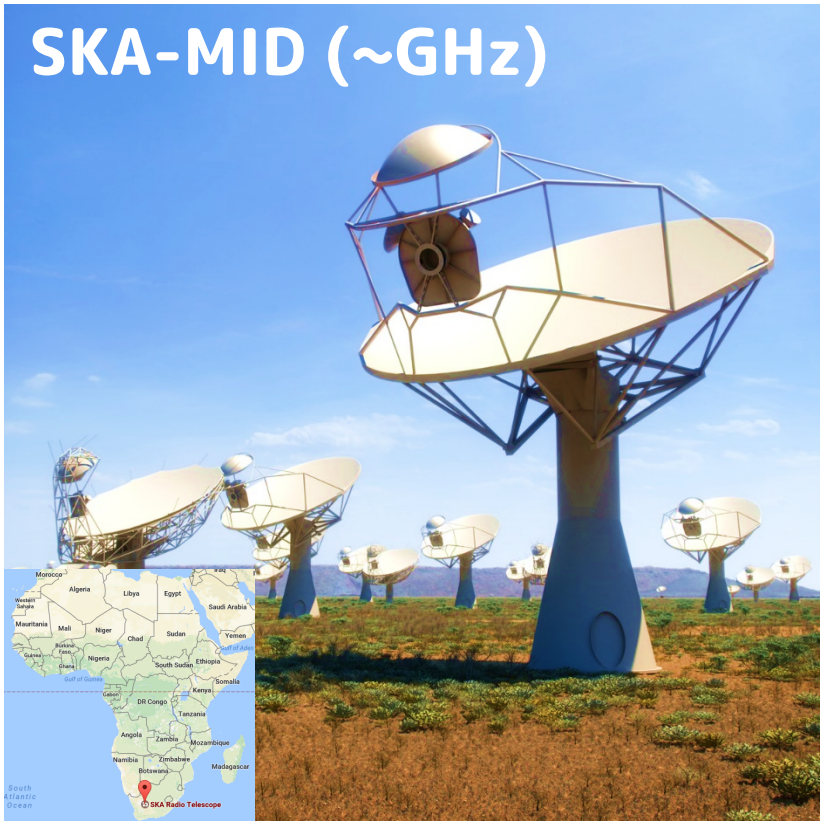
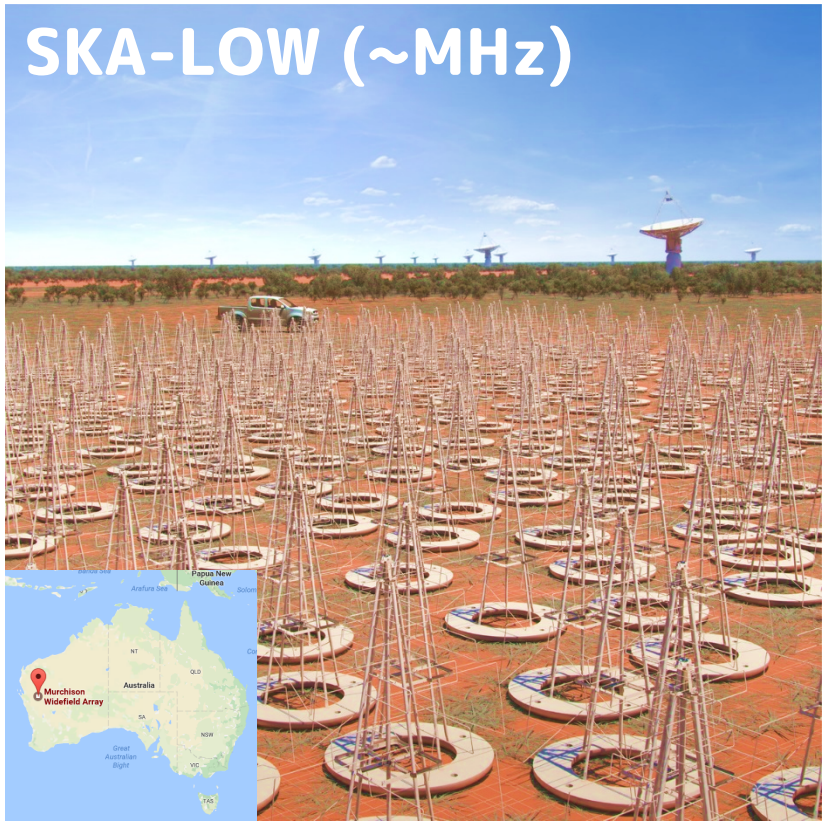
SKA-JP Engineering Working Group 活動報告

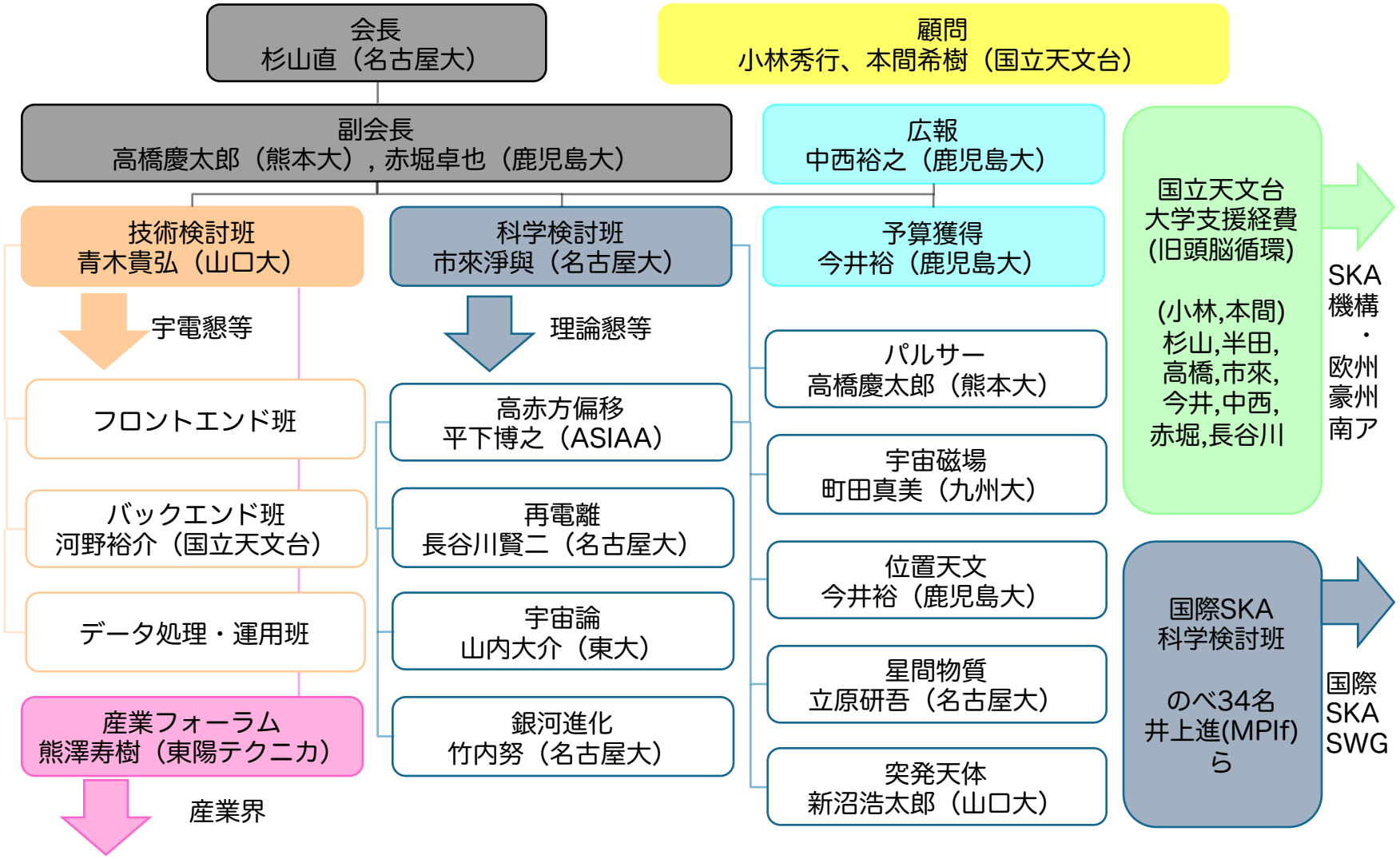
青木貴弘 (山口大学)
2016-12-28

Square Kilometre Array (SKA)





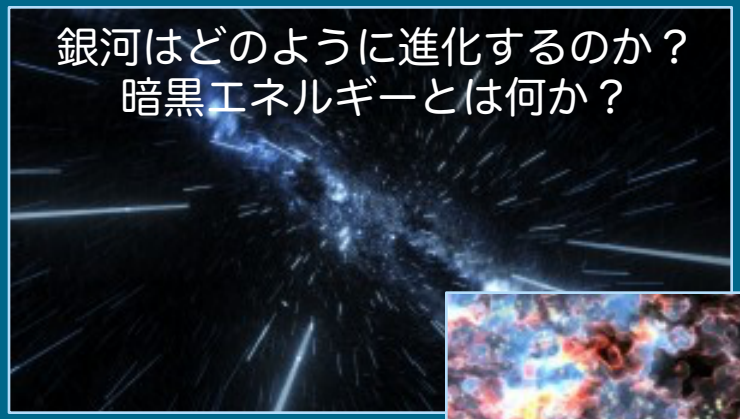
SKA-Japan (2016年12月現在)

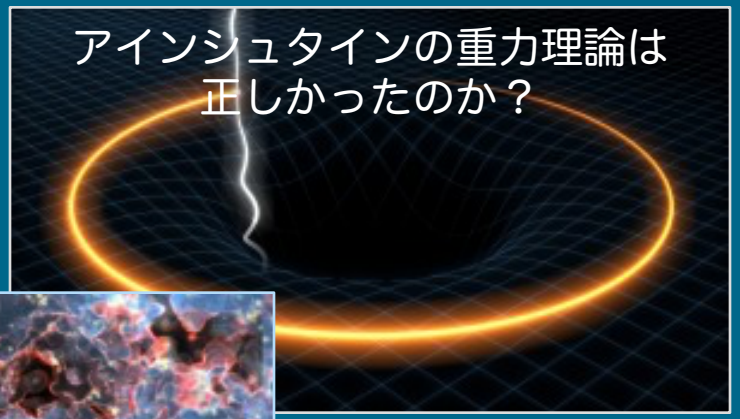


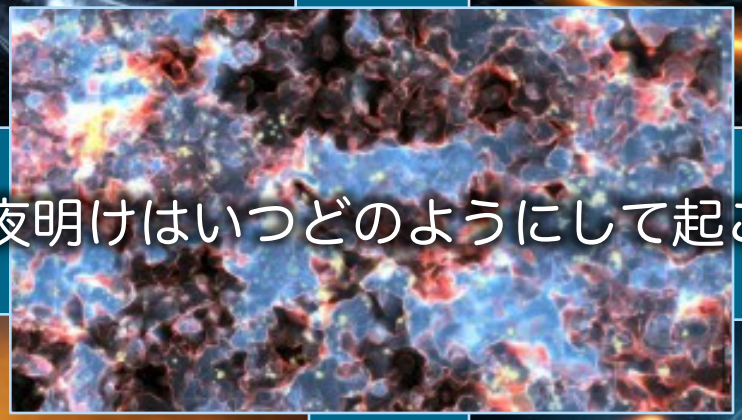
SKA-JP EWG

名前	所属
川口 則幸	VLBI技術開発会社
熊澤 寿樹	東陽テクニカ
河野 裕介	水沢
氏原 秀樹	NICT
今井 裕	鹿児島大
赤堀 卓也	鹿児島大
中西 裕之	鹿児島大
青木 貴弘	山口大
他十数名	

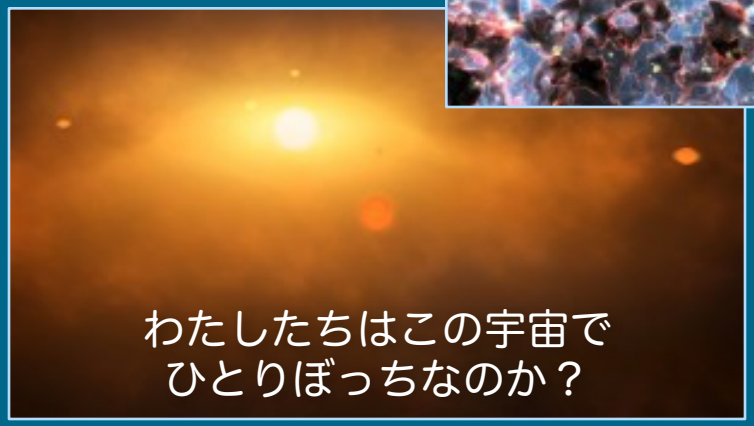
- 全員列挙できないので**技術レポート作成に携わった方**を列挙しています
- 他にも**多数の方**にSkype会議に参加していただいています

