

# Square Kilometre Array に向けた技術開発

高橋慶太郎 (熊本大学)  
6月3日



# 目次

1、SKA

2、宇宙論屋から見た川口さんと電波天文

3、SKAに向けた技術開発

1 、 Square Kilometre Array

# Square Kilometre Array



## 次世代大型センチ波望遠鏡

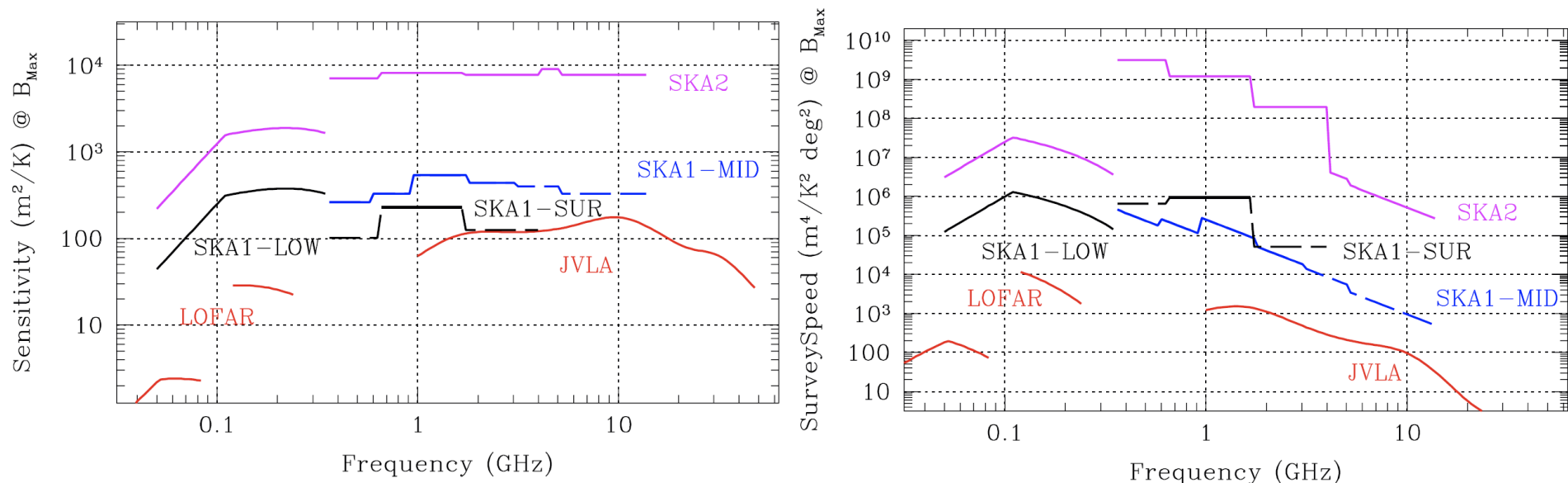
特徴：高感度・広帯域・広視野・高分解能

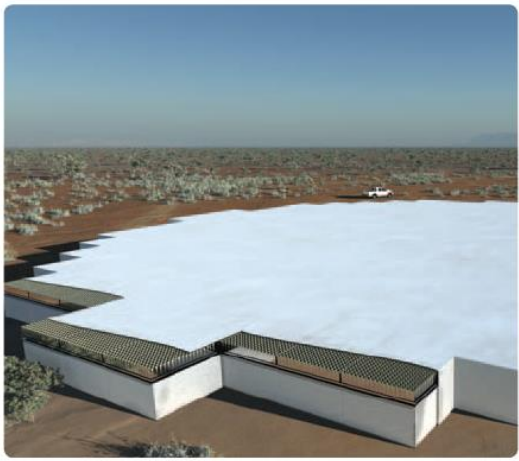
規模：2000-3000台の望遠鏡

帯域：0.07-10GHz

基線長：最大3000km

場所：オーストラリア・南アフリカ





SKA Central Region

Dishes

Dense  
Aperture Arrays

Sparse  
Aperture Arrays



# timeline

## SKA phase 1

- ・ 2018年より建設
- ・ 2020年より初期観測
  - ・ 全体の10%
- ・ Sparse Aperture Array + Dish

## SKA phase 2

- ・ 2023年より建設
- ・ AIPを取り入れる

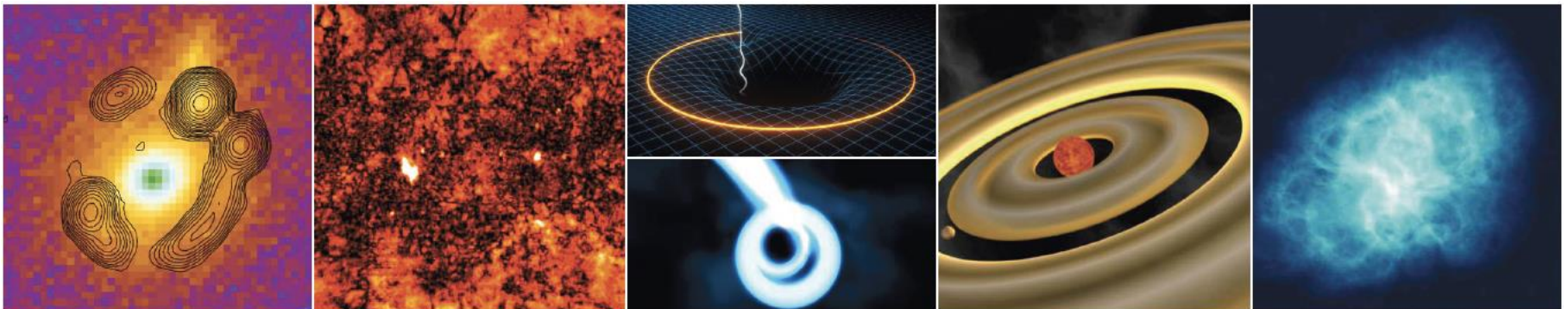
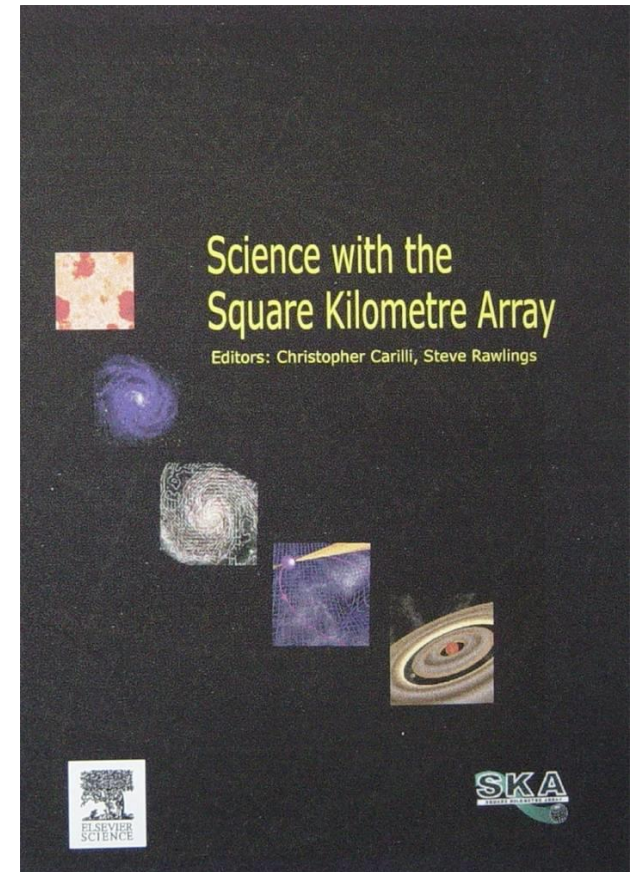
## Advanced Instrumentation Program

