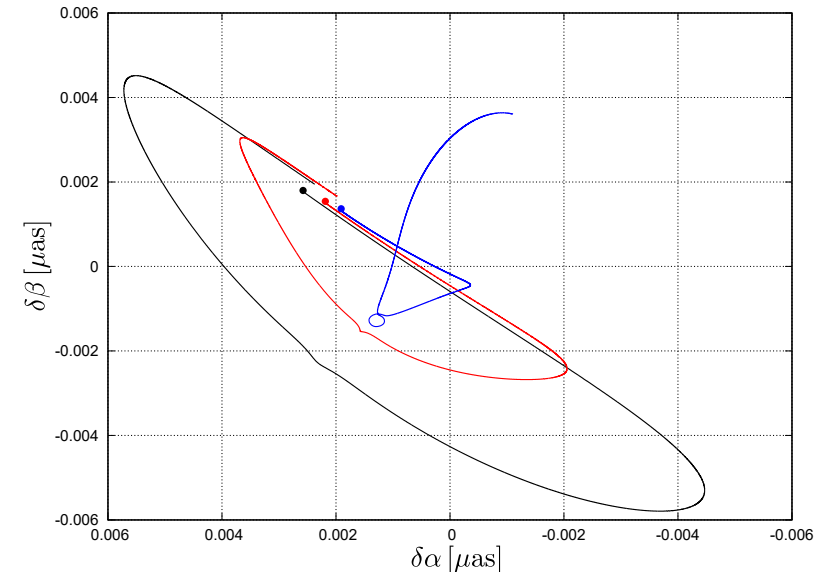
日本の研究 2

- パルサーペアによる銀河系磁場の探索 (大野)
- アクシオン暗黒物質をまとったブラックホール時空
(Yoo, Sakurai, KT+, in prep)
- 修正重力理論における回転ブラックホール時空
(Takamori, Naruko, Yamauchi, KT+, in prep)

パルサーペアから銀河系磁場を探る
(大野さんスライド)