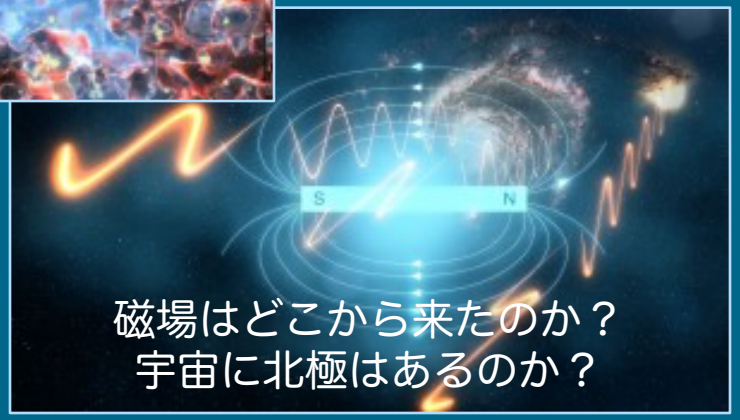






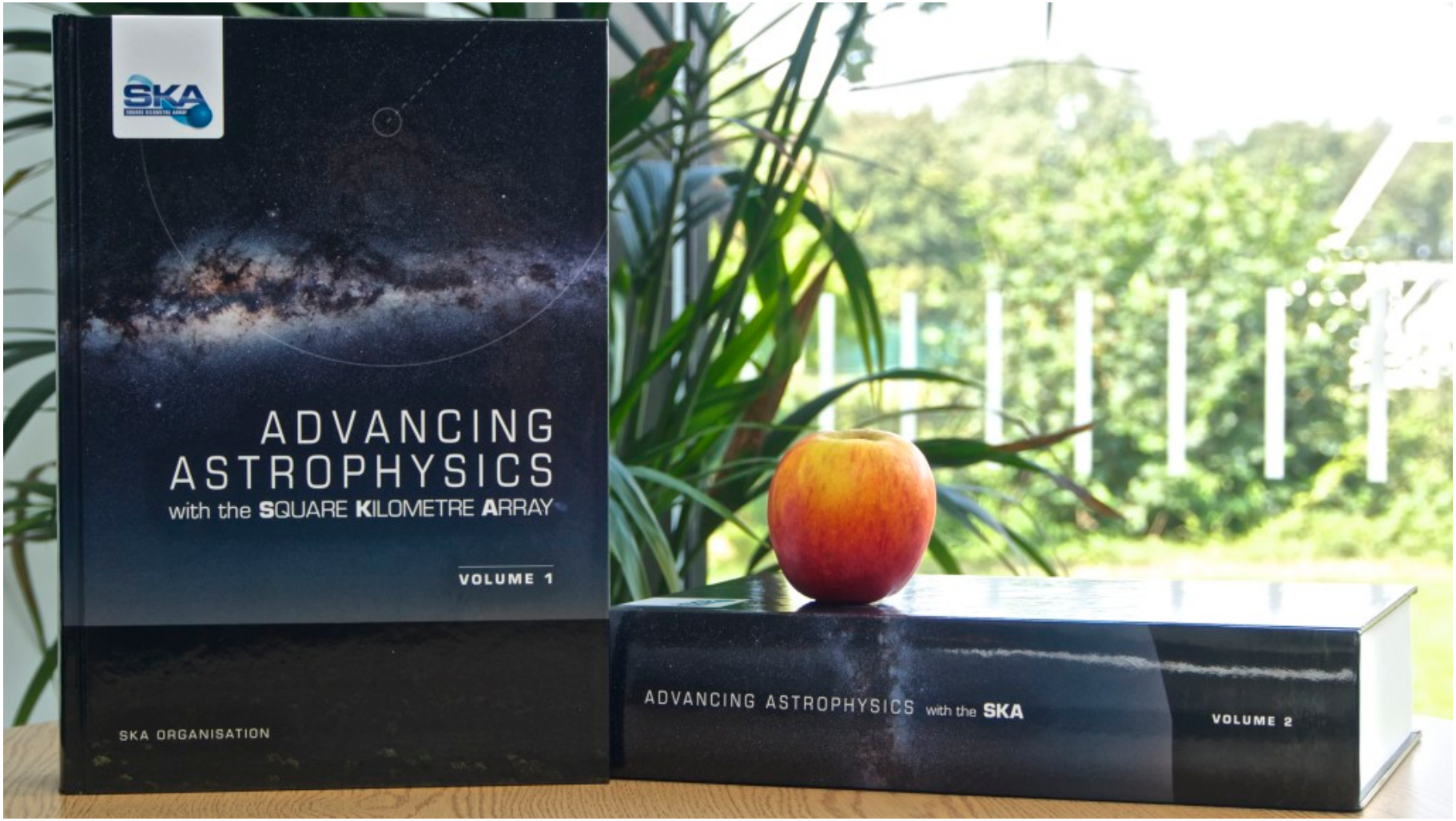
宇宙の夜明けはいつどのようにして起こったか？





SKA HPならびにhttp://kajipon.sakura.ne.jp/kt/kt81b.htmlから

SKA Science Book



SKA1 & SKA2 Science (1)

	SKA1	SKA2
宇宙の夜明けと宇宙再電離	宇宙再電離構造の直接撮像 (z = 6 – 12)	宇宙の夜明けの直接撮像 (z = 12 – 30)
	宇宙の夜明けを垣間見る （1分角までの空間スペクトル、 10分角での撮像）	夜明け前の宇宙を垣間見る (z > 30)
ブラックホールやパルサーを使った強重力場の検証	nHzの確率論的な宇宙背景重力波の 世界初の検出	個別の天体の重力波天文学の新展開 （銀河進化、宇宙論など多岐に波及）
	一般相対性理論の検証を可能にする NS-NSまたはPSR-BH連星系の発見と利用	天の川銀河の4万のパルサーを全て見つける。 宇宙検閲官仮説と脱毛定理の検証。
中性水素で探る銀河進化	1千万銀河のガスの性質を平均0.3、最大1の赤方偏移まで紐解く。バリオン音響振動。	10億銀河のガスの性質を平均1、最大5の赤方偏移まで紐解く。世界最高の精密宇宙論
	3 Mpc離れて、銀河に50pcの分解能、 $N_H < 10^{17}$の銀河間ガスに1kpcの分解能	10 Mpc離れて、銀河に50pcの分解能、 $N_H < 10^{17}$の銀河間ガスに1kpcの分解能
ダイナミックな電波の空	FRBを使って宇宙論が予言する 最後のピース（ミッシングバリオン）を暴く	FRBを使い独立した宇宙論パラメータの調査と銀河間磁場の調査を行う
	ガンマ線バーストのフィードバックと超巨大ブラックホールによる星の潮汐破壊の研究	未知の発見

赤堀さんのスライドより引用

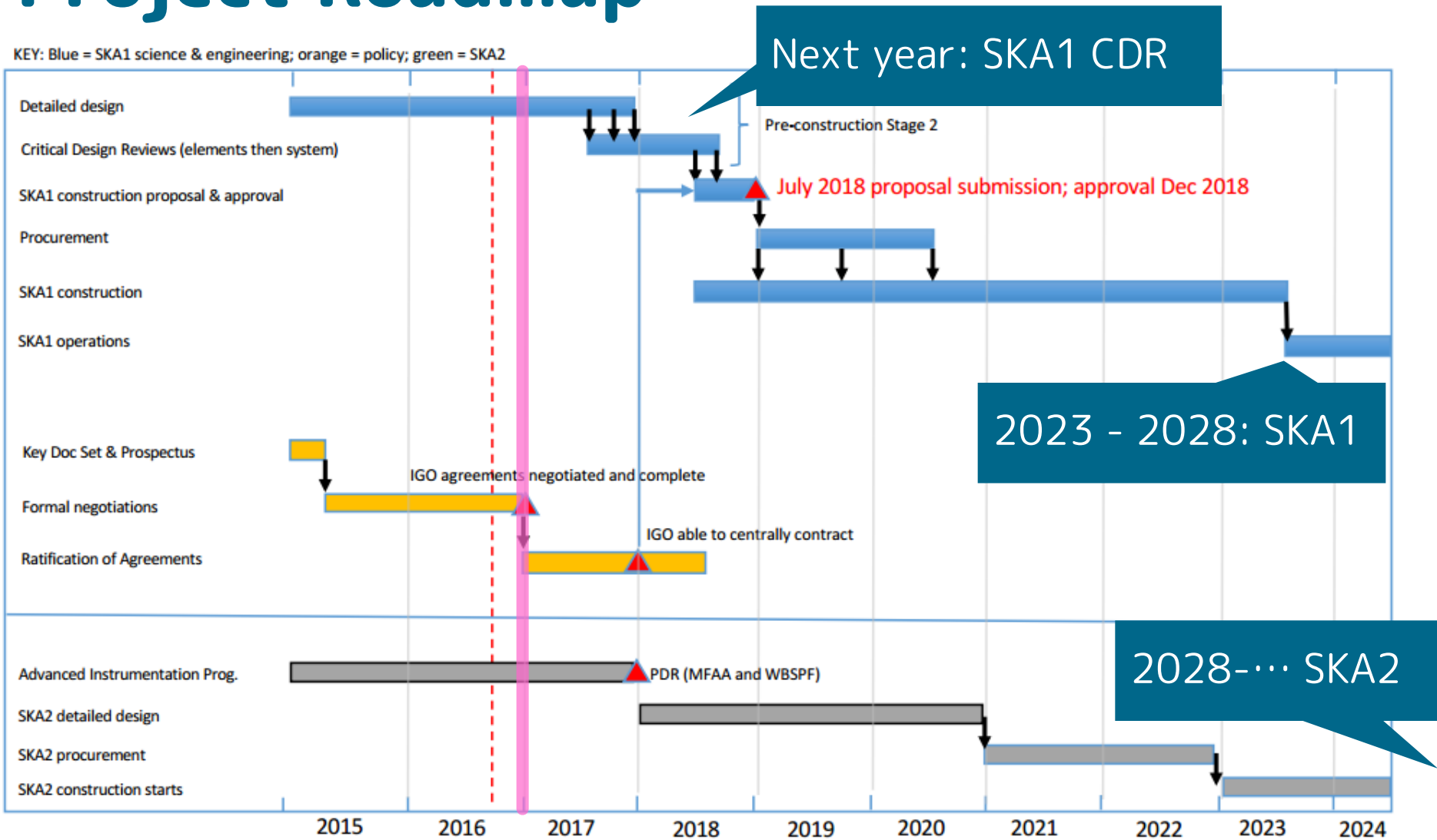
SKA1 & SKA2 Science (2)

	SKA1	SKA2
生命のゆりかごと宇宙生命の探査	100pc内の原始惑星系円盤で氷雪帯内の撮像。アミノ酸の調査	150pc内の原始惑星系円盤でサブAUスケールの撮像。アミノ酸の研究
	1万個の近傍の星から空港レーダーを捉える	10万個の近傍の星から空港レーダーを捉える 10の最近傍星ではTV中継が見える感度
宇宙磁場の起源と進化	銀河内から宇宙ウェブまでの磁場の役割。 1100万RM画素の全天マップ	宇宙磁場の起源と増幅の歴史。 1.8億RM画素の全天マップ
	14 Mpc先で100pc, z~0.04で1kpcの分解能での3次元トモグラフィー	50 Mpc先で100pc, z~0.13で1kpcの分解能での3次元トモグラフィー
宇宙論と暗黒エネルギー	暗黒エネルギー、修正重力、超地平線スケールでの物質分布の制限（Euclid衛星と比類）	暗黒エネルギー、修正重力、超地平線スケールでの物質分布の制限（世界最高品質）
	原始非ガウス性と物質双極性。 Euclid対比で2倍強いf_{NL}制限	原始非ガウス性と物質双極性。 Euclid対比で10倍強いf_{NL}制限
連続波で探る銀河進化	星形成率調査 (10 $M_\odot$/yrならz ~ 4まで)	星形成率調査 (10 $M_\odot$/yrならz ~ 10まで)
	空間分解した星形成の宇宙物理 (活動的なsub-kpc領域がz ~ 1まで)	空間分解した星形成の宇宙物理 (活動的なsub-kpc領域がz ~ 6まで)

赤堀さんのスライドより引用

日本版サイエンスブックの執筆

Project Roadmap



McPherson's slide @ skaengcon16

Performance Comparison

Table 1: A table of typical performance measures for a variety of radio telescopes (extant and under construction).

