

SKA-Japanの活動



高橋慶太郎 (熊本大学)
SKA-Japanコンソーシアム
2017年11月4日@水沢UM

目次

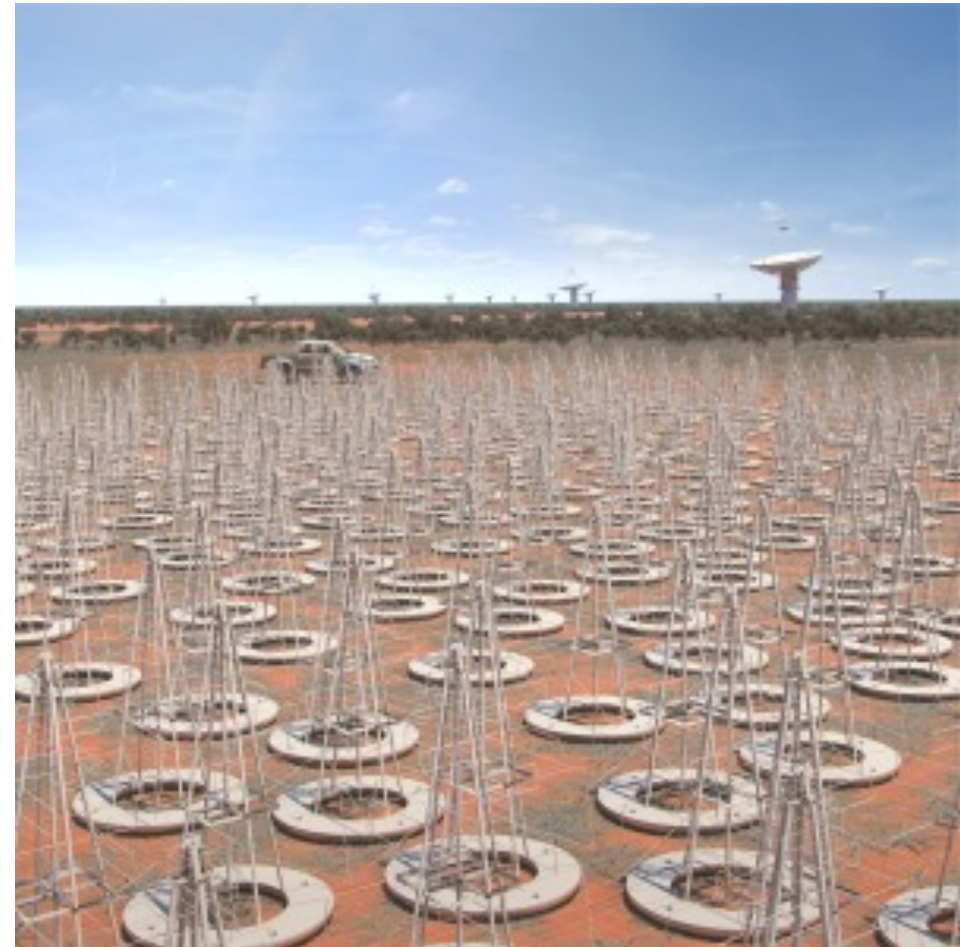
- 1、SKA update
- 2、SKA-Japan update
- 3、SKA1への参加に向けて

1、SKA update



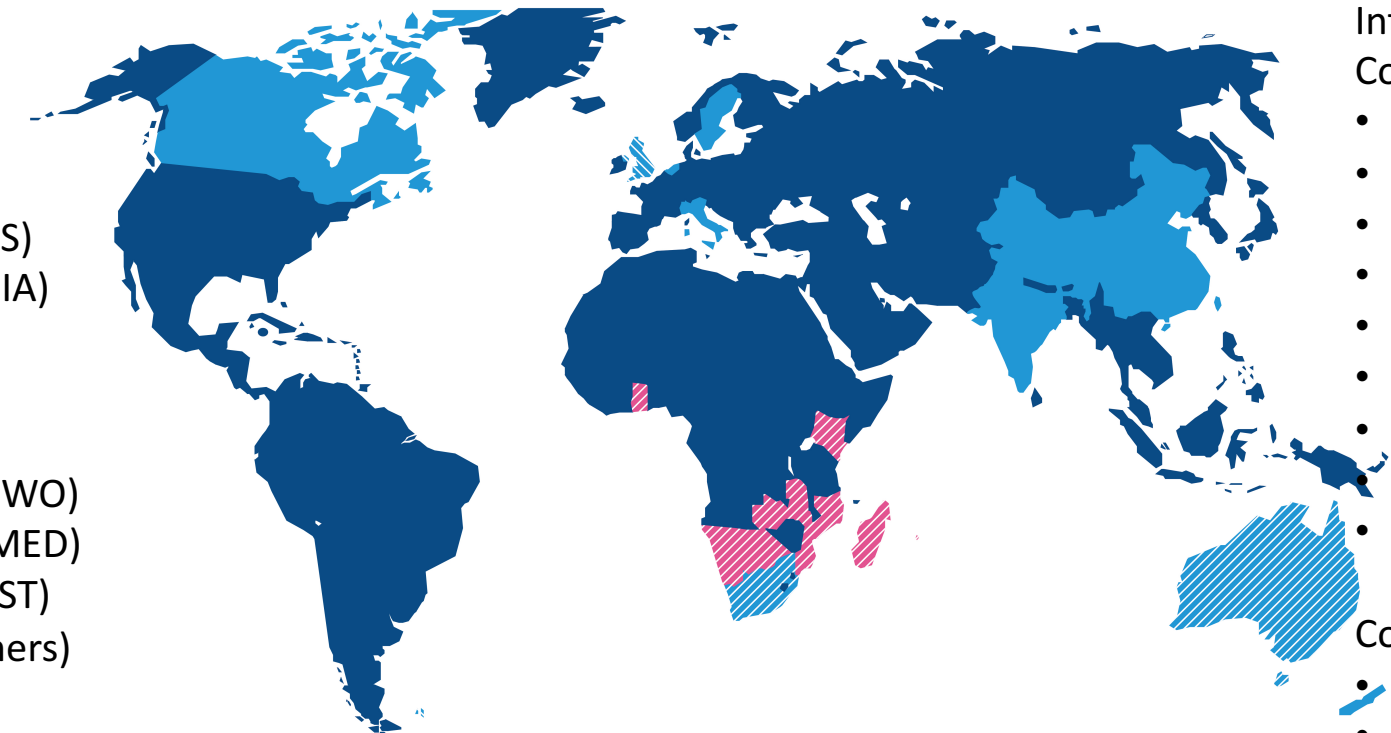
SKA-low

SKA-mid



参加国

Australia (DoI&S)
Canada (NRC-HIA)
China (MOST)
India (DAE)
Italy (INAF)
Netherlands (NWO)
New Zealand (MED)
South Africa (DST)
Sweden (Chalmers)
UK (STFC)



- Full members
- ▨ SKA Headquarters host country
- ▨ SKA Phase 1 and Phase 2 host countries



- ▨ African partner countries
(non-member SKA Phase 2 host countries)

Interested Countries:

- France
- Germany
- Japan
- Korea
- Malta
- Portugal
- Spain
- Switzerland
- USA