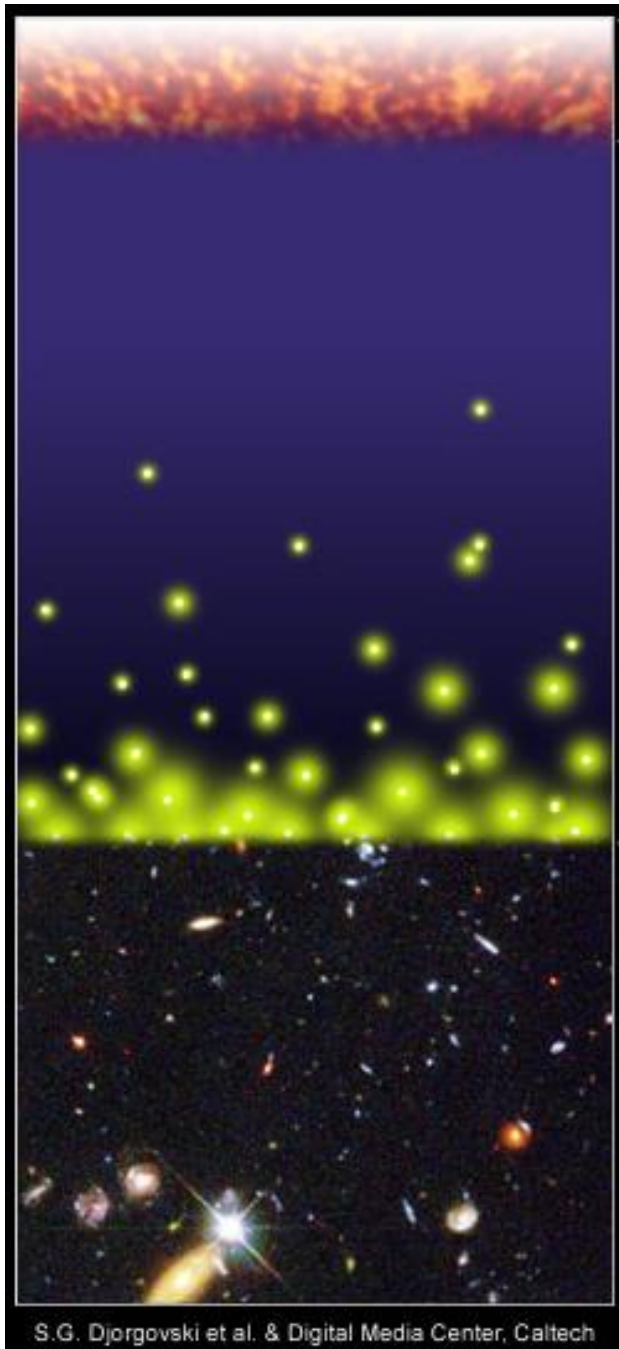
先進的な技術の開発

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

# SKA Key Science

- 5つのキーサイエンス
- ・ 暗黒時代と再イオン化
  - ・ パルサーによる重力理論検証
  - ・ 銀河進化と宇宙論
  - ・ 宇宙磁場の起源と進化
  - ・ 宇宙における生命





