

日本SKAパルサー突発天体研究会 はじめに



高橋慶太郎
熊本大学
2018.1.5

SKAパルサー・突発天体研究会

2015/09 パルサー・突発天体・技術開発合同研究会

2016/10 合同サイエンス会議

2018/01 パルサー・突発天体研究会

目次

1、SKA

2、SKAによるパルサー研究

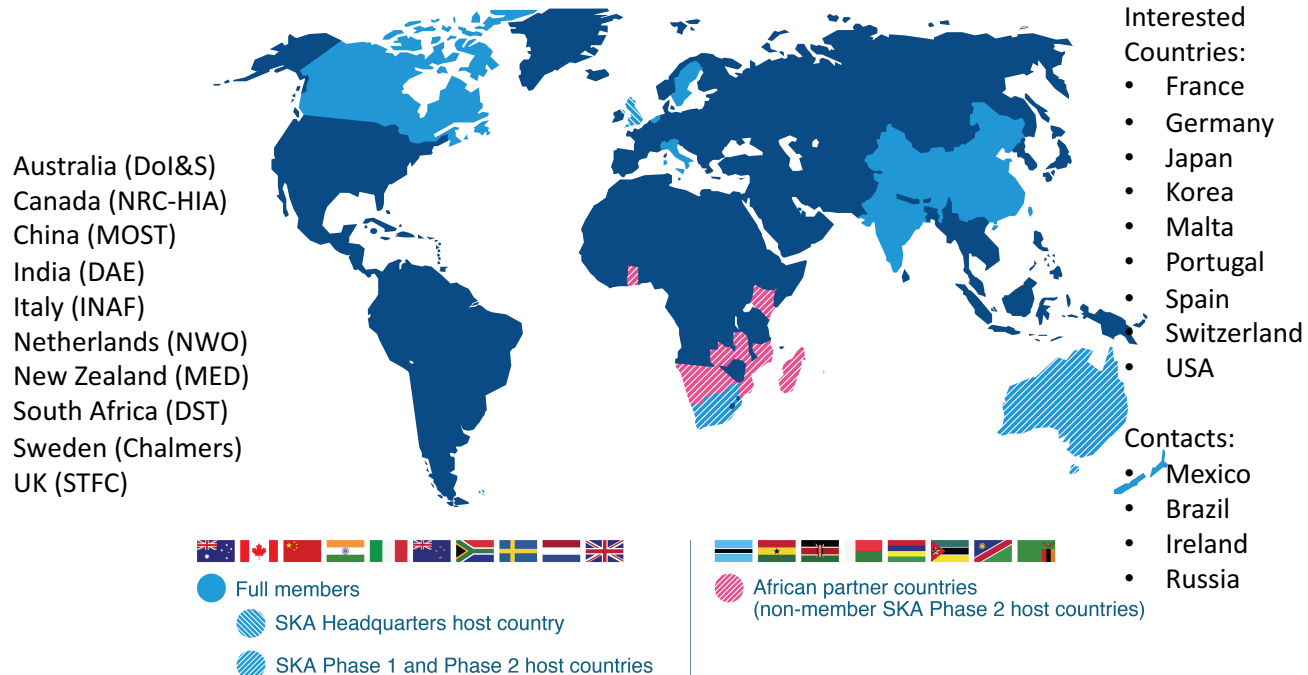
3、SKA Japanと国内情勢

1 、 SKA

Square Kilometre Array

次世代大型長波長電波望遠鏡

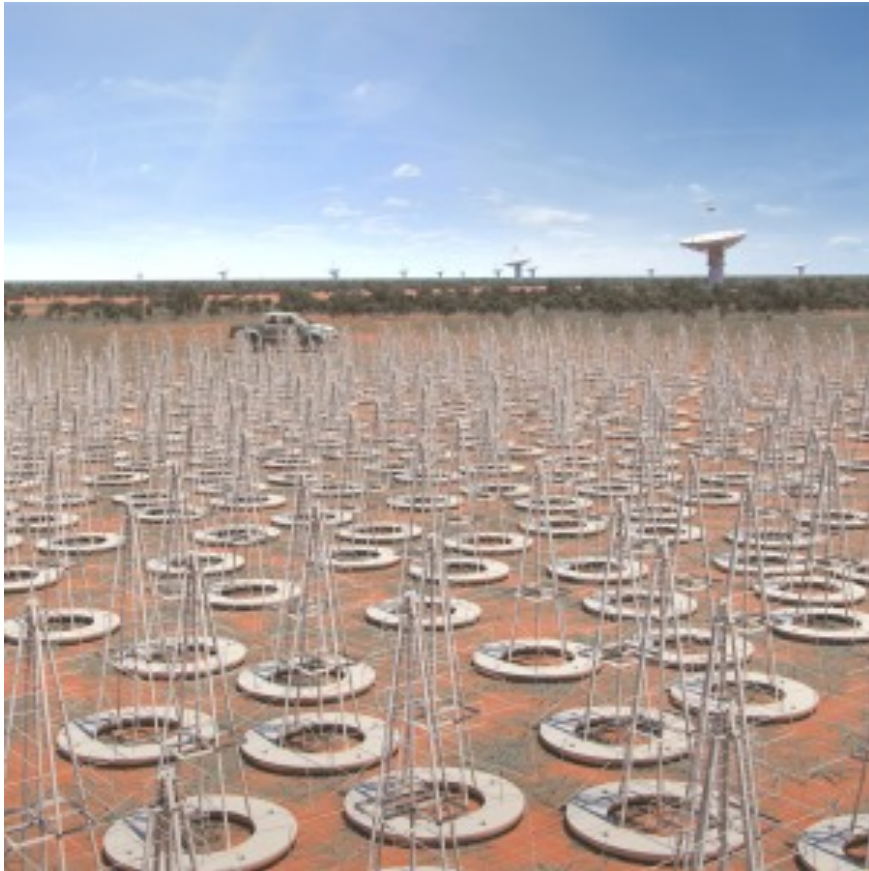
- ・特徴：高感度・広帯域・広視野・高分解能
- ・基本的にはサーベイ望遠鏡
(一部PI制、ターゲット観測も)
- ・SKA1: 10% (~800億円)
- ・SKA2: 100% (~数千億円?)



