

MWA と MWA Japan

高橋慶太郎
熊本大学
2017.1.8



目次

- 1、SKA と SKA Japan
- 2、MWA と MWA Japan
- 3、宇宙再電離21cm線

1、SKA と SKA Japan

Square Kilometre Array



次世代大型センチ波望遠鏡

特徴：高感度・広帯域・広視野・高分解能

規模：2000-3000台の望遠鏡

帯域：0.05-10GHz

基線長：最大3000km

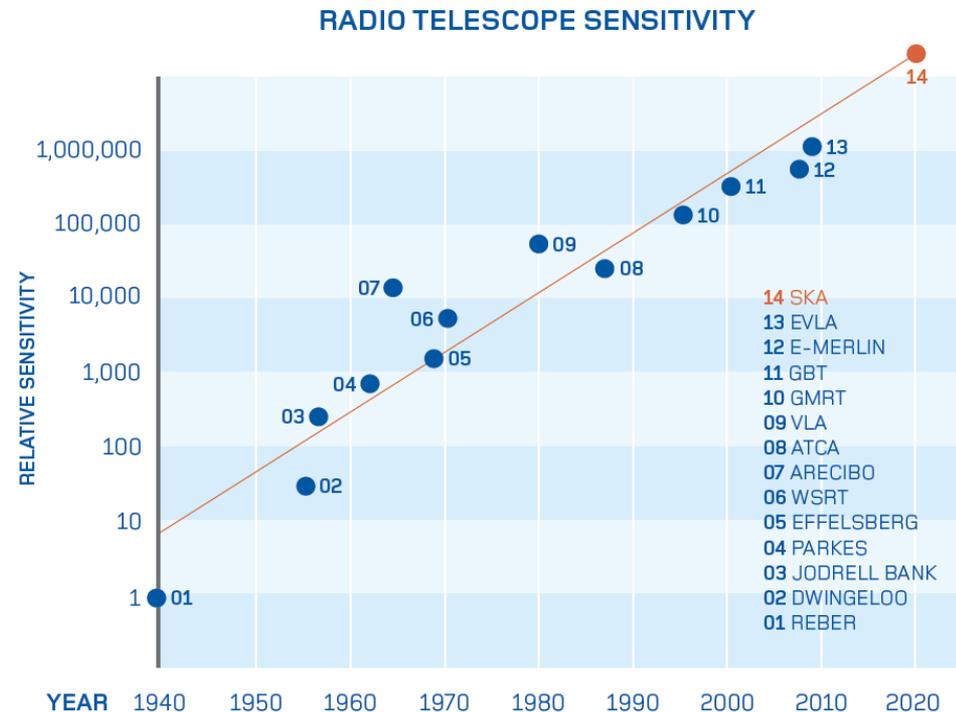
場所：オーストラリア・南アフリカ

本部：マンチェスター

→ 電波源の数：100倍

感度：EVLA×40

サーベイ速度：1万倍



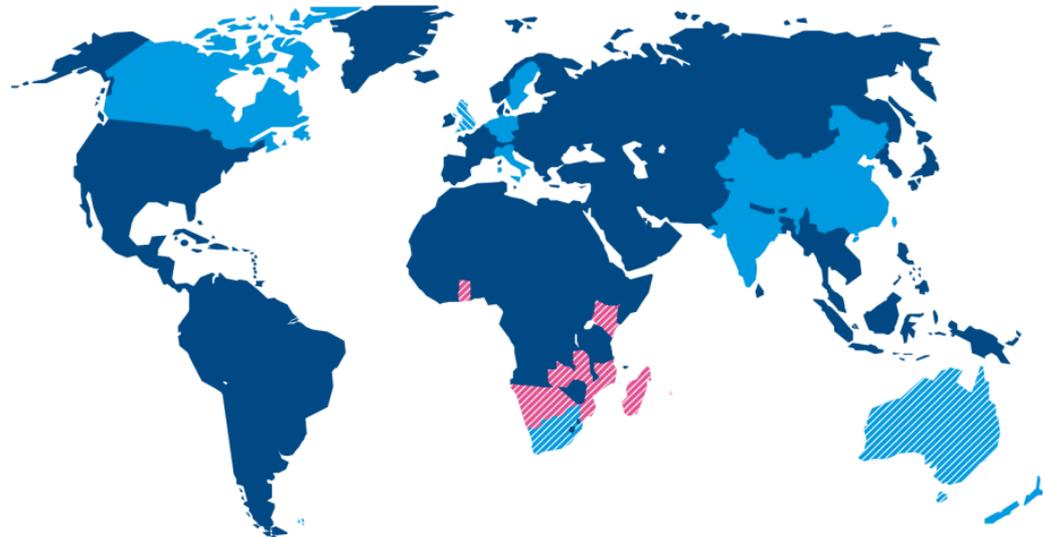
参加国

参加国：

オーストラリア、南アフリカ、イギリス、カナダ、
中国、インド、イタリア、ニュージーランド、
スウェーデン、オランダ

オブザーバ：

ブラジル、フランス、
ドイツ、日本、韓国、
マルタ、ポーランド、
ポルトガル、ロシア、
スペイン、アメリカ



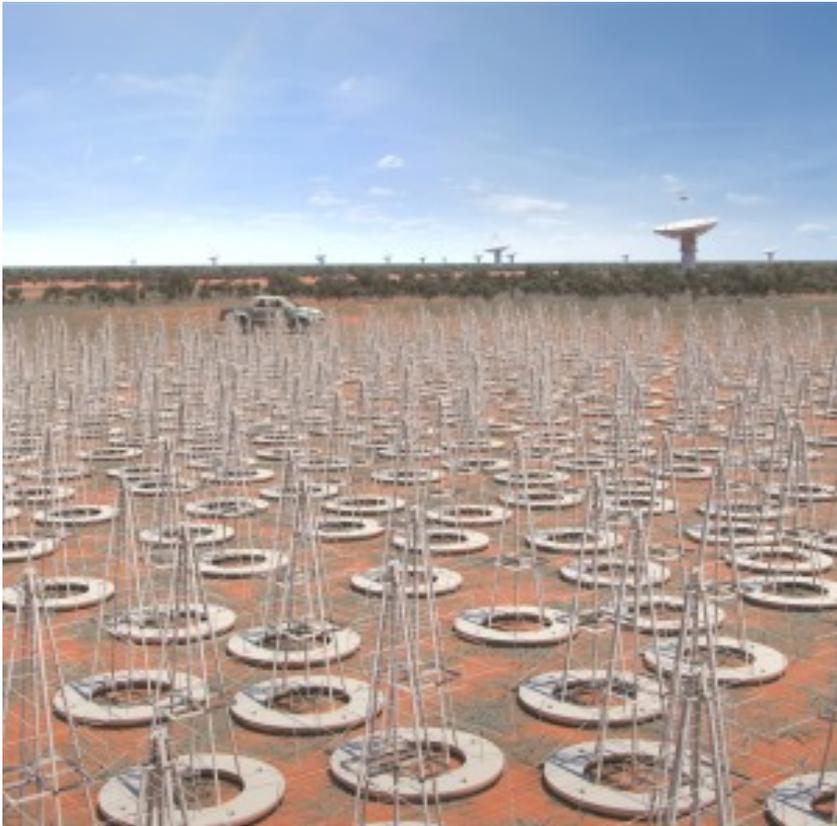
- Full members
- ▨ SKA Headquarters host country
- ▨ SKA Phase 1 and Phase 2 host countries



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

This map is intended for reference only and is not meant to represent legal borders

SKA-low in Australia



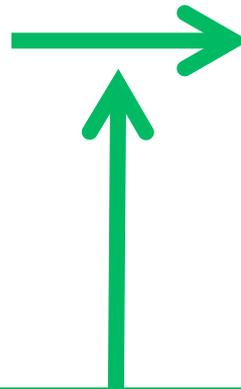
SKA-mid in South Africa



timeline

SKA phase 1

- 2018- 建設
- 2020- 初期科学観測
- Sparse Aperture Array
+ Dish
- EoR, pulsar, cosmology