ゆらぎの生成・線形成長  
 $z=1000$  中性化

暗黒時代

$z\sim 30$  初代天体形成

$z\sim 10$  再イオン化開始

$z\sim 6$  再イオン化完了

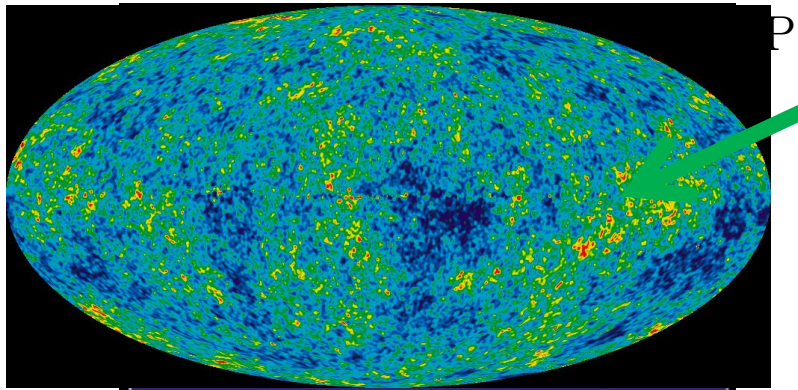
$z\sim 1$

銀河進化

大規模構造形成

暗黒エネルギー

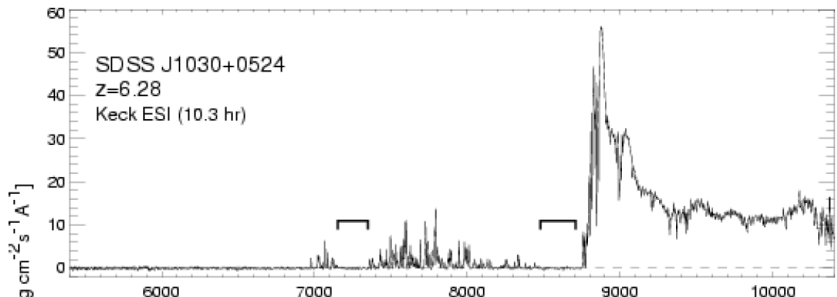




ゆらぎの生成・線形成長  
 $z=1000$  中性化

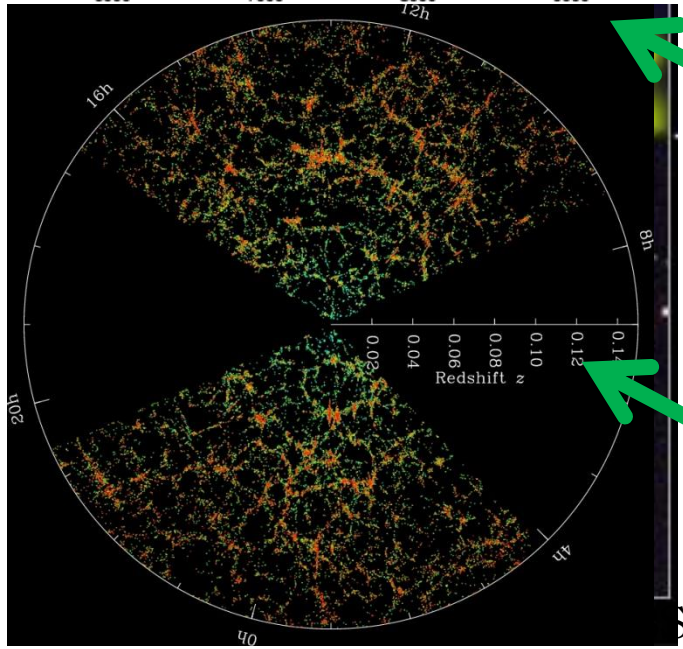
暗黒時代

$z \sim 30$  初代天体形成

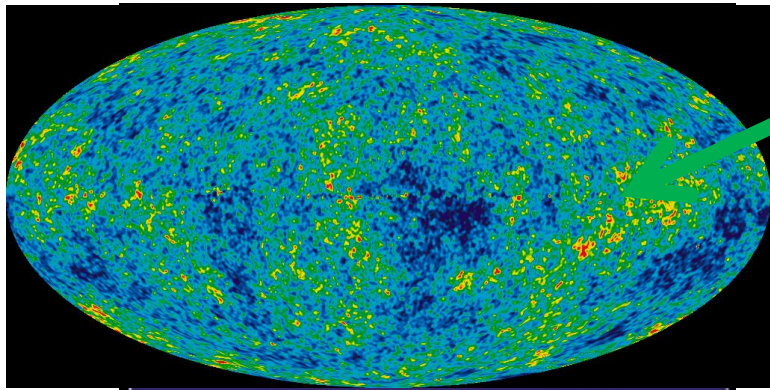


$z \sim 10$  再イオン化開始

$z \sim 6$  再イオン化完了



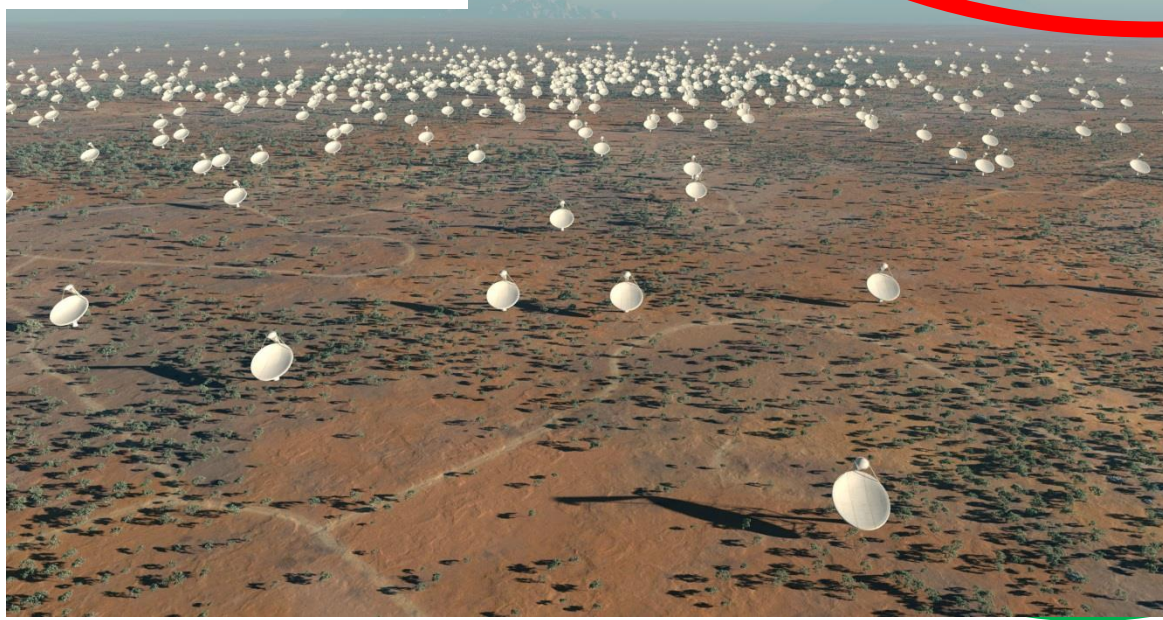
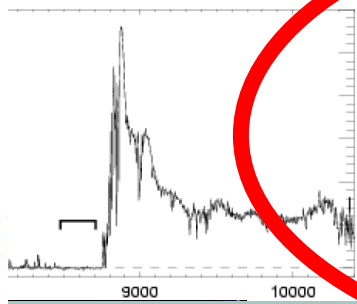
$z \sim 1$   
 銀河進化  
 大規模構造形成  
 暗黒エネルギー