Square Kilometre Array

SKA-low

- ・ オーストラリア
- ・ 50 - 350MHz

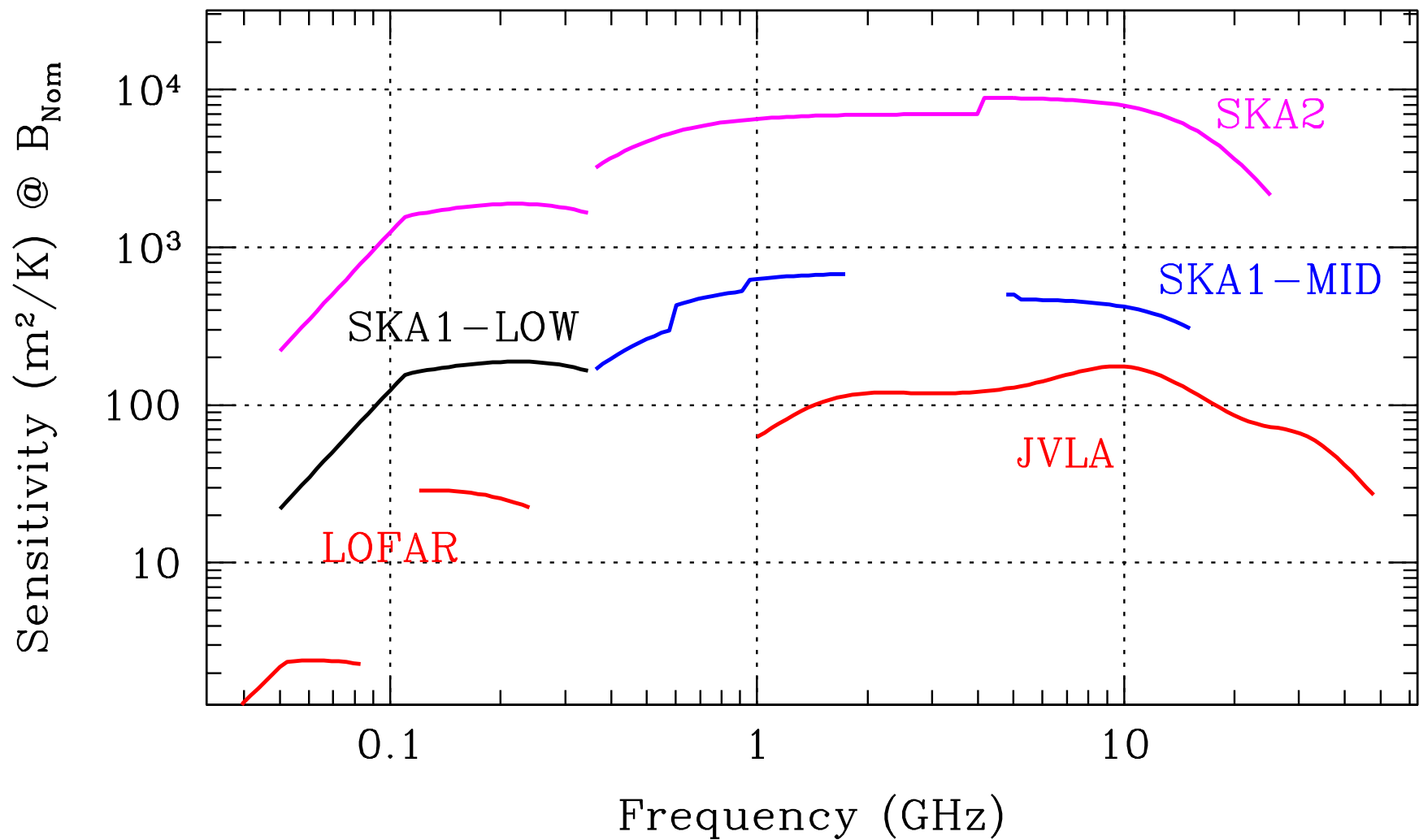


SKA-mid

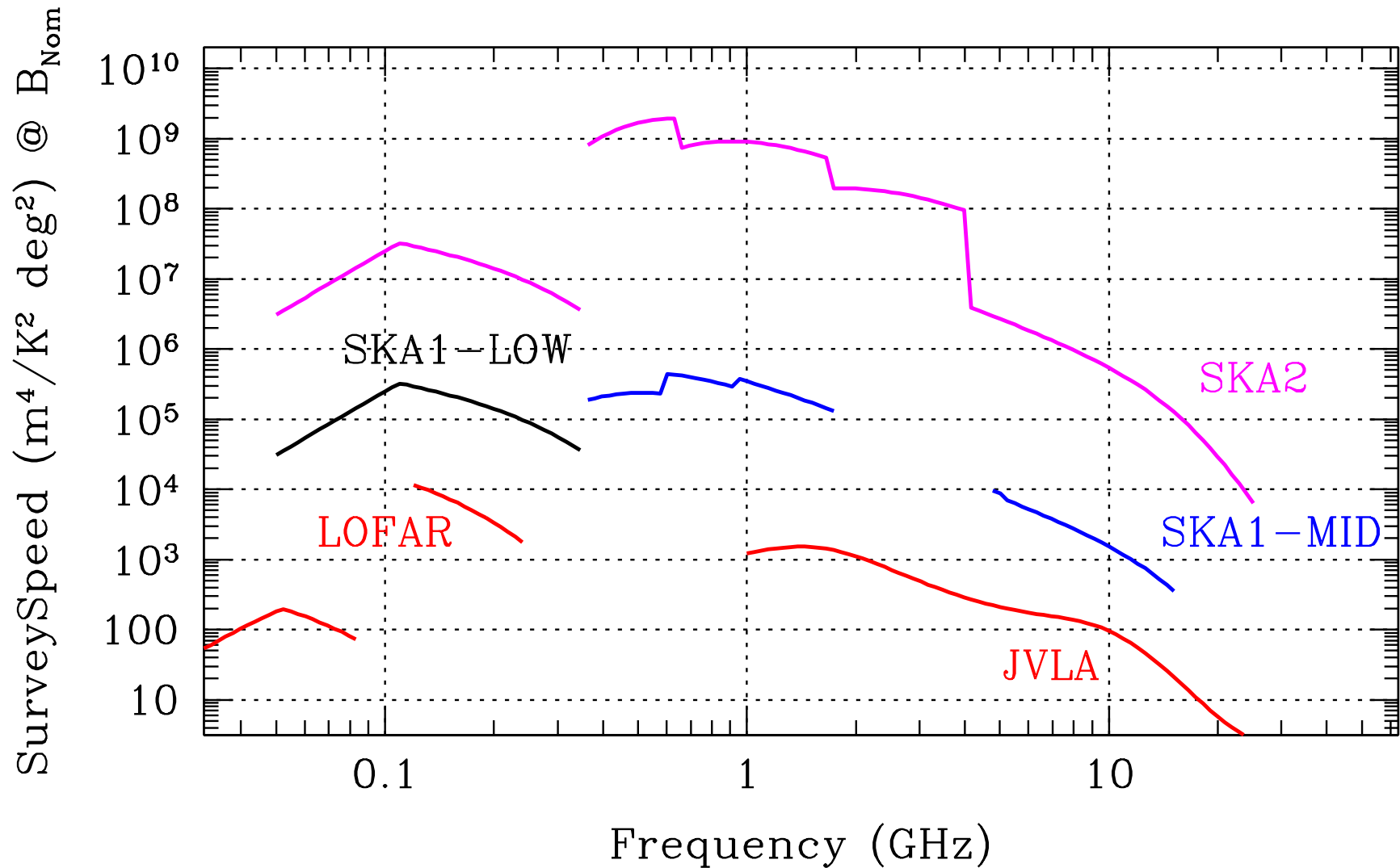
- ・ 南アフリカ
- ・ 350MHz - 24GHz



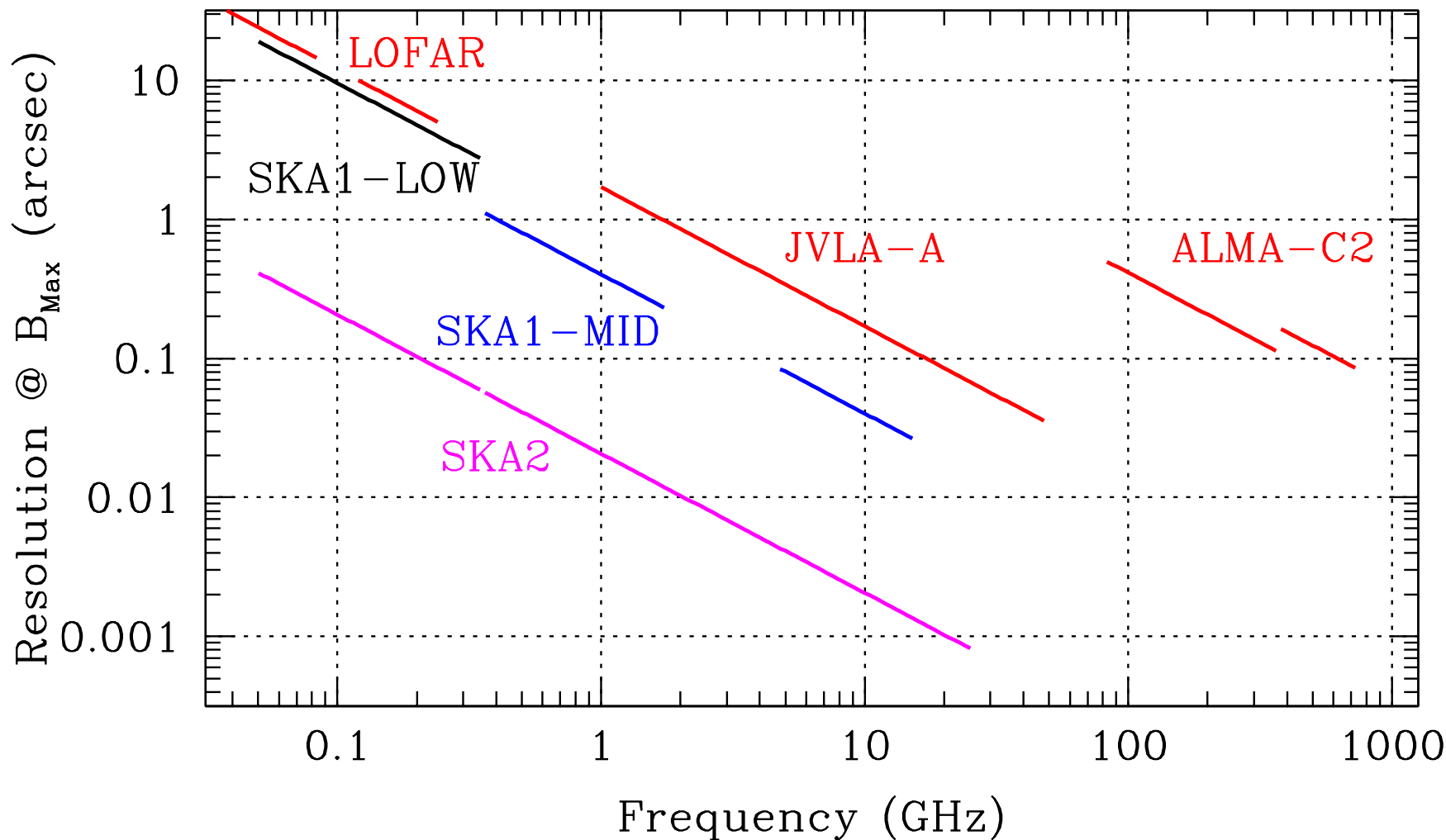
性能：感度



性能：サーベイ速度



性能：角度分解能



サイエンス

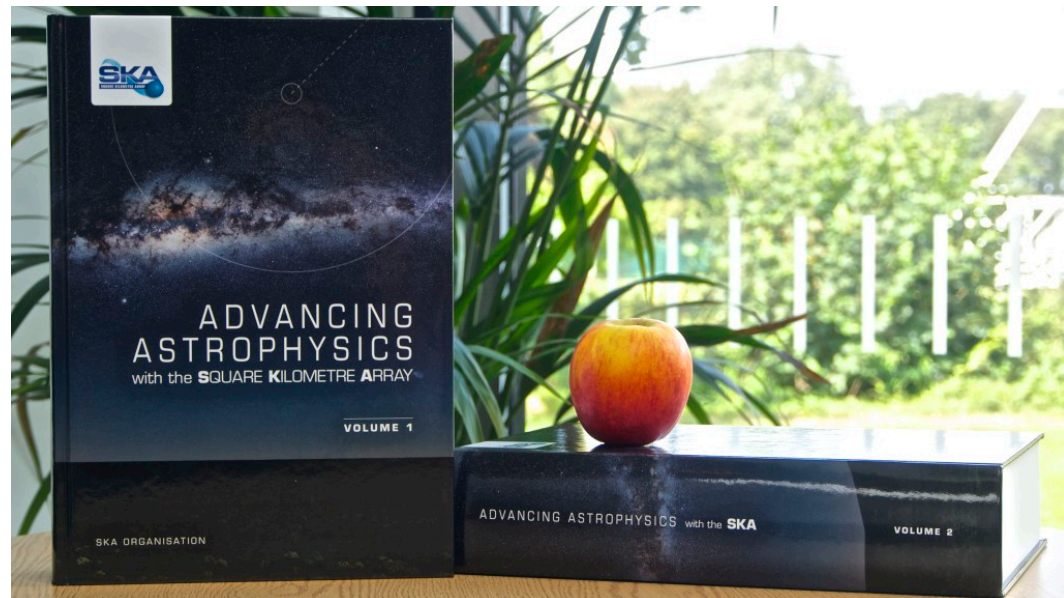
Key Science

- ・ パルサー
- ・ 暗黒時代と宇宙再電離
- ・ 宇宙磁場の起源と進化
- ・ 宇宙における生命
- ・ 銀河進化 (HI, continuum)
- ・ 突発天体
- ・ 宇宙論

Focus Group

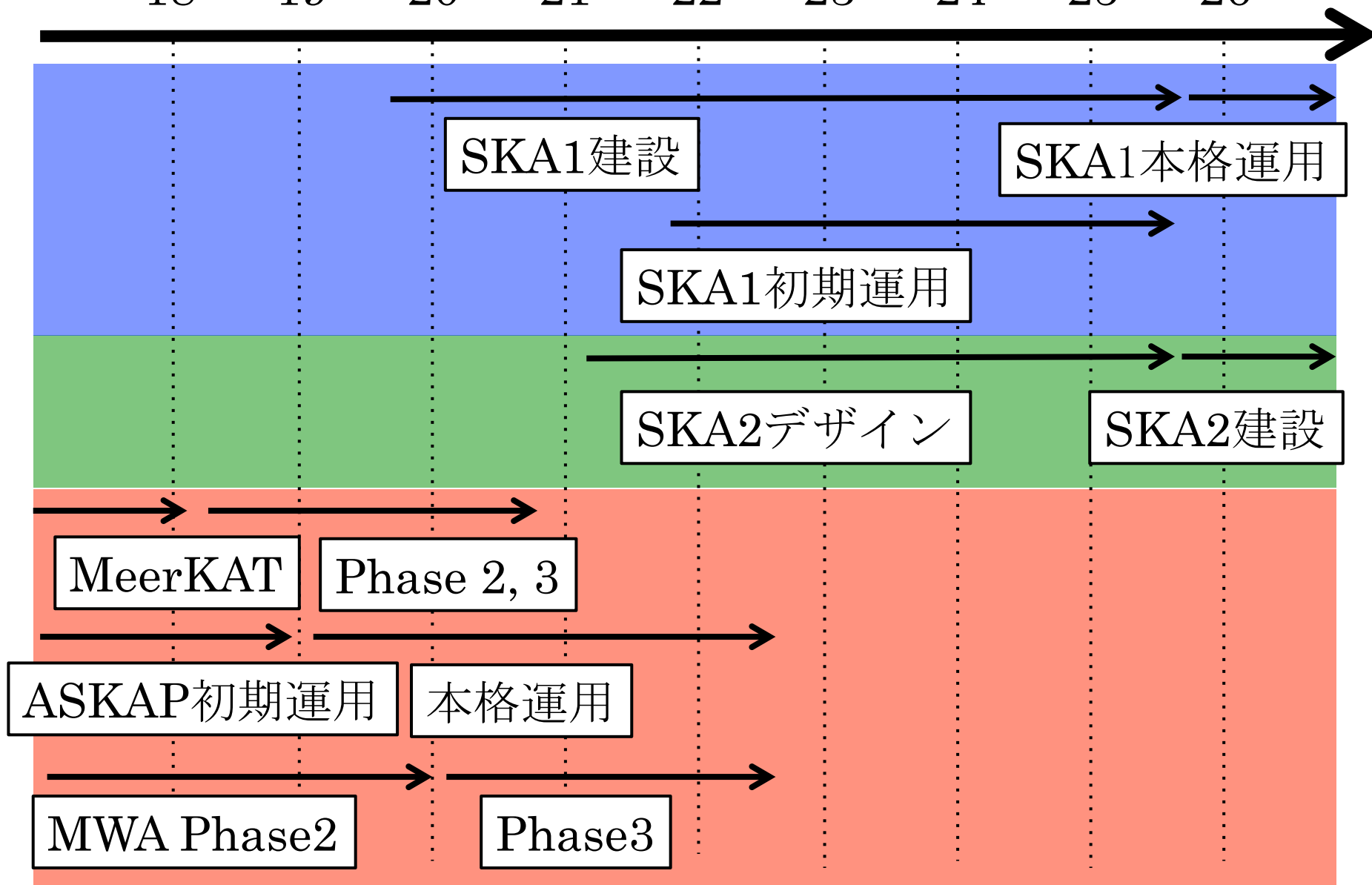
- ・ VLBI
- ・ 太陽と地球大気
- ・ 宇宙線

2,000ページ、8.8kg!