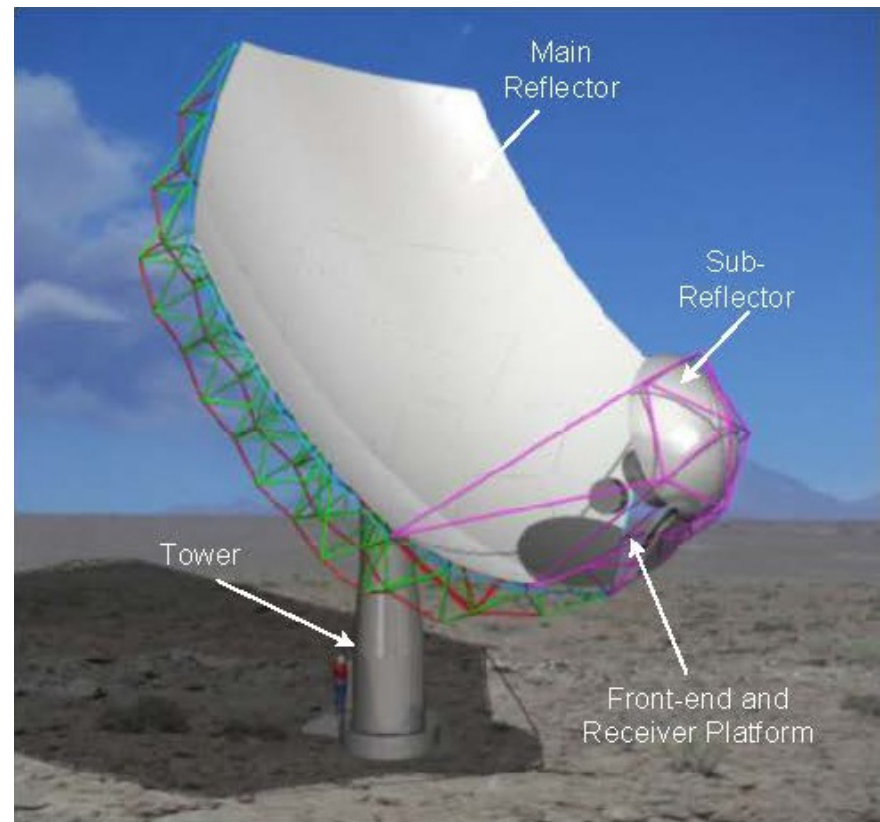
Contacts:

- Mexico
- Brazil
- Ireland
- Russia

SKA-mid

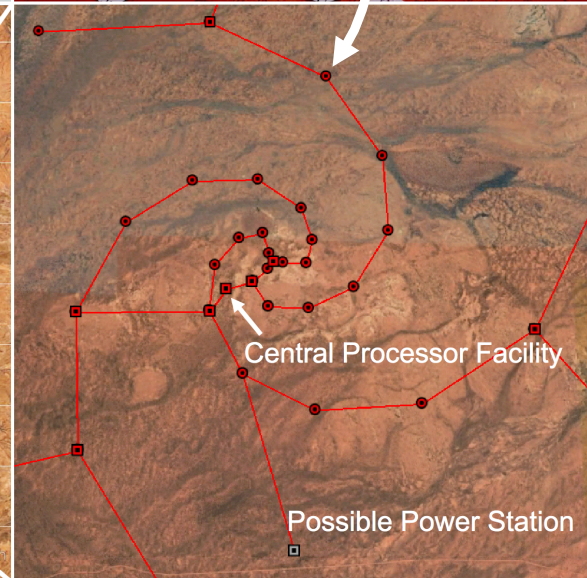
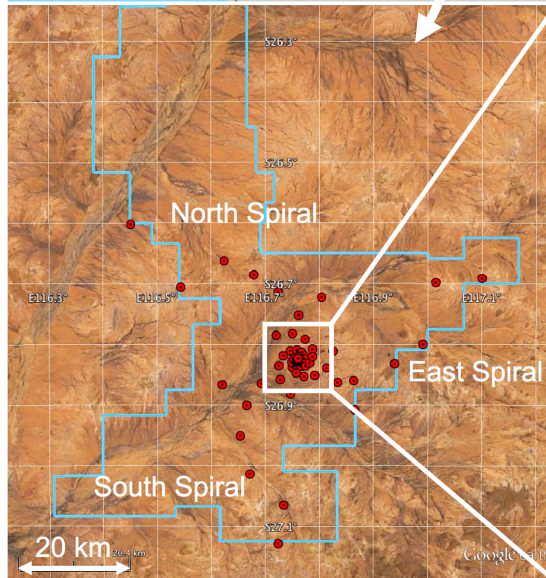
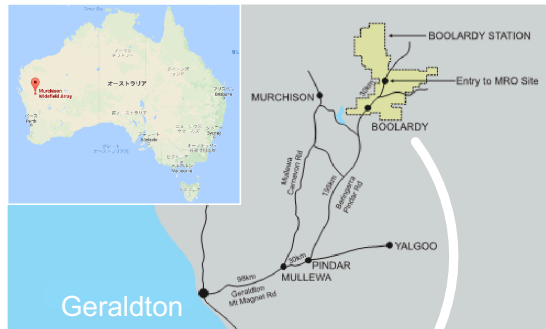
- 南アフリカ
- 350MHz - 24GHz
- SKA-1: 200 15m dish、最大基線長150km
- SKA 2: 2,000 15m dish、最大基線長3,000km
- パルサー、HI . . .

SKA Band	周波数範囲
Band1	350-1050 MHz
Band2	950-1760 MHz
Band3	1650-3050 MHz
Band4	2800-5180MHz
Band5-1	5.0-9.25GHz
Band5-2	9.0-16.7GHz