		Parameters for Comparable Telescopes												
		eMERLIN	JVLA	GBT	GMRT	Parkes MB	LOFAR	FAST	MeerKAT	WSRT	Arecibo	ASKAP	SKA1-low	SKA-mid
A_{eff}/T_{sys}	m^2/K	60	265	276	250	100	61	1250	321	124	1150	65	559	1560
FoV	deg^2	0.25	0.25	0.015	0.13	0.65	14	0.0017	0.86	0.25	0.003	30	20.77	0.49
Receptor Size	m	25	25	101	45	64	39	300	13.5	25	225	12	35	15
Fiducial frequency	GHz	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	0.12	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	0.11	1.67
Survey Speed FoM	$deg^2\ m^4\ K^{-2}$	9.00×10^2	1.76×10^4	1.14×10^3	8.13×10^3	6.50×10^3	5.21×10^4	2.66×10^3	8.86×10^4	3.84×10^3	3.97×10^3	1.27×10^5	6.49×10^6	1.19×10^6
Resolution	arcsec	$10\text{-}150 \times 10^{-3}$	1.4 - 44	420	2	660	5	88	11	16	192	7	7	0.25
Baseline or Size	km	217	1 - 35	0.1	27	0.064	100	0.5	4	2.7	225	6	80	150
Frequency Range	GHz	1.3-1.8, 4-8, 22-24	1 - 50	0.2 - 50+	0.15, 0.23, 0.33, 0.61, 1.4	0.44 to 24	0.03 – 0.22	0.1 – 3	0.7 - 2.5, 0.7 - 10	0.3 – 8.6	0.3 - 10	0.7-1.8	0.050 – 0.350	0.35-14
Bandwidth	MHz	400	1000	400	450	400	4	800	1000	160	1000	300	300	770
Cont. Sensitivity	$\mu Jy\text{-}hr^{-1/2}$	27.11	3.88	5.89	6.13	16.26	266.61	0.92	3.20	20.74	0.89	28.89	3.36	0.75
Sensitivity, 100 kHz	$\mu Jy\text{-}hr^{-1/2}$	1714	388	373	411	1029	1686	82	320	830	89	1582	184	66
SEFD	Jy	46.0	10.4	10.0	11.0	27.6	45.2	2.2	8.6	22.3	2.4	42.5	4.9	1.8

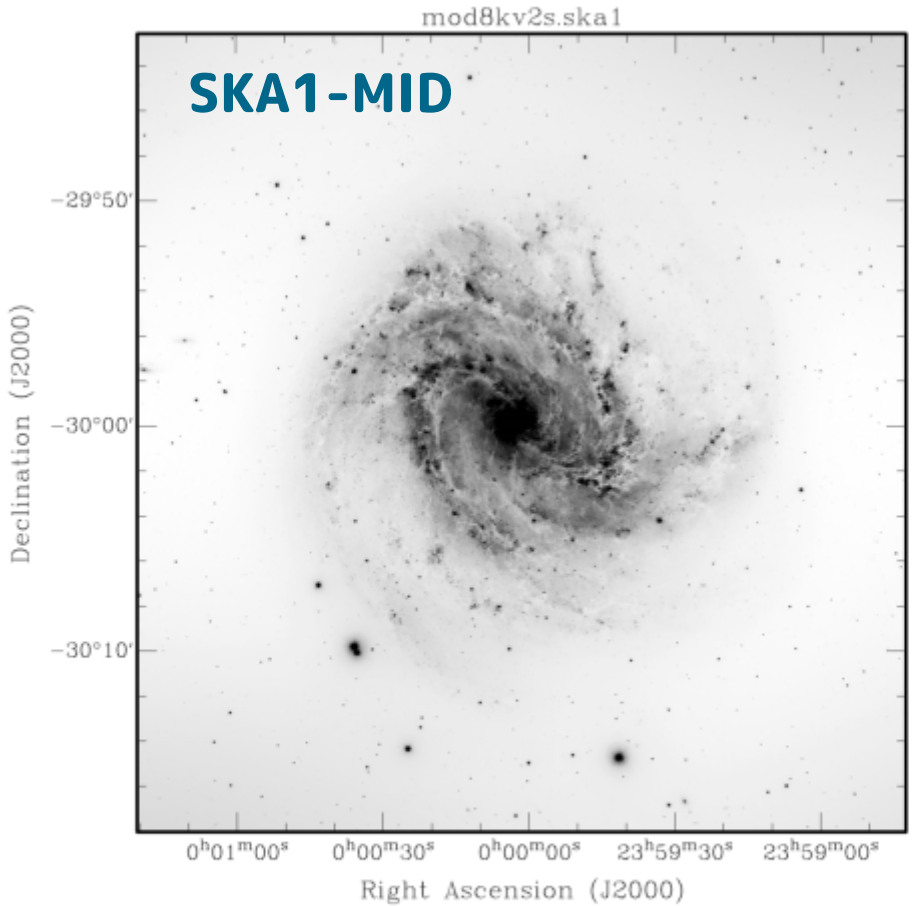
- **SKA (Resulting) Concept:**

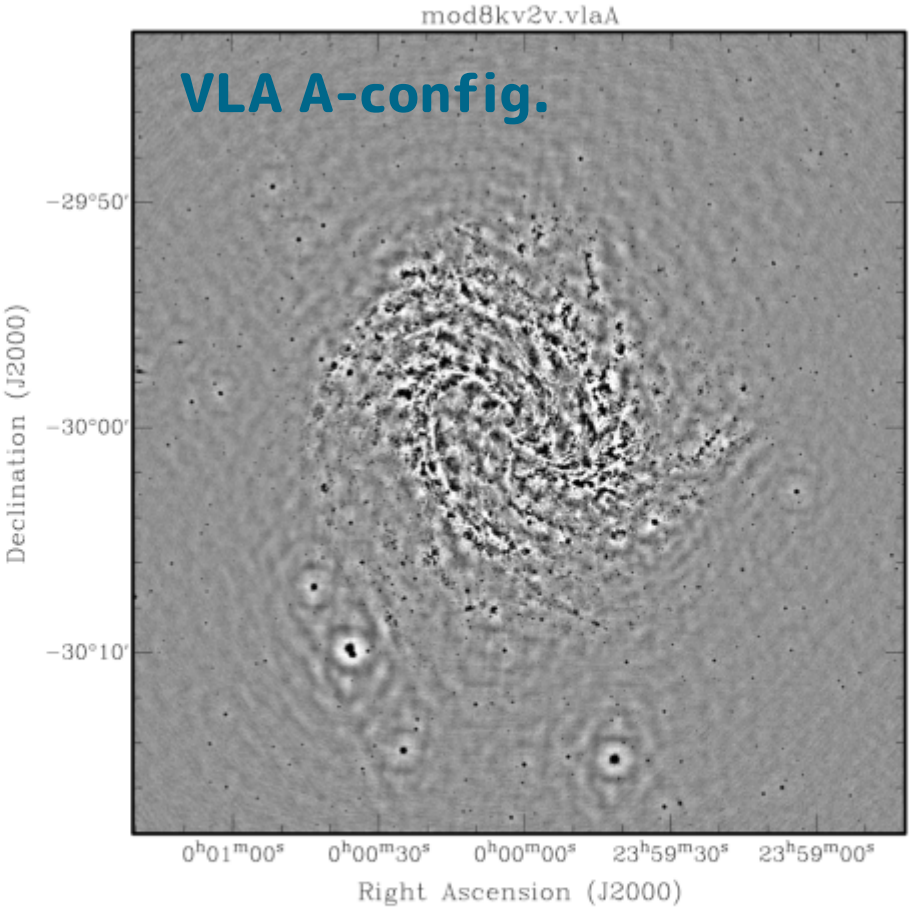
  High Sensitivity & Wide Field of View

  (& Wide Band in SKA2?)

  - Consisting of **many small** antennas
  - World's highest sensitivity
  - World's highest survey speed

Dirty Image Quality Comparison

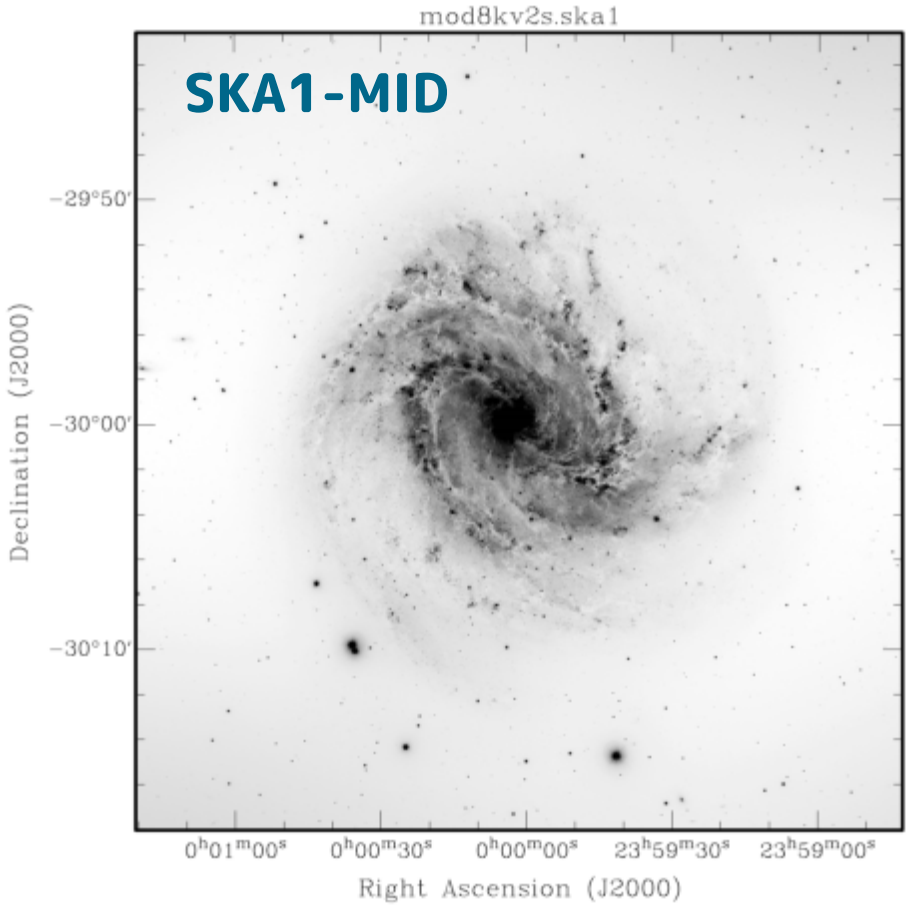


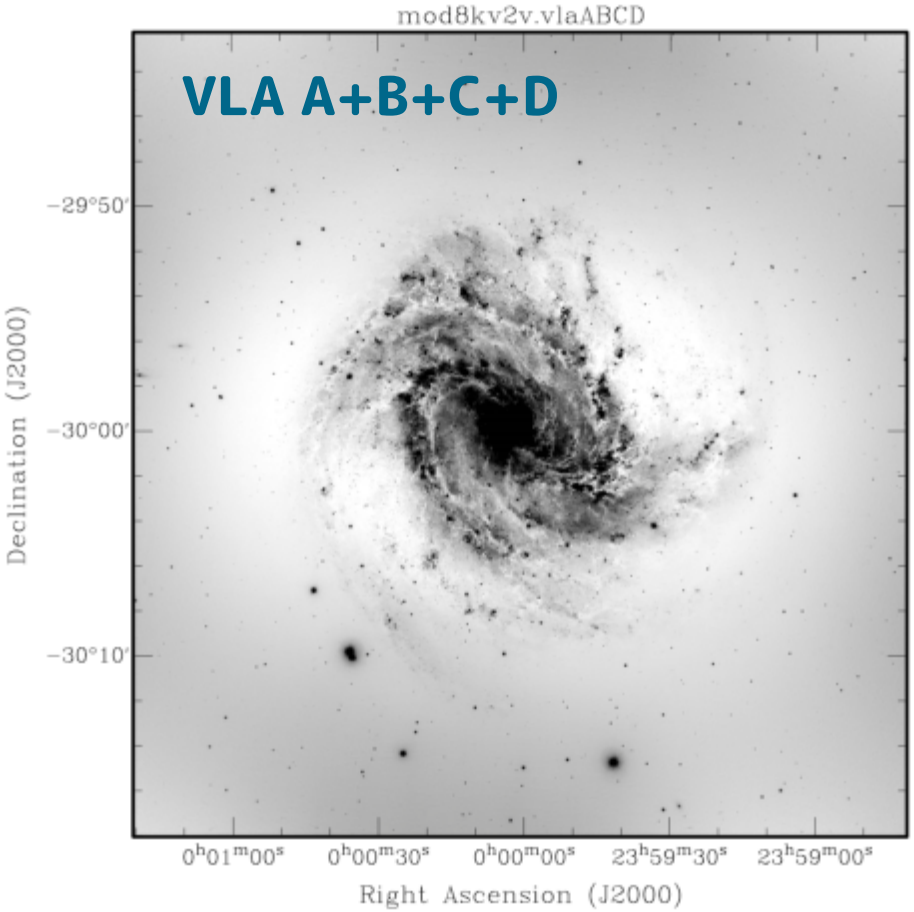


- "Structural" dynamic range of ~1000:1 rather than ~3:1 per VLA track (eg. SKA1-Mid vs. VLA A-config.)