スケジュール

18 19 20 21 22 23 24 25 26



2、SKAによるパルサー研究

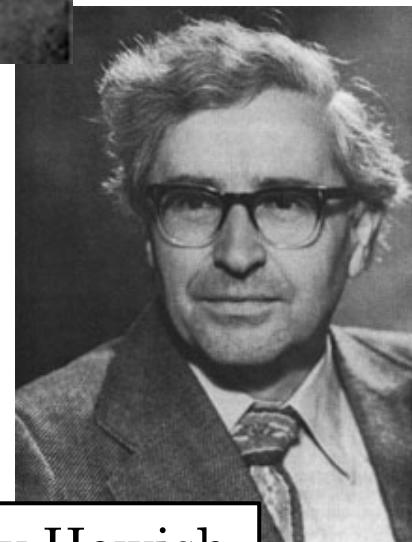
(突発天体は赤堀さん)

パルサー

- 周期的なパルス
- 周期：1msec – 10sec
- 正確な周期 → 宇宙の時計
- 現在2,500個程度発見



Jocelyn Bell

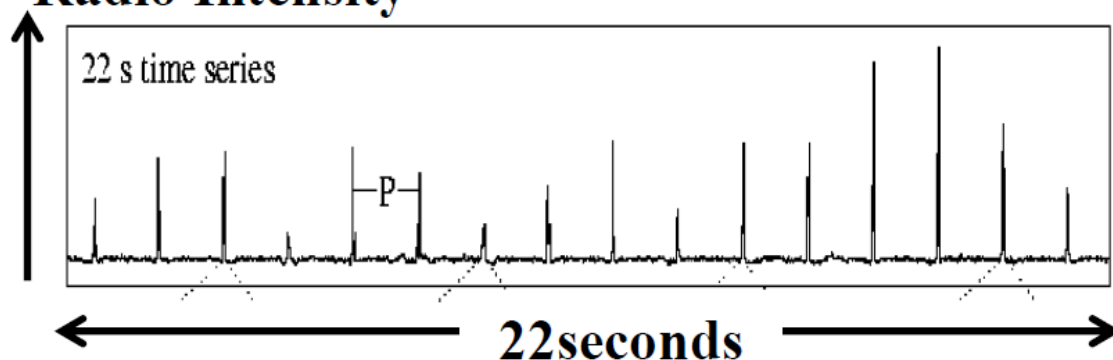


Antony Hewish

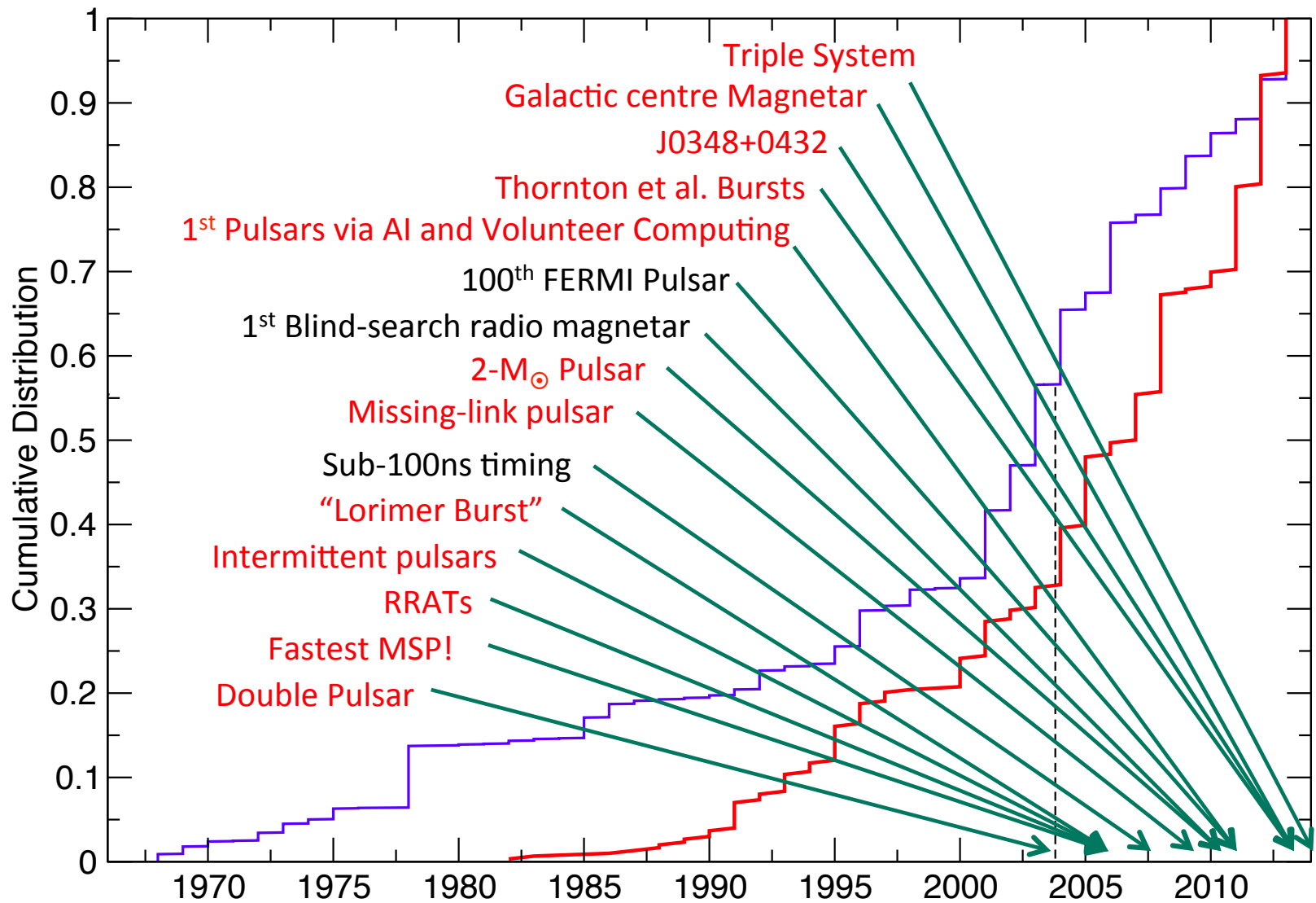
Pulses from a pulsar(PSR B0301+19)