ゆらぎの生成・線形成長  
 $z=1000$  中性化

暗黒時代

$z \sim 30$  初代天体形成  
 $z \sim 10$  再イオン化開始



オン化完了

造形成  
レギー

# 重力波直接検出

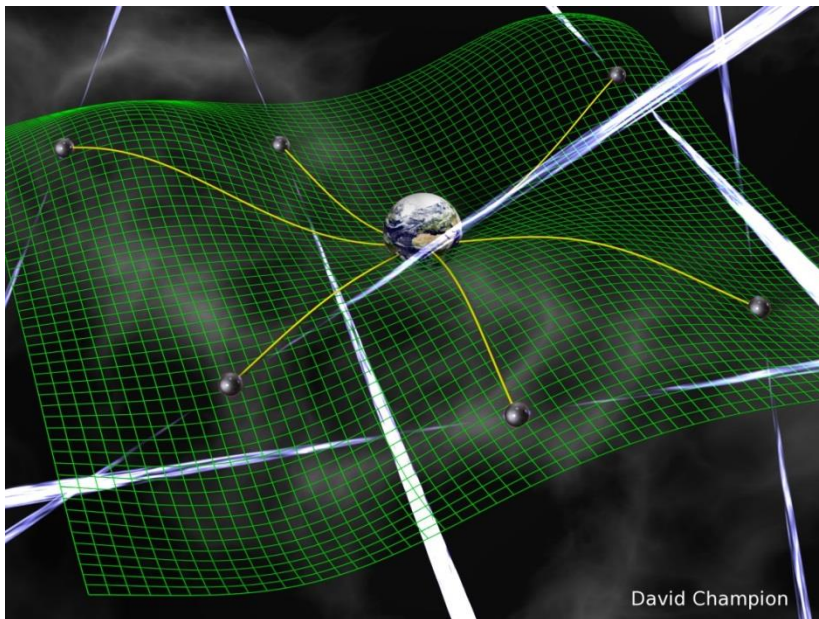
重力波が通過

→ 距離変化、タイミングがずれる

周波数： $\sim (1 \text{ yr})^{-1}$

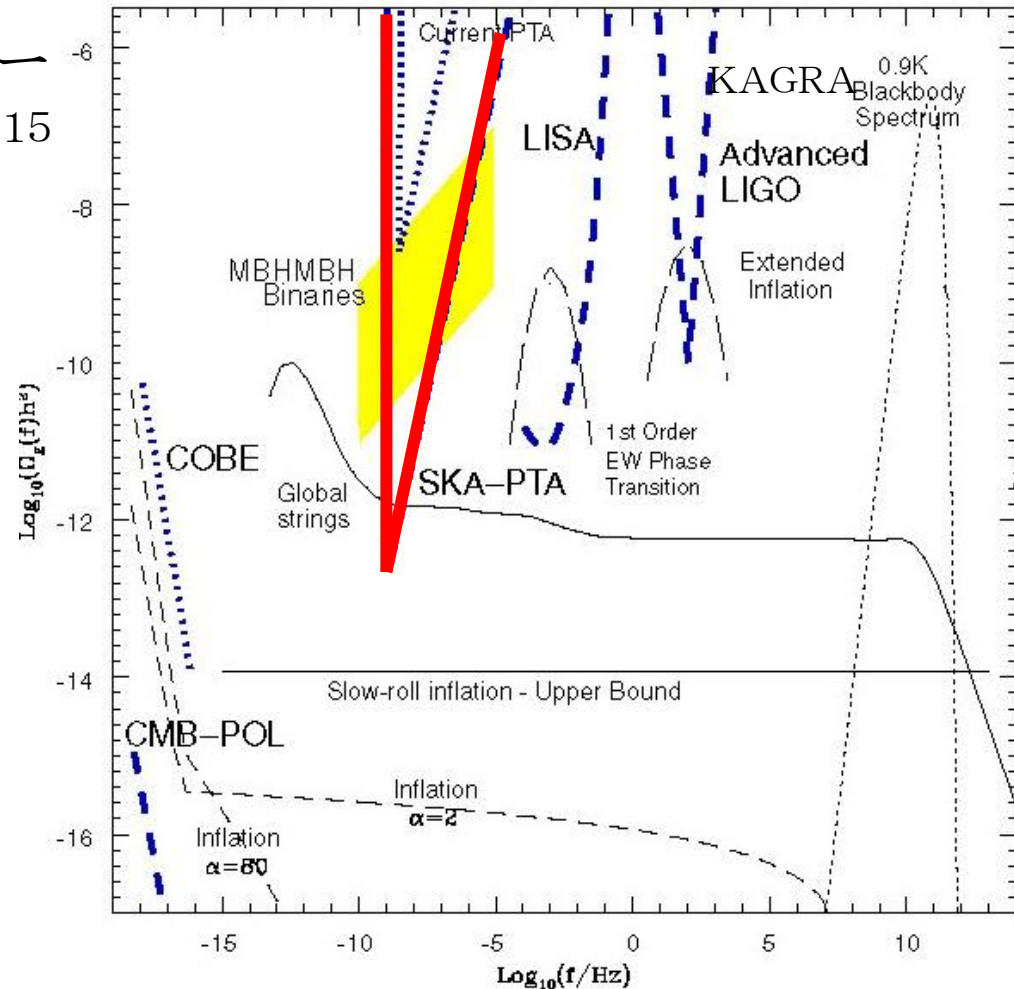
→ 巨大BHバイナリー

感度： $10 \text{ ns} / 1 \text{ yr} \sim 3 \times 10^{-15}$



## 多波長重力波天文学

- ・マイクロ波背景放射
- ・パルサータイミング
- ・スペース望遠鏡
- ・地上望遠鏡



# 一般相対論の検証

ブラックホールに関する最も基本的な定理

- no-hair theorem  
質量、回転速度だけで全て決まる
- cosmic censorship conjecture (Penrose 1969)  
回転速度には上限

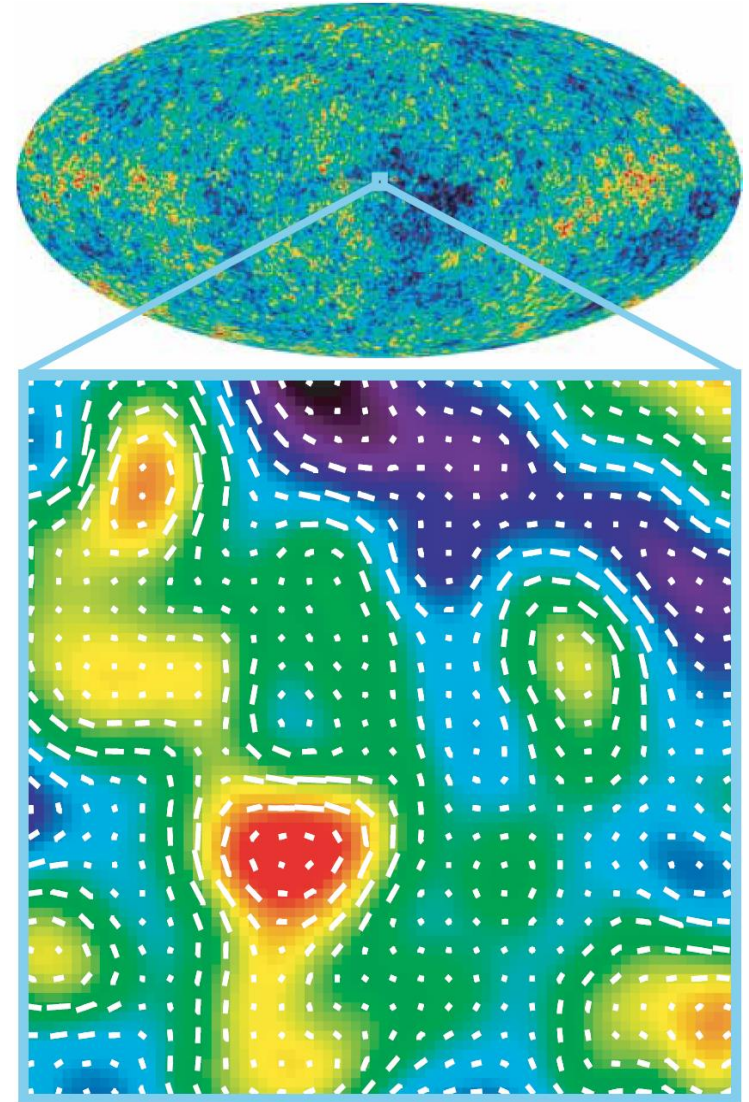
銀河中心巨大ブラックホール近傍のパルサー (1mpc)