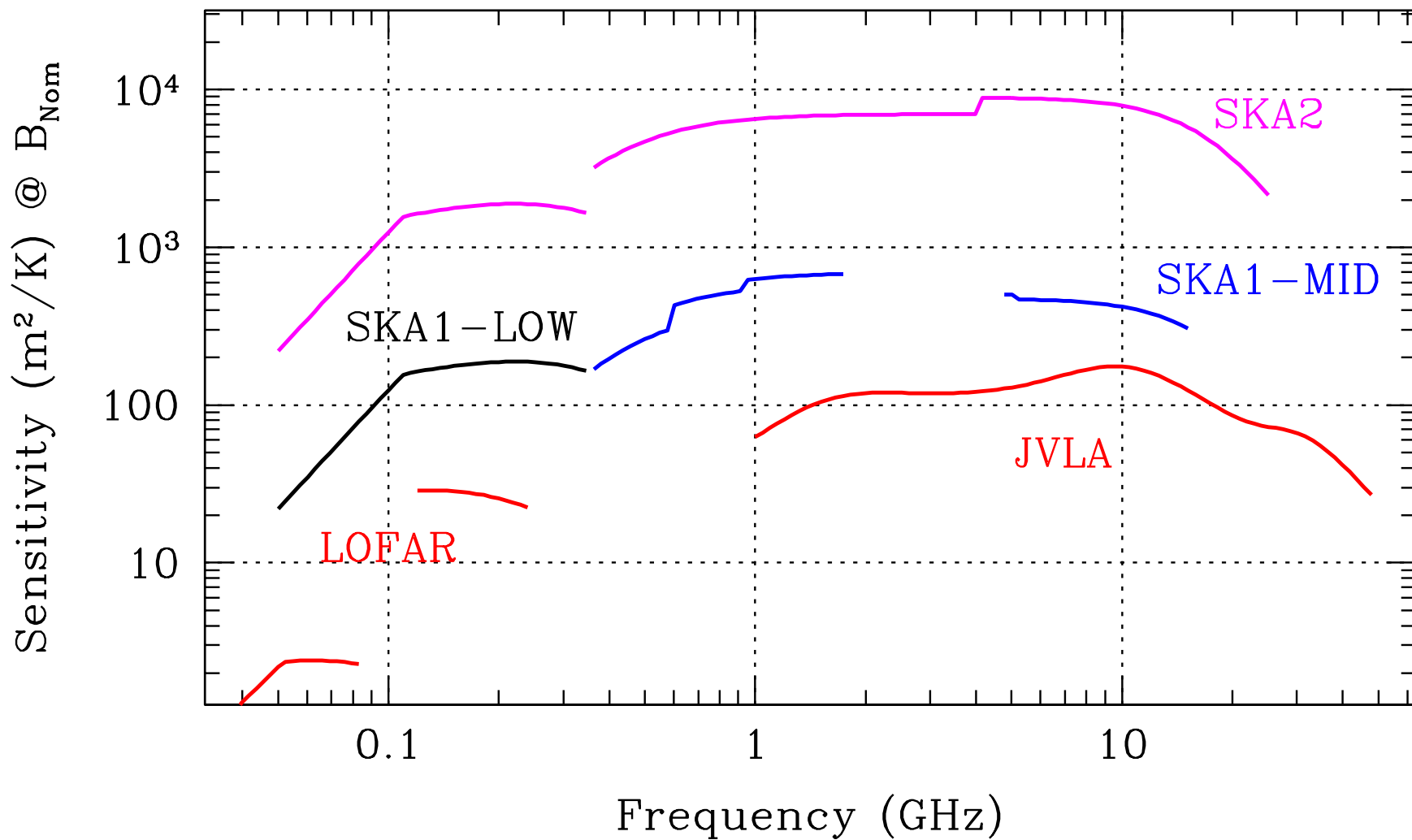


SKA-low

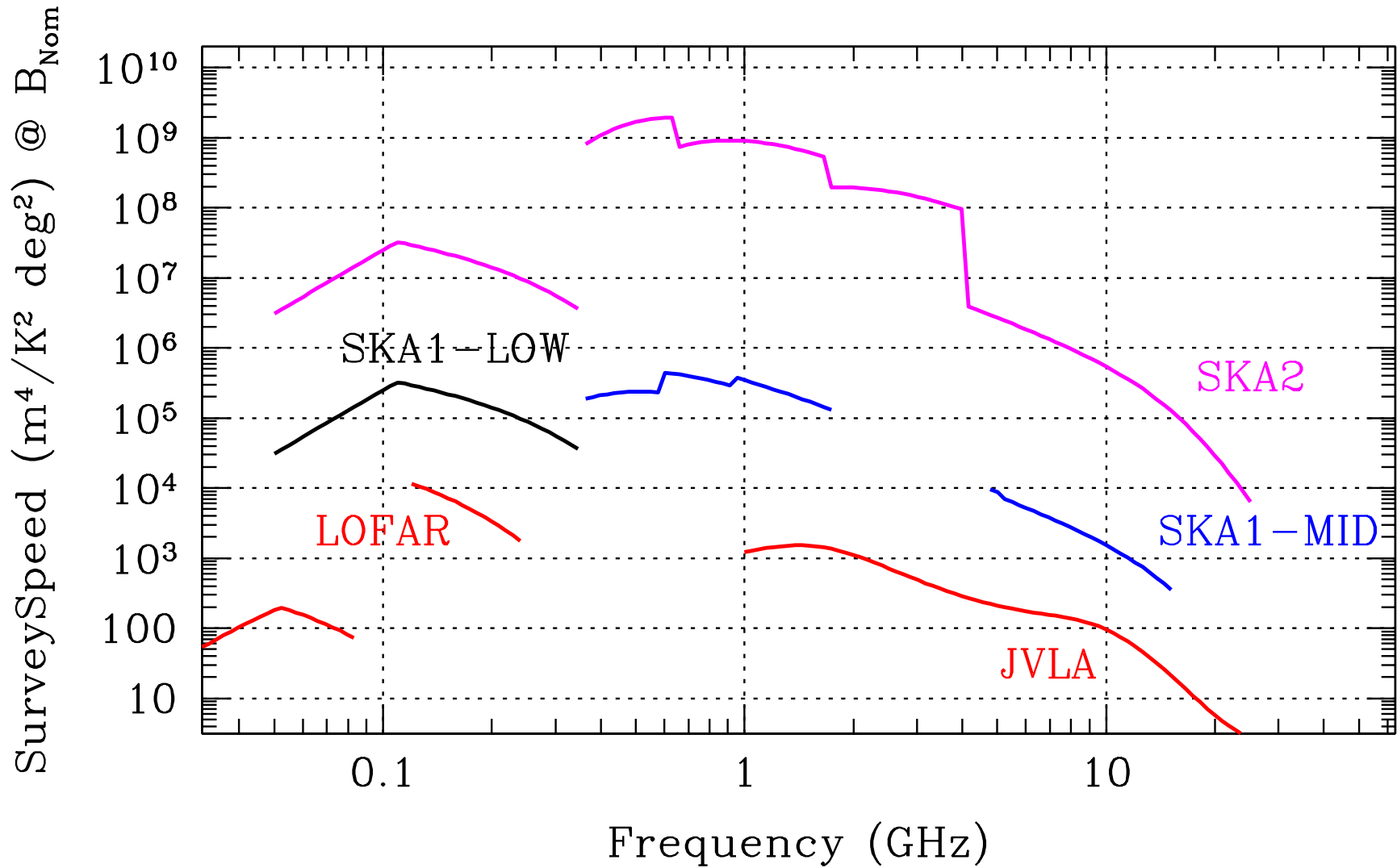
- オーストラリア
- 50 - 350MHz, log-periodic antenna
- SKA1: 130,000アンテナ、最大基線長65km
- SKA2: 500,000
- EoR 21cm線