From Braun's slide @ skaengcon16

Dirty Image Quality Comparison

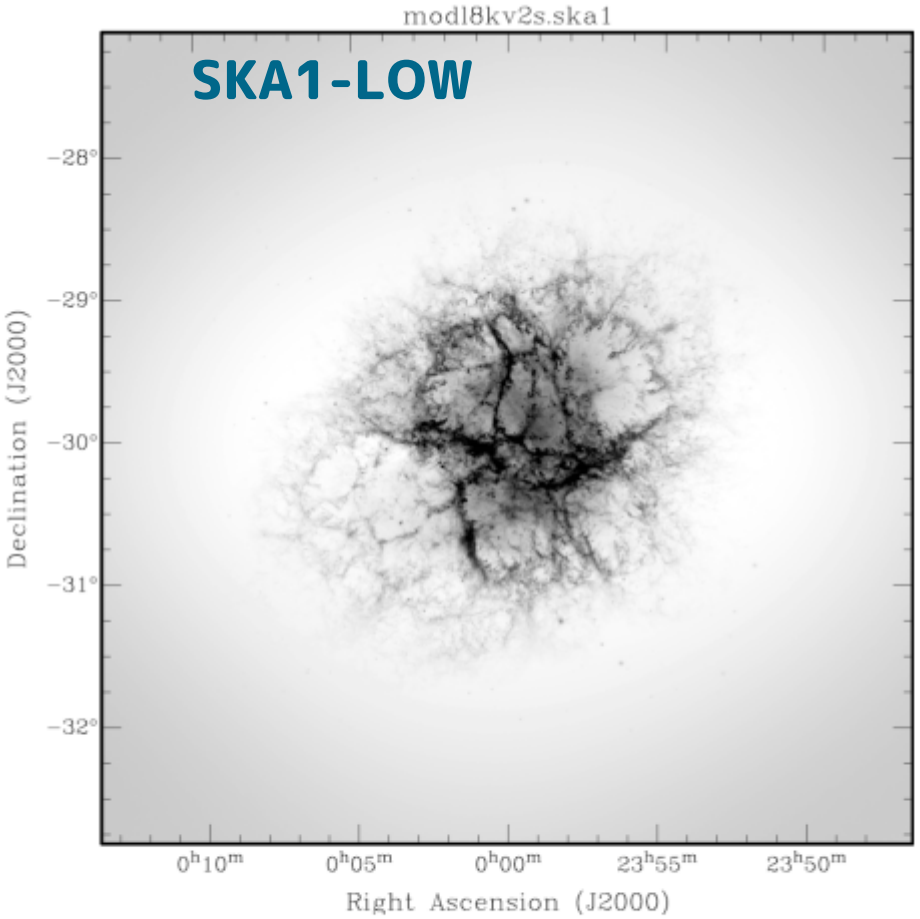


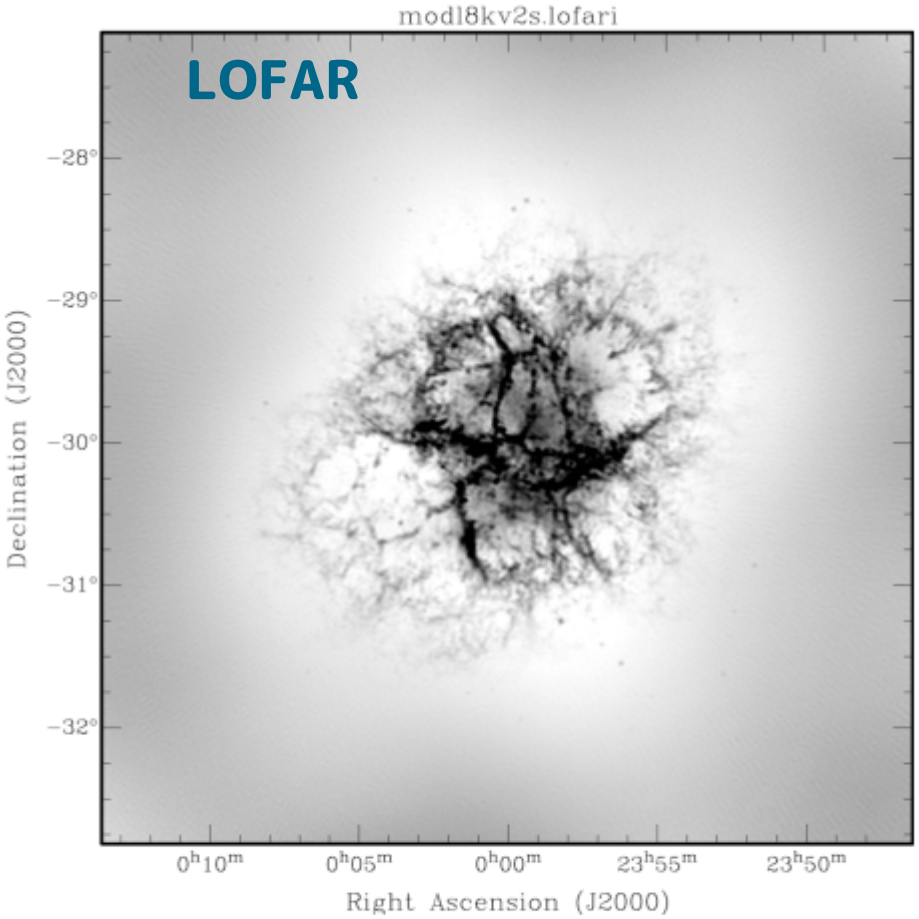


- Single SKA1-Mid track compared to combination of tracks in each of VLA A+B+C+D

From Braun's slide @ skaengcon16

Dirty Image Quality Comparison

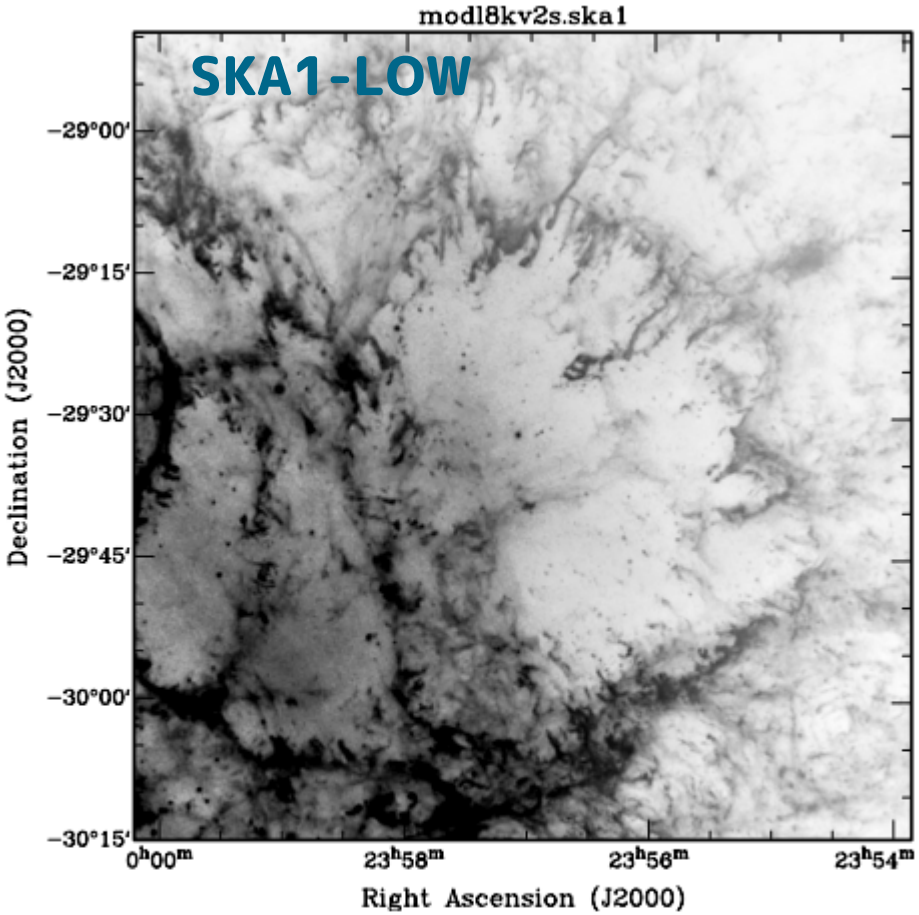


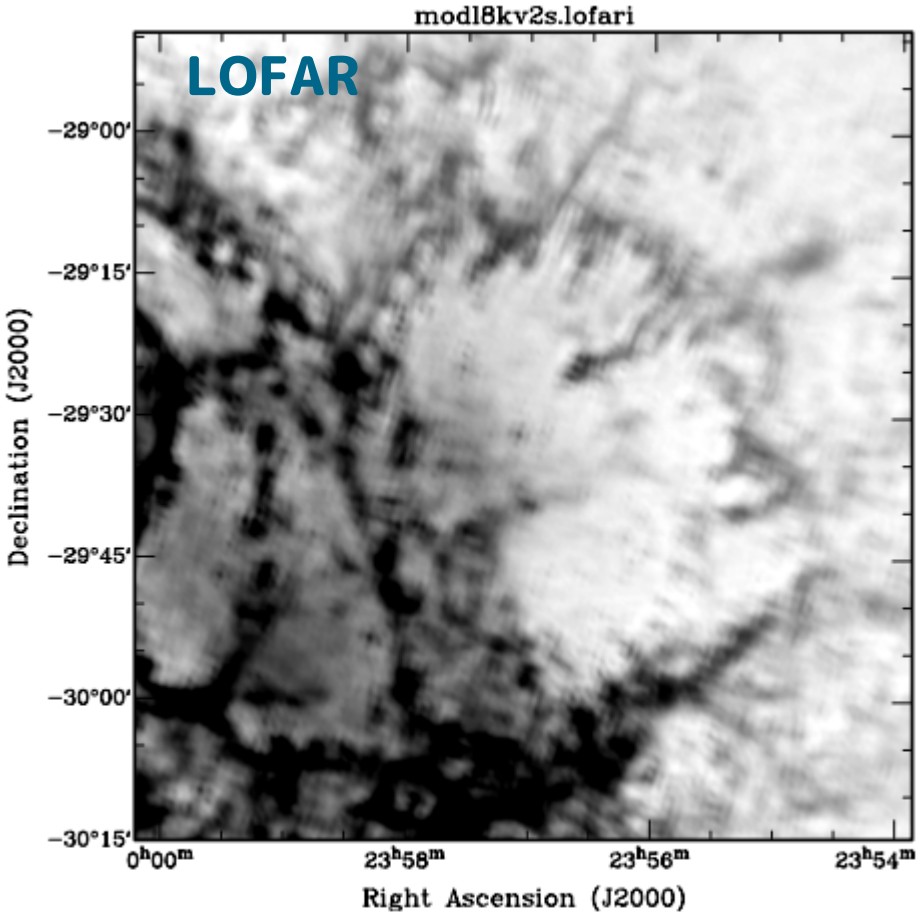


- Single SKA1-Low track compared to LOFAR-INTL

From Braun's slide @ skaengcon16

Dirty Image Quality Comparison





- Single SKA1-Low track compared to LOFAR-INTL

From Braun's slide @ skaengcon16

SKAに参加するとは？

- 国家の代表機関による

（注）2014年3月時点でのSKA1のルール。
ドイツのMPIはどういう扱いになる？

① 現金貢献

② **Work Package Consortia (WPC) に参加し物納貢献**

» 研究開発に投じた額をSKA機構が査定

- フルメンバー国になるには①②を、アソシエイトメンバー国になるには②を貢献しなければならない

› ①②の総額はIAU会員数に比例することが望ましい

› ホスト国(英/豪/南ア)は14%以上、その他の国は12%以下の出資

Work Package Consortia (WPC)