- 質量、回転速度、形 (四重極) を精密に測る
- 一般相対論を真に強重力で検証

## 2、宇宙論屋から見た 川口さんと電波天文

# 理論屋の目から

2005- 宇宙論的磁場生成の研究  
→ 「観測したい」



Ichiki, KT+ 2006

# 理論屋の目から

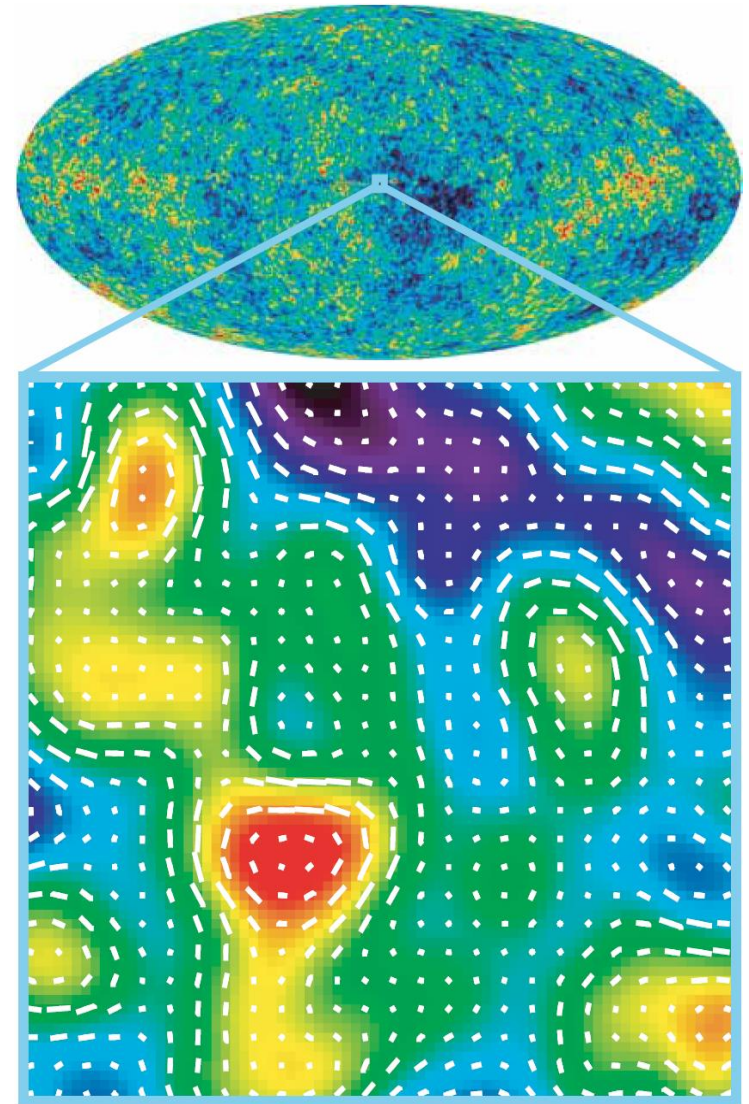
2005- 宇宙論的磁場生成の研究

→ 「観測したい」

2010 中西さんに相談

→ SKA-Japan参加

V懇シンポ参加



Ichiki, KT+ 2006

# 理論屋の目から

2005- 宇宙論的磁場生成の研究

→ 「観測したい」

2010 中西さんに相談

→ SKA-Japan参加

V懇シンポ参加

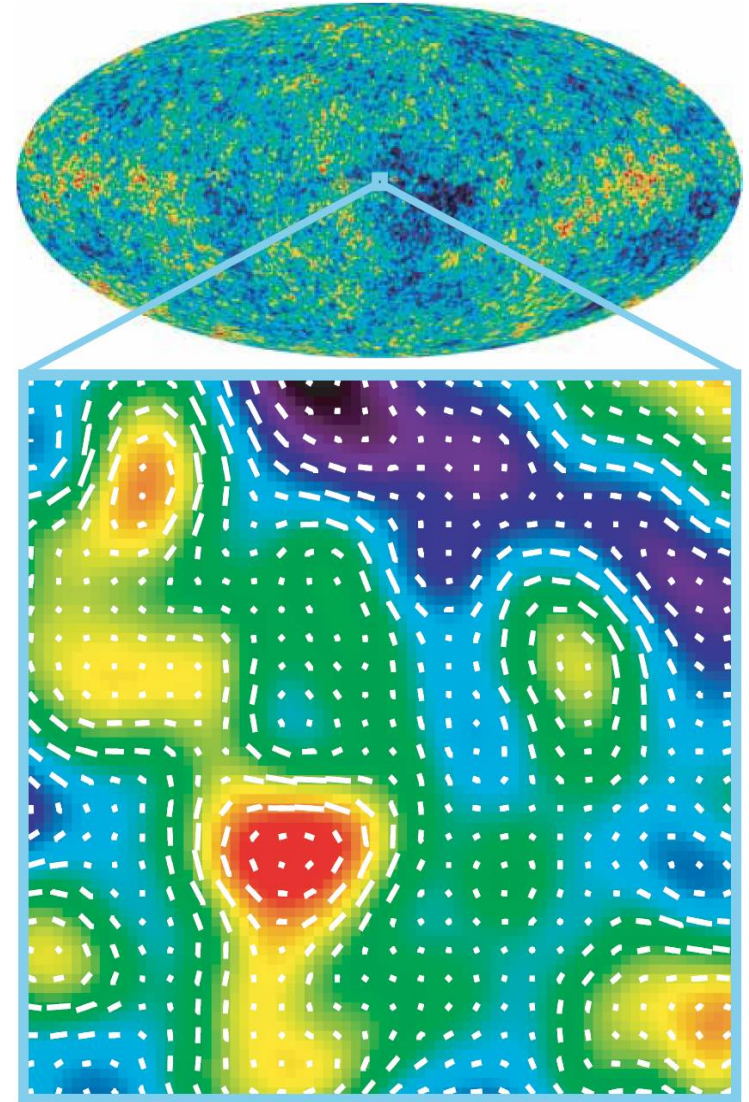
→ 雰囲気は・・・

・ 森本さん

・ VSOP2

電波コミュニティは

結束が固い



Ichiki, KT+ 2006



# 理論屋の目から

2005- 宇宙論的磁場生成の研究

→ 「観測したい」

2010 中西さんに相談

→ SKA-Japan参加

V懇シンポ参加

→ 雰囲気・・・

・ 森本さん

・ VSOP2

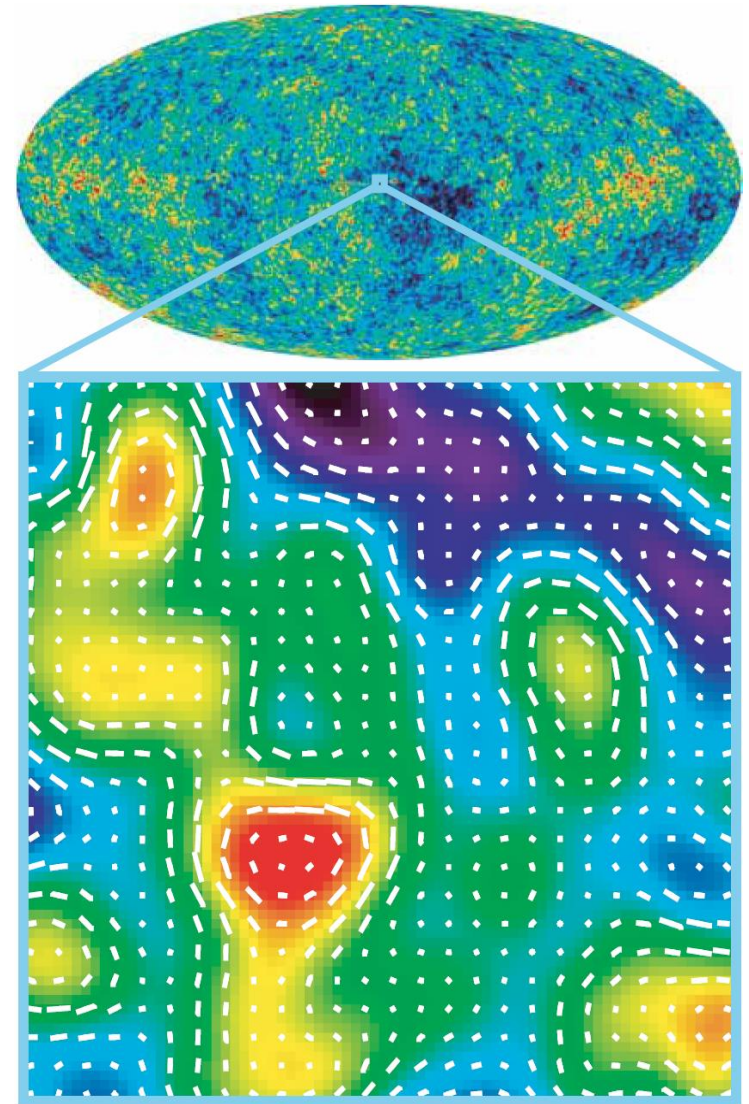
電波コミュニティは

結束が固い

川口さん → 親分？

僕の中で森本さんとダブる

豪快・周りを熱くさせる・脇が甘い



Ichiki, KT+ 2006

# 3、SKAに向けた技術開発

# 広帯域

方向性を悩んでいたところ  
川口さんが提案

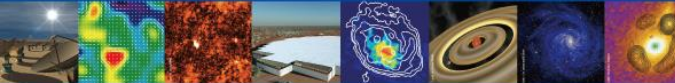
- ・ 高速AD変換器
  - ・ デジタル信号処理
- 「広帯域」をサイエンス・  
技術開発の日本のキーワードに
- ・ 広帯域フィード
  - ・ デジタル分光計
  - ・ 偏波スペクトル解析ソフトウェア

NAOJ, Mitaka, Tokyo, Japan, November 4-5, 2010

# SKA-JAPAN WORKSHOP

Revealing the Universe with  