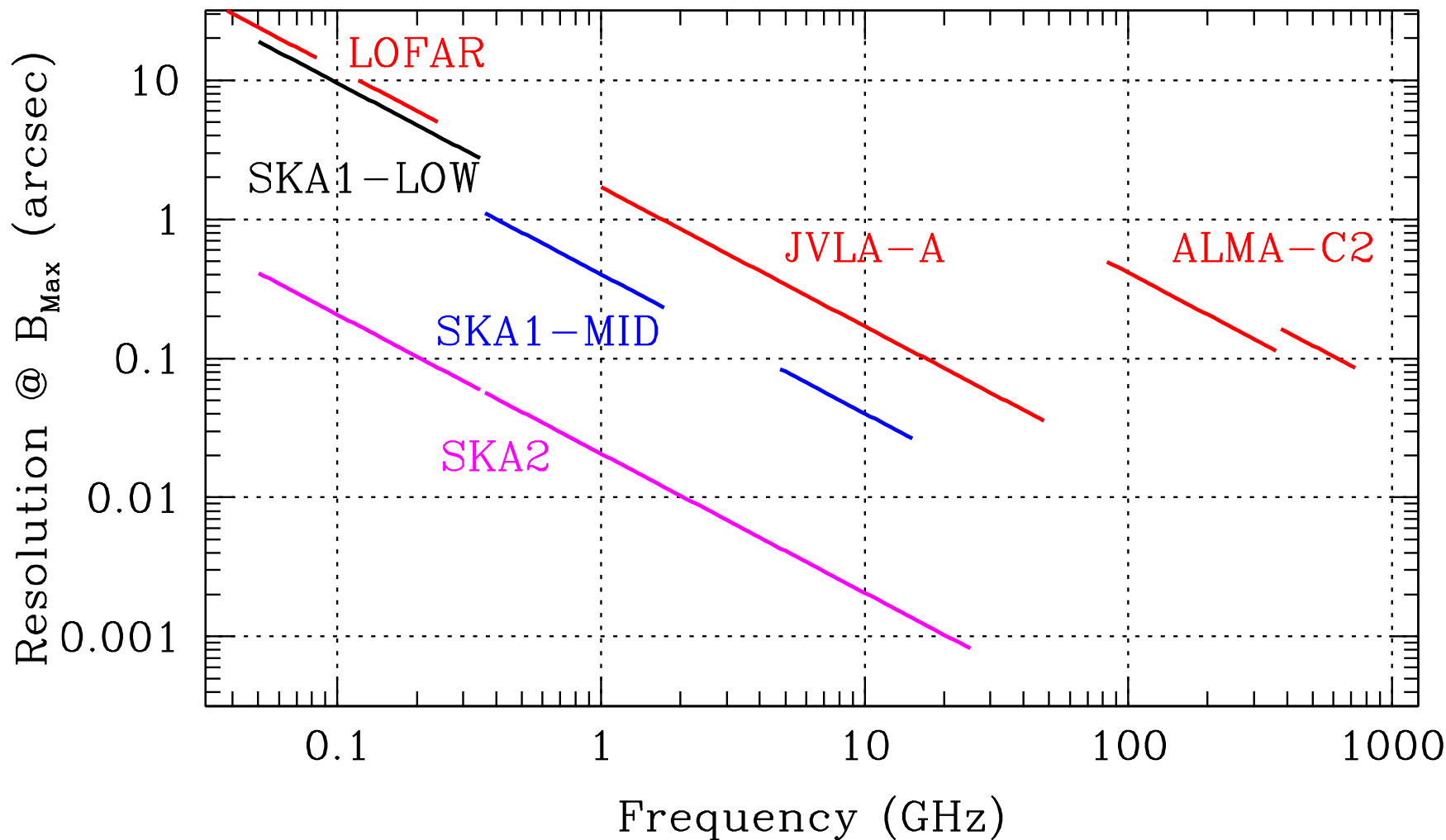
性能：感度



性能：サーベイ速度



性能：角度分解能



スケジュール

17

18

19

20

21

22

23

24

25

SKA1建設

SKA1本格運用

SKA1初期運用

SKA2デザイン

SKA2建設

MeerKAT Phase1

Phase 2, 3

ASKAP初期運用

本格運用

MWA Phase2

Phase3

スケジュール

2020

2025

2030

SKA1初期運用

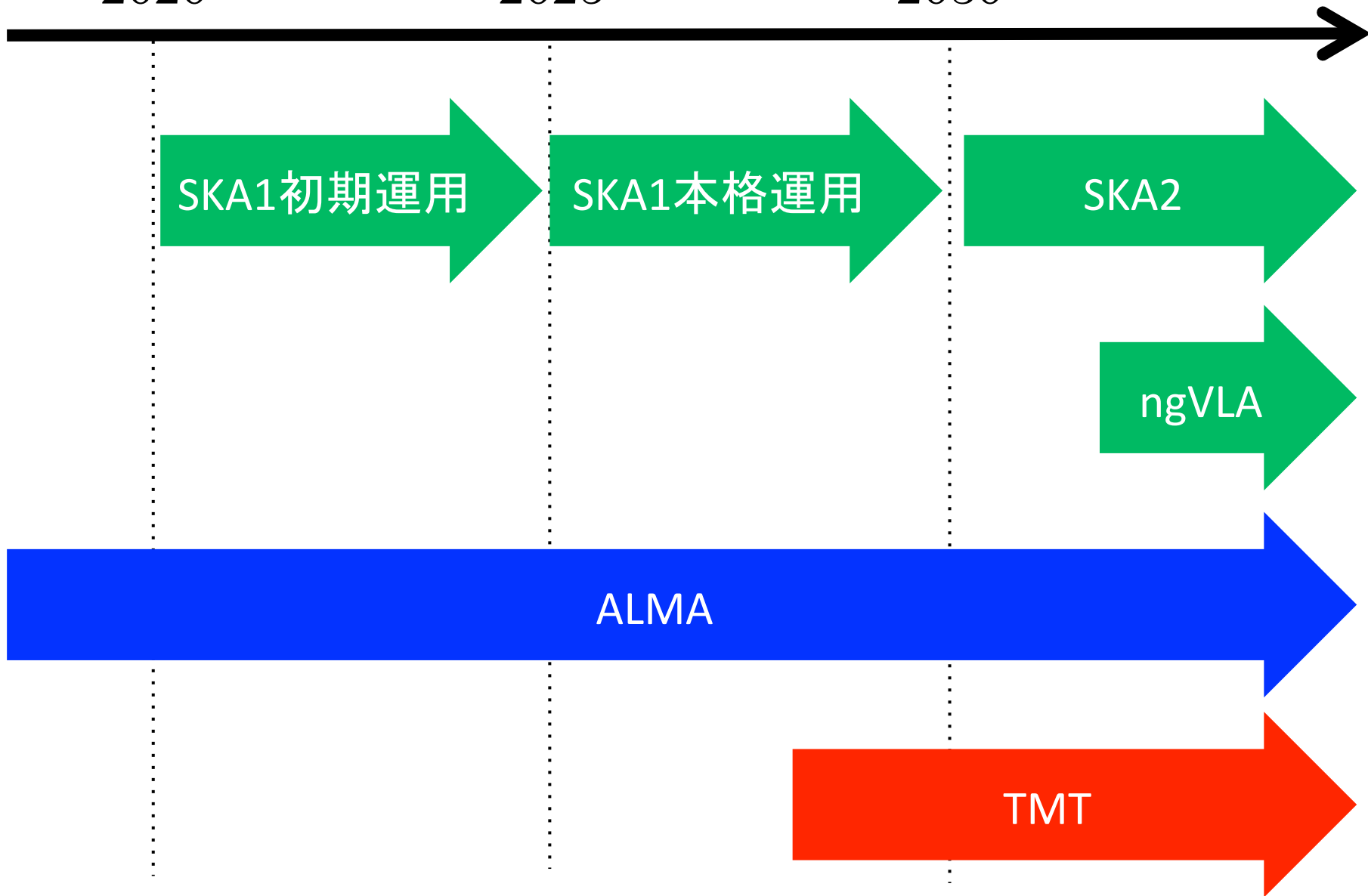
SKA1本格運用

SKA2

ngVLA

ALMA

TMT



サイエンス

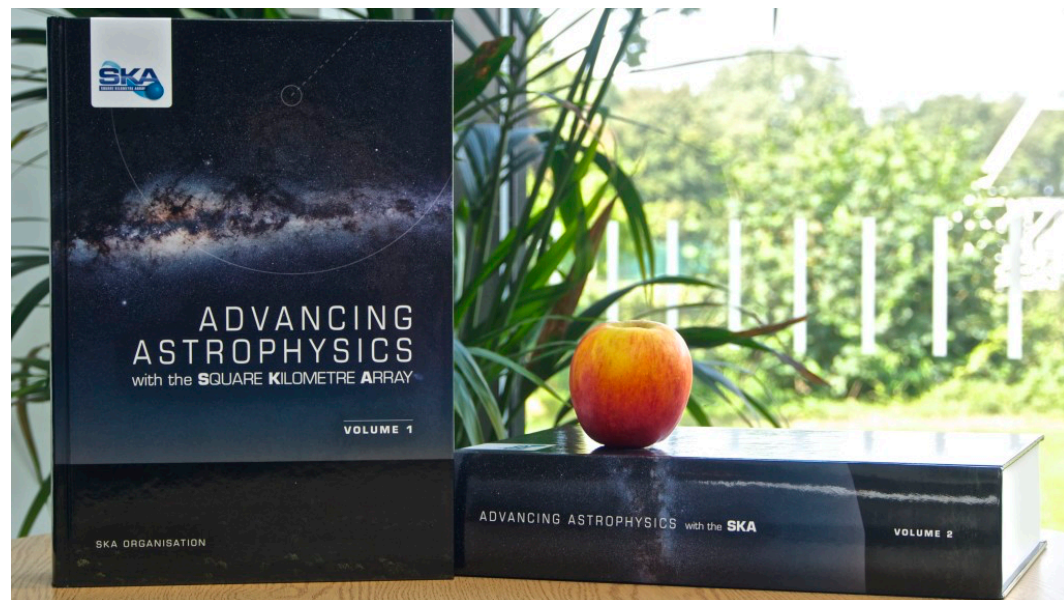
Key Science

- 暗黒時代と宇宙再電離
- パルサー
- 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

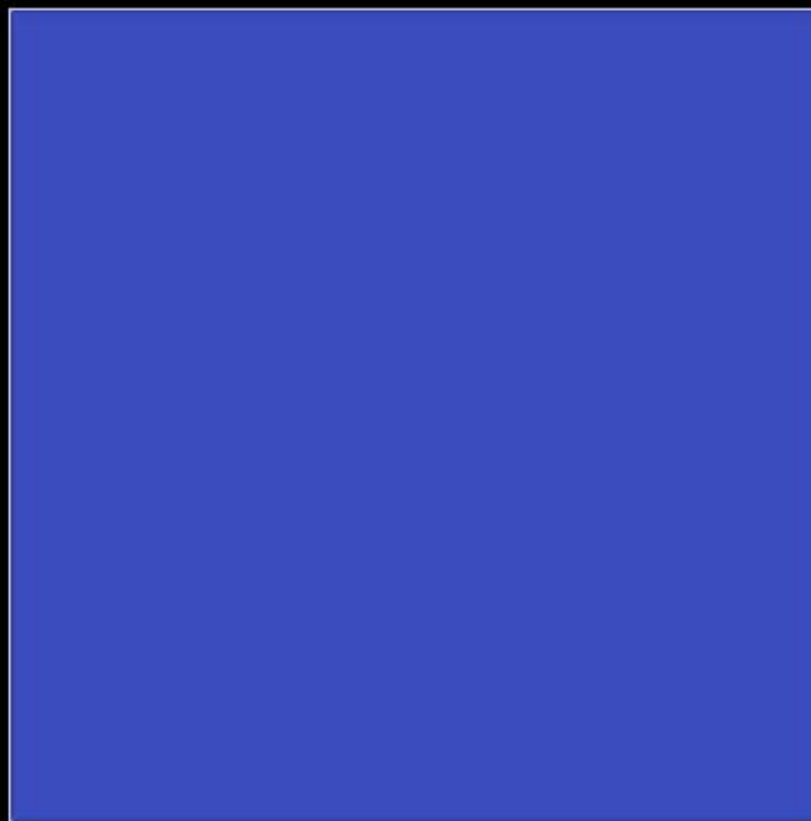
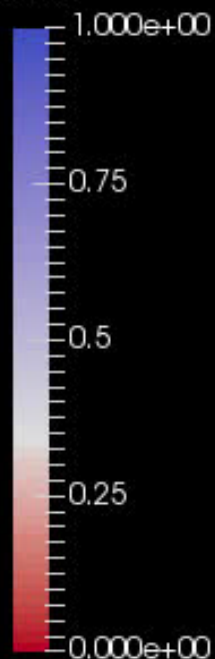
2,000ページ、8.8kg!