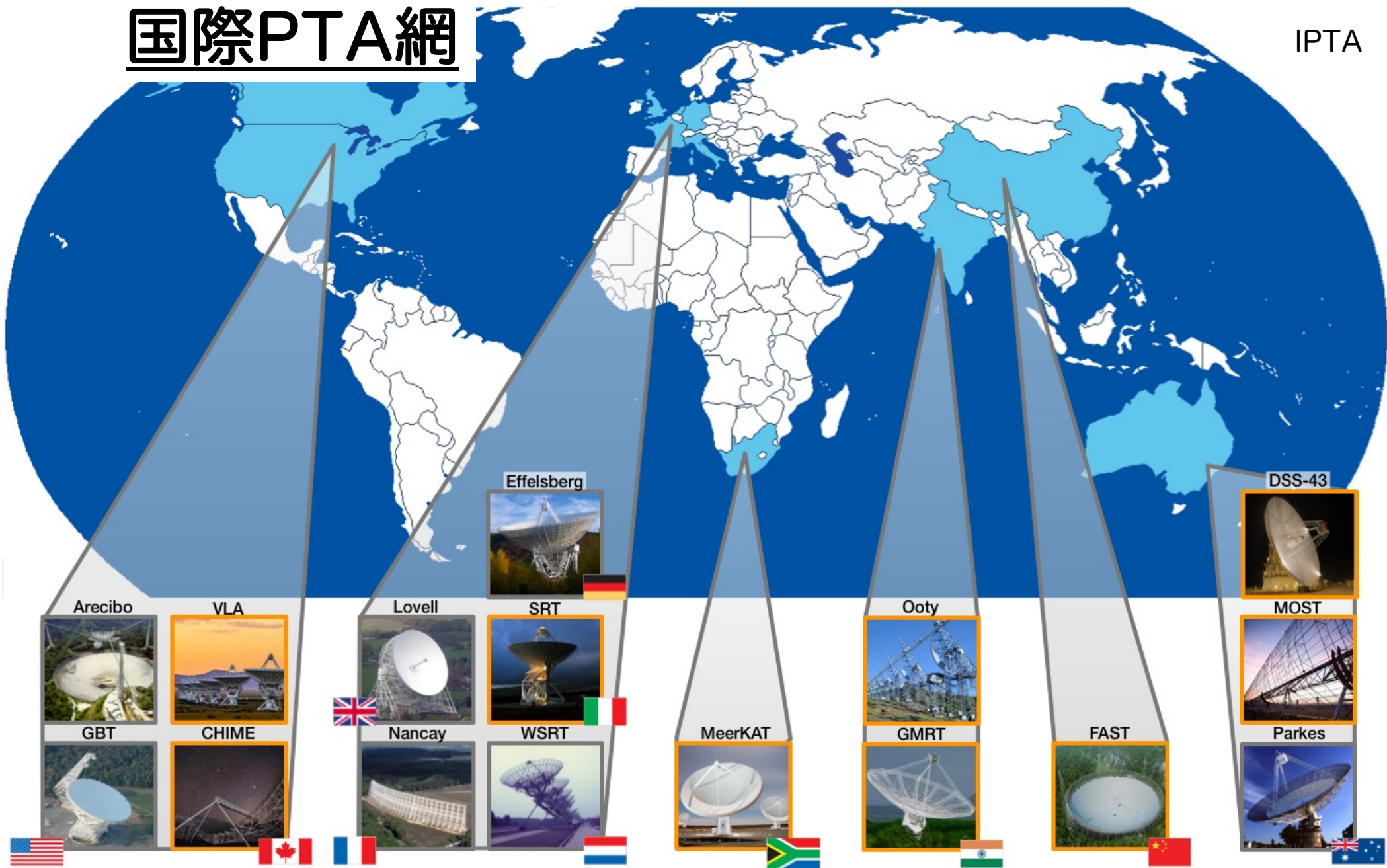


カーブラックホールではない
回転ブラックホールの周りを回る
パルサーの軌道のずれ (Takamori+)



國際PTA網

IPTA



国際PTA網

IPTA

NANOGrav : 久野・高橋

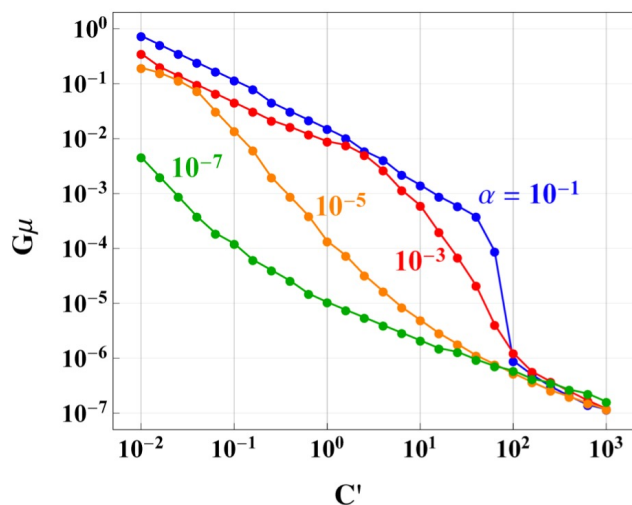
InPTA :
久野・喜久永
齋藤・加藤
新沼・高橋

PPTA :
喜久永・高橋

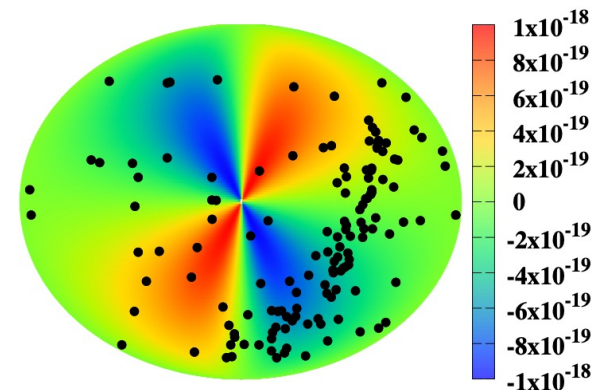


日本の研究：パルサータイミングアレイ

- 宇宙ひも重力波サーチ (Yonemaru, Kuroyanagi, KT+, 2021)
- サブナノヘルツ重力波検出法
(Yonemaru, Kumamoto, Hisano, KT+, 2016, 2018, 2019, 2019)
- 楕円軌道SMBH連星重力波への制限 (Kikunaga, KT+, submitted)
- 円偏波重力波サーチ (Kato+, 2016)
- アクシオンサーチ (Kato+, 2020)
- J1713+0474パルス形状変化
(Singha, Hisano, Kato, Kikunaga, KT+, submitted)
- LMCでのパルサーサーチ (Hisano, KT, in prep)