Wide-band cm-Wavelength Observations


<http://www.ska-jp.org/ws2010/index.html>



[KEYWORDS]  
SKA Science, Engineering and Industry  
Precursor / Pathfinder  
Japanese / East Asian activities  
Wide-band Receiver System  
Cosmic Magnetism  
Galaxy Evolution  
AGN  
Astrometry  
Pulsar  
Star Formation  
Spectral Line Survey

[SOC] Keitaro Takahashi (Nagoya University) Chair  
Hiroshi Imai (Kagoshima University)  
Ryohei Kawabe (NRO)  
Noriyuki Kawaguchi (NAOJ)  
Joseph Lazio (JPL-SPDO)  
Nozomu Kawakatsu (Tsukuba University)

[LOC] Hiroyuki Nakanishi (Kagoshima University) Chair  
Yoshiaki Hagiwara (NAOJ)  
Osamu Kamaya (NAOJ)  
Motoki Kino (NAOJ)  
Kotaro Ninuma (NAOJ)  
Akiharu Nakagawa (Kagoshima University)



Financial support : NAOJ

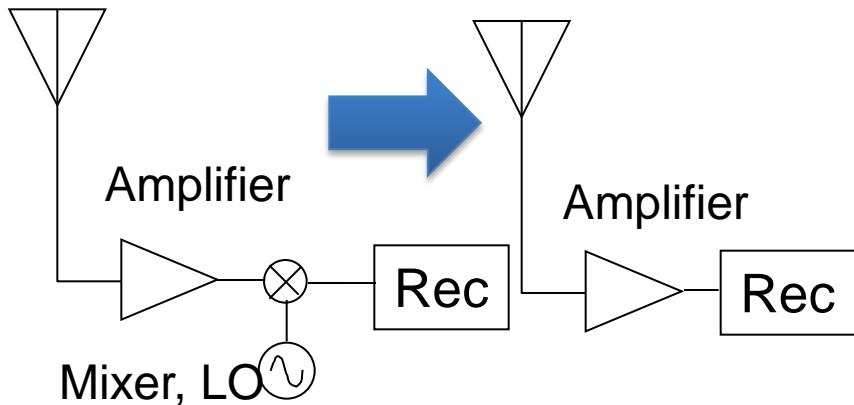
[CONTACT] Keitaro Takahashi (ktakaha@naoj.ac.jp)



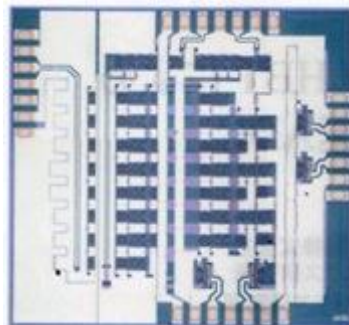
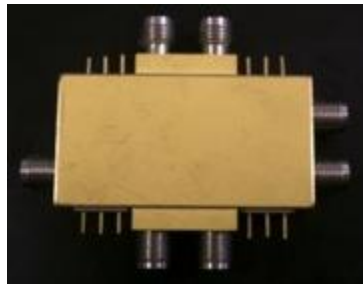
# 高速A/D変換機によるホモダイン受信機

高速 InP HBC 3bit サンプラー (Kawaguchi@SKA-JP WS 2008)