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

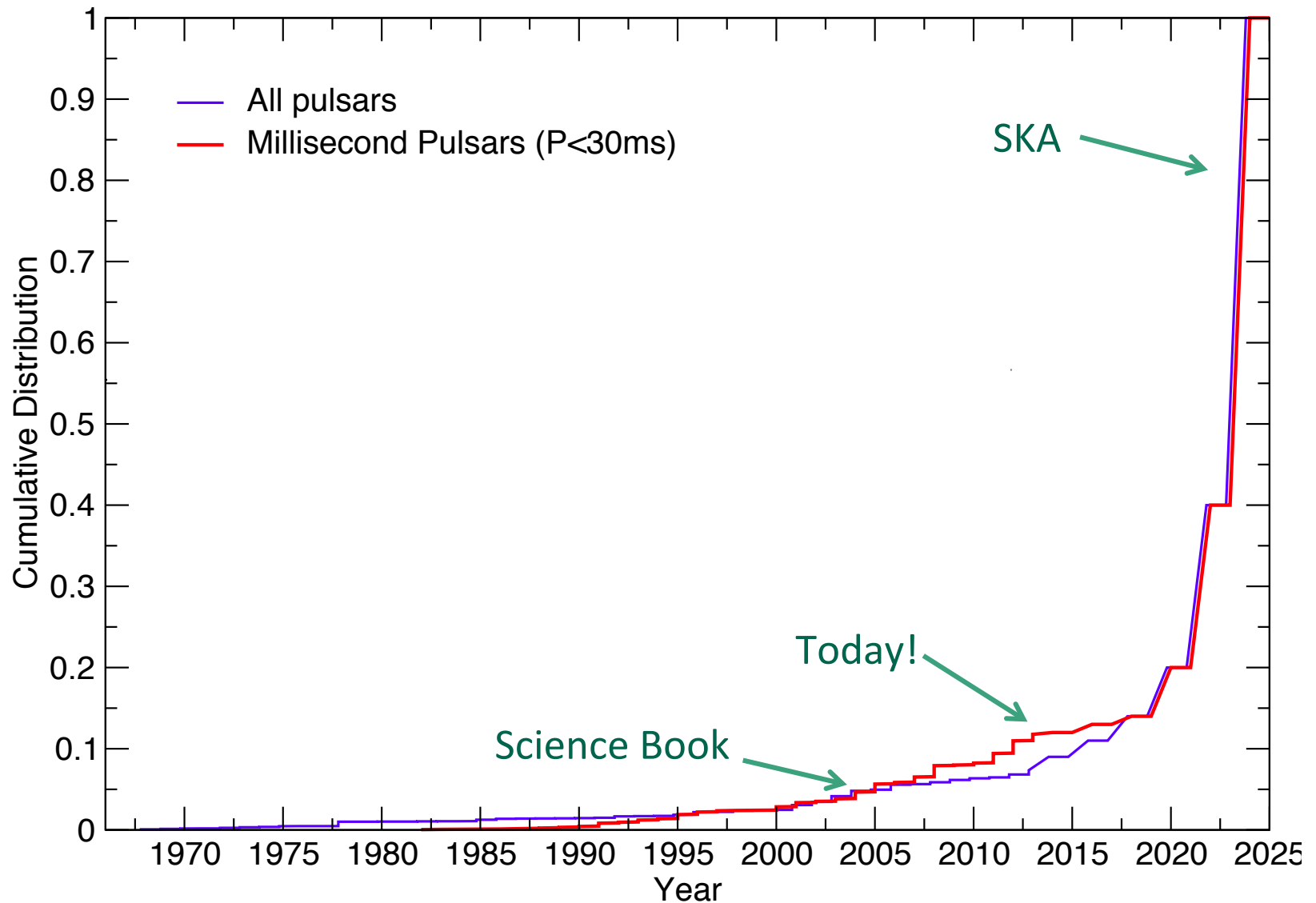
Radio Intensity



パルサー観測の歴史



パルサー観測の今後



SKAによるpulsar観測

観測戦略

- ・ 低周波の方が明るい
 - ・ 低周波で遅延、散乱が大きい
- 銀河面は高周波、面外は低周波

SKAによるパルサー観測

全天サーベイ

- ・ SKA-mid銀河面サーベイ
- ・ SKA-low銀河面外サーベイ

ターゲット観測

- ・ 銀河系中心
- ・ 球状星団
- ・ 系外銀河
- ・ タイミング観測（ミリ秒パルサー）
- ・ Fermi未同定天体

SKAによるpulsar観測

SKA1サーベイ

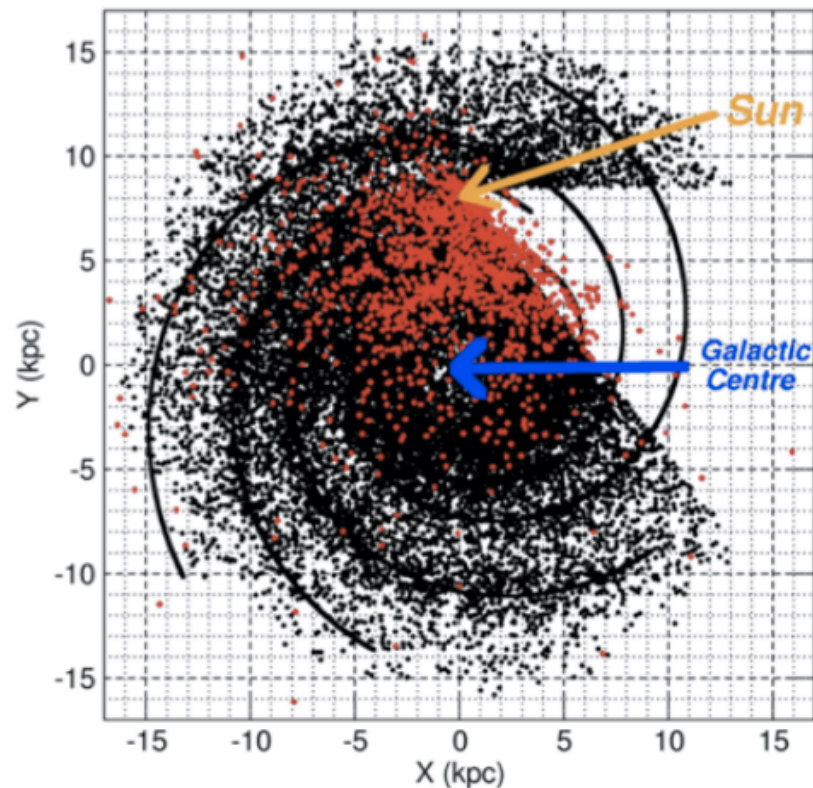
- 9,000 normal pulsars
- 1,400 millisecond pulsars

SKA2サーベイ

- 30,000 normal pulsars
- 3,000 millisecond pulsars

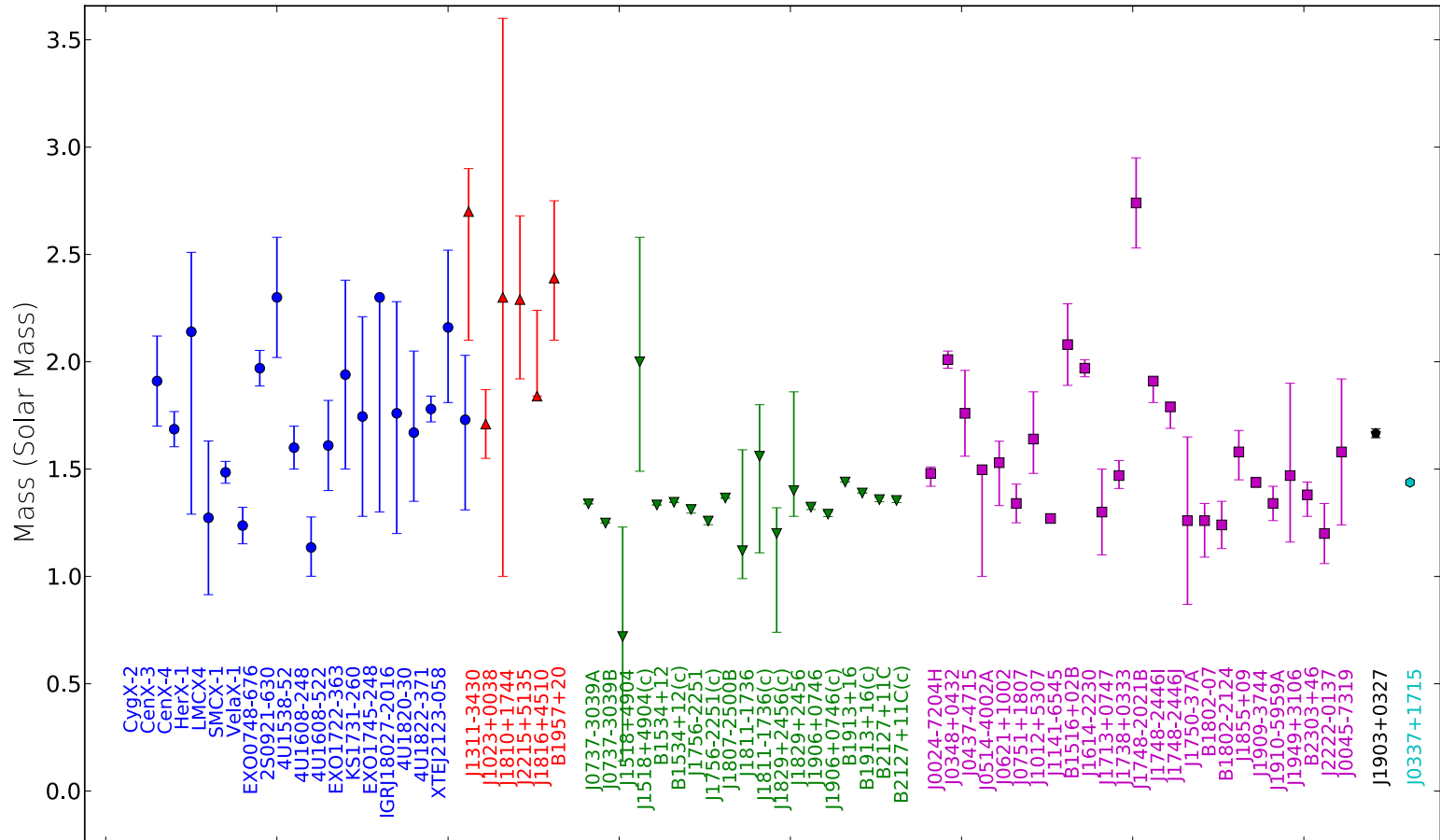
これだけたくさんあると・・・

- 統計
 - 光度関数
 - 質量関数
 - 空間分布
 - 周期分布
- 珍しいもの
 - 質量上限、下限
 - sub-msecパルサー
 - 惑星系
 - 珍しい連星



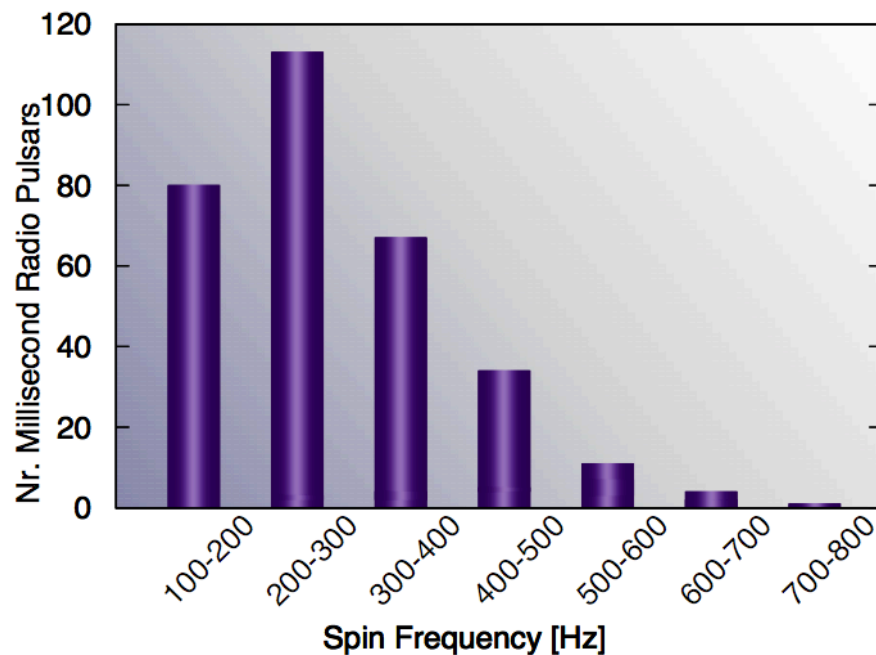
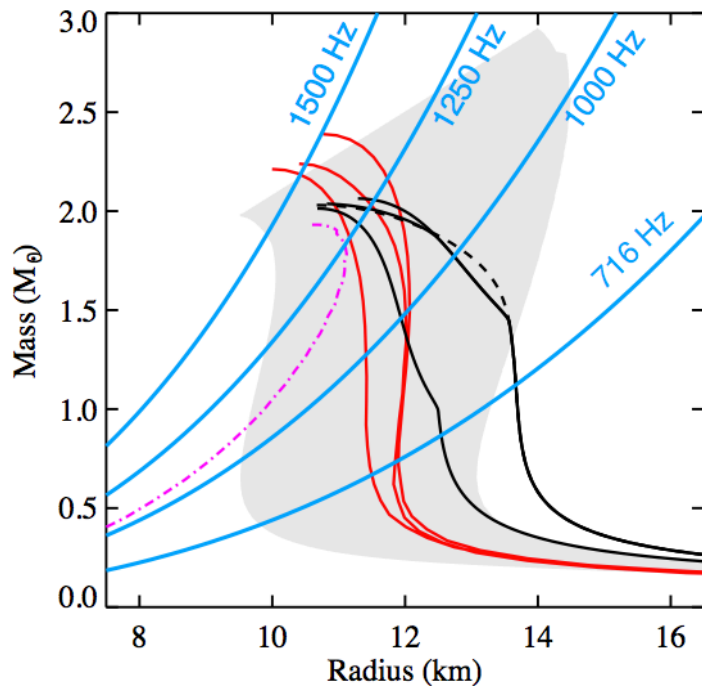
パルサー質量