SKA phase 2

- 2023- 建設
- 202?- 観測
- 先進的技術AIP

Advanced Instrumentation Program

- Dense Aperture Array
- Phased Array Feed
- Ultra-Wideband Single-Pixel Feed

precursors

Australia



MWA



SKA1-low



SKA2-low

South Africa



MeerKAT

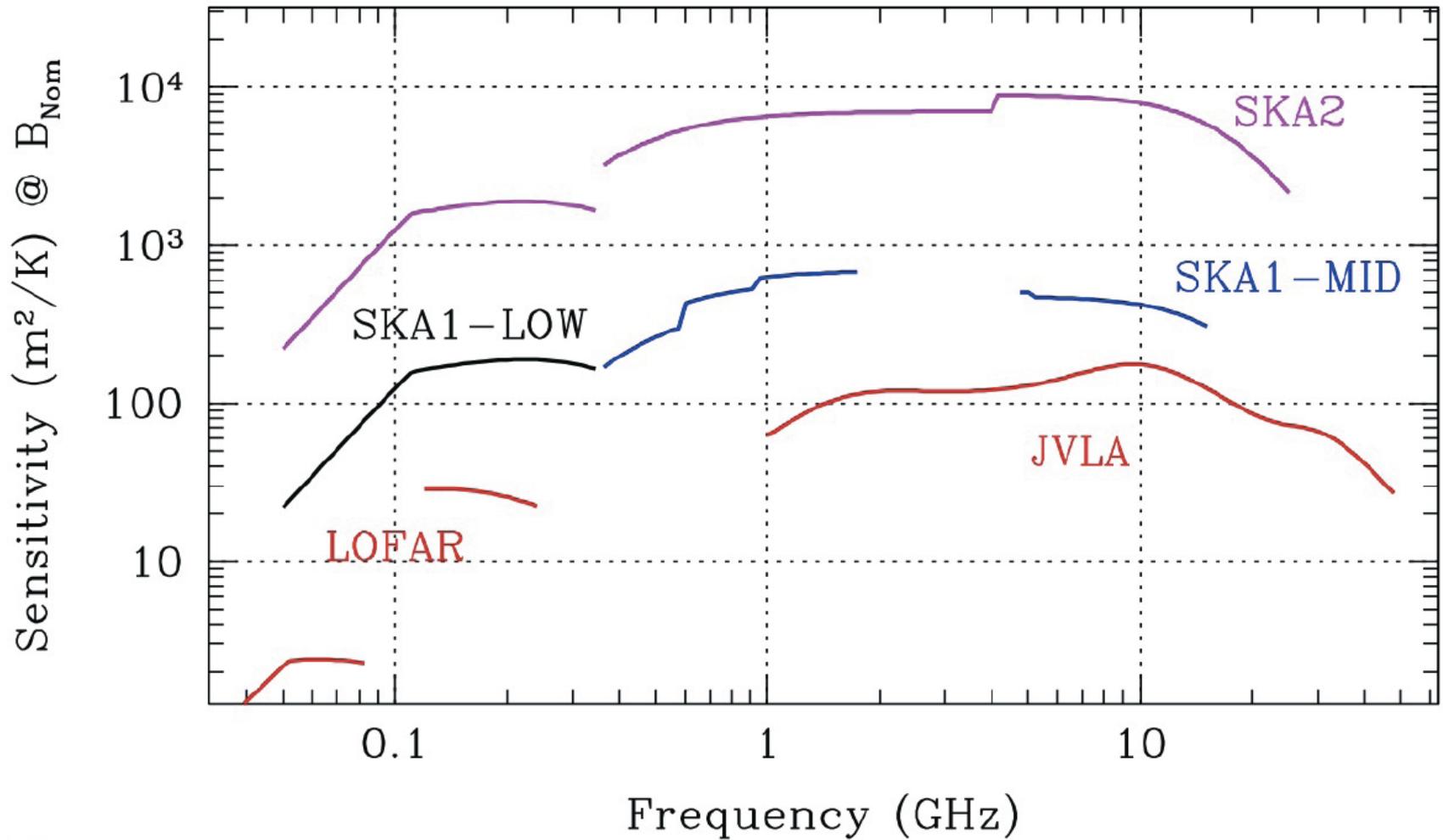


SKA1-mid

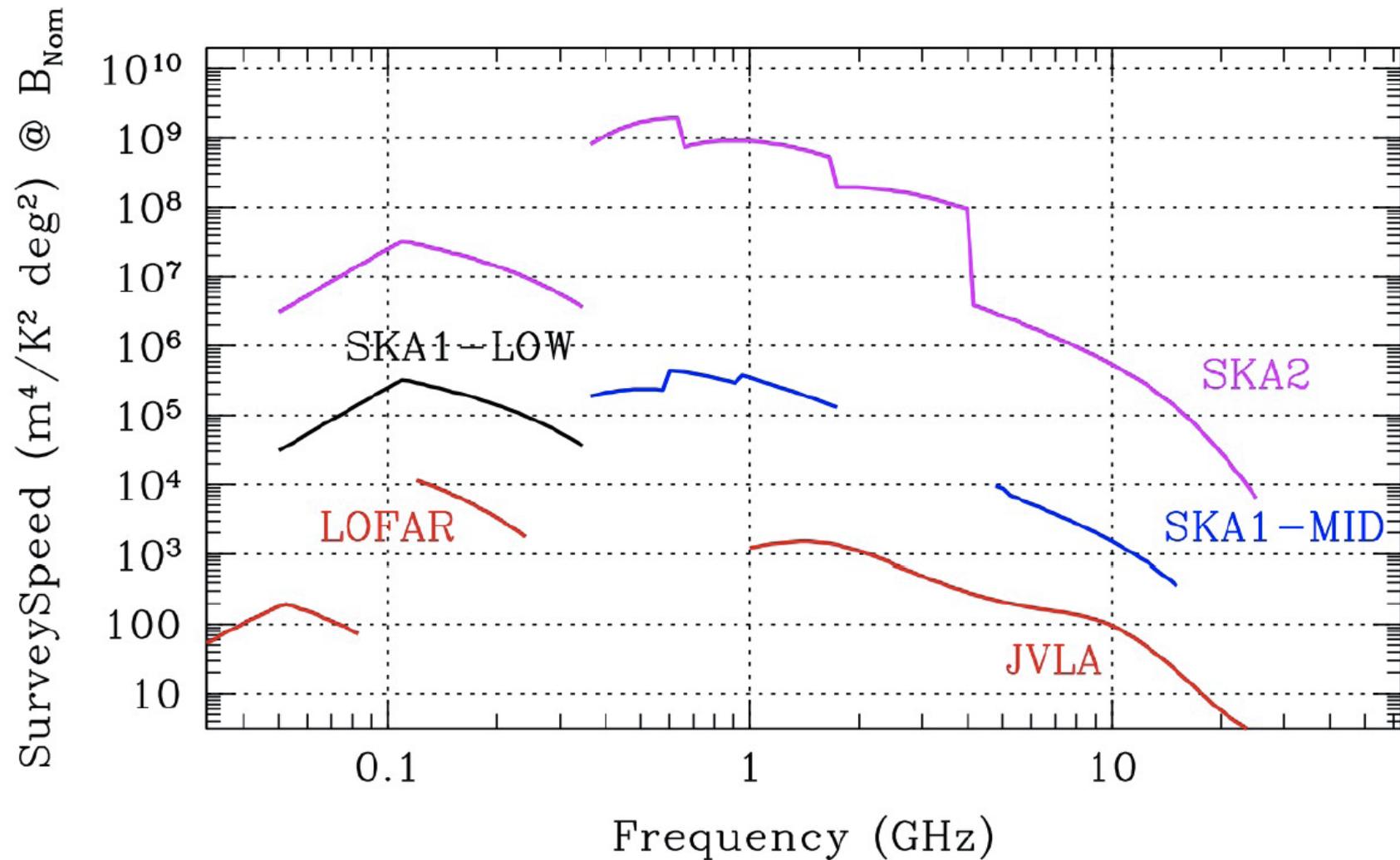


SKA2-mid

sensitivity



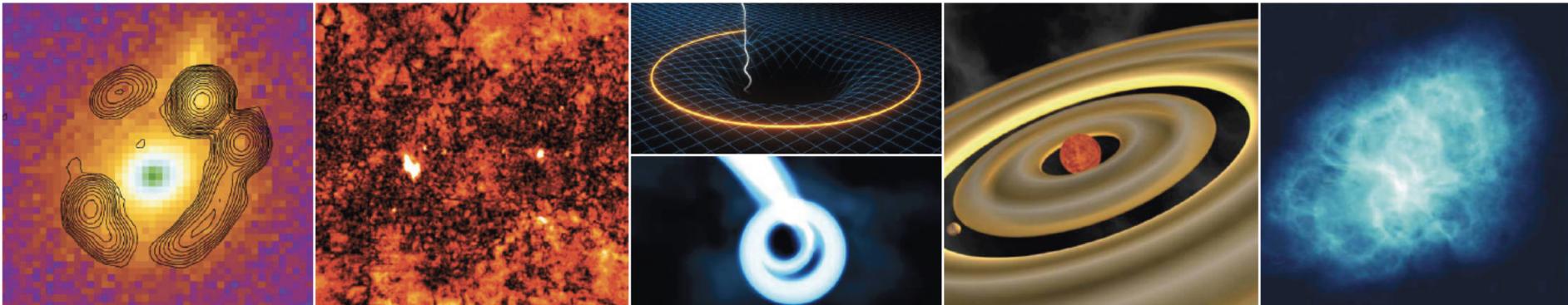
survey speed



SKA Key Science

Key Science

- 暗黒時代と宇宙再電離
- パルサーによる重力理論検証
- 宇宙論
- 宇宙における生命
- 銀河進化
- 突発天体
- 宇宙磁場の起源と進化



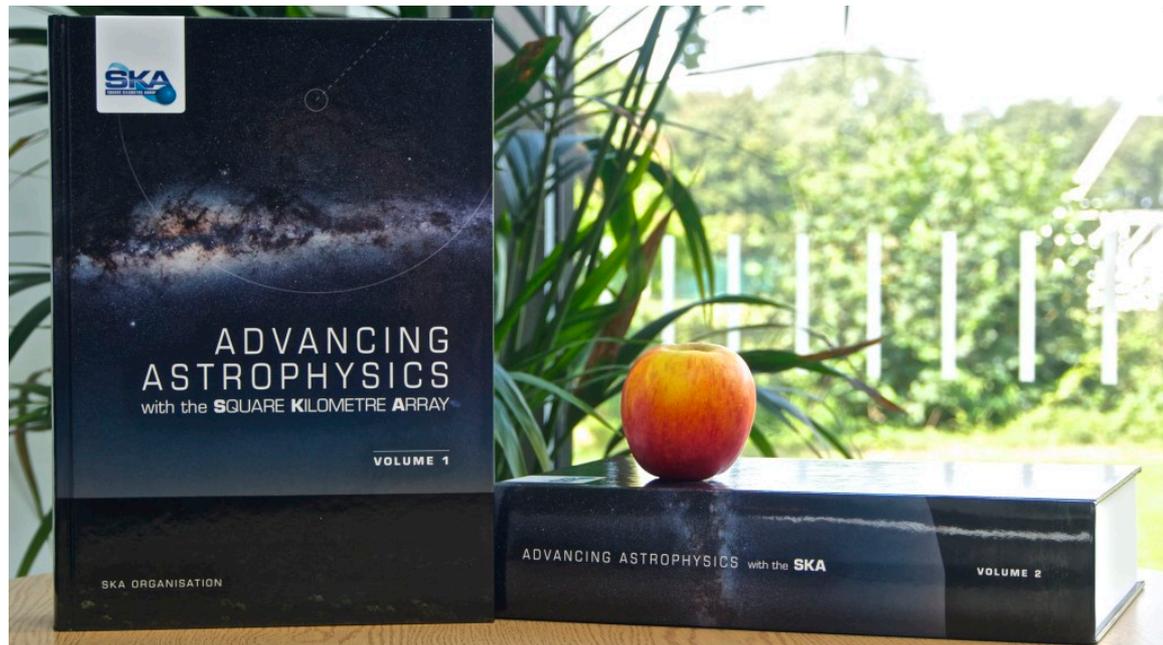
Science Book 2014

Science Book 2014

- 2004年版からの全面改訂
- 2014.6 国際会議@シシリー島
- 2014.12 出版 ~ 2000ページ

日本からの参加状況

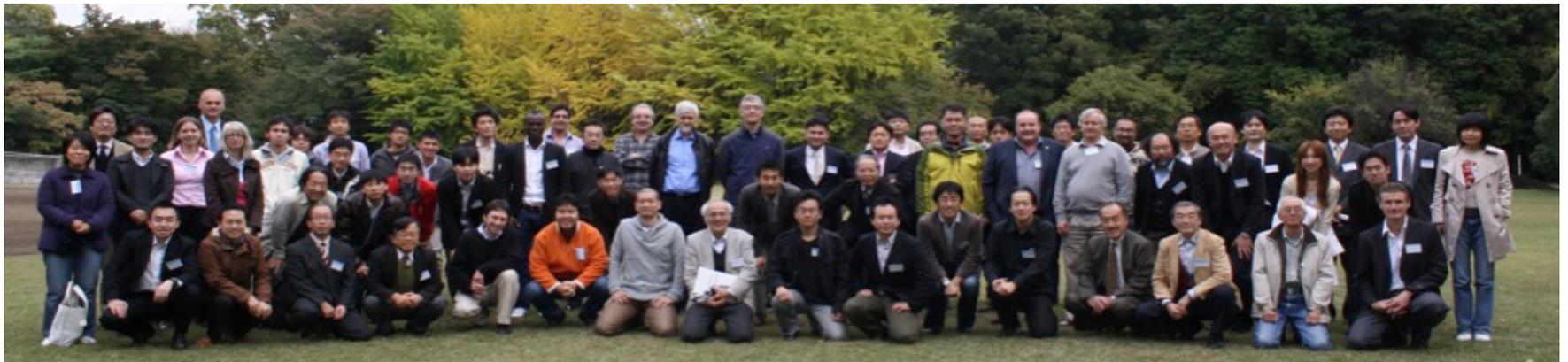
- 再電離、パルサー、HI、宇宙論、宇宙磁場
- ~10人、~10 chapters、1 PI