宇宙で最初の星 ～ 宇宙再電離

Neutral Hydrogen Fraction

scalars

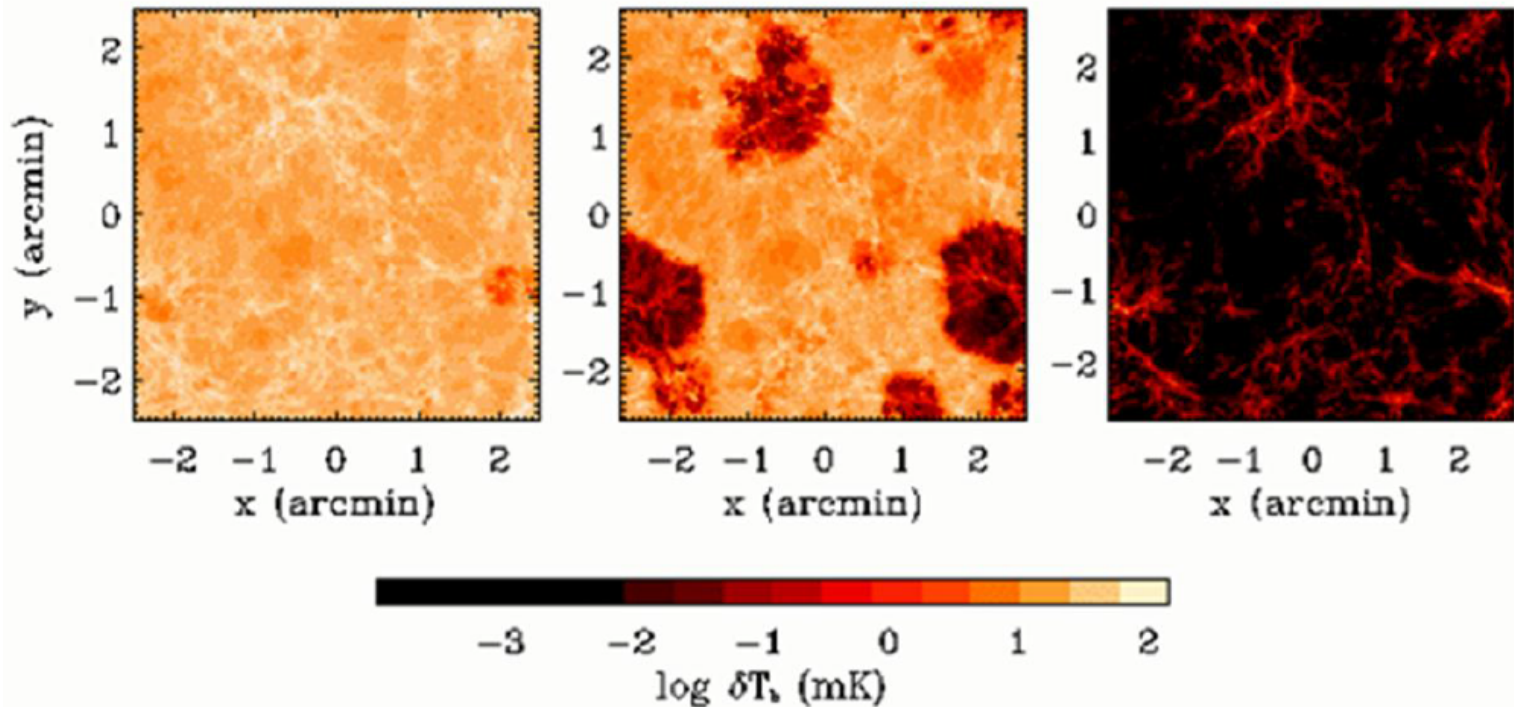


160 Mpc

提供：長谷川賢二氏
(名古屋大学)

中性水素21cm線

時間→



- $z = 27 \rightarrow 6$ (50 - 200MHz)
- 再電離の様子が時系列で見える！
→ 初代星、初代ブラックホール、IGMの性質
- イオン化バブルの真ん中を他波長で見る
→ ALMA、TMT

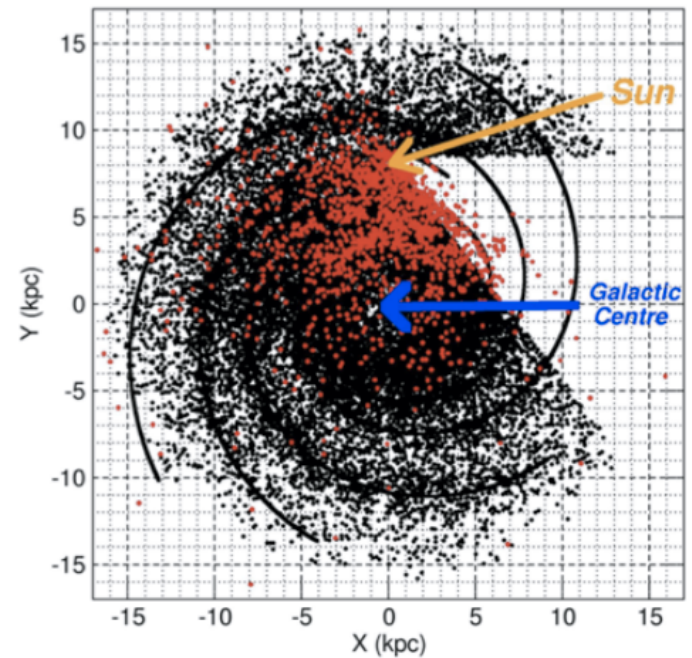
パルサー

SKA1サーベイ

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

SKA2サーベイ

- 30,000 normal pulsars
- 3,000 msec pulsars



これだけたくさんあると

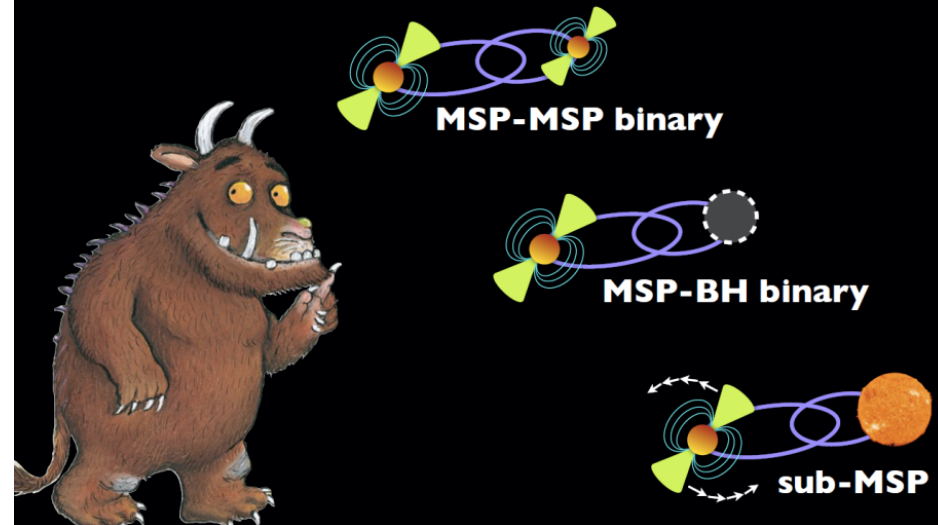
- 統計
- 珍しい物
- サイエンス

重力波直接検出

相対論検証、銀河系構造

パルサー磁気圏・進化

GCs could create some very strange creatures



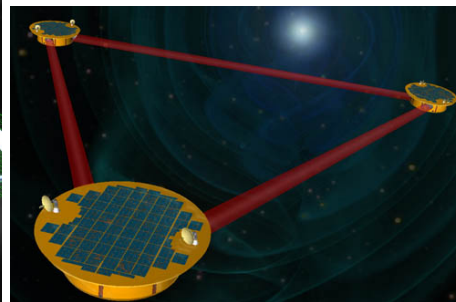
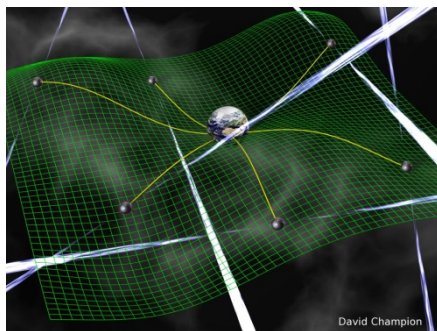
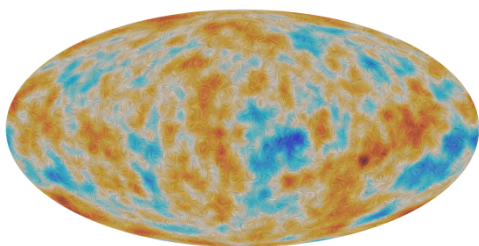
多波長重力波天文学