- ・ 質量関数
 - ・ 最軽量
 - ・ 最重量
- } 中性子星形成の物理
 → 状態方程式



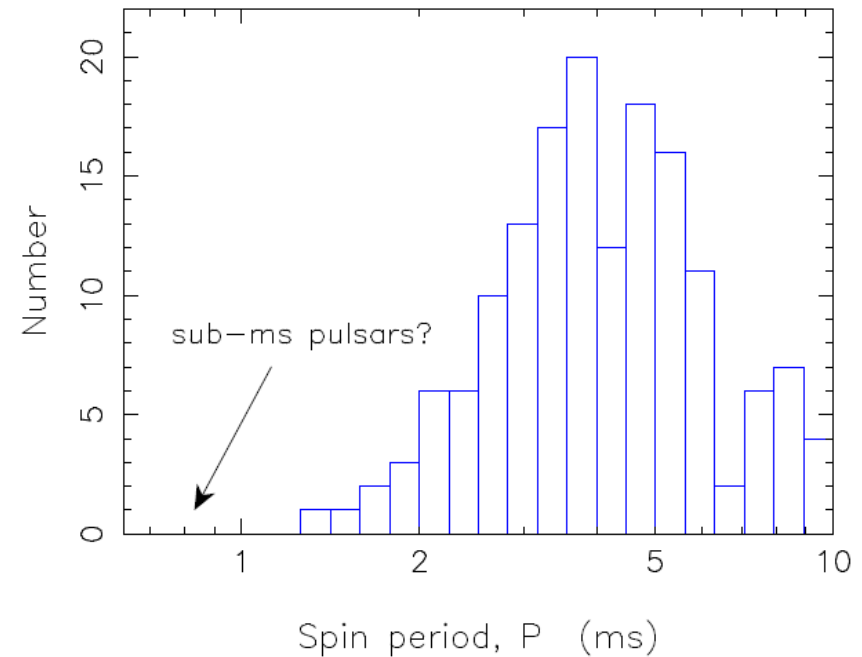
パルサー周期

- 周期分布 → パルサー進化
- 最高速 → 状態方程式

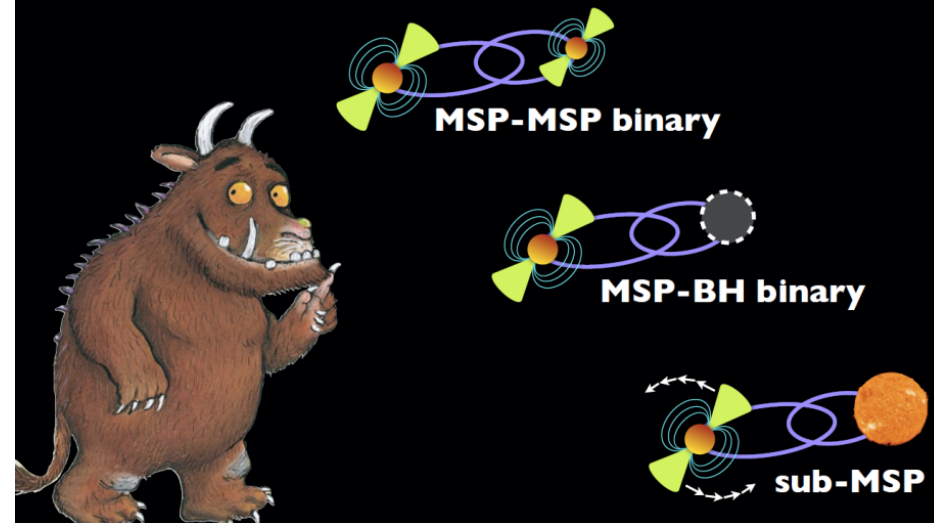


球状星団パルサー

- ミリ秒パルサーが多い
 - normal: 2200 $\Leftrightarrow$ 144
 - millisecond: 250 $\Leftrightarrow$ 130
- 高い星密度 ($\sim 1000\text{pc}^{-3}$)
星同士の相互作用が頻繁
 - バイナリーが多い
 - バイナリー組み替え
 - 変なシステムができる $\rightarrow$
 - 何回もrecyclingが
起こる
 $\rightarrow$ sub-millisecond?
- 中心にIMBH?



GCs could create some very strange creatures

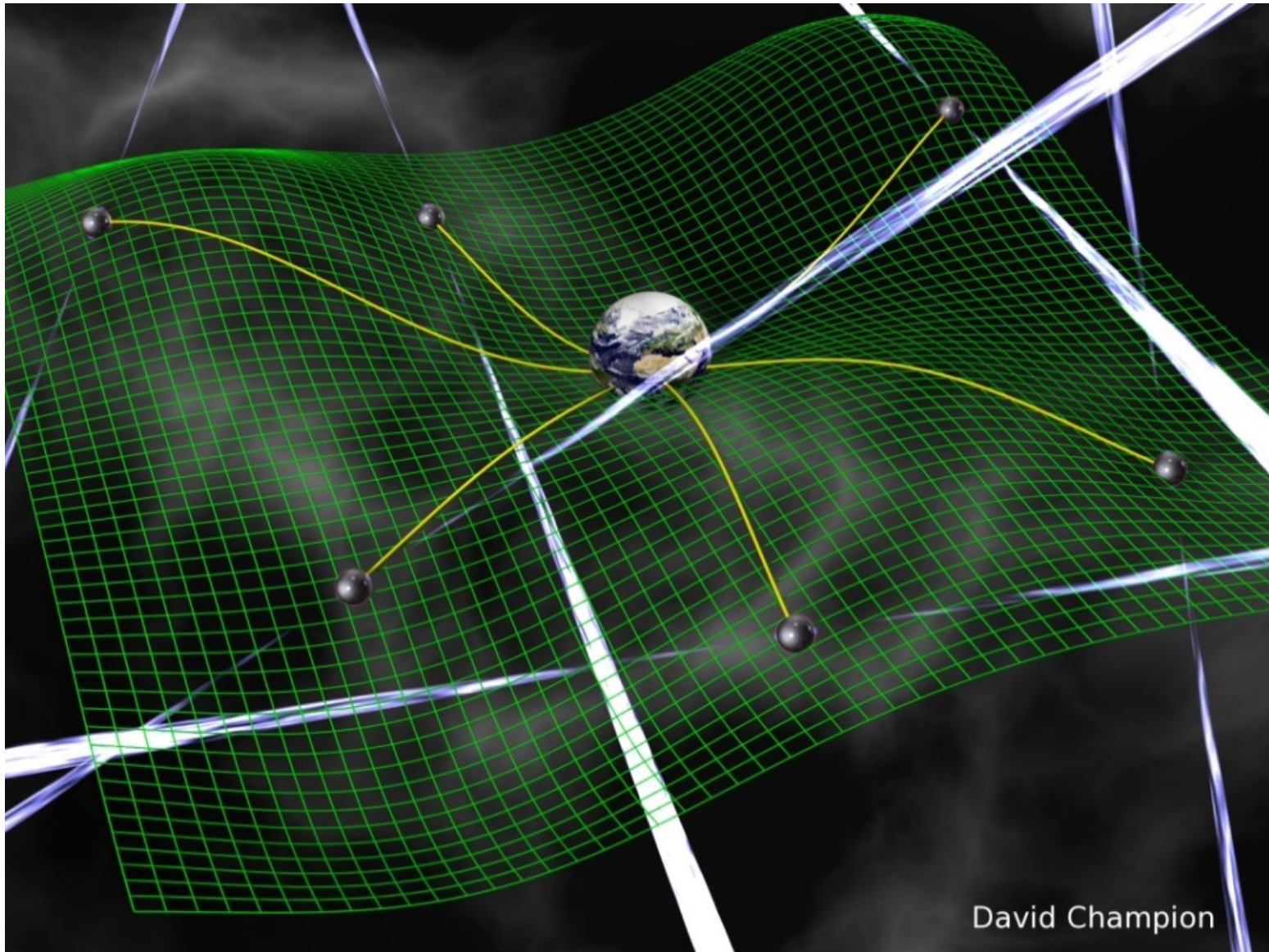


SKA pulsar science

- 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
- } 比較的手薄

日本が活躍するチャンス！

pulsar timing array



David Champion

pulsar timing array

原理：重力波が通過すると地球とパルサーの時空の変化でパルスの到達するタイミングがずれる

重力波周波数：観測頻度と観測期間で決まる
(1日)⁻¹ ∼ (数年)⁻¹

→ 0.1μHz ∼ 1nHz

→ 巨大BHバイナリー、宇宙ひも

感度：10nsecの精度でタイミング観測、10年継続
→ 10 ns/ 10 yr ∼ 3×10⁻¹⁶

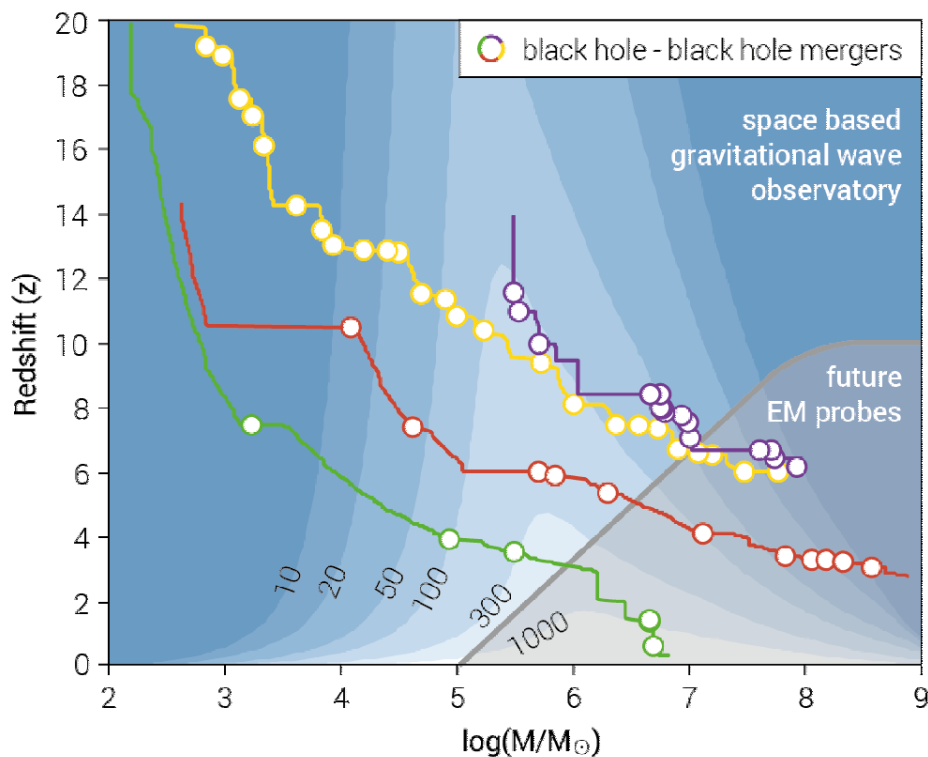
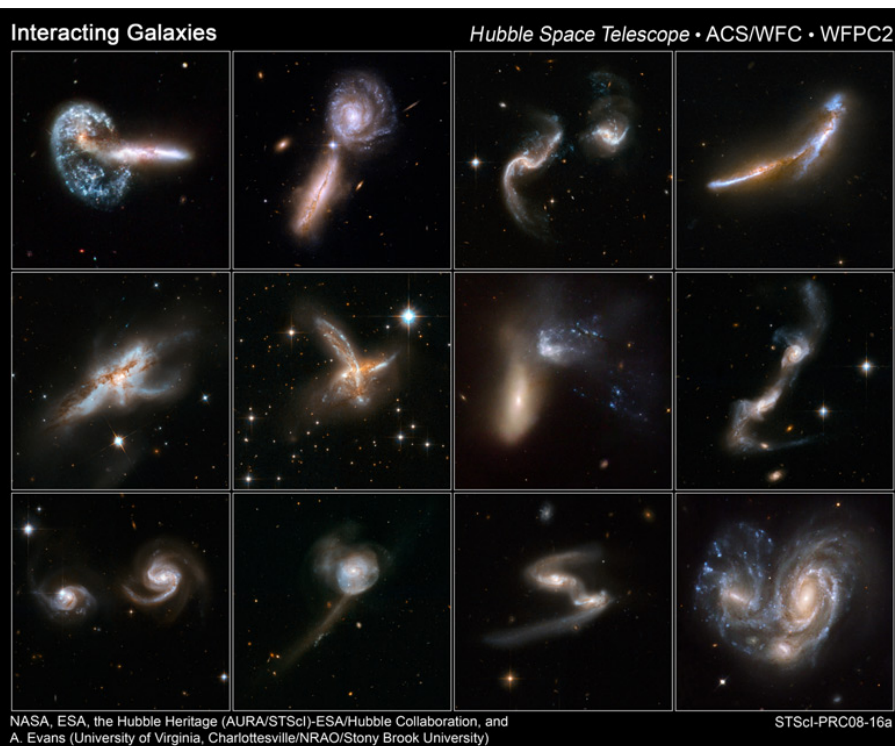
銀河衝突とSMBH