SKA Japan組織

2008年設立、メンバー～160人
執行部

- ・ 代表：杉山（名古屋）
- ・ 副代表：高橋（熊本） 赤堀（鹿児島）
- ・ 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（東京）
 - 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）
- 位置天文：今井（鹿児島）
- 星間物質：立原（名古屋）
- 突発天体：青木（早稲田）

Engineering Working Group

代表：青木（早稲田）

- 相関器：中西（鹿児島）
- 偏波解析ソフトウェア：
高橋（熊本）
- フィード：氏原（NICT）

産業フォーラム

代表：熊沢（東陽テクニカ）

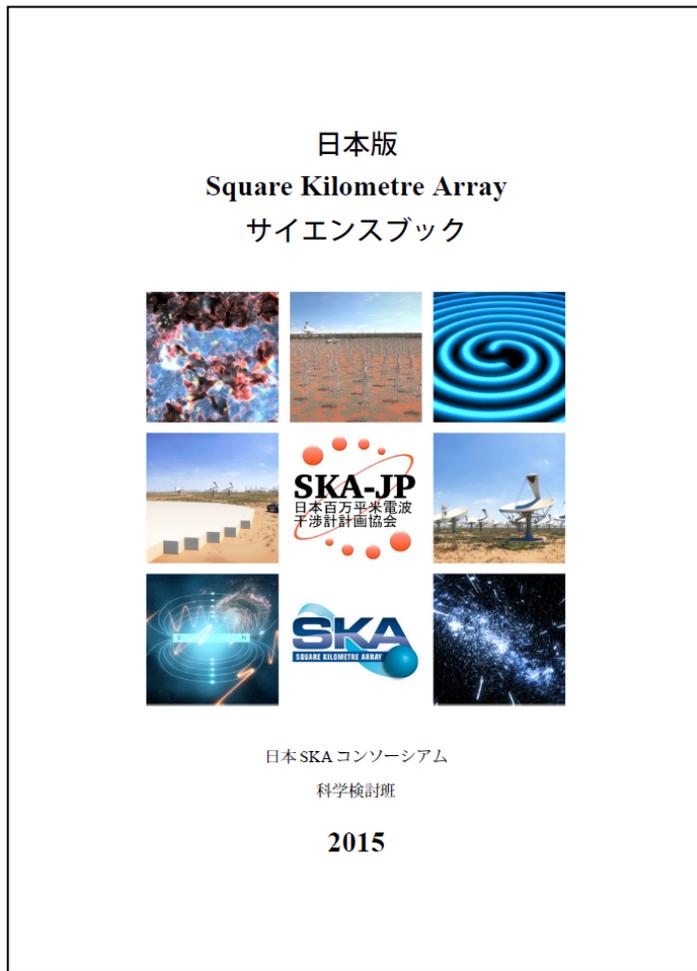
日本版サイエンスブック

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

- 2015年度活動の柱
- 英語化＋準備研究進展のまとめ
- 2016年3月完成
(3/8のarXivに6編)



銀河進化 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

宇宙論 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

宇宙磁場 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.

パルサー 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)

再電離 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

位置天文 1603.02042

Radio Astrometry towards the Nearby Universe with the SKA

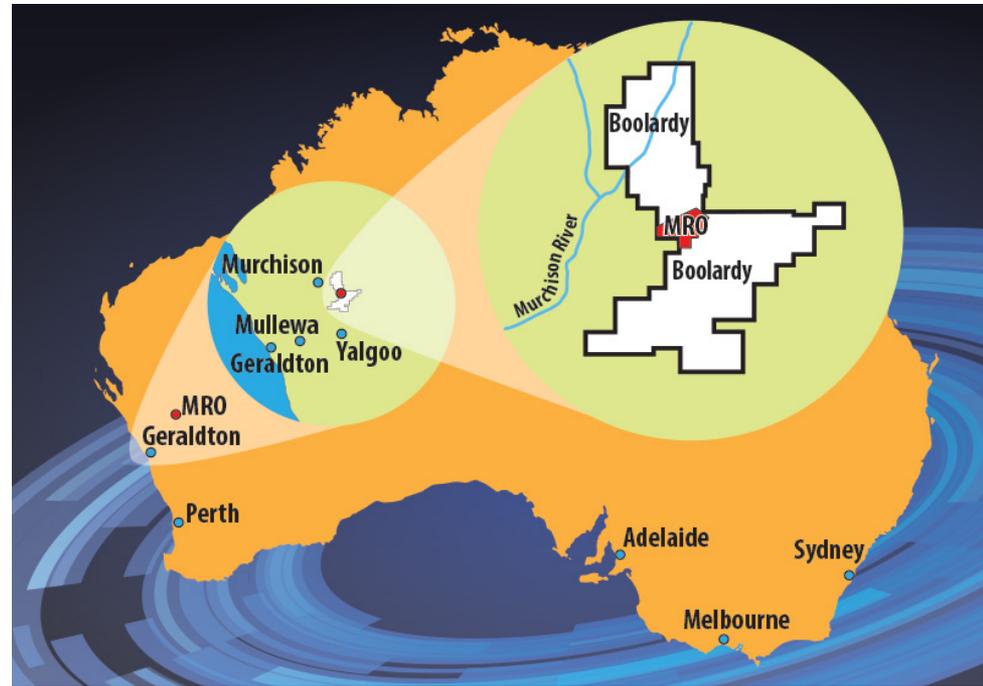
Hiroshi Imai¹, Ross A. Burns¹, Yoshiyuki Yamada², Naoteru Goda³, Tahei
Yano³, Gabor Orosz¹, Kotaro Niinuma⁴ and Kenji Bekki⁵ (SKA Japan
Astrometry Science Working Group)

2、MWA と MWA Japan

MWA

Murchison Widefield Array

- SKA-low precursor
- SKA-low建設予定地に設置
- 宇宙再電離21cm線、低周波全天サーベイ、パルサーtransients



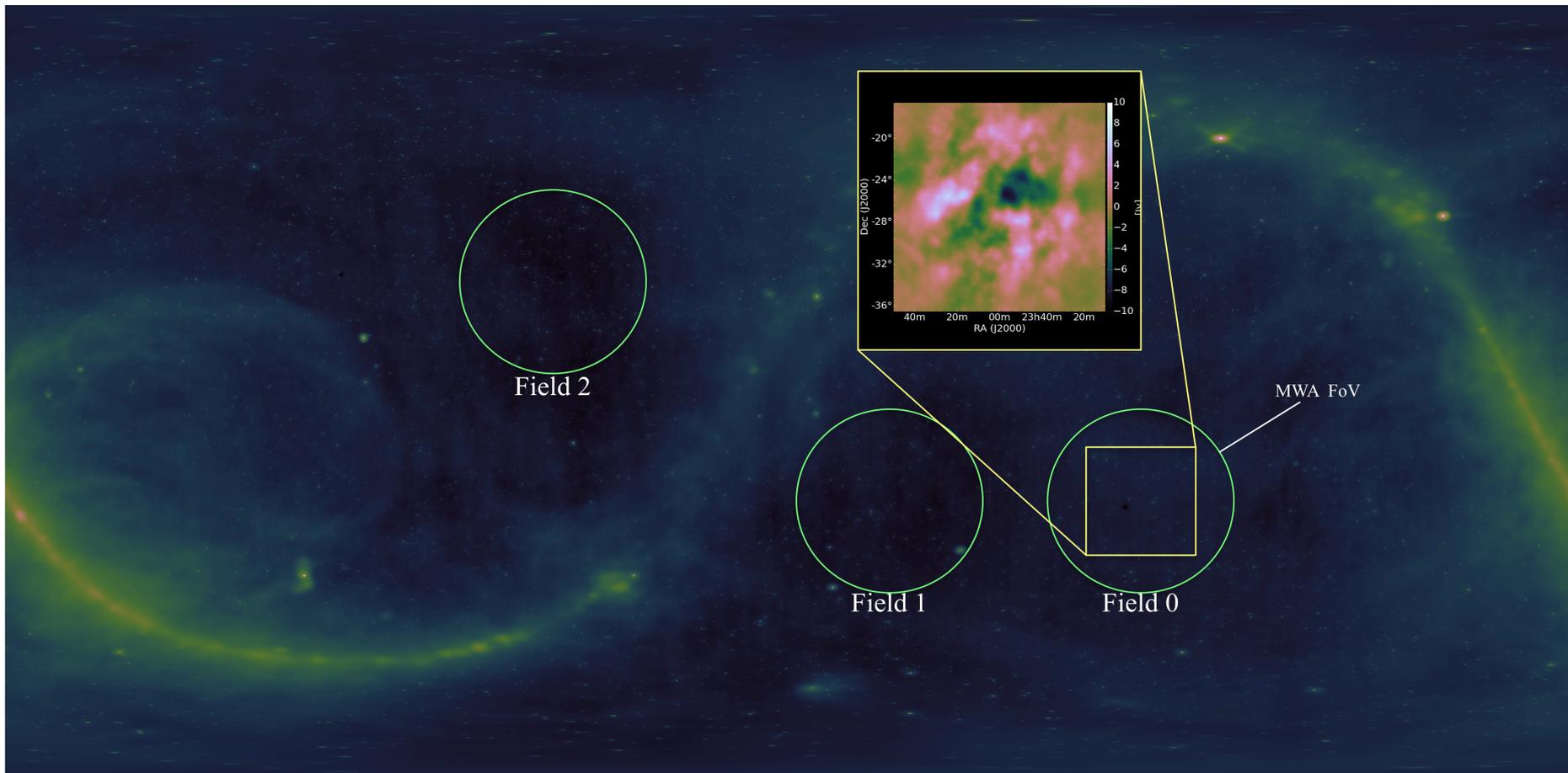
スペック

- phase 2 (2016-2019) : 256タイル (受信機は128タイル分)
- phase 3 (2020-) : 受信機を増やす、バンド幅を広げる、低周波側を50MHzに下げる
装置改良、デジタル化 (受信機・相関器・beamformer)