CMB

PTA

宇宙干渉計

地上干渉計



超巨大BHの
進化を探る

超巨大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

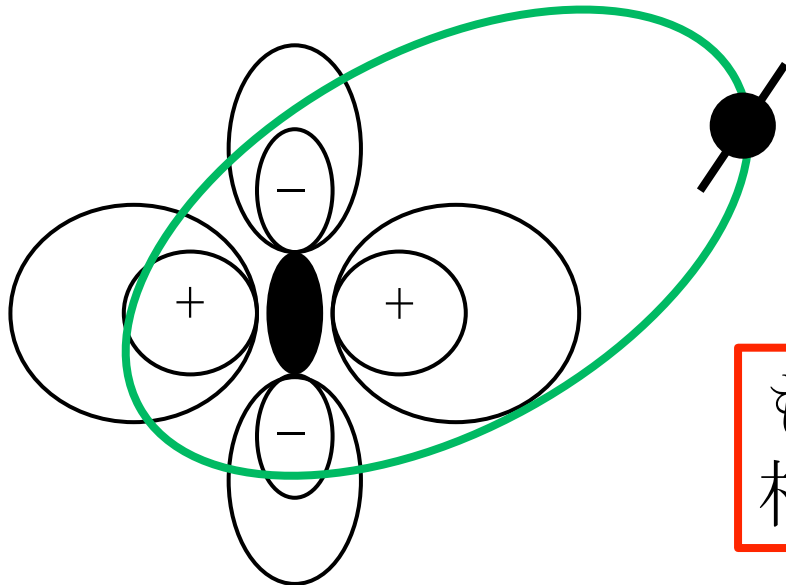
$\sim 1\text{nHz}$

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

100Hz

相対論の検証

- 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
- Sgr A*の周り1mpcをまわるパルサーの観測
 - 軌道要素
 - BHの「形」(質量・スピン・四重極)を測る
 - 相対論の予言は正しい?



もっとも相対論らしいもので
相対論を検証する

コスト

2013 SKA1 Baseline Design

- 建設費見積～€1,200M
- cost-cap: €650M

2014 Science Prioritization

2015 re-baselining

- low アンテナ50%減
- mid アンテナ30%減、band 3,4なし
- sur 中止
- チャンネル数 256,000 → 64,000

Baseline Design v2

コスト

2016 コスト見積 → 建設€916M・運用費128M/yr
cost cap: €674M (2016 Euro)

Cost Control Project発足

科学・技術・スケジュールを考慮し
コスト削減シナリオ作成

2017 コスト見積 → 建設€806M・運用€88.7M/yr

Deployment Design作成

- ・ 予算内で建設可能なもの
- ・ 新たな資金を得たらBaseline Designに復帰できるようなデザイン

Deployment Design

	Design Baseline	Deployment Baseline	Re-instatement '+' means add to system
SKA1-Mid			
No. dishes	133	130	+3 dishes at 150 km
Max. Baseline	150 km	120 km	+ infra to 150 km
Band 1 Feeds	133	130	+3 Band 1 Feeds for 3 dishes
Band 2 Feeds	133	130	+3 Band 2 Feeds for 3 dishes
Band 5 Feeds	133	67	+66 Band 5 feeds
Pulsar Search (PSS)	500 nodes	375 nodes	+125 nodes
SKA1-Low			
No. stations	512	476	+36 stations
Max. Baseline	65 km	40 km	+infra to 65 km
Pulsar Search	167 nodes	125 nodes	+42 nodes
Common			
Compute Power	260 PFLOPs	50 PFLOPs	+210 PFLOPs

施設		周波数(中心) (MHz)
SKA1-LOW		50-350 (200)
SKA1-MID	1	350-1050 (700)
	2	950-1760 (1355)
	3	1650-3050 (2350)
	4	2800-5180 (3990)
	5a	4000-9250 (6625)
	5b	9000-16700 (12850)
PAF	1	350-900
	2	650-1670
	3	1500-4000
WBSPF	A	1600-5200
	B	4600-24000

まとめ

SKA

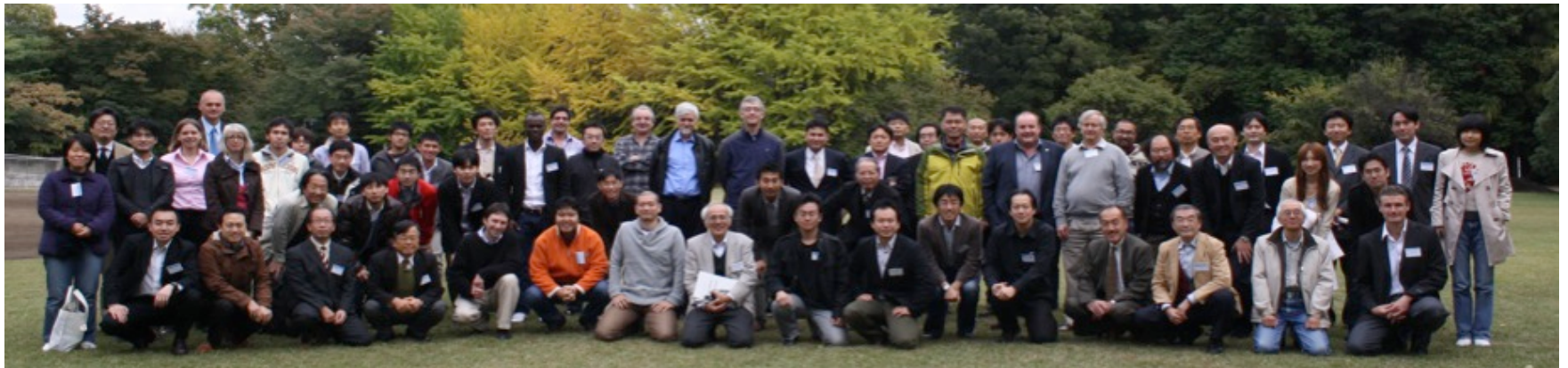
- 100MHz ~ 10GHz帯の次世代電波望遠鏡
- たくさんのtransformational science
- 2019年建設開始、2020年初期観測開始
- SKA1コストのめどが付いてきた
- SKA0はすでに始まっている

2、SKA-Japan update

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（水沢）
- ・ 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（早稲田）