銀河衝突

- SMBH binary形成
- 重力波放出・合体
- 背景重力波

Sesana 2013

BH mergerシミュレーション



現在のPTA

3 つグループ

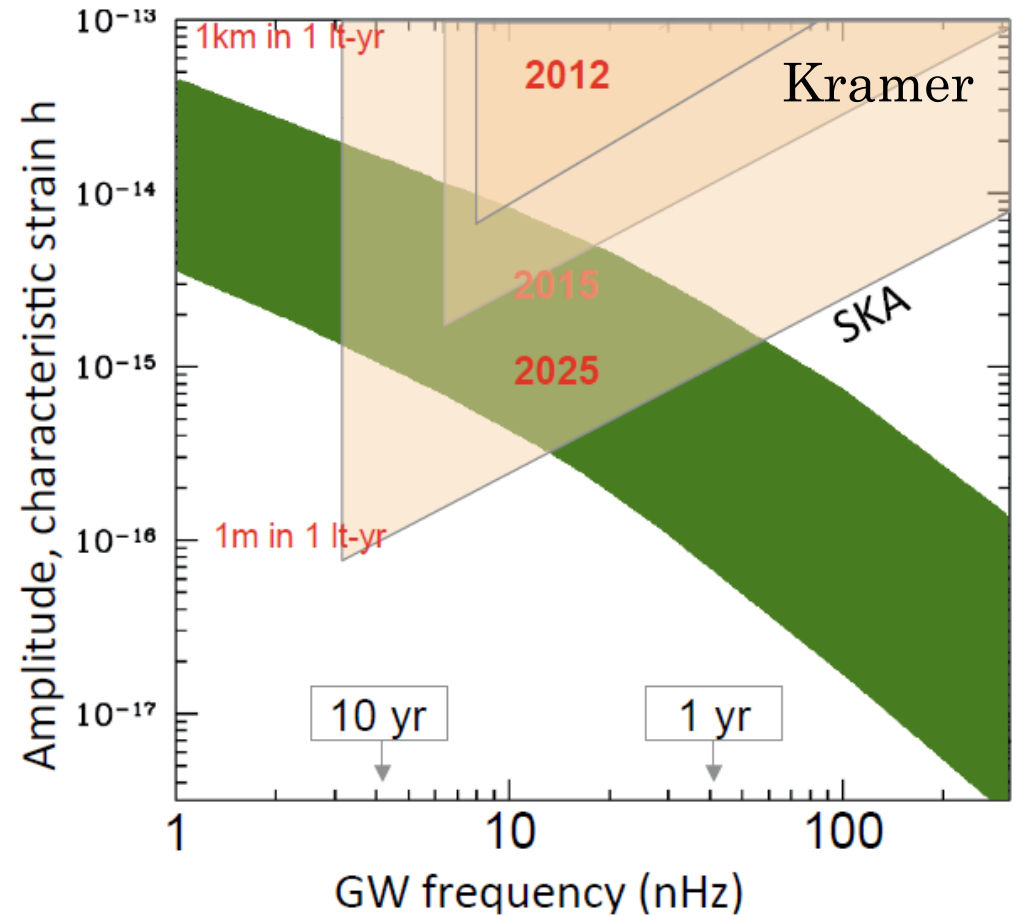
- ・ PPTA (豪)
- ・ EPTA (欧)
- ・ NANOGrav (米)

コンソーシアム → IPTA



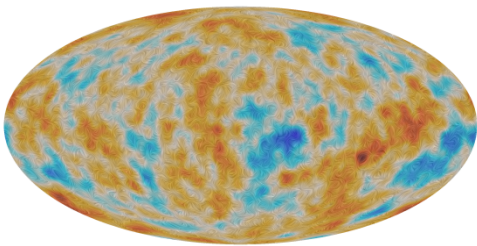
感度予想

- SKA以前に検出される可能性はある
- SKA1なら確実
- ナノヘルツ重力波検出前夜！

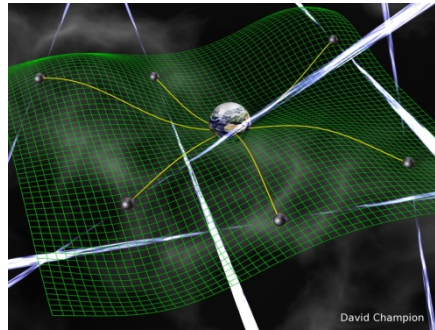


多波長重力波天文学

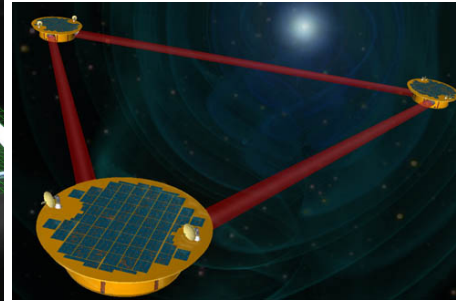
CMB



PTA



宇宙干渉計



地上干渉計



10^{-17}Hz

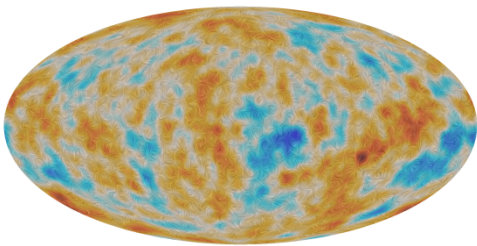
$\sim 1\text{nHz}$

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

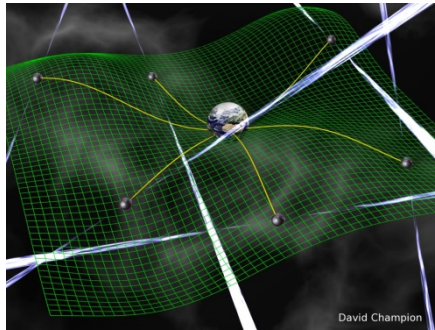
100Hz

多波長重力波天文学

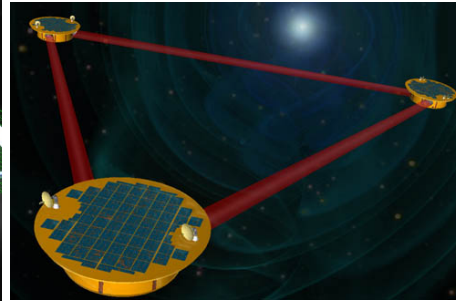
CMB



PTA



宇宙干渉計



地上干渉計



巨大BH連星

超新星爆発

コンパクト天体連星

宇宙ひも

原始重力波

10^{-17}Hz

$\sim 1\text{nHz}$

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

100Hz

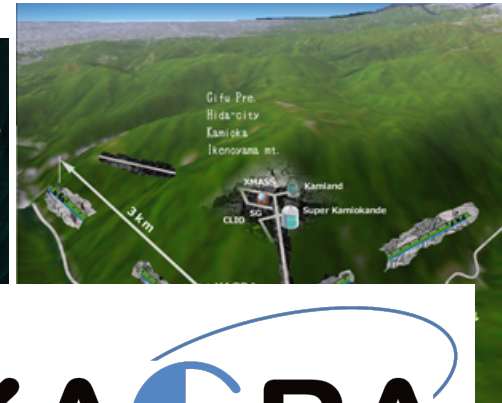
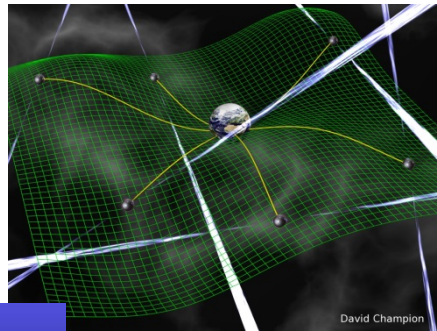
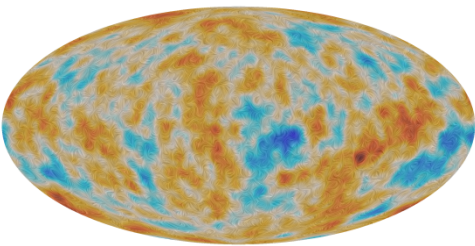