Frequency range	80 - 300 MHz
Number of receptors	2048 dual polarization dipoles
Number of antenna tiles	128
Number of baselines	8128
Collecting area	Approx. 2000 sq. meters
Field of view	Approx. 15 - 50 deg. (200 - 2500 sq. deg.)
Instantaneous bandwidth	30.72 MHz
Spectral resolution	40 kHz
Temporal resolution	0.5 seconds
Polarization	Full Stokes (I, Q, U, V)
Array configuration	50 antenna tiles within 100 meters 62 antenna tiles between 100 and 750 meters 16 antenna tiles at 1500 meters

再電離21cm線

前景放射が比較的小さい3領域を深く観測
～ 1000時間

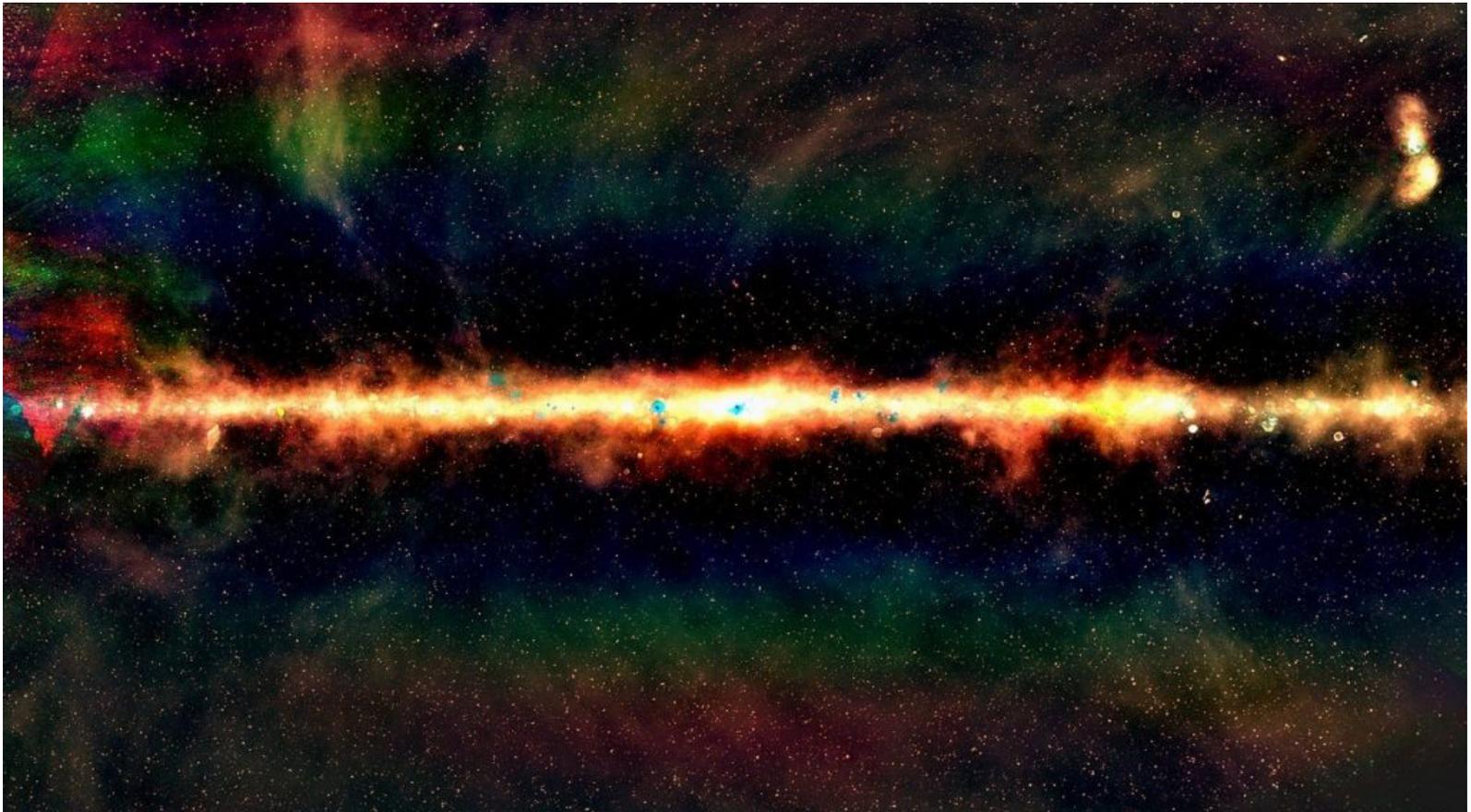


GLEAM survey



GaLactic and Extragalactic All-sky MWA survey

- 300,000銀河のカタログを発表 (MNRAS)
- 70 - 230 MHz



MWA参加

○日本の参加

- ・ 500,000AUD相当の支払いで正式メンバー国
- ・ 科研費により150,000AUDを支払い2018年末まで参加
- ・ 残額支払いでその後もメンバー国
- ・ 6機関25人（熊本、名古屋、鹿児島、東京、東北、天文台）
- ・ 代表：高橋
- ・ MWA-Japan結成研究会@名古屋 2016/7/5

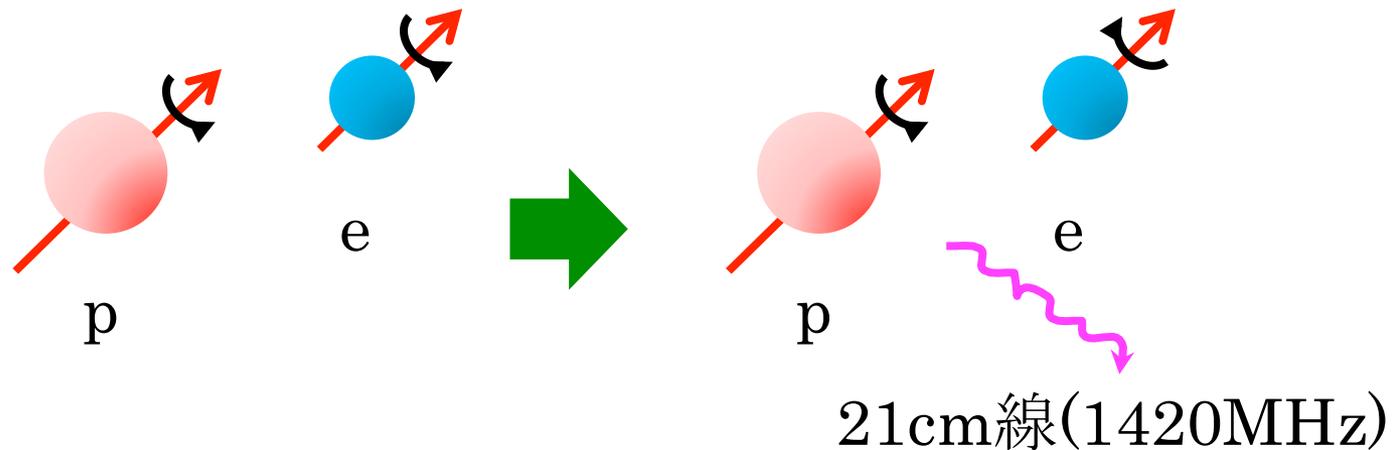
○メルボルン大学滞在

- ・ EoRデータ解析本部
- ・ 高橋3ヶ月、学生2名2ヶ月
- ・ 3つの解析を担当
- 21cm線-すばる相関、21cm線-CMB相関、drift scan
- ・ すばるHSC観測領域の観測を共同提案

3、宇宙再電離21cm線

21cm線

中性水素超微細構造



赤方偏移

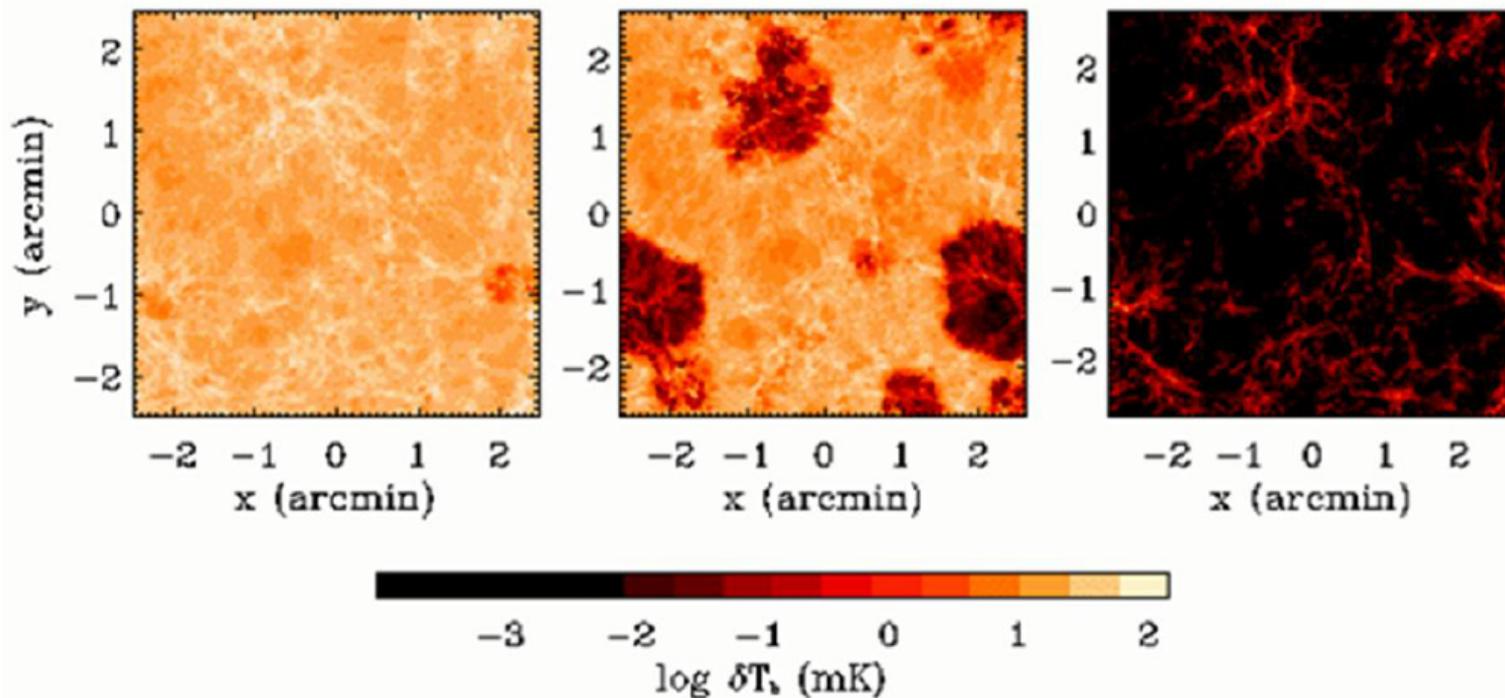
$z = 6 \rightarrow 200\text{MHz}$

$z = 20 \rightarrow 70\text{MHz}$

初代天体・再電離期の中性水素は100MHz帯の電波で観測できる

EoR21cm線シグナル

時間→



- MWAやSKA-lowのメインターゲット
- 再電離の様子が時系列で見える！
 - 初代銀河・AGNの性質、質量関数、IGMの性質
- 再電離以前の揺らぎから宇宙論ができる
 - 2D(CMB)から3Dへ
- イオン化バブルの真ん中を他波長で見る → ALMA、TMT