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）



国際SKAでそれほど
フォーカスされて
いないのでチャンス

最近の活動

2014 国立天文台大学支援経費（～2017）

2015 SKA-JPワークショップ

日本版サイエンスブック（日本語）

水沢観測所への要望書提出

天文学会特別セッション・企画セッション

2016 日本版サイエンスブック（英語）

SKA-JPシンポジウム

電波専門委員会タスクフォースレポート

MWA参入

2017 エンジニアリングレポート

天文台執行部との面談

物理学会シンポジウム

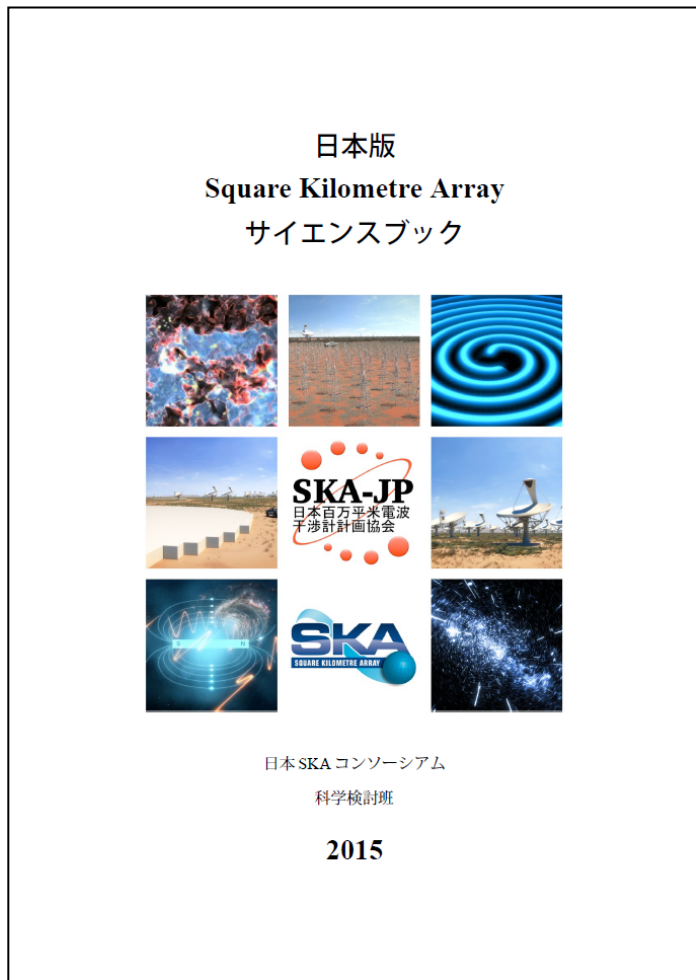
日本版サイエンスブック

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

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

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)



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



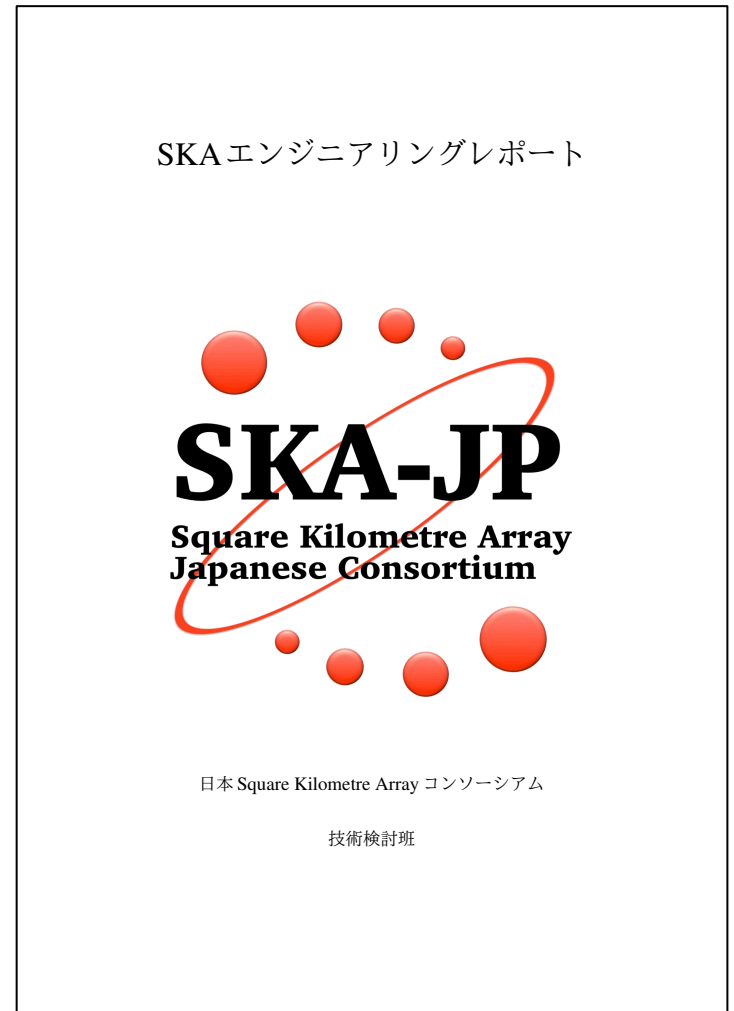
astrometry: 1603.02042

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)

技術検討

- エンジニアリングレポート
 - ・SKAの設計や問題点
 - ・日本の開発状況
 - ・SKAにどのような技術貢献がありうるか現状の検討状況
- 検討項目
 - ・省電力関連器（河野）
 - ・広帯域フィード（氏原、赤堀）
 - ・偏波解析パイプライン（高橋、赤堀）



大学支援経費

- 国立天文台大学支援経費
 - ・ 鹿児島、熊本、名古屋
 - ・ 2014.10 - 2017.9
 - ・ 60,000千円/3yr
- 鹿児島：SKA本部派遣
 - ・ 赤堀 → 今井 → 中西 → 半田と2年間滞在
 - ・ 情報獲得、何がどうまわっているか
 - ・ 日本参加へのロードマップ
- 熊本：プレカーサー参加、研究者派遣
 - ・ ASKAP（宇宙磁場）
 - ・ MWA（宇宙再電離）
 - ・ Parkes（パルサー）
- 名古屋：サイエンス、光赤外との協働
 - ・ 宇宙再電離大規模シミュレーション
 - ・ すばるHSC high-zグループとの協働

宇宙再電離

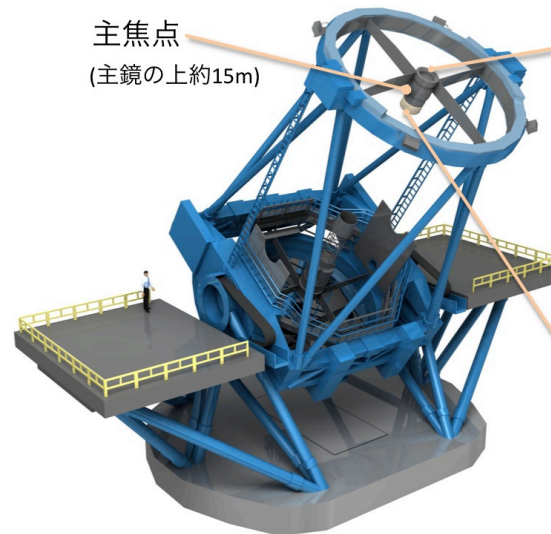
再電離21cm線観測は難しい！

→ シグナル微小 << 前景放射

→ 21cm線 - high-z銀河相互相関

→ MWA - Subaru HSC collaboration

→ 初検出を狙う！



主焦点
(主鏡の上約15m)