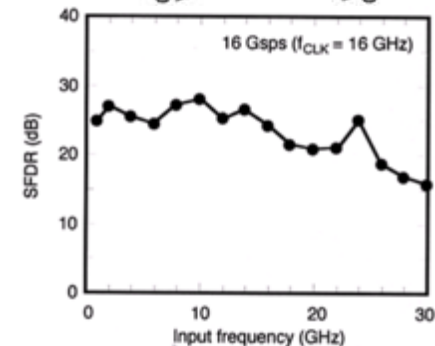
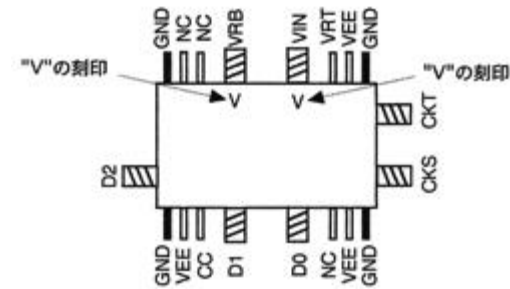
ヘテロダイン受信機      ホモダイン受信機



ヘテロダインからホモダインへ

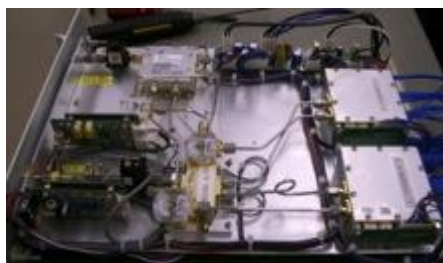


(3 mm × 3mm)

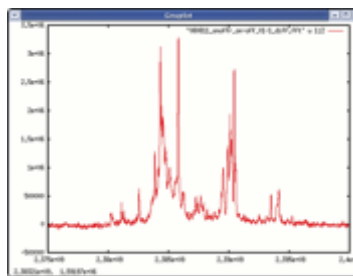


NTT Photonics Laboratory

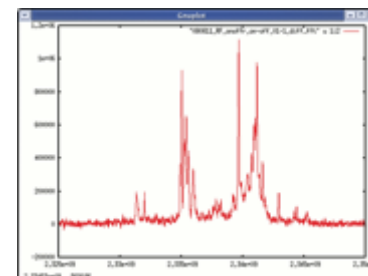
実験の様子



搭載



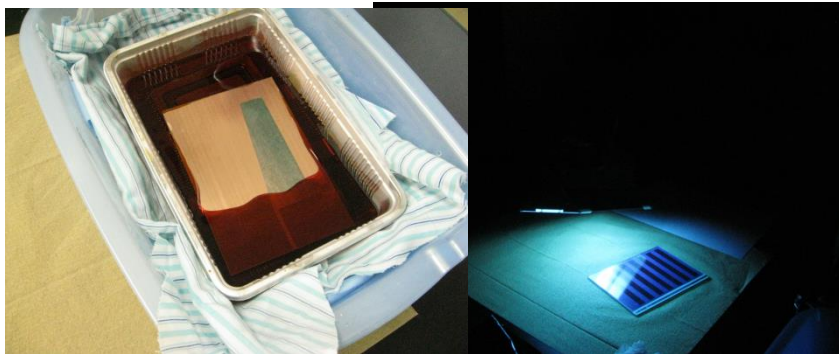
従来のヘテロダイン式受信機で得られたスペクトル  
( $f_{LO}=(16.85+3)GHz$ ,  $f_{IF}=2.2-2.6GHz$ ,  $f_{sample}=8.192GHz$ )



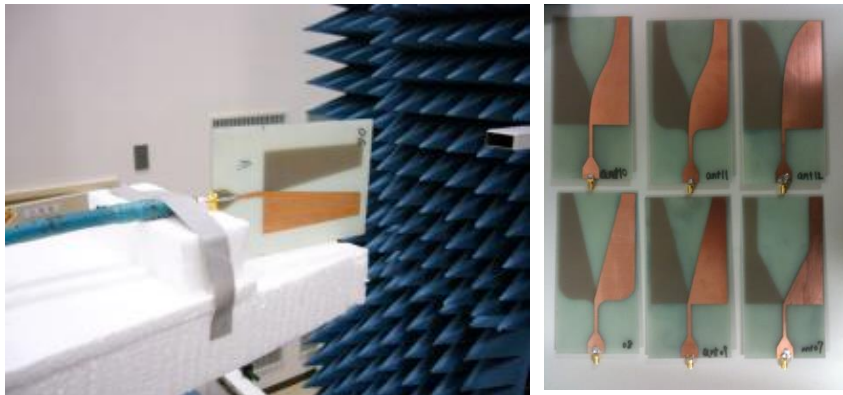
新たにホモダイン受信機で得られたスペクトル  
( $f_{RF}=20.480-24.576GHz$ ,  $f_{sample}=8.192GHz$ ,  $BW=4.096GHz$ )

# 広帯域フィードの開発

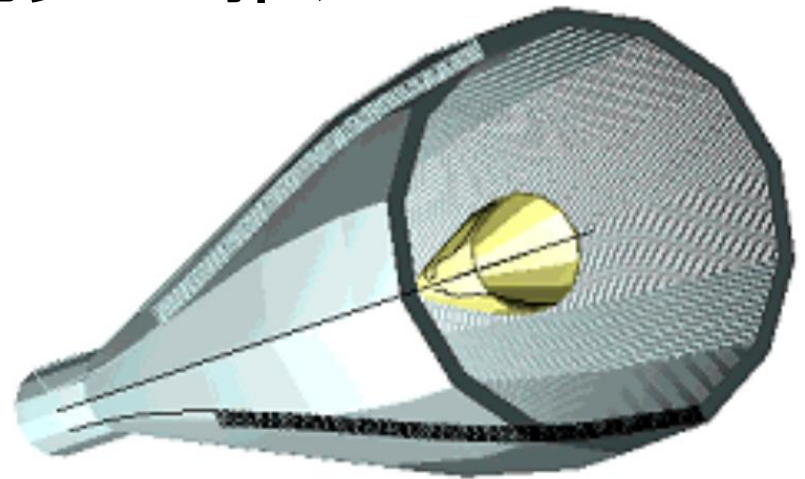
広帯域フィードの開発として  
Tapered Slot Antennaを試作



現在はNICTにおいて  
開発が推進



(上妻 @EAVNWS2010)



(Takefuji & Ujihara@IVS 2012)

# ROACHによるデジタルバックエンド開発

デジタル電波分光計 (中西)