SKA0

SKA0はすでに始まっている！

MWA

LOFAR

PAPER



望遠鏡比較

設計思想・特性が全く異なる

名称	国	期間	面積(km ²)	アンテナ数	コスト
MWA	豪	2010-	0.007	256 タイル×16 ダイポールアンテナ	~5M AUD
PAPER	南ア	2010-	0.001	128 ダイポールアン テナ	
LOFAR	欧	2012-	0.036	48 ステーション	
HERA	南ア	2019-	0.05	350 パラボラ	
SKA 1-Low	豪	2020-2025	0.4	512 ステーション ×256 ログピリオデ イックアンテナ	€275M
SKA 2-Low	豪	2025-	4		

最近HERAが建設資金10億円を獲得

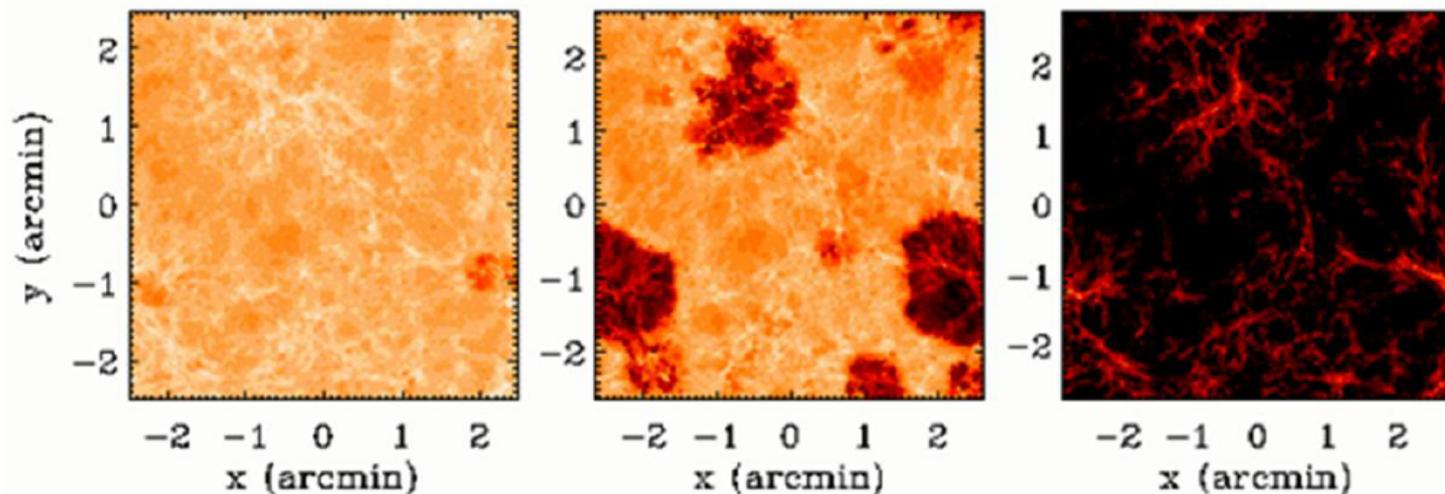
統計的情報とイメージング

統計的情報 (power spectrum, bispectrum, ...)

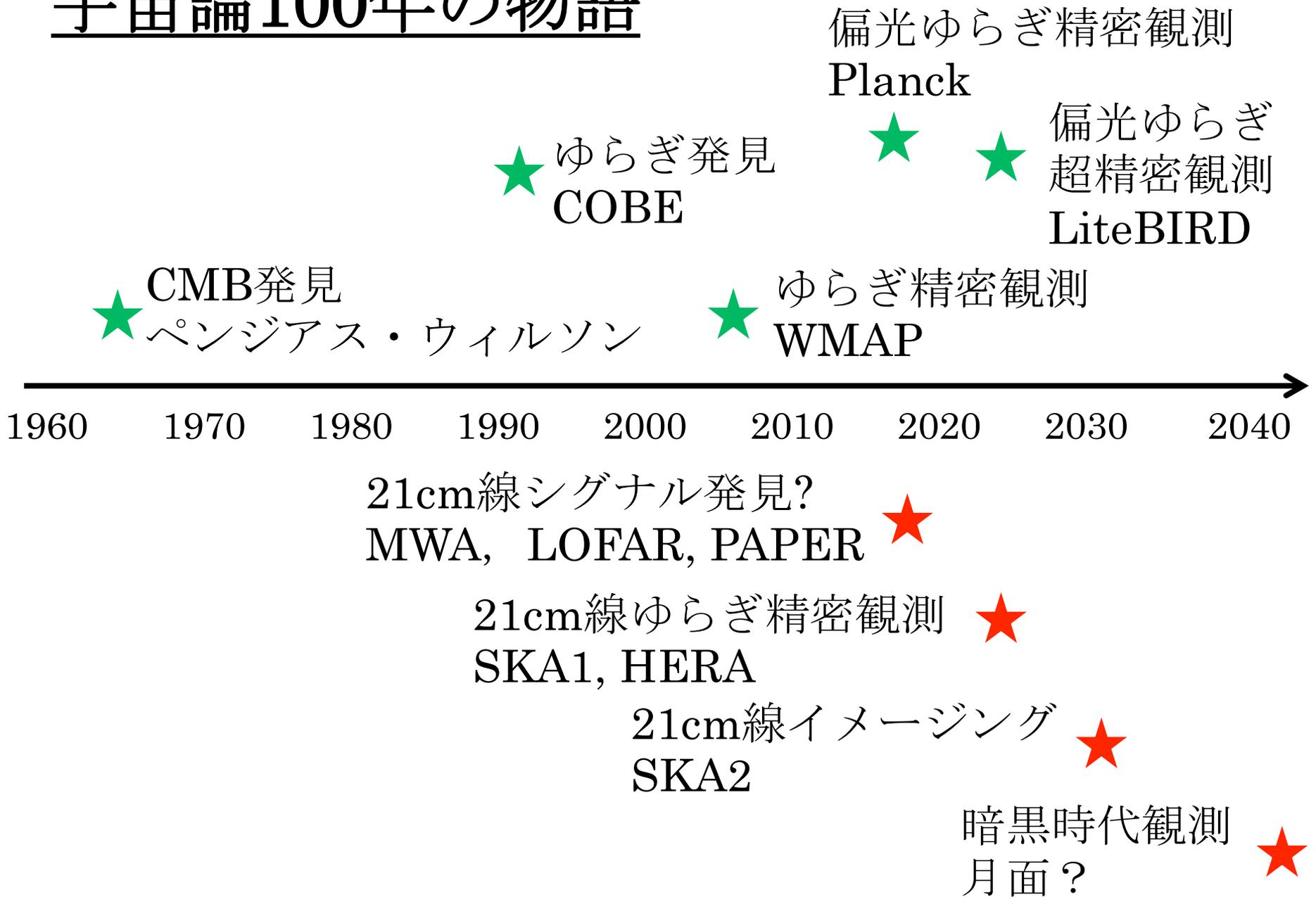
- 低S/Nで可能、データ処理が容易
- ゆらぎ、イオン化バブルの典型的な大きさ
- EoRモデルとフィットしてモデルパラメータに制限