- 技術開発・設計の国際共同体
- 技術要素によって11チームが編成されている
- 研究機関だけでなく**民間企業も参加**している

日本がSKAに参加するには

- SKA-Japanコミュニティの拡大
  - SKAを使いたいという研究者を集める

- Work Package Consortia への参加
  - **SKAだけでなく将来の日本に資する技術は何か？**

SKA-JP Engineering Working Group

- 目標
  - 日本の技術的貢献を提案しWPCへ加入する

国内の電波望遠鏡の今後をどうするのか？

- 活動内容
  - SKAに貢献できる技術の模索
  - 産業界との連携体制構築
  - SKAおよびSKAパスファインダーのシステム勉強
  - EWGメンバーの研究報告

日本の科学界・産業界のための技術開発

- 日本の天文学に資する技術
- 産業応用できる技術

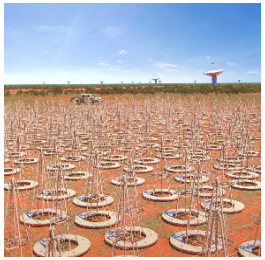
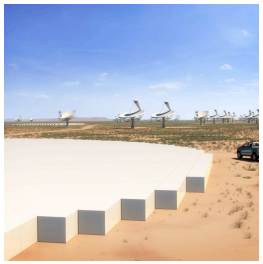
応用

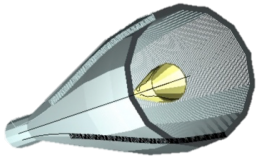
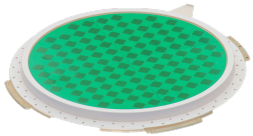
SKA
SQUARE KILOMETRE ARRAY

日本とSKA双方にとって有効な技術開発とは？

Work Package Consortia (WPC)

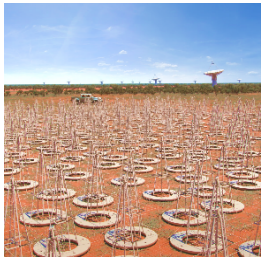
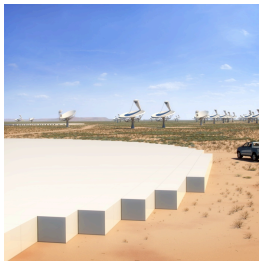
- **LFAA**/SKA-LOW
- **MFAA**/SKA2-AAMID
- **DISH**/SKA-MID
- **WBSPF** 広帯域フィード
- **PAF** 広視野フィード
- **SaDT** 信号伝送
- **CSP** 相関器・ビームフォーマー
- **SDP** データ処理スパコン
- and インフラ、運用管理、他

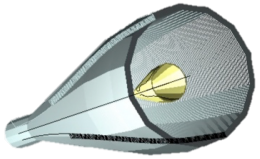
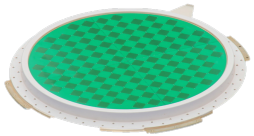



Work Package Consortia (WPC)

- **LFAA**/SKA-LOW
- **MFAA**/SKA2-AAMID
- **DISH**/SKA-MID
- **WBSPF** 広帯域フィード
- **PAF** 広視野フィード
- **SaDT** 信号伝送
- **CSP** 相関器・ビームフォーマー
- **SDP** データ処理スパコン
- and インフラ、運用管理、他

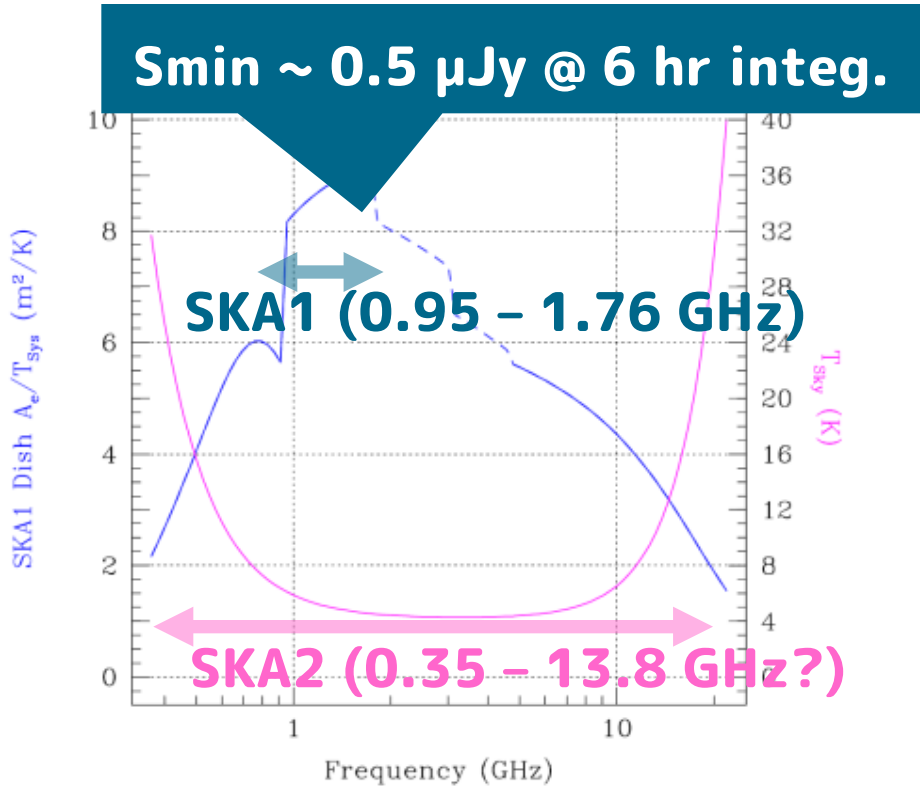



SKA-MID (~GHz)

Design

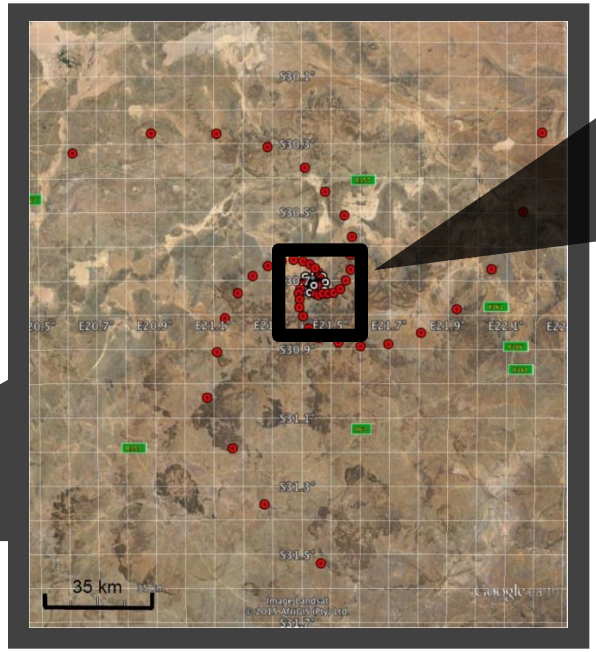
Sensitivity

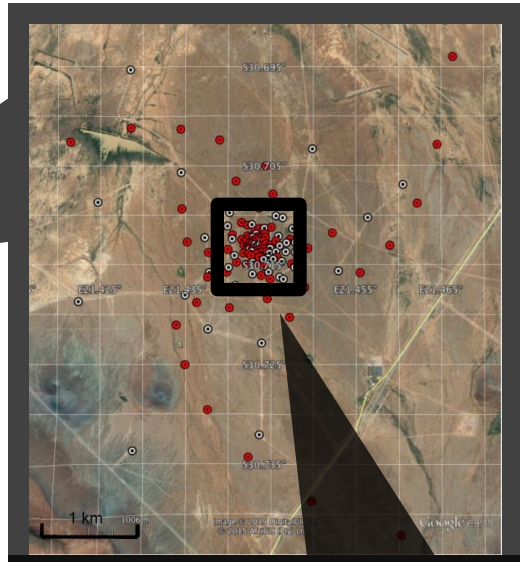


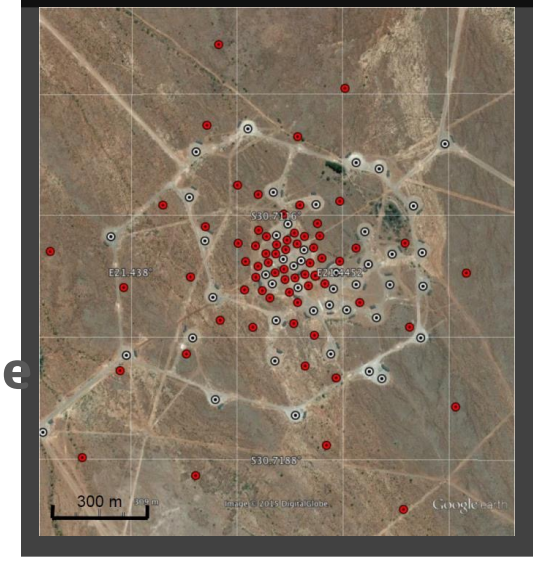
SKA-MID: Dish Design

MeerKAT 同様に皿はアルミ製
(カーボンファイバーは不採用)

SKA-MID: Array Design





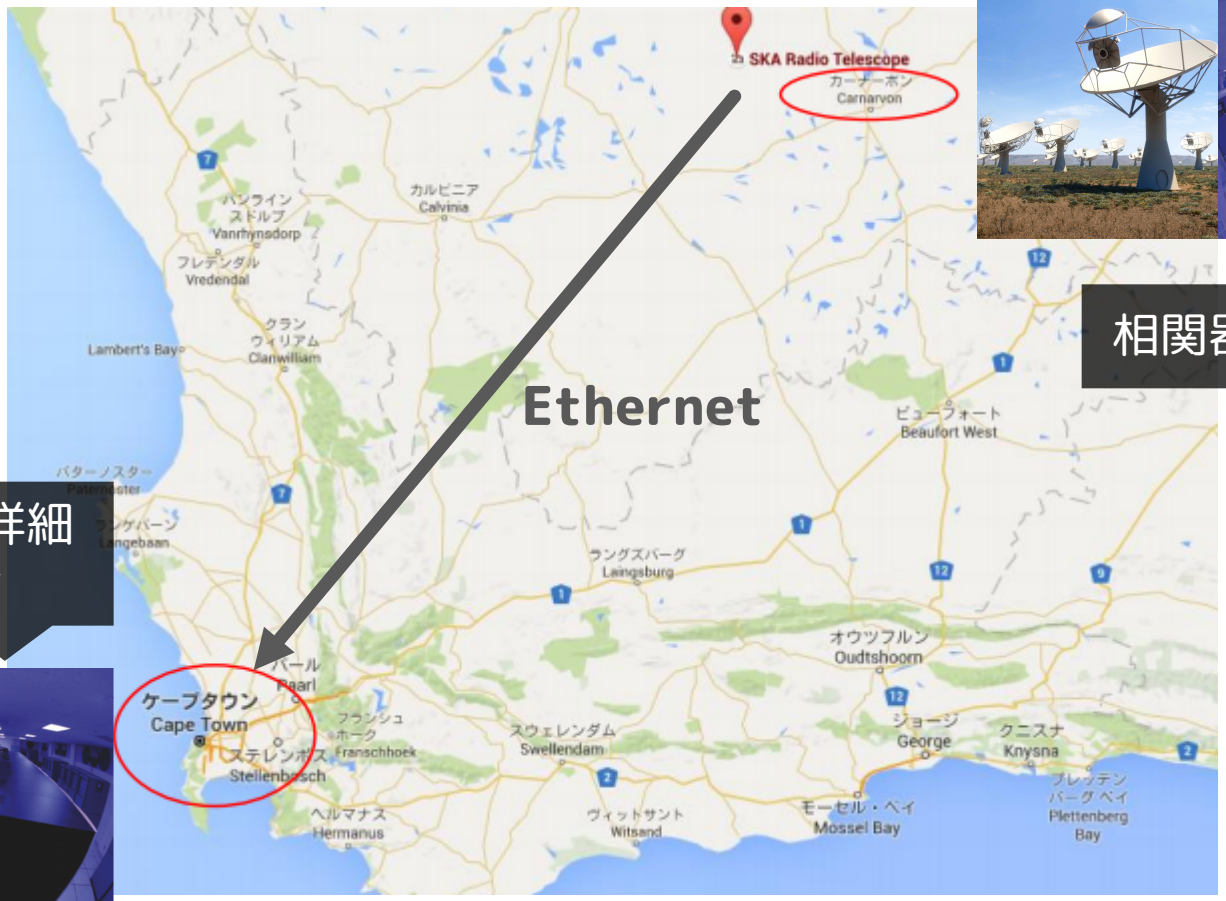


- Karoo, South Africa
- 3 spiral arms
- Gaussian distributed antennas in core site