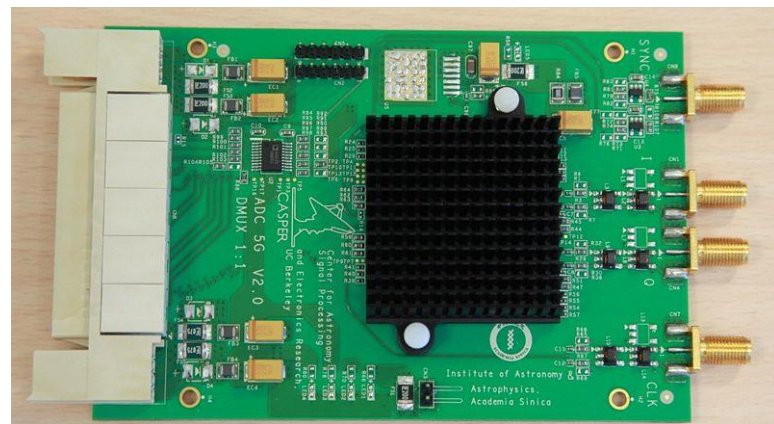
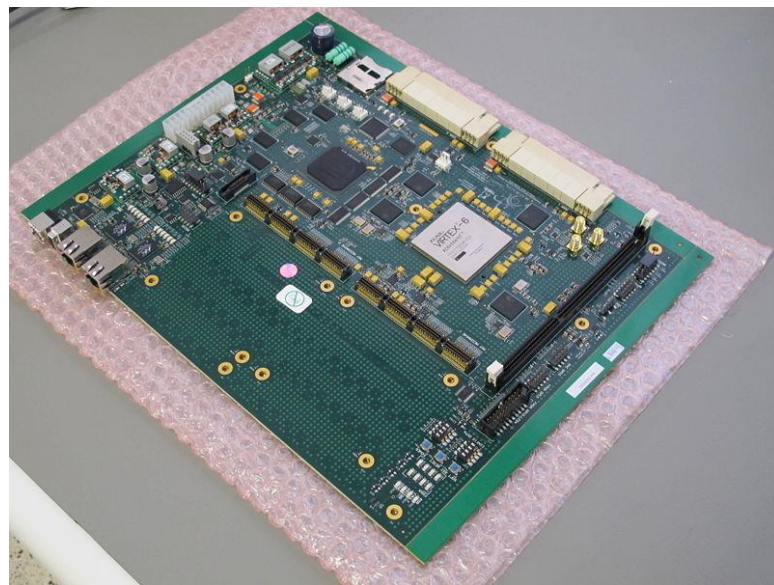
コスト安 (購入、メンテナンス、柔軟性、拡張性)

教育的効果、技術習得

国際連携、国際標準



2013年12月13日  
野辺山宇宙電波観測所45m観測棟にて



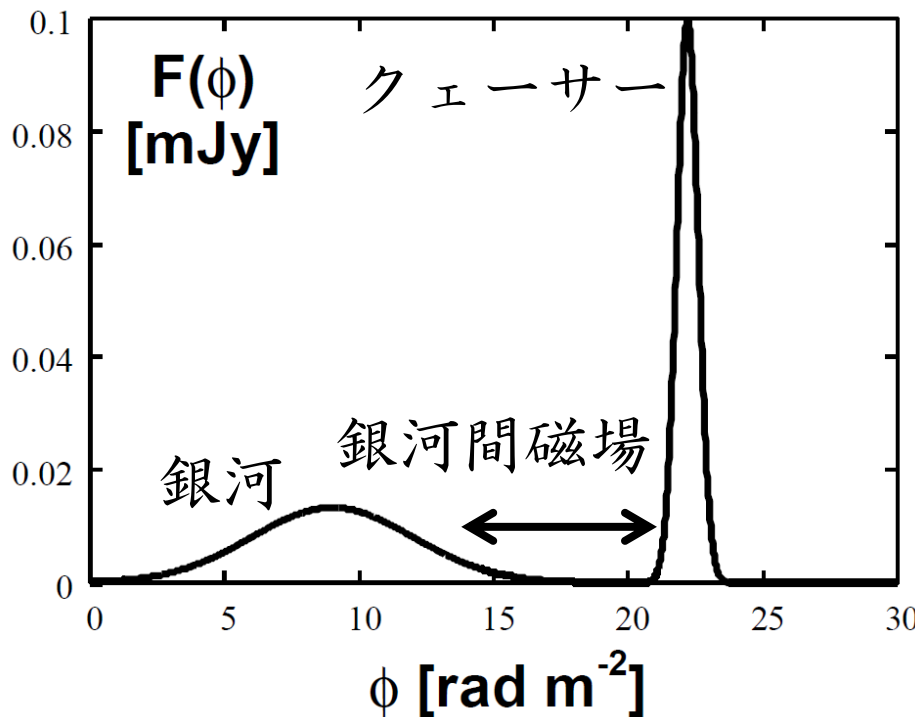
# 偏波スペクトル解析ソフトウェア

偏光スペクトル

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

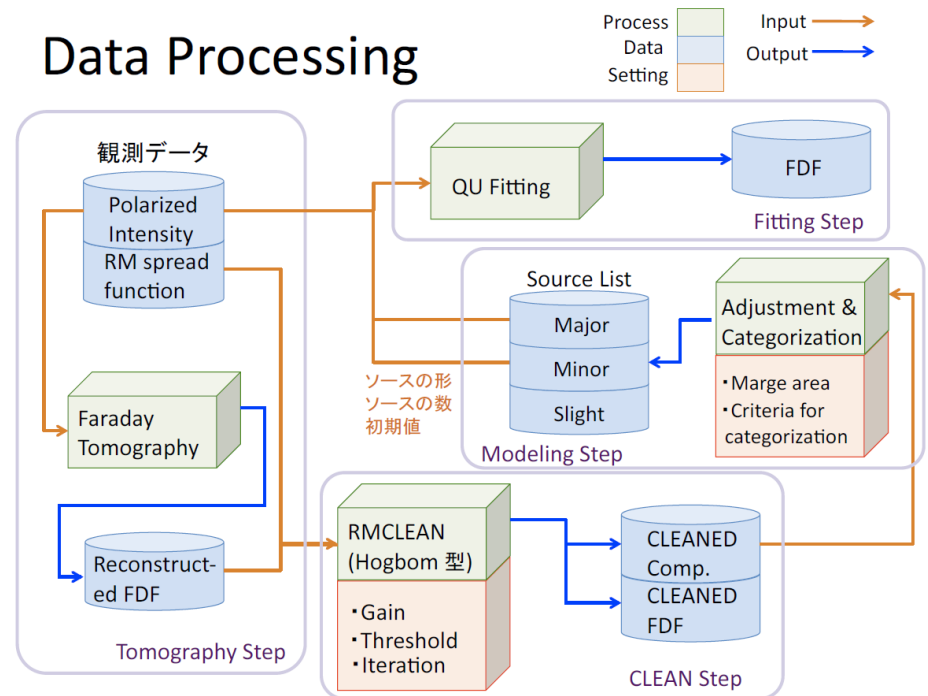
F: 源と磁場の分布

$\phi(x)$ : 磁場で測った距離



RM CLEANの改良 (熊崎)  
MCMC法 (出口)  
→ASKAP実装

## Data Processing



引き続きご協力をお願いします！