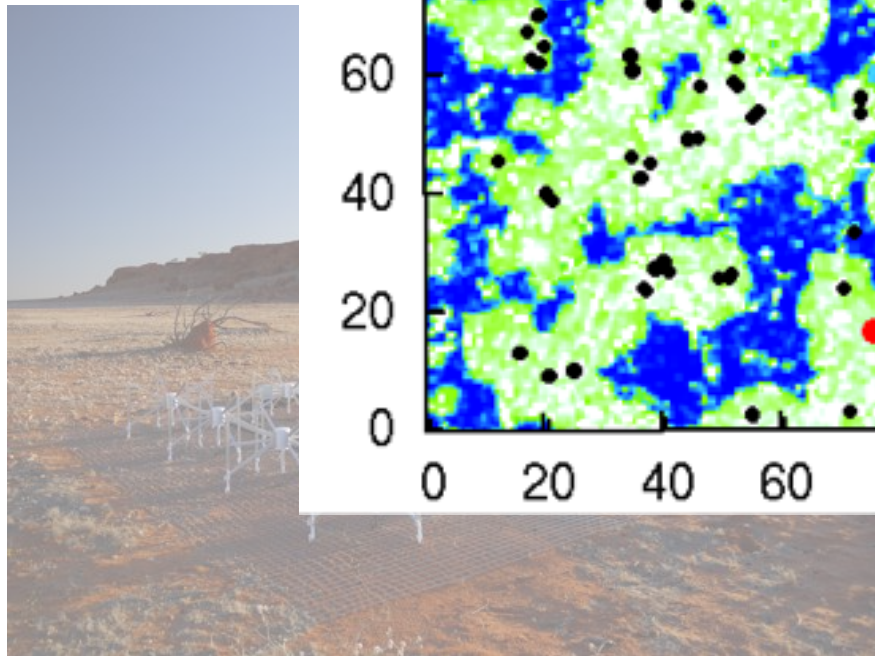
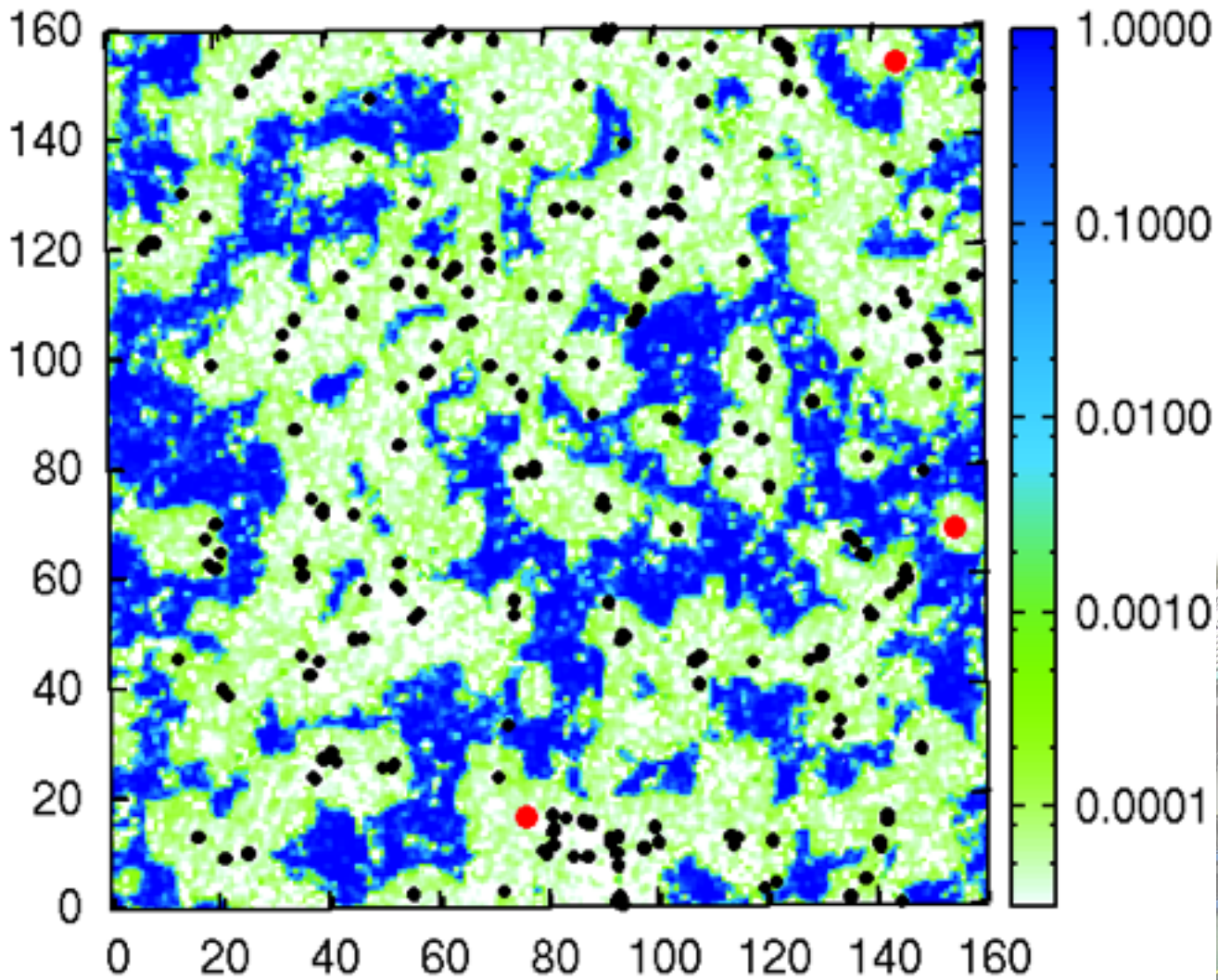
すばる望遠鏡



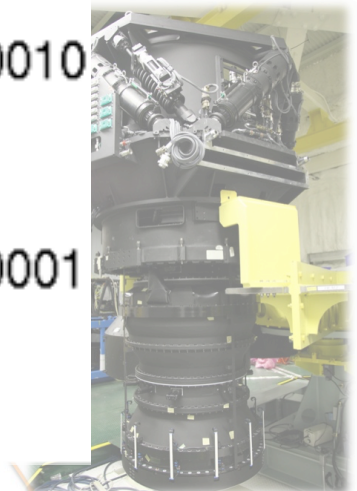
Hyper Suprime-Cam
(高さ約3m、重さ約3トン)

宇宙再電離

再電離
→ シ
→ 21
→ M
→ 初



すばる望遠鏡



Hyper Suprime-Cam
(高さ約3m、重さ約3トン)

ASKAP

- GASKAP（銀河面ラインサーベイ）：今井・半田
 - ・水酸基メーザー源の探査
 - ・FUGIN COマップとGASKAP HIマップの比較

- 野辺山45mとの共同観測：中西
 - ・WALLABY（全天HIサーベイ $z < 0.25$ ）との共同観測
 - ・stacking 解析によりISMのHI/CO比の進化を追う

- POSSUM（全天偏波サーベイ）：
高橋・赤堀・出口・秋山・宮下
 - ・ファラデートモグラフィソフトを開発、実装
 - ・ベンチマークテスト参加
 - ・スパースモデリングの応用

パルサー

- VLBI観測による精密距離測定
 - ・重力波源の位置を精密に決定
→ 重力波「天文学」へ
 - ・銀河系構造の解明

- Parkesとの共同研究
 - ・PTAによる重力波直接検出で最先端
 - ・研究者の長期派遣
 - ・timing観測なしでパルサー候補選別

- 国内観測体制の確立

まとめ

SKA-Japan

- 10年、200人
- SWG、EWG
- SKA0に参加、存在感を示しつつある
- 再電離、宇宙磁場、パルサーなど
- 国際SKAで手薄なVLBI、位置天文、星惑星形成などに注力をしたい

3、SKA1への参加に向けて

SKA1に向けて

なぜSKA1から？

- ・ 2020年代はSKA1の時代
- ・ SKA2の実現性？

SKA-Japanロードマップ作成

SKA1に向けて

間に合いますか？

サイエンス

- もともとサイエンス発、理論主体
- 10年の活動
- プレカーサー、国際SWGに寄与

技術開発

- 本格的な検討はここ1～2年

技術開発での寄与が鍵

SKA1に向けて

SKA1への技術貢献

- 我々のサイエンスに直結
- 我々の技術的強みを生かす
- SKA側の要望、スケジュールに沿う
- 予算規模：O(10)億円

3 項目

- Band 5c (5a-5c統合)
- SKA1-mid VLBIバックエンド
- AIV

(SKA2に向けた長期的な開発項目もある)

SKA1に向けて

Band 5とVLBIのサイエンス

- 銀河系中心のパルサー
- パルサーの距離決定
- マグネターの高速移動
- 高RM天体の探索
- AGNの根元
- 高精度銀河形状による弱重力レンズ
- アストロメトリ

天文台執行部面談

8/3 @ 三鷹

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）
- 予算案提案

大学での研究のため108,000千円/3年を要求
現在の外部資金：70,000千円/3年

天文台執行部面談

結果（方向性）

- 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
- 来年度からのサブプロジェクト化を目指す
- 水沢と大学、研究機関でサイエンス、技術開発ともに協力していく
- 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を作る

まとめ

SKAもSKA-Japanも岐路に立っている

- ・ SKA1の予算のメド
- ・ SKA-Japanは暗中模索期を抜けようやく
スタート地点に立ってSKA1への参加を目指せる状態

日本のVLBIコミュニティという資産

- ・ SKA-Japanに欠けている技術開発と観測解析の経験
- ・ 国際SKAに欠けている高周波、VLBIの技術と
そのサイエンス

ぜひ一緒にやりましょう！