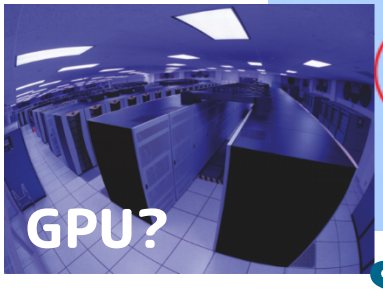
SKA-MID: CSP to SDP

CSP (Central Signal Processor)

相関器・ビーム形成器

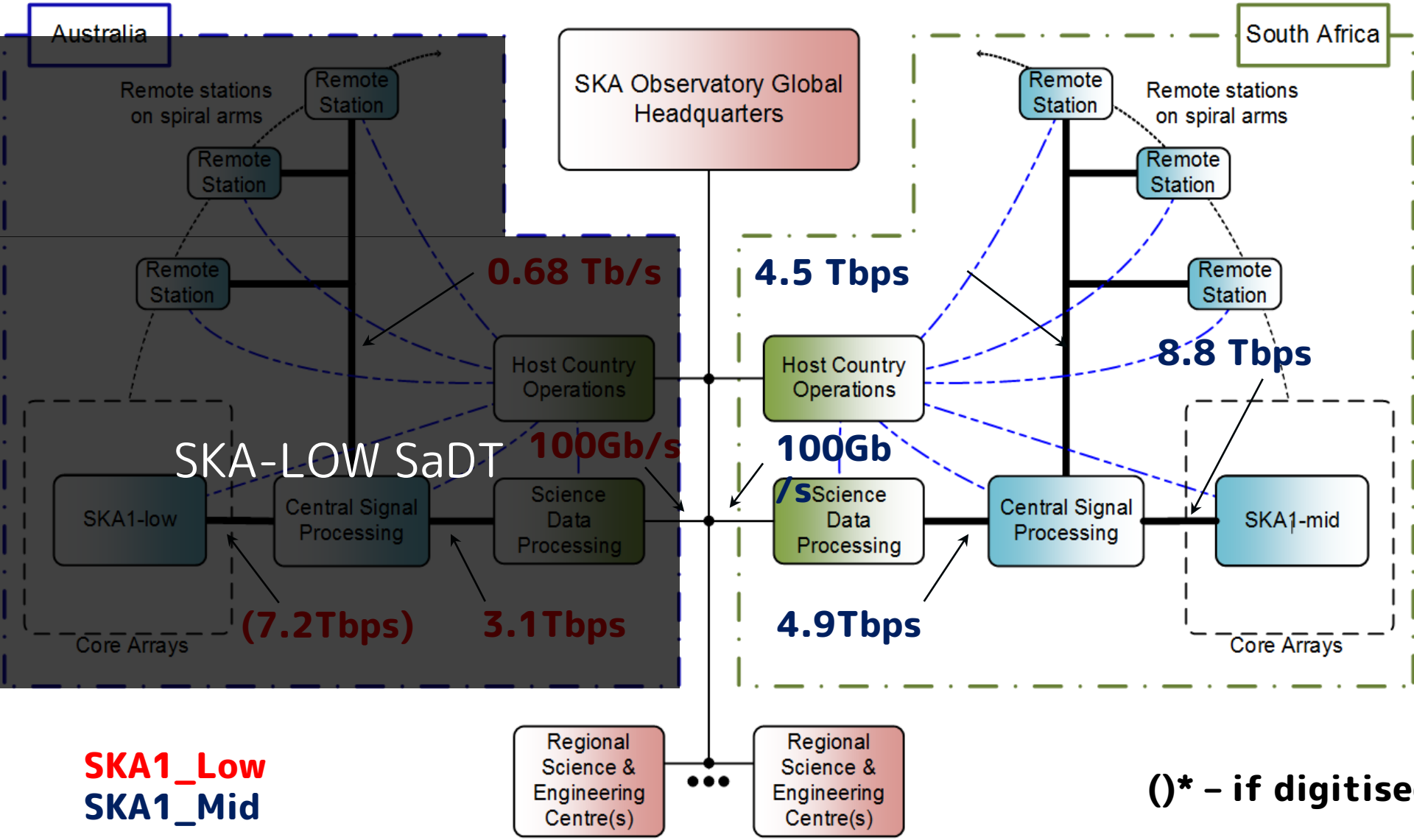


画像化・詳細な解析



SDP (Science Data Processor)

SKA-MID: SaDT Data Rate

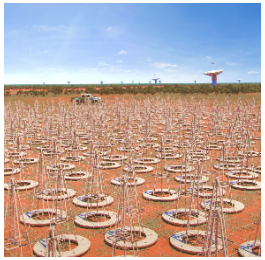
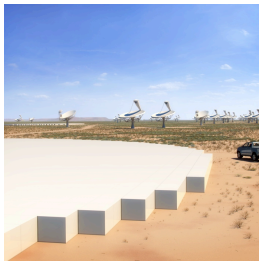


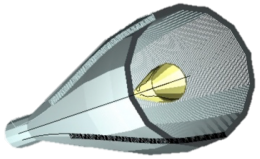
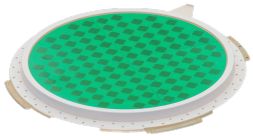
SKA1_Low
SKA1_Mid

()* – if digitise

Work Package Consortia (WPC)

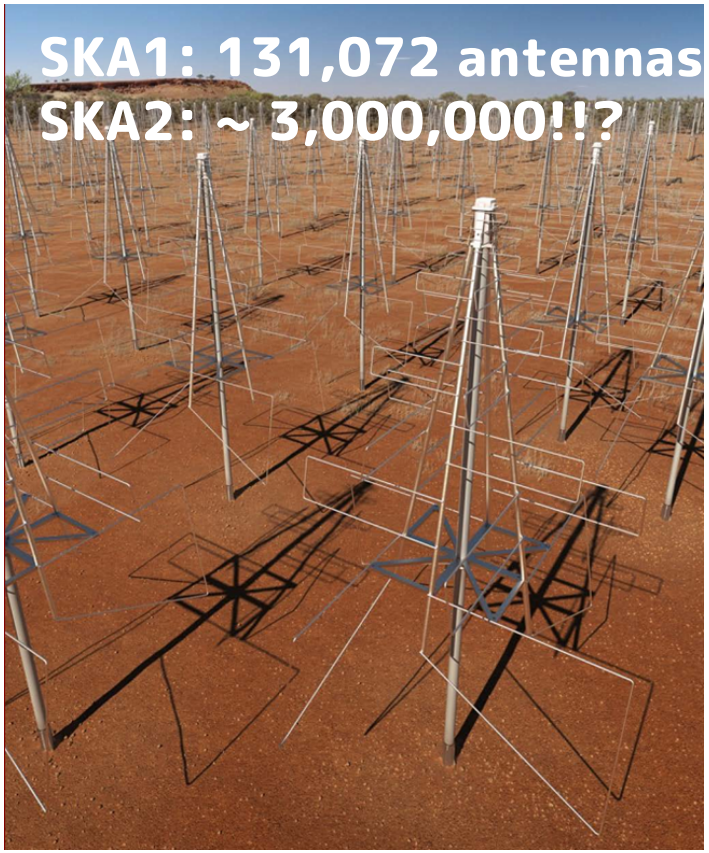
- **LFAA**/SKA-LOW
- **MFAA**/SKA2-AAMID (proposed)
- **DISH**/SKA-MID
- **WBSPF** 広帯域フィード
- **PAF** 広視野フィード
- **SaDT** 信号伝送
- **CSP** 相関器・ビームフォーマー
- **SDP** データ処理スパコン
- and インフラ、運用管理、他

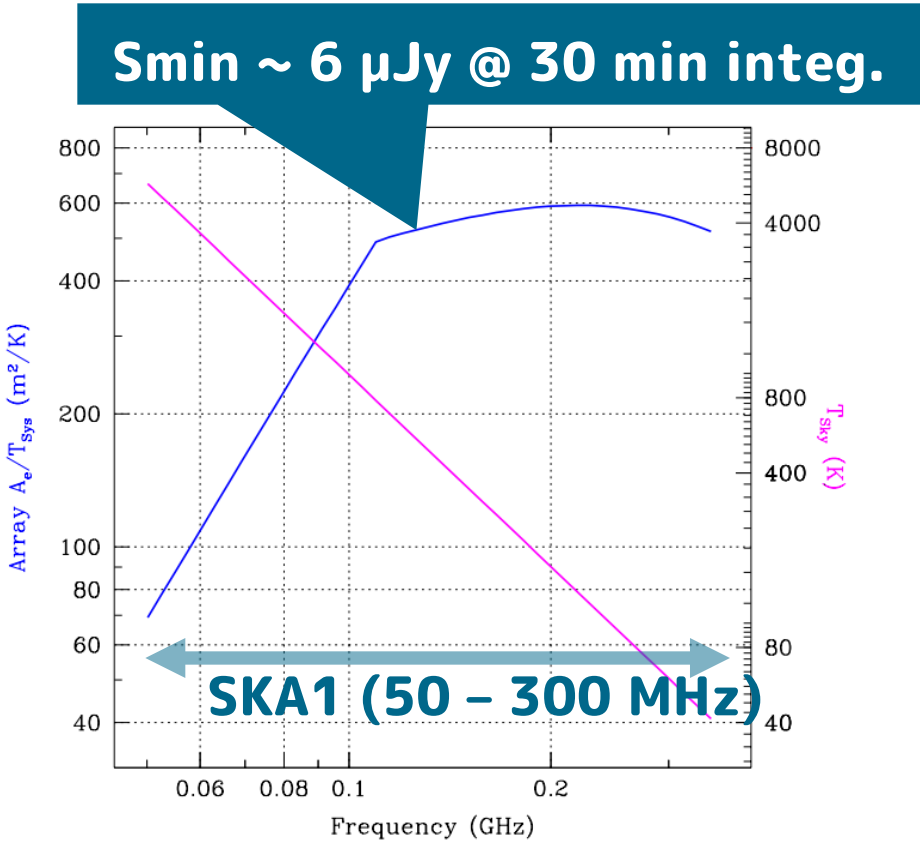



SKA-LOW (~MHz)