イメージング

- 高S/Nが必要、データ処理が困難
- イオン化バブルの形状、分布
- 他波長のフォローアップ



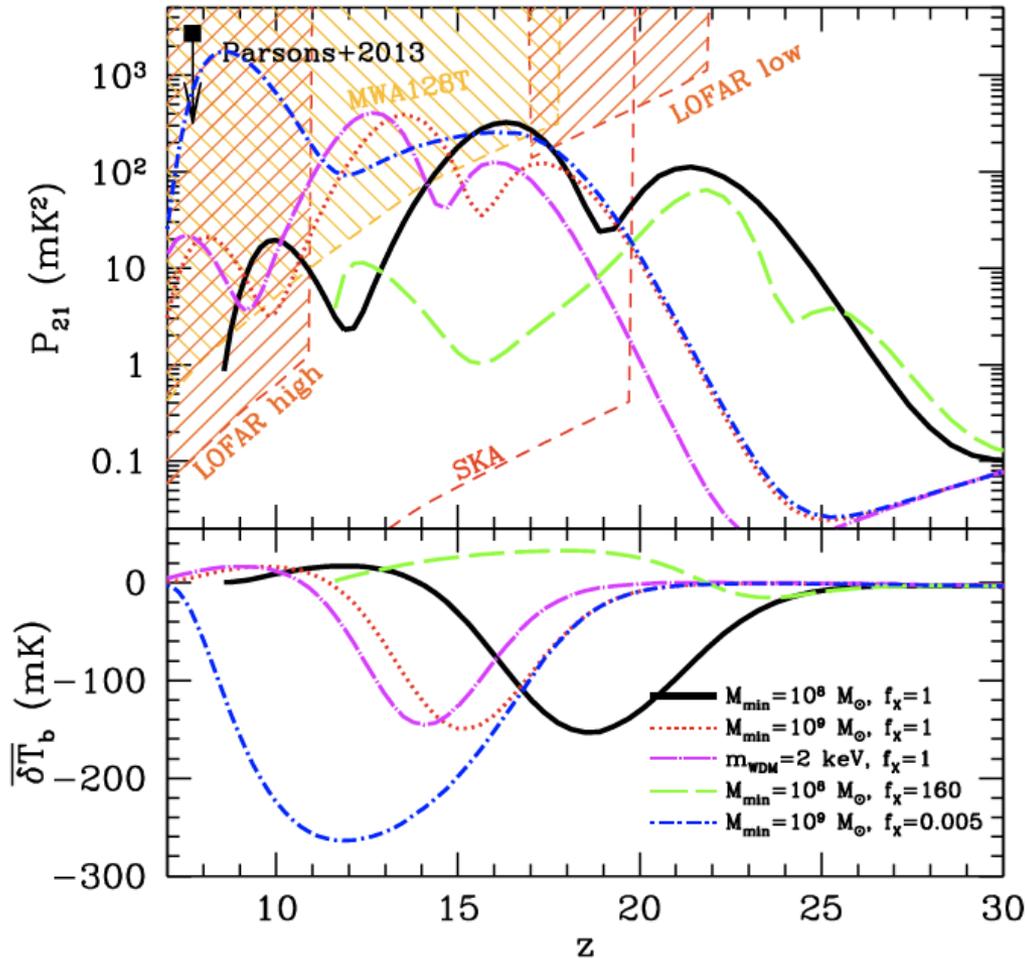
宇宙論100年の物語



thermal noise

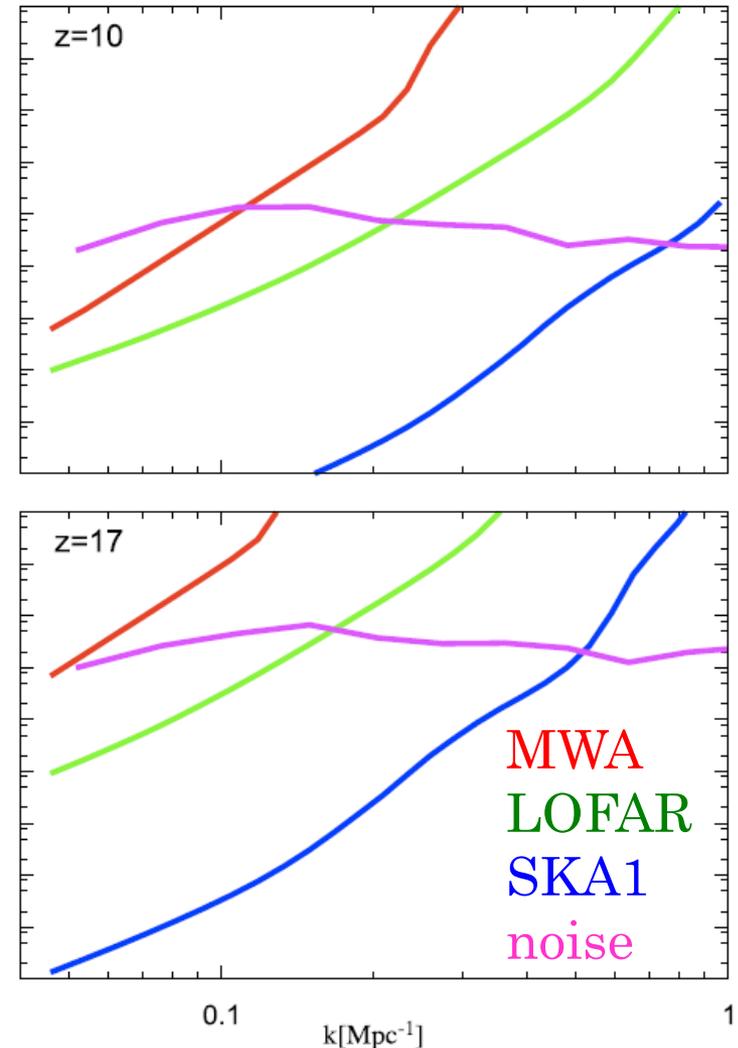
power spectrum

- Mesinger et al. 2014
- 2000時間の観測



bispectrum

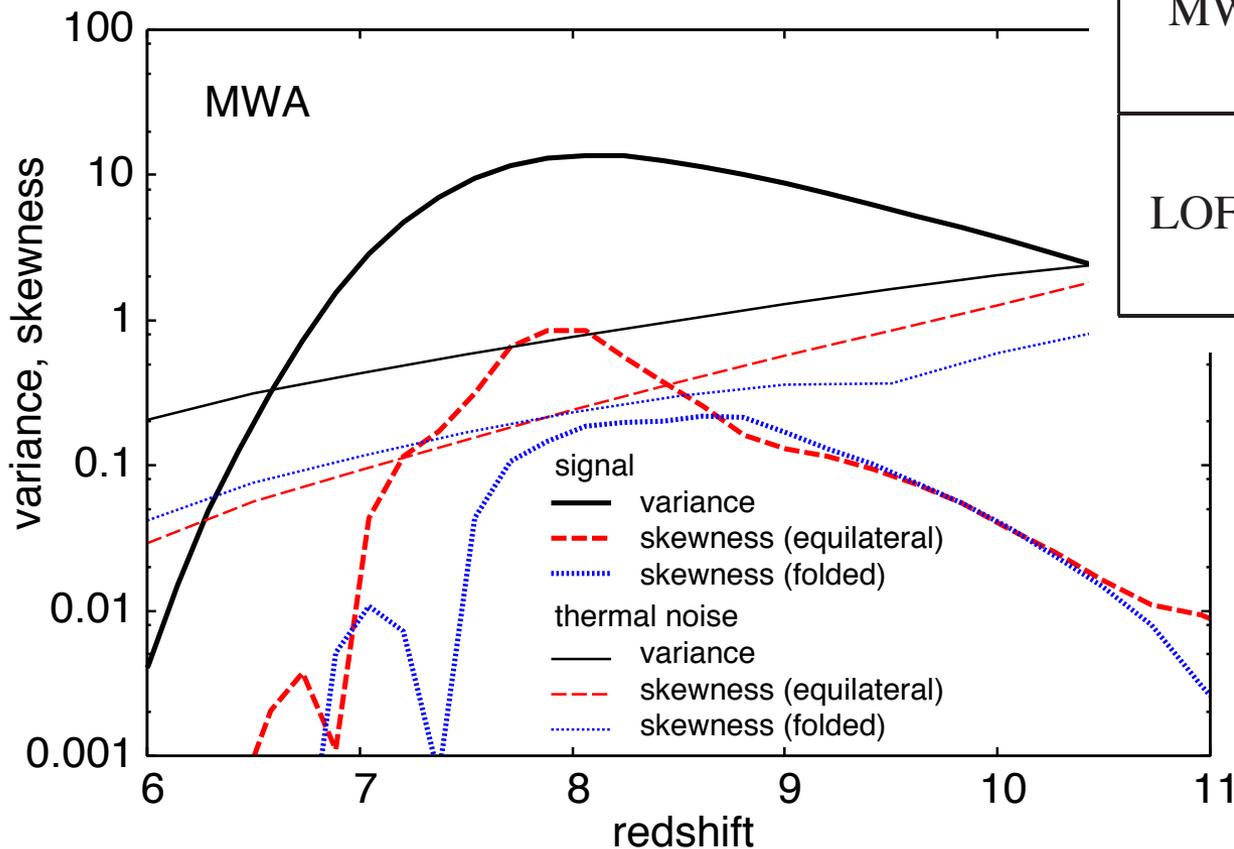
- Yoshiura, Shimabukuro, KT, Imai+ 2015
- 1000時間の観測



thermal noise

variance, skewness

- Kubota, Yoshiura, Shimabukuro, KT 2016
- 1000時間の観測

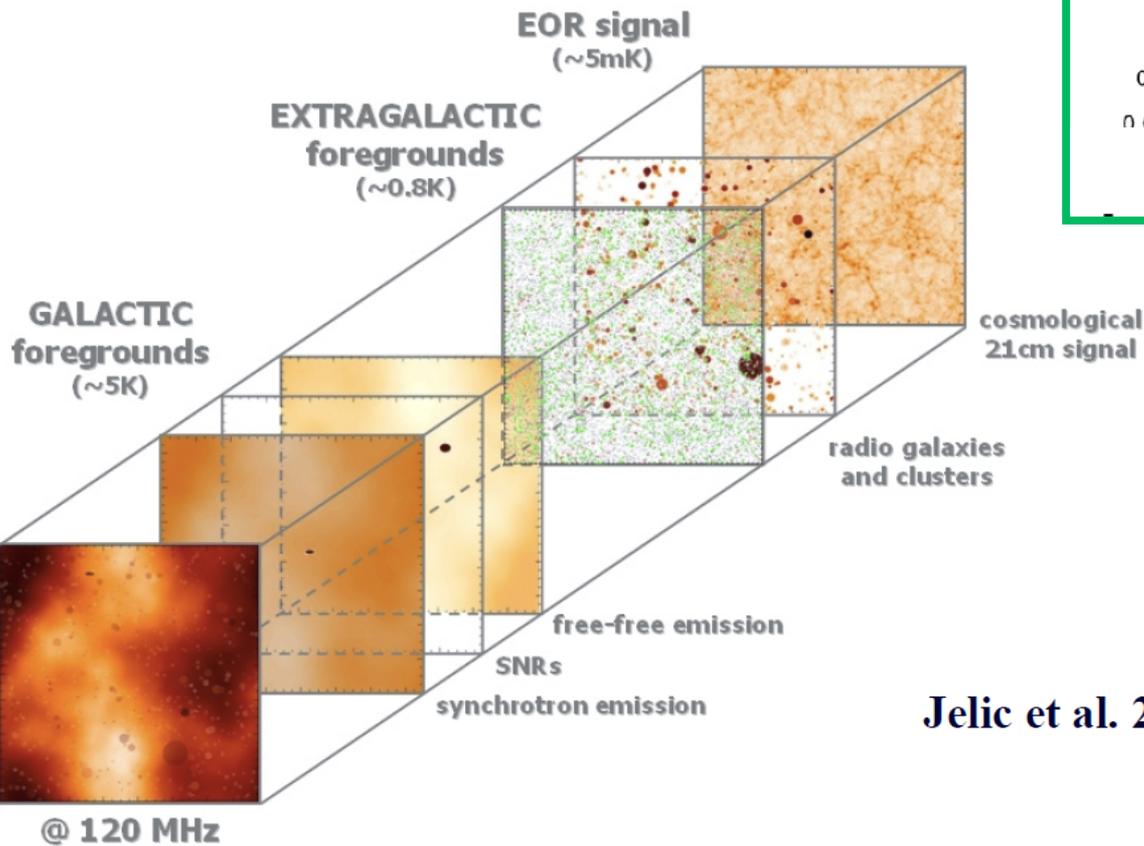
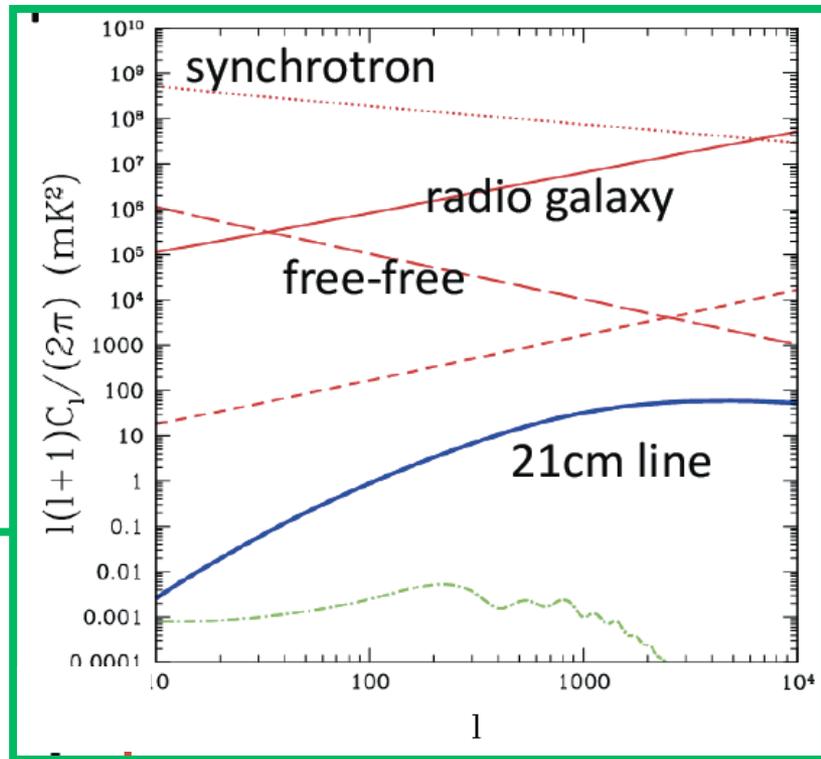