多波長重力波天文学

CMB

PTA

地上干渉計



KAGRA

巨大BH連星

コンパクト天体連星

宇宙ひも

原始重力波

10^{-17}Hz

$\sim 1\text{nHz}$

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

100Hz

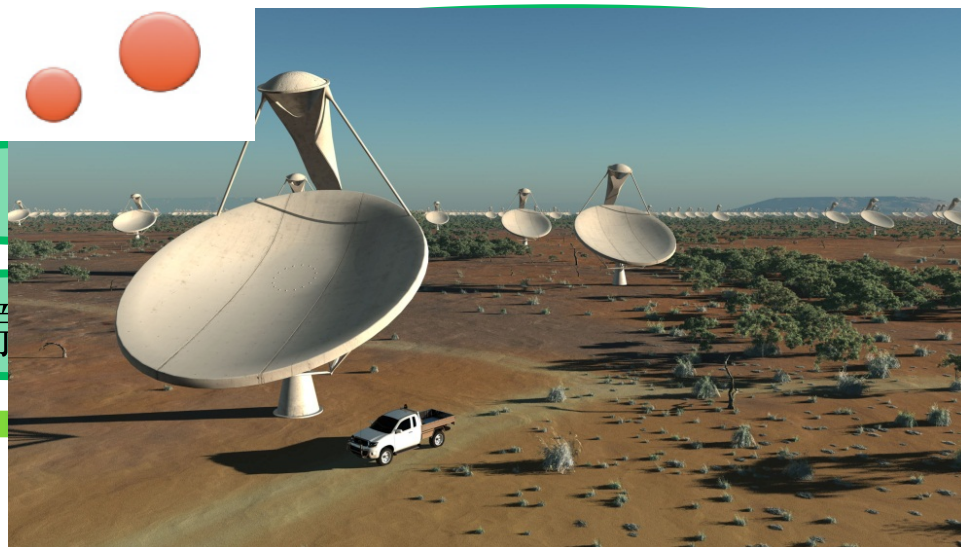
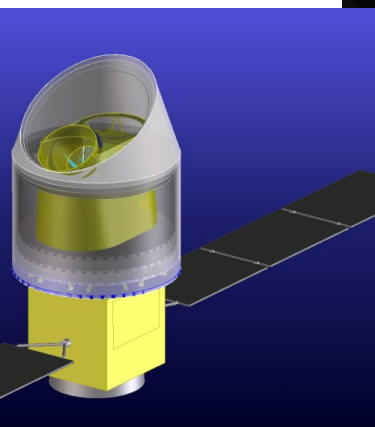
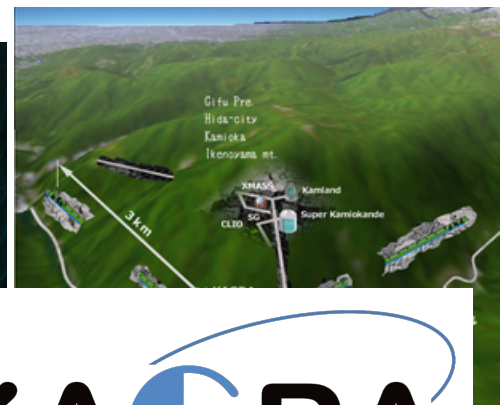
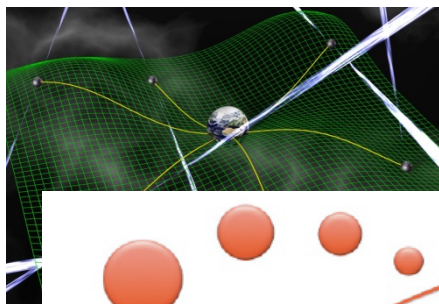
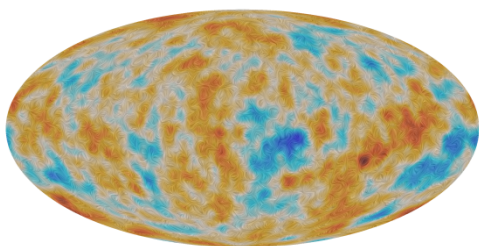


多波長重力波天文学

CMB

PTA

地上干渉計



10^{-17}Hz

$\sim 1\text{nHz}$

原

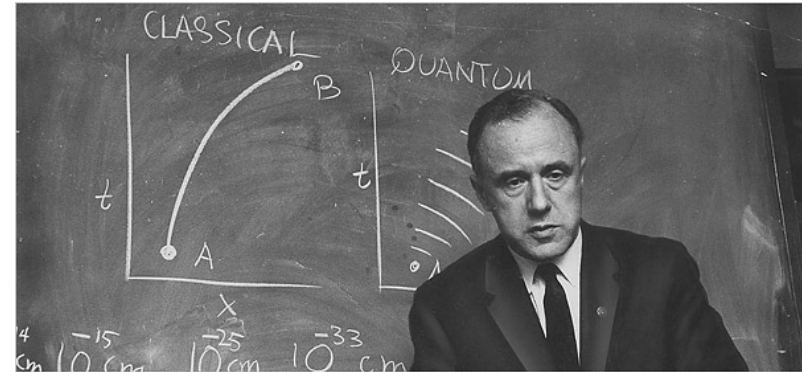


相対論の検証

ブラックホールの基本的な定理

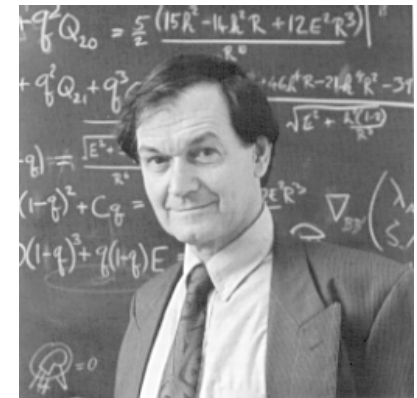
- no-hair theorem

ブラックホールの性質は質量、スピン、電荷だけで決まる



- cosmic censorship conjecture (Penrose)

- ブラックホールの回転速度が大きすぎると裸の特異点が出てしまい理論が破綻
- 一般相対論の解としては存在する
- 現実の宇宙ではそのような解は実現されないであろう
→ ブラックホールの回転速度に上限



ブラックホールの形を測る

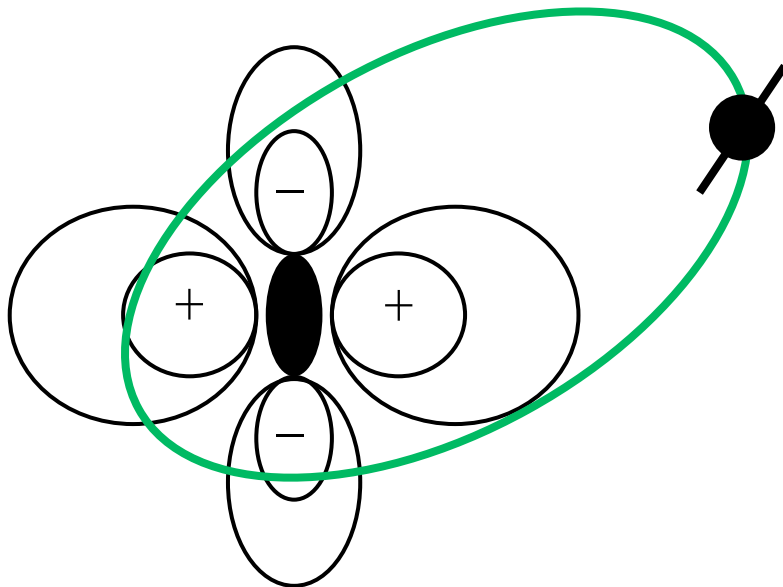
銀河中心の巨大ブラックホール近傍のパルサー (1mpc)

→ パルスのタイミング

→ パルサーの軌道要素

→ 巨大ブラックホールの質量、スピン、形（四重極）を精密に測る

- ・ 四重極は予言通りか？
- ・ スピンは上限を超えていないか？



もっとも相対論らしいもので
相対論を検証する

銀河系中心にパルサーはある？

PSR J1745-2900

SgrA*から0.1pcに
マグネター！

銀河系中心から大量の
ガンマ線

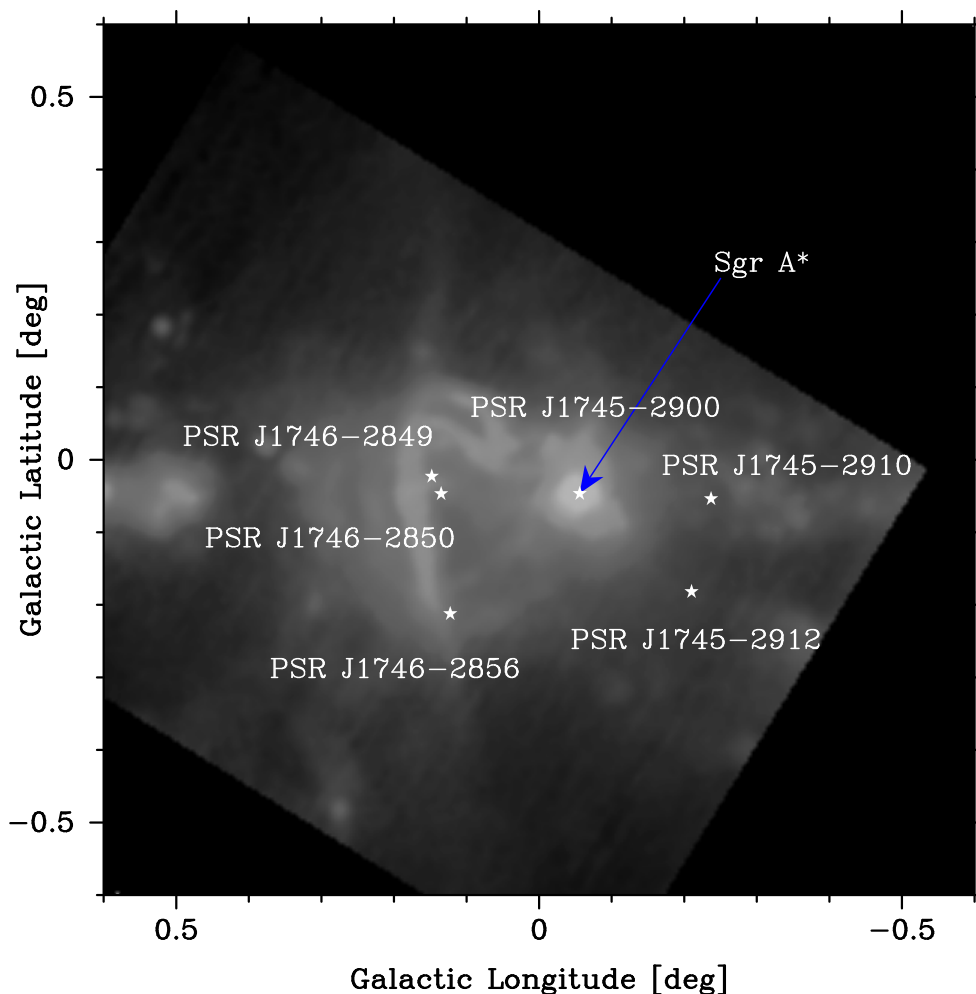
Wharton+ 2012

~ 1000 in (1pc)³

Zhang+ 2014

~ 200 in (0.01pc)³

誰か見積もってください！



3、SKA-Japanと国内情勢

SKA Japan組織

2008年設立、メンバー～200人
執行部

- ・ 代表：杉山（名古屋）
- ・ 副代表：高橋（熊本） 赤堀（NAOJ）
- ・ 顧問：小林（NAOJ）
- ・ 広報：中西（鹿児島）
- ・ Science Working Group
 - 代表：市來（名古屋）
 - 副代表：竹内（名古屋）
- ・ 外部資金：今井（鹿児島）
- ・ Engineering Working Group
 - 代表：青木（山口）



SKA Japan組織

Science Working Group

代表：市來（名古屋）

副代表：竹内（名古屋）

- ・ 遠方宇宙：平下（ASIAA）
 - 銀河進化：竹内（名古屋）
 - 宇宙論：山内（神奈川）
 - 再電離：長谷川（名古屋）
- ・ パルサー：高橋（熊本）
- ・ 宇宙磁場：町田（九州）
- ・ 突発天体：新沼（山口）
- ・ 位置天文：今井（鹿児島）
- ・ 星間物質：立原（名古屋）
- ・ 星惑星形成：塚本（鹿児島）
- ・ 宇宙生物：？？（？？）

Engineering Working Group

代表：青木（山口）

- ・ フロントエンド
- ・ バックエンド
- ・ データ解析

産業フォーラム

代表：熊沢（東陽テクニカ）

SKA-Japanパルサーチーム

青木貴弘（早稲田大）
今井裕（鹿児島大）
大野寛（東北文教大）
亀谷收（国立天文台）
隈本宗輝（熊本大）
黒柳幸子（名古屋大）
柴田晋平（山形大）
関戸衛（NICT）
高橋慶太郎（熊本大）
岳藤一宏（NICT）
寺澤敏夫（理研）
成子篤（東工大）
本間希樹（国立天文台）
米丸直之（熊本大）
柳哲文（名古屋大）