Design

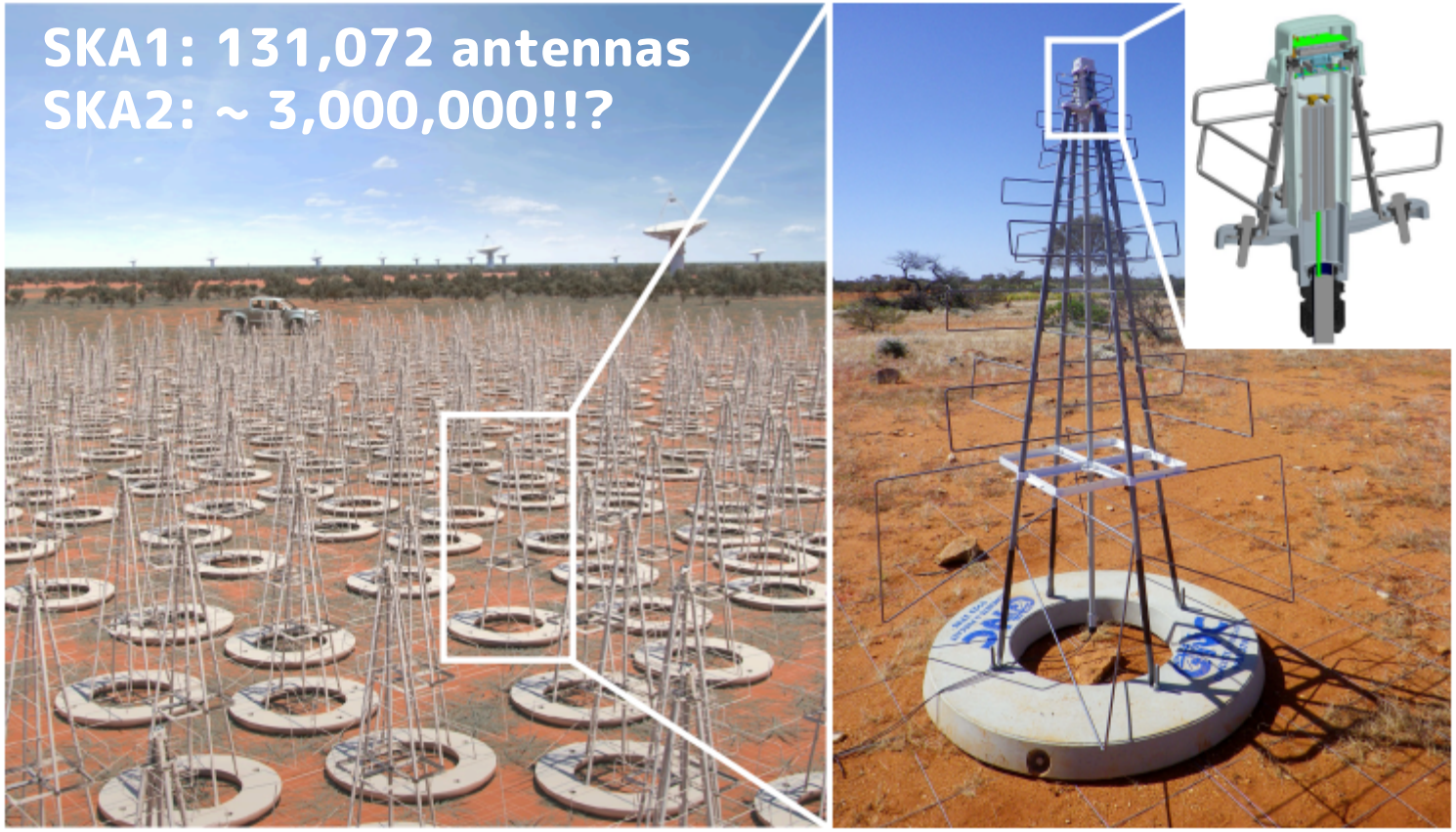


Sensitivity

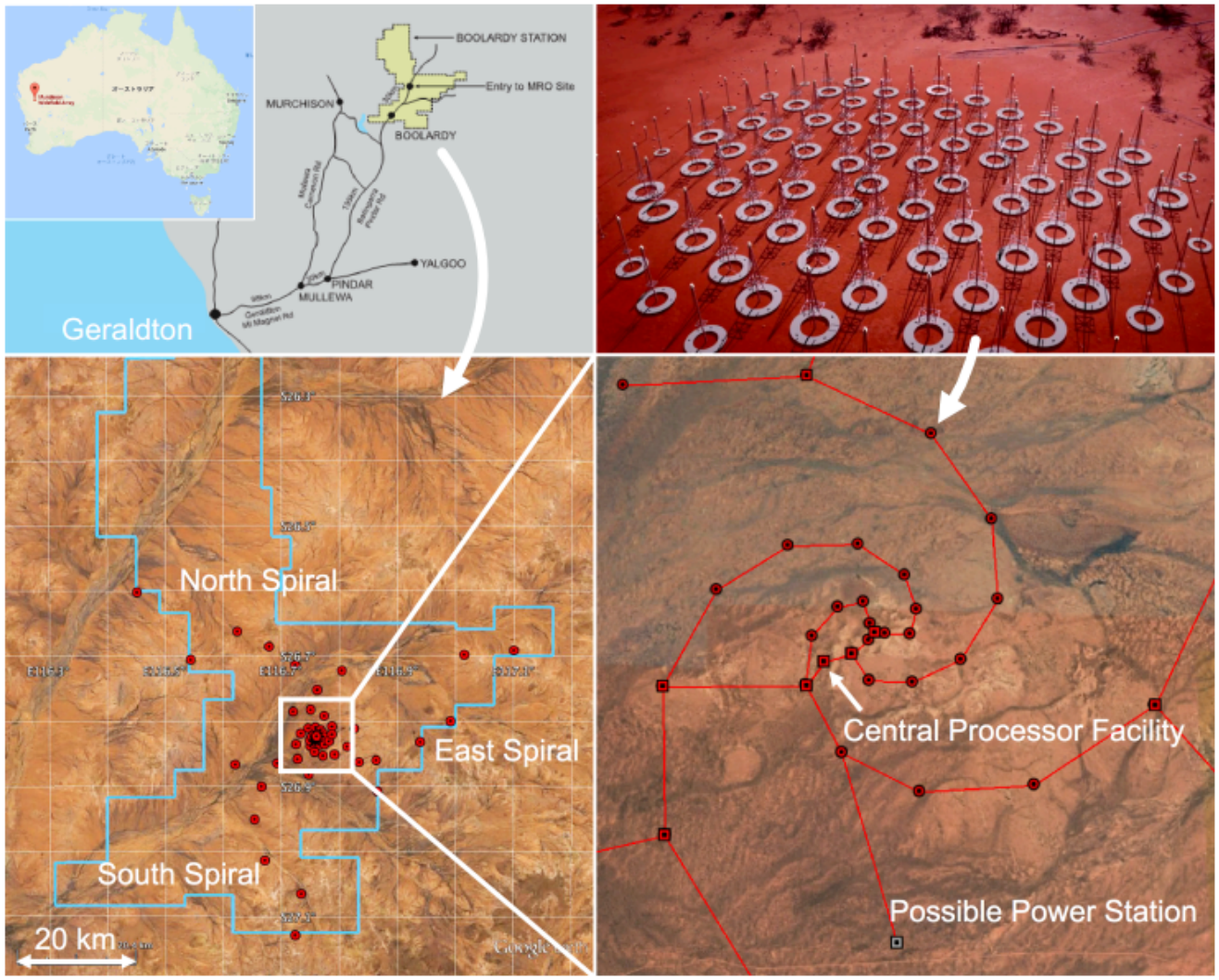


SKA-LOW: Antenna Design

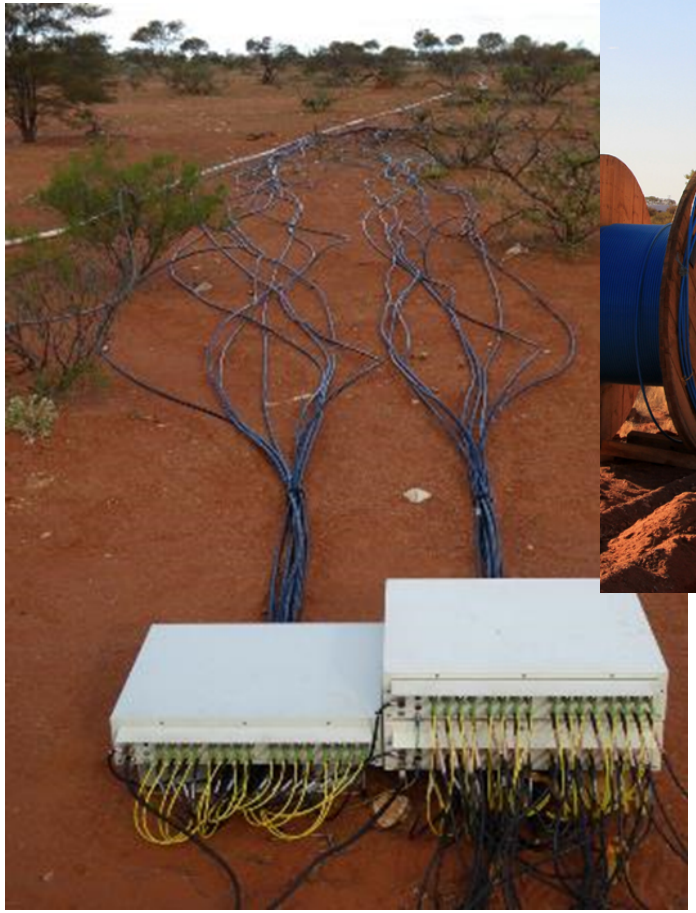
Log-periodic dipole antenna



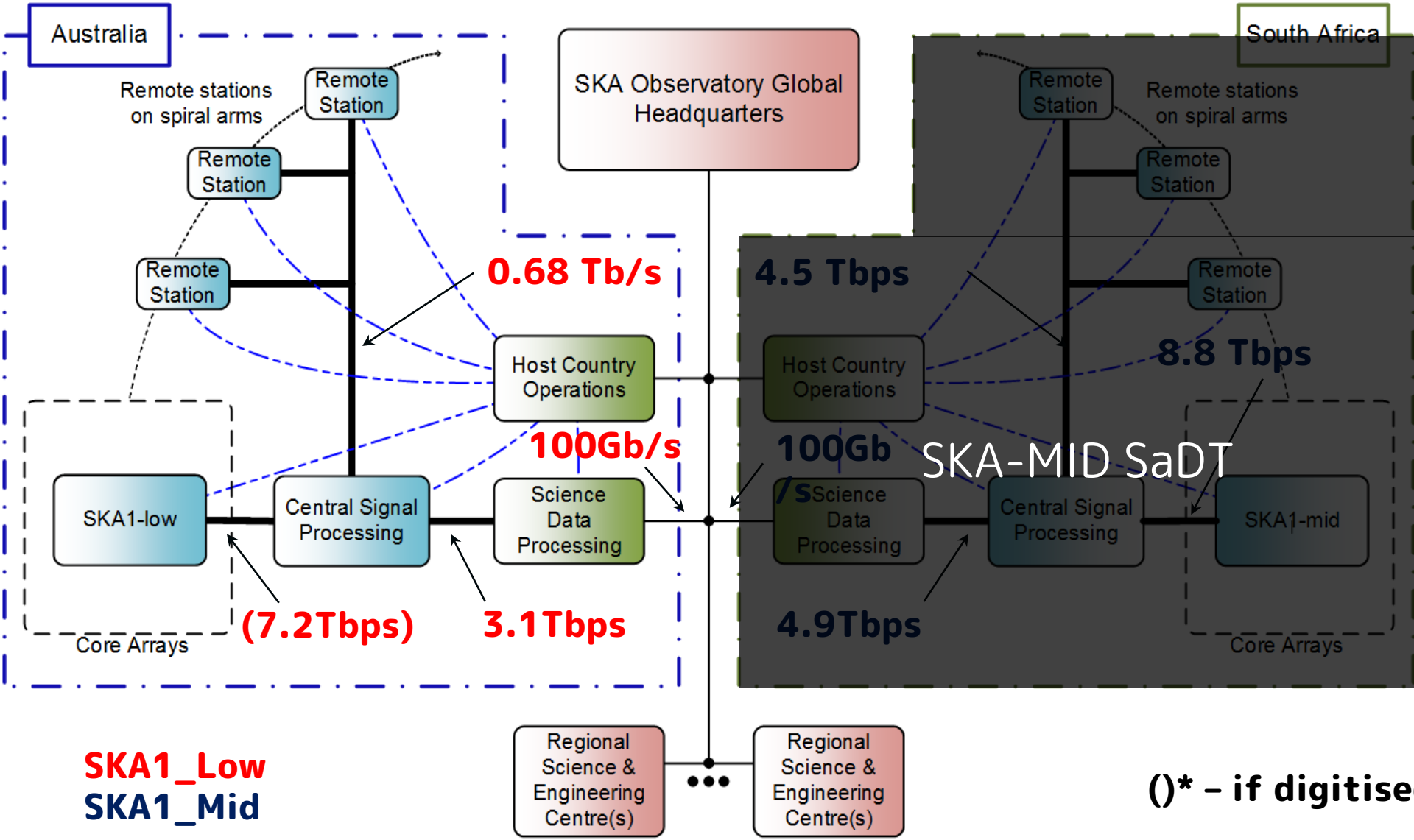
SKA-LOW: Array Design



SKA-LOW: SaDT RF over Fibre



SKA-LOW: SaDT Data Rate

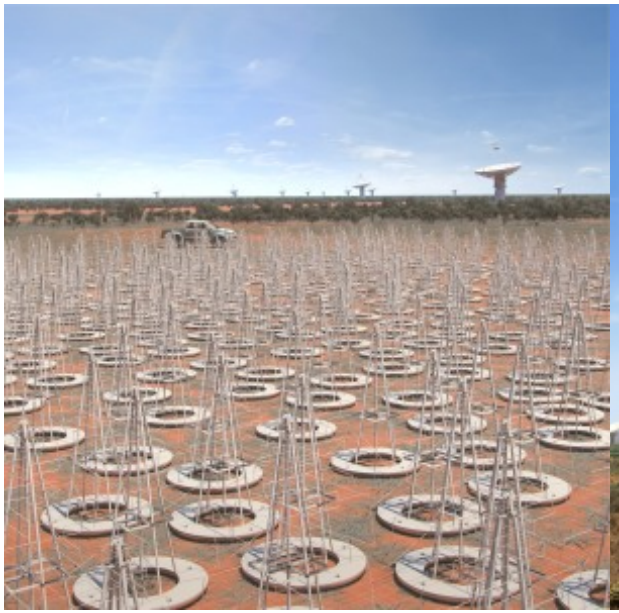


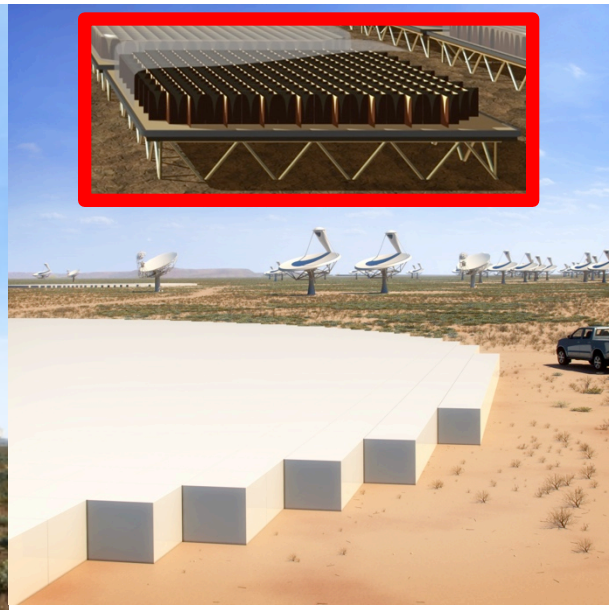
SKA1_Low
SKA1_Mid

()* – if digitise

SKA Phase 2

- 規模をおよそ10倍 or 新アンテナ (MFAA)？





SKA2-LFAA 豪州
ログペリ 50万基
最大基線長250km

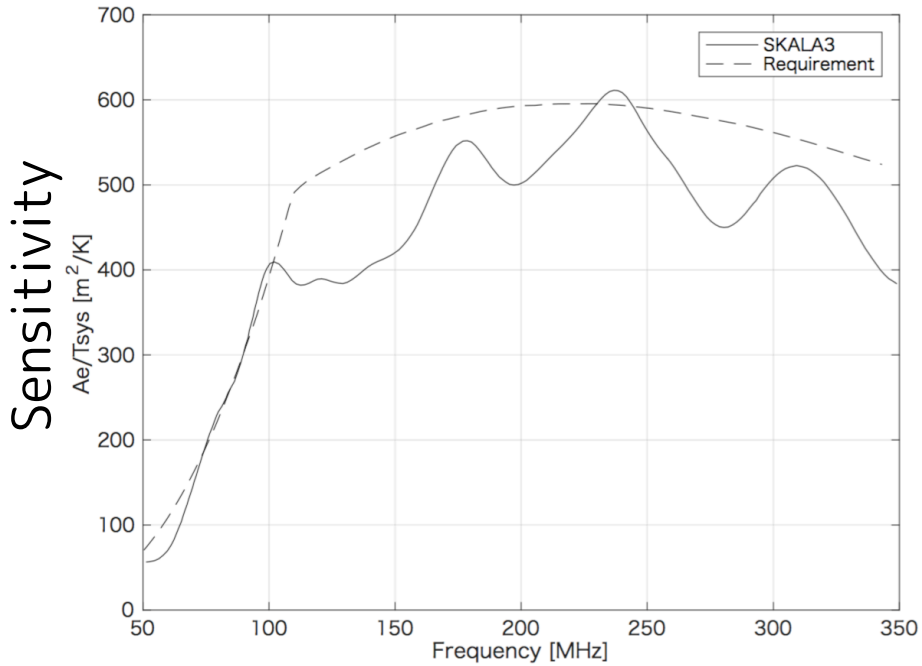
SKA2-DISH 南ア
15m SKA鏡 2500台
最大基線長3500km

SKA2-MFAA 南ア
密開口アンテナ 250局

PAFか広帯域フィード フェイズドアレイ技術
(視野100平方度)

SKAの課題: 要求感度の未達成

SKA-LOW Sensitivity

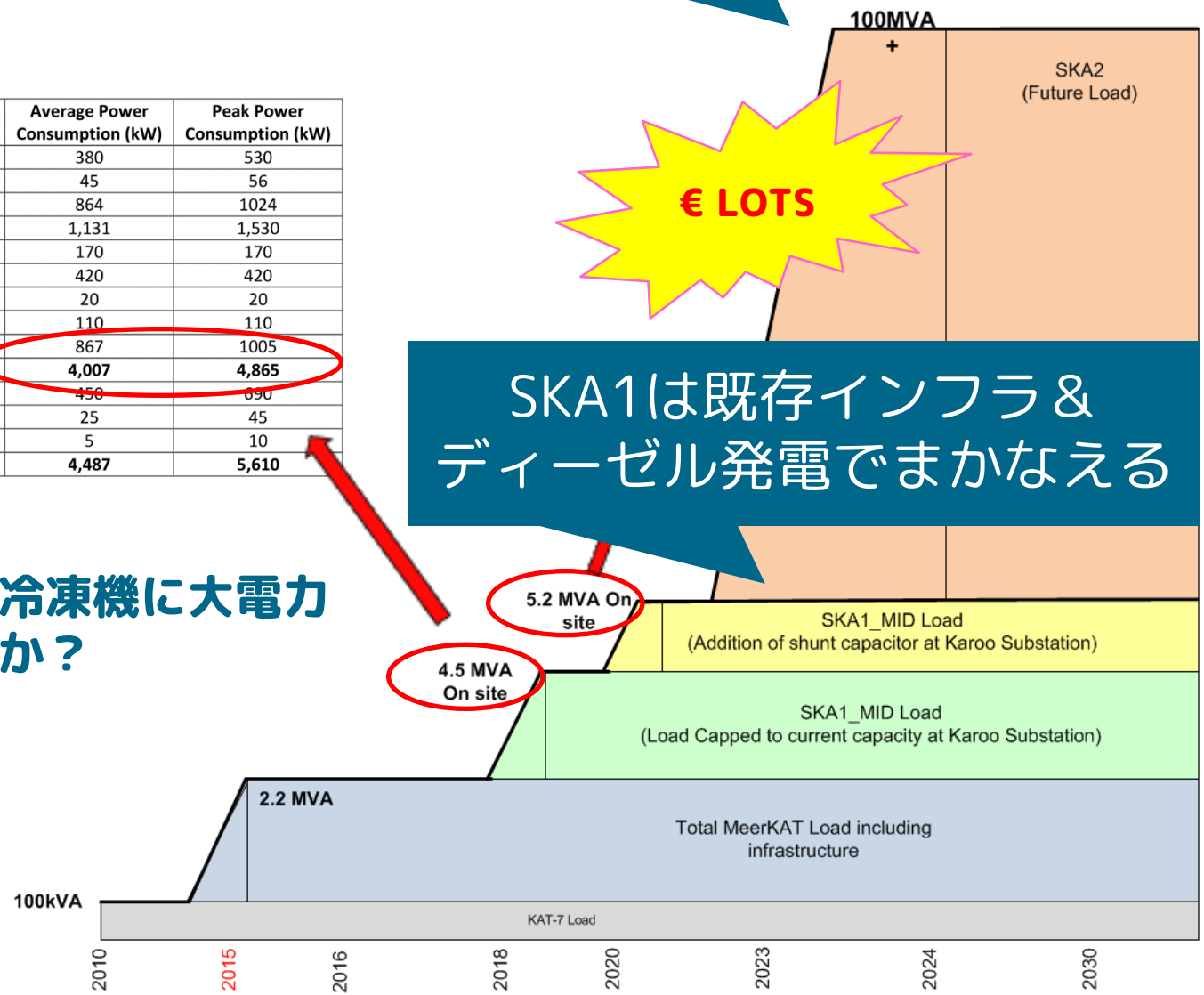


- 感度が足りない
  - アンテナ増やすしかない
  - アンテナ増やすと信号処理装置も増えるのでコスト大幅増
  - 解決策は？

SKAの課題: 電力問題

SKA2には技術革新が必要

Element	Average Power Consumption (kW)	Peak Power Consumption (kW)
Karoo Site Complex (incl. DRUPS, sheds, etc)	380	530
Existing Equipment (KAT-7, etc).	45	56
MeerKAT Dishes (64)	864	1024
SKA1 Mid Dishes (133)	1,131	1,530
CSP Mid Imaging	170	170
CSP Mid Non-imaging	420	420
TM Mid	20	20
SADT Mid	110	110
Cooling & Site Distribution Losses (INFRA-SA)	867	1005
SKA1 MID SITE TOTAL	**4,007**	**4,865**
33kV Line Losses	450	690
Klerefontein Support Base	25	45
Carnarvon POP Station	5	10
SKA1 MID KAROO TOTAL	**4,487**	**5,610**