	z	σ^2	γ_e	γ_f
MWA	7	3.0	0.95	0.21
	8	9.5	6.7	0.24
	9	3.2	0.70	0.63
LOFAR	7	16	8.2	0.98
	8	62	120	11
	9	26	18	23

foreground

強烈なforeground

- 銀河系外電波天体
- 銀河系放射
- 地球大気



power spectrumで
foregroundは
signalの6桁上！

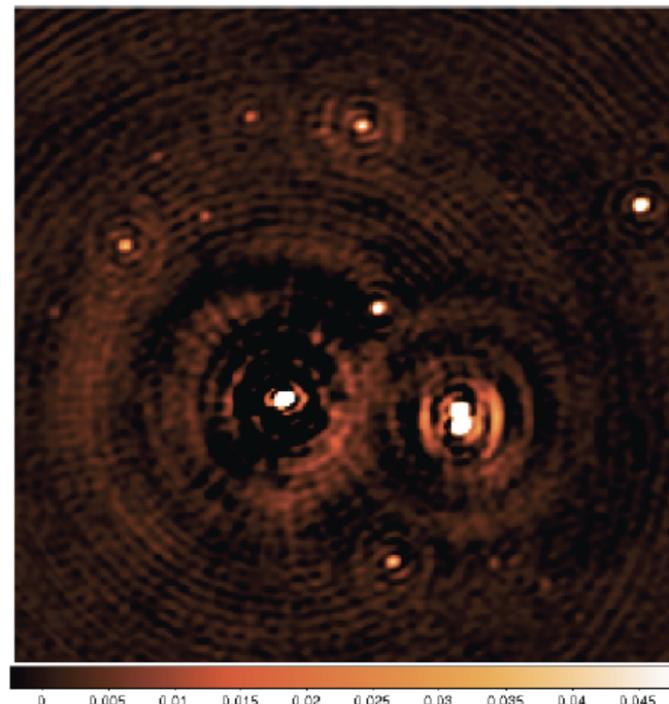
Jelic et al. 2008

銀河系外電波天体

点源の漏れだし

- ionosphere
 - 見る方向によって異なる
 - 時々刻々と変化
- beam shape, receiver gain, frequency sensitivity
 - 望遠鏡の性質
 - 視野外からも寄与

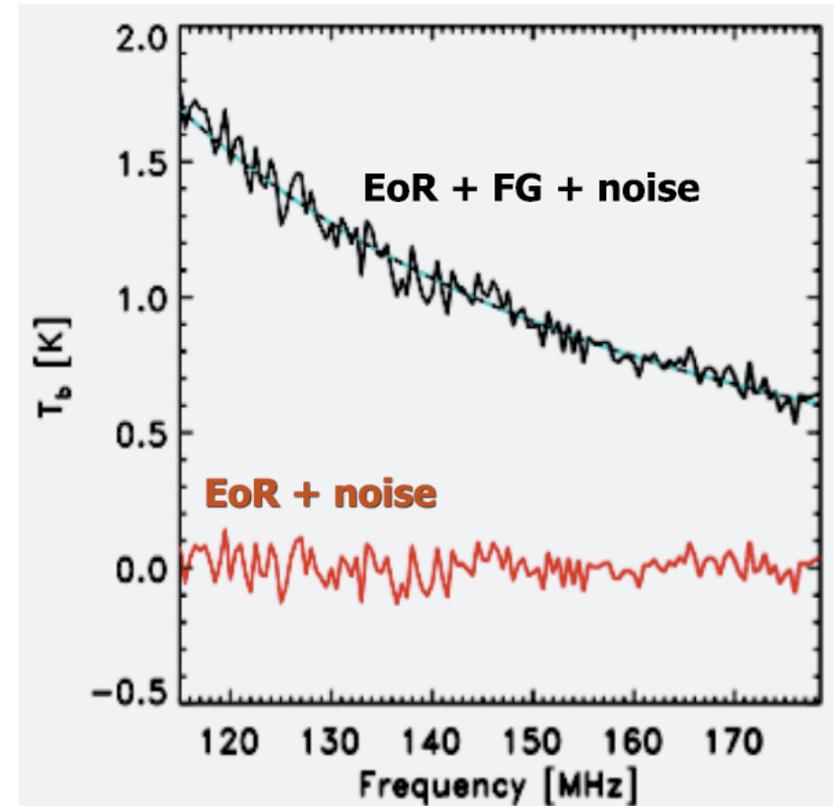
→ sky modelを用いて
漏れ出しを推定・差し引く



銀河系

銀河系電波放射

- 様々なソース
 - シンクロトロン
 - free-free
 - 超新星残骸
- pixelごとに強さ、スペクトルが異なる
- 銀河系放射は滑らかな
EoR signalはギザギザ



pixelごとに滑らかな成分を差し引く

Jelic 2008

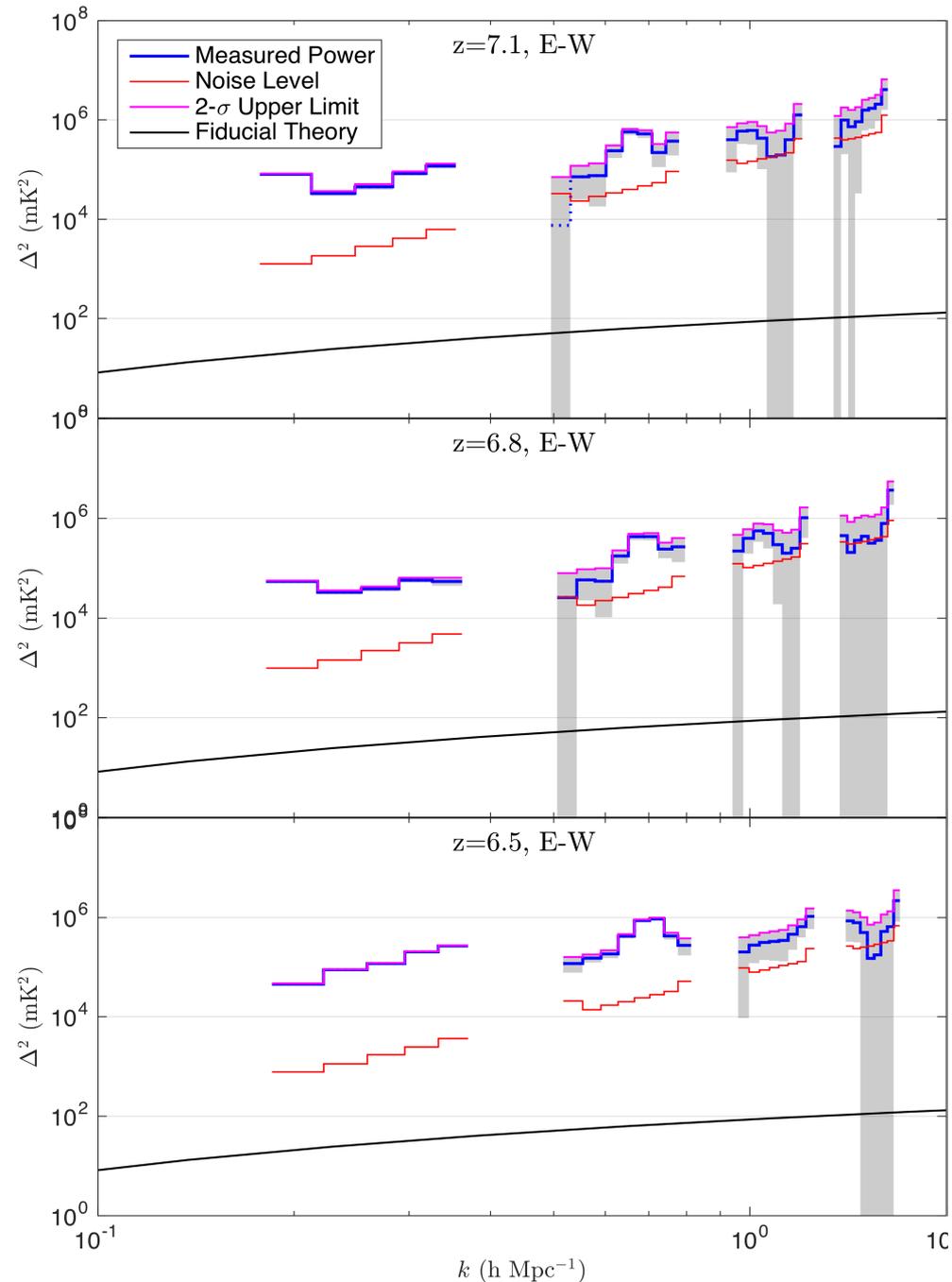
多項式近似、correlated component analysis

Wp smoothing、FastICA、GMCA、high-pass filter

観測の現状

Beardsley et al. 2016

- MWA 32 hours
- 観測データ自体はすでに1000時間程度ある
- この程度の積分時間だと thermal noise limited
- thermal noiseは予想シグナルの100倍程度