パルサー理論
パルサー観測
相対論
宇宙論
の混成チーム！

新しいチームです。
メンバー募集中！

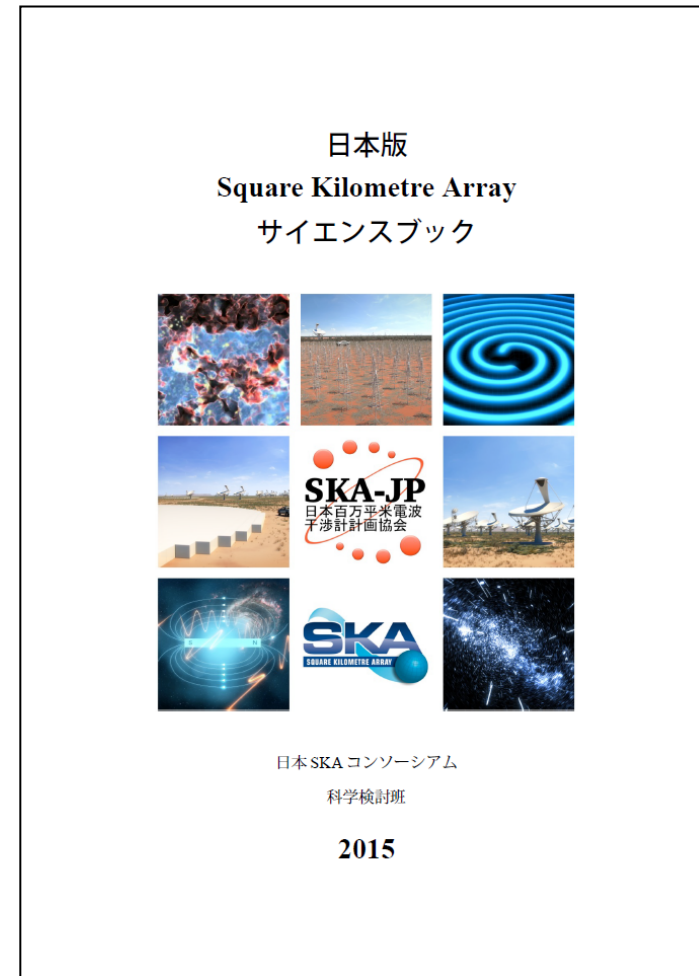
日本版サイエンスブック

日本語版

- 2015年2月完成、320ページ、執筆者～60人
- 再電離、宇宙論、銀河進化、パルサー
宇宙磁場、近傍宇宙時空計測
星間物質、突発天体
- 内容：
 - 分野レビュー
 - 国際サイエンスレビュー
 - 日本サイエンス

英語版

- 2016年3月完成
(2016/3/8のarXivに 6 編)
- 英語化＋準備研究進展のまとめ
- 2018年大幅改訂予定



galaxy evolution: 1603.01938

Formation, Evolution, and Revolution of Galaxies by SKA: Activities of SKA-Japan Galaxy Evolution Sub-SWG

Tsutomu T. Takeuchi¹, Kana Morokuma-Matsui², Daisuke Iono^{2,3},
Hiroyuki Hirashita⁴, Wei Leong Tee^{4,5}, Wei-Hao Wang⁴, Rieko Momose^{2,6,7},
on behalf of the SKA-Japan Galaxy Evolution sub-Science Working Group

Japan SKA Consortium (2016)
Preprint typeset using PASJ L^AT_EX format v.1.0

cosmology: 1603.01959

Cosmology with the Square Kilometre Array by SKA-Japan

Daisuke YAMAUCHI^{1,*}, Kiyotomo ICHIKI^{2,3}, Kazunori KOHRI^{4,5}, Toshiya
NAMIKAWA^{6,7}, Yoshihiko OYAMA⁸, Toyokazu SEKIGUCHI⁹, Hayato
SHIMABUKURO^{2,10}, Keitaro TAKAHASHI¹⁰, Tomo TAKAHASHI¹¹, Shuichiro
YOKOYAMA¹², Kohji YOSHIKAWA¹³, on behalf of SKA-Japan Consortium
Cosmology Science Working Group

Japan SKA Consortium (2016)
Preprint typeset using PASJ L^AT_EX format v.1.0

magnetism: 1603.01974

Resolving 4-D Nature of Magnetism with Depolarization and Faraday Tomography: Japanese SKA Cosmic Magnetism Science

Takuya AKAHORI^{1,*}, Yutaka FUJITA², Kiyotomo ICHIKI³, Shinsuke
IDEGUCHI⁴, Takahiro KUDOH⁵, Yuki KUDOH⁶, Mami MACHIDA⁷, Hiroyuki
NAKANISHI¹, Hiroshi OHNO⁸, Takeaki OZAWA¹, Keitaro TAKAHASHI⁹,
Motokazu TAKIZAWA¹⁰, on behalf of the SKA-JP Magnetism SWG.

pulsar: 1603.01951

SKA-Japan Pulsar Science with the Square Kilometre Array

Keitaro TAKAHASHI¹, Takahiro AOKI², Kengo IWATA³, Osamu KAMEYA⁴,
Hiroki KUMAMOTO¹, Sachiko KUROYANAGI³, Ryo MIKAMI⁵, Atsushi
NARUKO⁶, Hiroshi OHNO⁷, Shinpei SHIBATA⁸, Toshio TERASAWA⁵, Naoyuki
YONEMARU¹, Chulmoon YOO³ (SKA-Japan Pulsar Science Working
Group)

Japan SKA Consortium (2016)
Preprint typeset using PASJ L^AT_EX format v.1.0

EoR: 1603.01961

Japanese Cosmic Dawn/Epoch of Reionization Science with the Square Kilometre Array

Kenji HASEGAWA^{1,*}, Shinsuke ASABA¹, Kiyotomo ICHIKI¹, Akio K. INOUE²,
Susumu INOUE³, Tomoaki ISHIYAMA⁴, Hayato SHIMABUKURO^{1,5}, Keitaro
TAKAHASHI⁵, Hiroyuki TASHIRO¹, Hidenobu YAJIMA⁶, Shu-ichiro
YOKOYAMA⁷, Kohji YOSHIKAWA⁸, Shintaro YOSHIURA⁵, on behalf of Japan
SKA Consortium (SKA-JP) EoR Science Working Group

Japan SKA Consortium (2016)
Preprint typeset using PASJ L^AT_EX format v.1.0

astrometry: 1603.02042

Radio Astrometry towards the Nearby Universe with the SKA

Hiroshi Imai¹, Ross A. Burns¹, Yoshiyuki Yamada², Naoteru Goda³, Tahei
Yano³, Gabor Orosz¹, Kotaro Niinuma⁴ and Kenji Bekki⁵ (SKA Japan
Astrometry Science Working Group)

日本は参加するの？

- 日本は今はメンバー国ではない
- SKA-Japanは関心のある主に大学の、主に理論家の研究者コミュニティ
→ 国立天文台に圧力
- VLBIコミュニティと協力
- 国立天文台水沢VLBI観測所の将来計画としてSKAを提案、推進室設置を要求

天文台面談

8/3 16:00-17:00@ 三鷹

参加者

林台長、小林副台長、

半田（鹿児島）、杉山（名古屋）、高橋（熊本）

大学からの報告・提案

- ・ SKA-Japan活動報告
- ・ 大学支援経費 3 年間の報告
- ・ SKA1参加のための技術貢献案提案
- ・ 推進体制提案（天文台＋大学）

大学支援経費報告（鹿児島）

「SKA推進のためのSKAO長期派遣・海外調査」

●SKAO滞在

- ・ 3年間で7回・19ヶ月（赤堀、今井、中西、半田）
- ・ 人的繋がり確立、日本の存在感アピール
- ・ 日本の貢献の可能性議論

→ VLBIと電波位置天文学

Band 5c（→超広帯域RX）

高温超伝導フィルター

●国際会議参加・国際動向調査

- ・ 9会合
- ・ CSIROとの連携協議

●国内での関連研究者の拡大

工学系研究者、産業界へのアピール

●OH maser astrometryの実施（別資金での成果）

大学支援経費報告（名古屋）

「SKAへ向けた準備研究の推進、国内コミュニティ拡大」

●研究推進（特に宇宙再電離・銀河進化）

- ・ 計算コード開発
→ 公開へ向けた準備
- ・ 計算データの利用提供
熊本と共同で

MWAでのEoR 21cmシグナル検出可能性見積もり
すばる-MWA共同観測提案

●国内コミュニティの取りまとめと拡大

- ・ SKA-JP運営
代表：杉山、SWG代表：市來、SWG副代表：竹内
宇宙再電離班代表：長谷川
- ・ すばる高赤方偏移銀河観測グループとの連携

大学支援経費報告（熊本）

「precursorを通したSKA準備研究・技術開発」

●MWA

- ・ 科研費で参加料を支払いメンバーとなる(2016～2018)
- ・ MWA-HSC (PFS)相互相関担当、観測提案
- ・ drift scan法開拓
- ・ メルボルン大学に研究者派遣

●ASKAP

- ・ 偏波解析（ファラデートモグラフィ）ソフト開発
- ・ シドニー大学に研究者派遣

●Parkes

- ・ イメージングによるパルサー探索法の開拓
- ・ 重力波シグナルシミュレーション
- ・ CSIROに研究者派遣

●国内のパルサー観測体制の整備

- ・ 山口、NICT、理研
- ・ VLBIによるパルサーアストロメトリを目指す

SKAへの参加に向けて

●方向性

- ・ SKA1から参加したい

●サイエンス

- ・ 引き続き準備研究を進める
- ・ 国際SWAへの寄与をして存在感を高める
- ・ precursorを用いた観測研究

●技術開発

SKA1のための短期的な開発（日本の既存技術で）

- ・ band 5c (14-26GHz)
- ・ VLBIバックエンド
- ・ AIV

天文台面談結果

結果

- SKAを水沢観測所の将来計画と位置づけ推進するのが良いのではないか
- まずは来年度からのサブプロジェクト化を目指すが良い
- 水沢と大学・研究機関でサイエンス・技術開発とともに協力していくべきである
- SKA-JapanはVLBIコミュニティを巻き込んでより大きなコミュニティ作りを目指すべき

国内情勢

08/03 国立天文台執行部面談

大学側より、SKA-JP活動の報告、SKA1参加の提案

天文台側より、SKAを水沢観測所の将来計画として位置付け
サブプロジェクト化提案、SKA-JP+VLBIコミュニティ形成

09/01 国立天文台VLBI小委員会

高橋より、SKA及びSKA-JPの現状報告

廣田さんより、水沢SKAサイエンス検討会報告

本間さんより、水沢サブプロジェクト化提案の意向

11/03 VERA User's Meeting

高橋より、SKA-JP活動報告、VLBIコミュニティに協力要請

廣田さんより、水沢SKAサイエンス検討会報告

赤堀さんより、サブプロジェクト設置に関して意見収集

12/22 国立天文台VLBI小委員会

高橋より、アップデート

赤堀さんより、サブプロ申請書案提出

12/25 国立天文台電波専門委員会

01/17 サブプロジェクト申請

04/01 サブプロジェクト立ち上げ



赤堀さんを中心に
プロジェクト案を作成中

国際協力

国内ではあまりパルサーの観測経験がない
→ 国際協力

国際セッション

George Hobbs (CSIRO) Parkes PTA代表

Shi Dai (CSIRO) Parkes PTA

Di Li (NAOC) FAST代表

3 日間の研究会を楽しんでください！