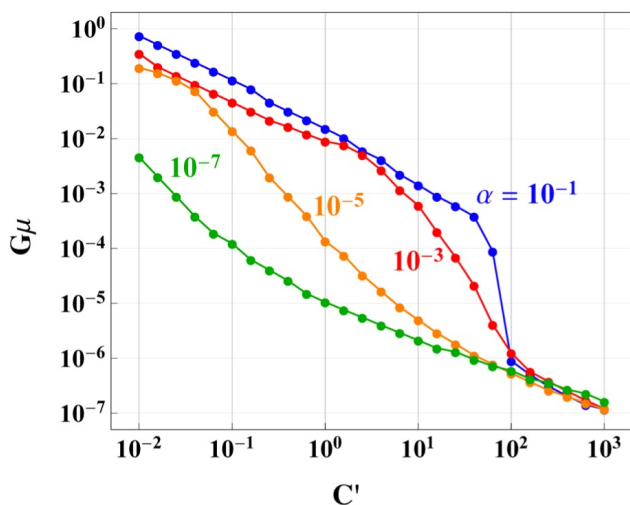
宇宙ひもパラメータへの制限
Yonemaru, Kuroyanagi, KT+, 2021



サブナノヘルツ重力波への制限
Hisano, Kumamoto, KT+, 2019

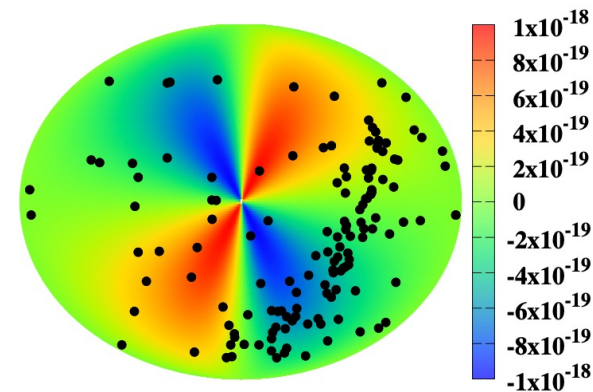
日本の研究：パルサータイミングアレイ

- 宇宙ひもパラメータへの制限 (Yonemaru, Kuroyanagi, KT+, 2021)
- サブナノヘルツ重力波検出法 (Yonemaru, Kumamoto, Hisano, KT+, 2016, 2018, 2019, 2019)
- 楕円軌道SMBH重力波への制限 (Kikunaga, KT+, submitted)
- 円偏波重力波検出法 (Kato+, 2016)
- アクシオンサーチ (Kato+, 2019)
- J1713+0474の形状変化 (Singha, Hisano, Kato, Kikunaga, KT+, submitted)
- LMCでのパルサーサーチ (Hisano, KT+, submitted)