観測戦略

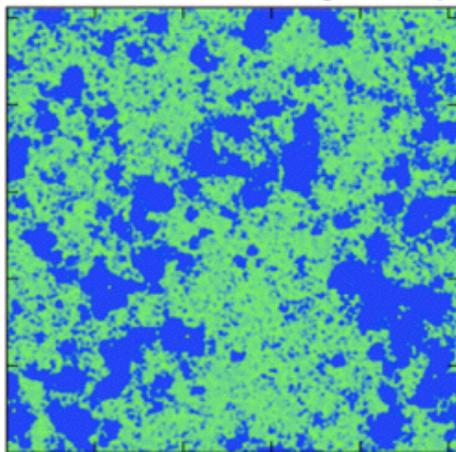
- 原理的な感度はSKA0でも足りている
- foreground limited
 - SKA0で解析方法を確立してシグナル検出
できなければSKA1, 2も無駄
- MWAで活躍してSKAへ
- 戦略
 - 21cmのみ : deep pointing, drift scan → 吉浦
 - 相互相関 : 銀河 (LAE) → 久保田、CMB → 吉浦

MWA-すばる

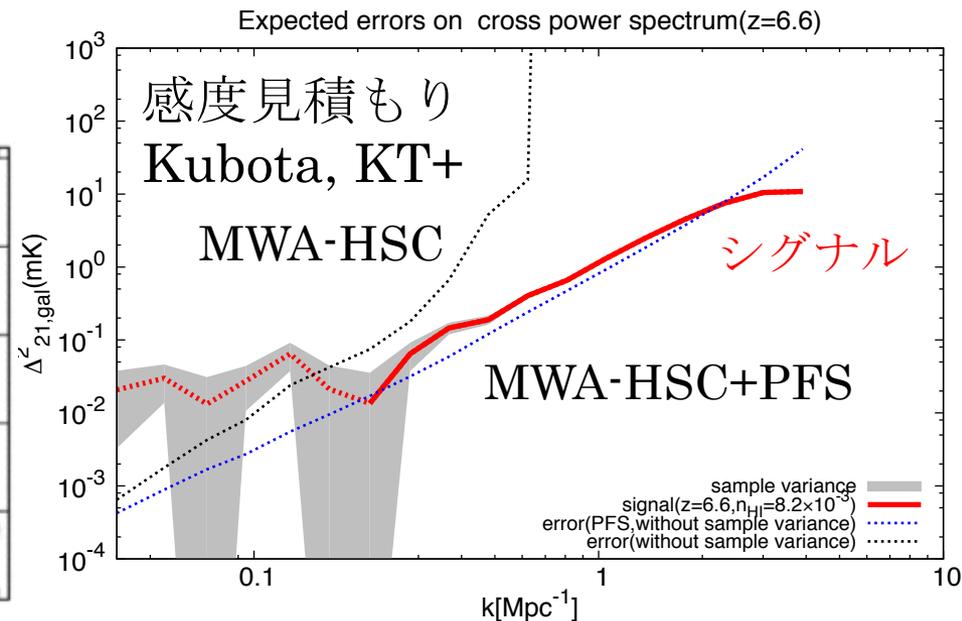
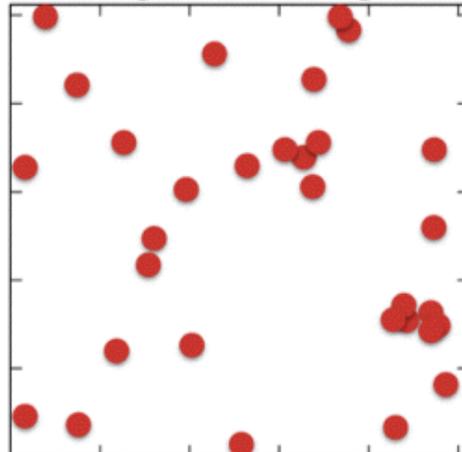
MWA-すばる相互相関 (詳細は久保田さん)

- 中性水素と電離光子源の相関 → 前景放射除去
→ 検出可能性が格段に上がる
- HSC : 遠方LAEサーベイ → 21cm線シグナルの初検出
- PFS : LAEのz決定 → 再電離過程、電離光子源の性質
- SKAも必ずやるはず (SKA-すばる)

21cm線



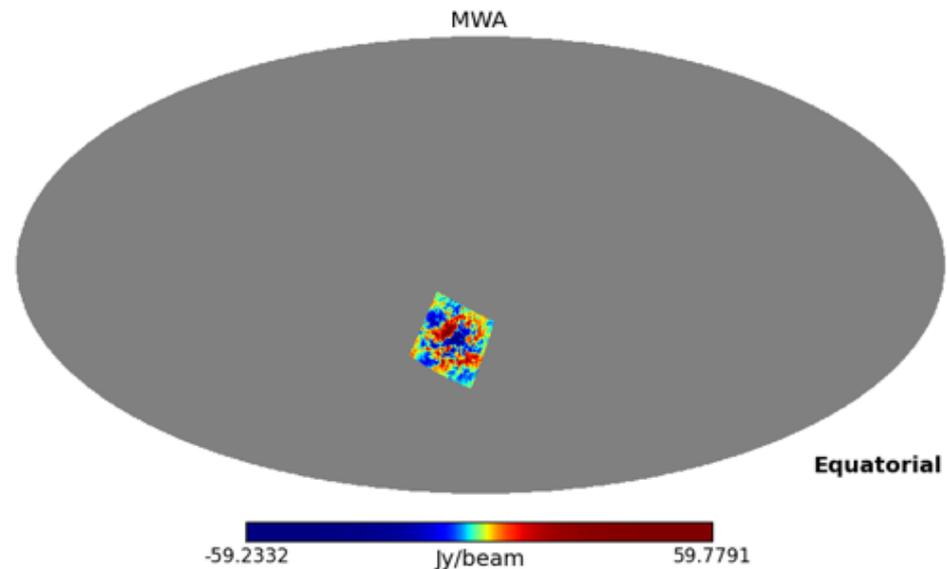
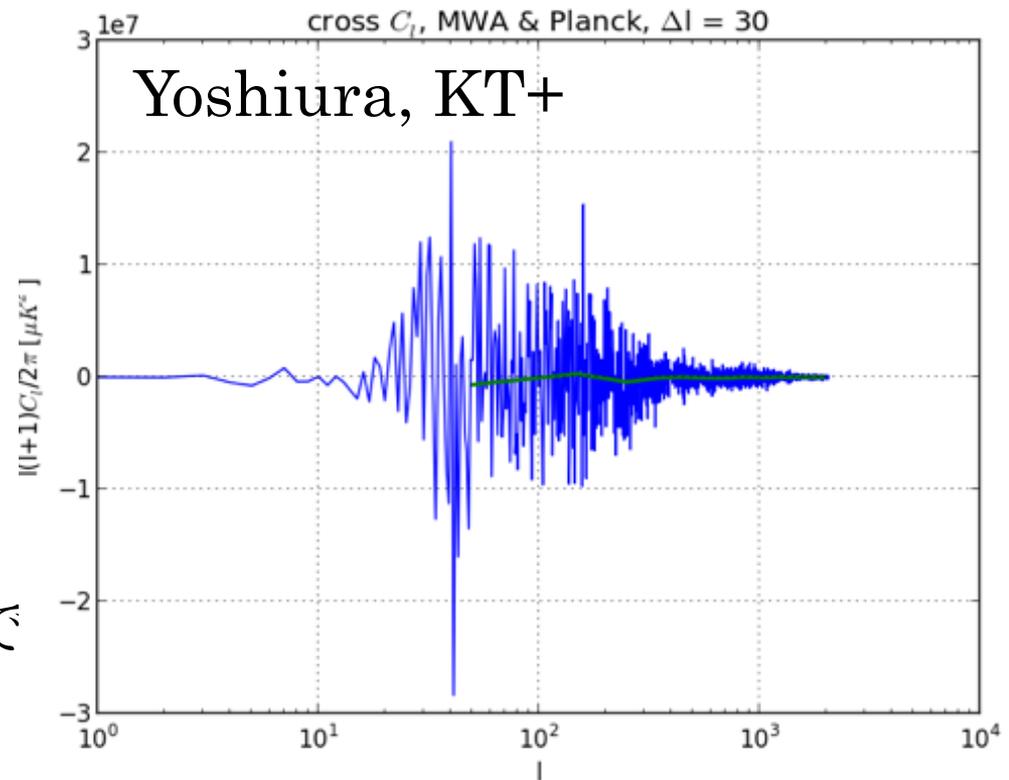
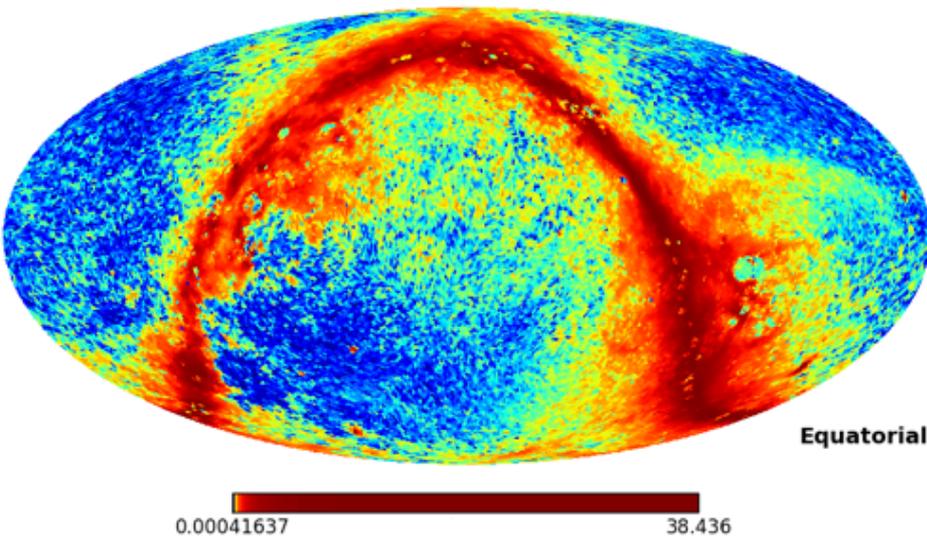
LAE



MWA-CMB

電離ガスによるCMB散乱
電離ガスの運動

preliminary result
foregroundが綺麗に消えた
分散としては残っている
除去する
→ 自己相関より強い制限？



まとめ

SKA

- 100MHz - 1GHz帯の究極の電波干渉計
- 宇宙再電離、銀河進化、宇宙論、パルサー
宇宙磁場など多彩なサイエンス
- SKA Japan参加者募集中

MWA

- SKA-lowのprecursor
- 宇宙再電離、全天サーベイ
- 再電離21cm線
 - foreground limited
 - MWAの成功なくしてSKAの成功なし
 - MWA Japan頑張れ！