宇宙ひもパラメータへの制限
Yonemaru, Kuroyanagi, KT+, 2021

サブナノヘルツ重力波への制限
Hisano, Kumamoto, KT+, 2019



PPTA

NANOGrav

NANOGrav

InPTA

NANOGrav

電波放射機構

- ・パルス形状
- ・モード変更
- ・ファラデー
トモグラフィ

アストロメトリ

- ・VLBI観測
- ・パルサー距離決定
- ・銀河系構造

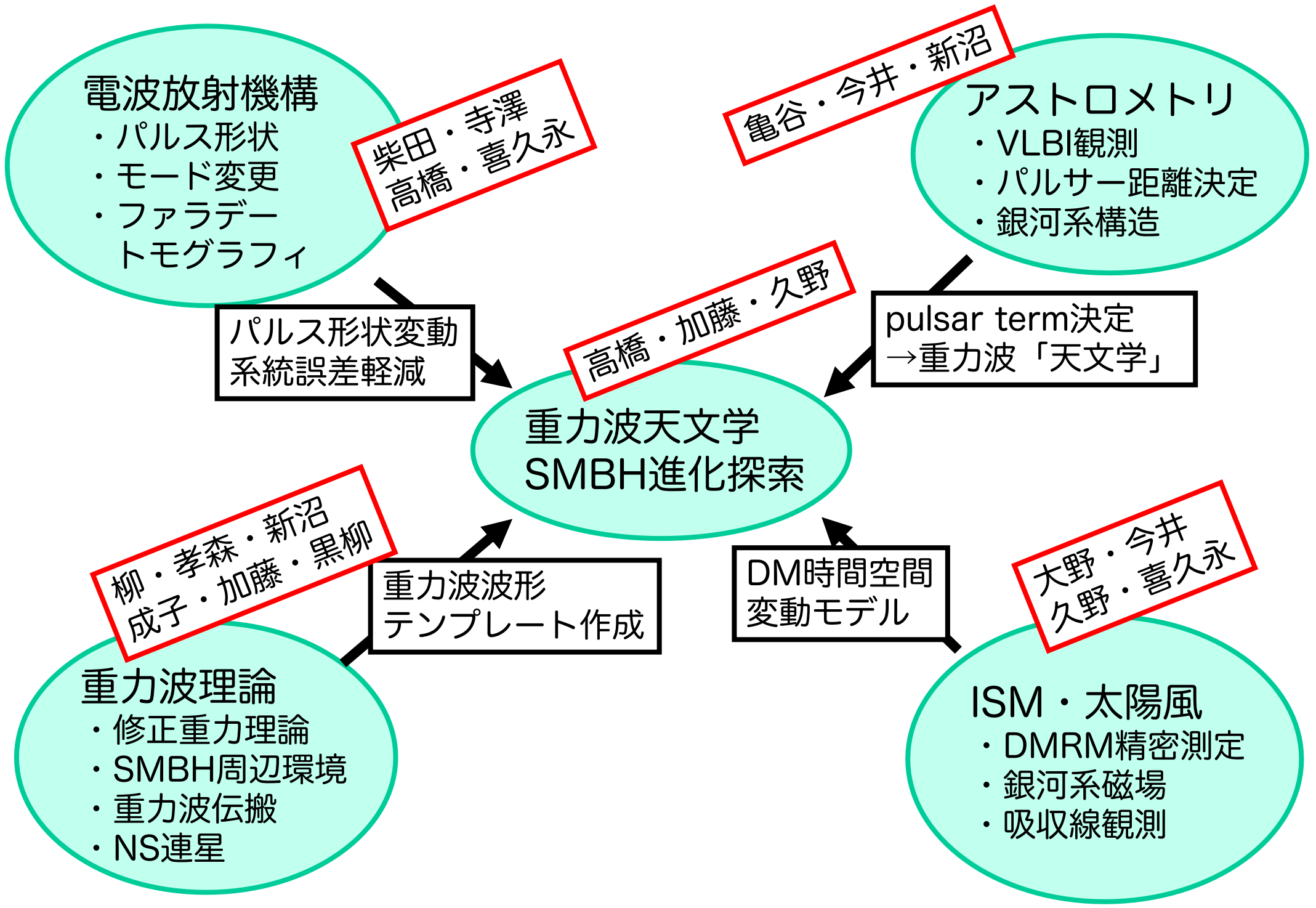
重力波天文学 SMBH進化探索

重力波理論

- ・修正重力理論
- ・SMBH周辺環境
- ・重力波伝搬
- ・NS連星

ISM・太陽風

- ・DMRM精密測定
- ・銀河系磁場
- ・吸収線観測



重力波検出から重力波天文学へ ～検出するだけで満足するな！～

パルサータイミングアレイは周期の安定した多数のミリ秒パルサーを長期精密測定することにより、ナノヘルツ重力波を直接検出する方法である。SKAにより重力波の検出は確実であるが、我々は

- ・パルス形状変動の理解
- ・パルサーの距離測定
- ・星間ガス・太陽風の時空間変動モデル構築
- ・様々な重力理論における重力波波形の予測

により系統誤差を徹底的に抑え、単なる重力波検出を超えて

- ・単一重力波源の特定
- ・背景重力波の非等方性検出
- ・重力理論の検証

が可能な重力波天文学を構築する。
(220文字)