SKA1は既存インフラ＆
ディーゼル発電でまかなえる

冷却受信機のための冷凍機に大電力
→どうにかならないか？

SKA1の方針とSKA2の課題

- SKA1の部品は既成品で済ませる
  - 既成品をどうアセンブルするかは開発項目
  - SKA2に向けた技術開発
    - Wideband Single Pixel Feed (WBSPF)
    - Phased Array Feed (PAF)
    - Mid-Frequency Aperture Array (MFAA)
- SKA1の電力はディーゼル+ソーラーで供給
  - SKA2では恐らく供給できない
  - 革新的な省電力技術が必要

- SKA Board 会議であがった課題 (副台長小林さんからの報告)
  - Data Flow Concept
    - SaDT (Signal and Data Transport)?
  - SKA-LOW Calibration
    - SDP (Science Data Processor)
  - SKA-LOW Configuration
    - LFAA (Low Frequency Aperture Array)
  - SKA-MID Time Transfer
    - TM (Telescope Manager)??

産業界への広報パンフレット作成

- SKAについて、
  科学と技術の面から紹介

- 東陽テクニカ熊沢さんが
  企業展示会などで頒布

エンジニアリングレポートの執筆

- 各WPCの技術開発について
  まとめる

- 節構成
  - WPC概要
  - SKAの設計
  - SKAの課題と日本の開発

- 現在執筆中

分野融合型共同研究事業に応募

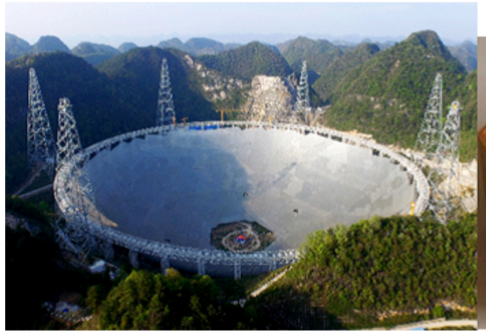
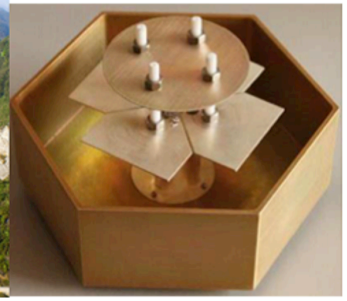
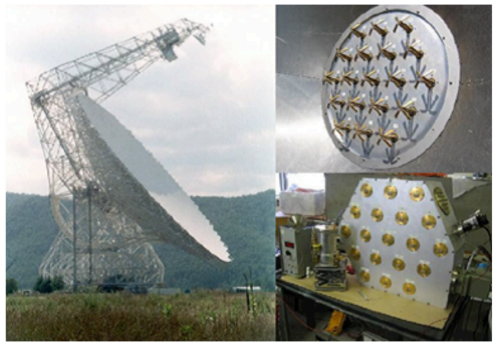
- 河野さんPI
  - NEDO/PETRAで開発した省電力光IOコアのFPGAボード実装
  - NIIの提案する水没冷却をFPGAボードに応用する実証実験 (他に油没なども検討中)
- 詳細は河野さんのポスターを！
- CSPへの参加
  - ビームフォーマー/相関器となる FPGA (?) センターを設計するWPC

SKA-JP「技術開発」地域会議 in 鹿児島

天文分野でない研究者、企業エンジニアが多く参加

SKA-JPとして何をするか？
日本の将来をどうするか？

- 天文業界は「時間領域」へ
  - 世界は**サーベイスピード**を上げるアンテナを作っている
  - 広視野・マルチビームフィードを実装するアンテナが増えてきている
    - ASKAP, Parkes, FAST, Green Bank, etc.

SKA-JPとして何をするか？

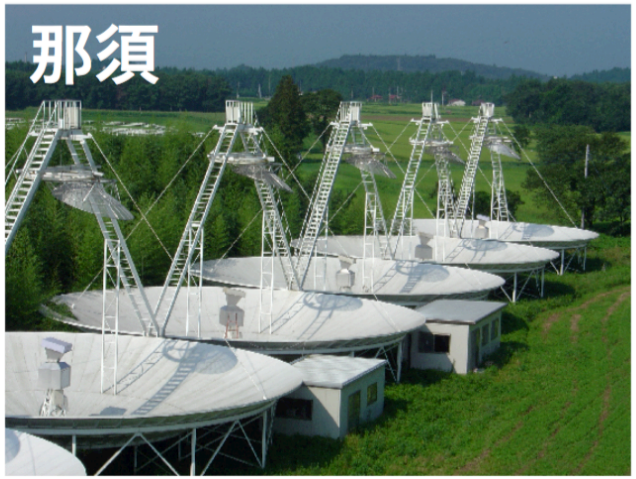
- PAFの試作と実装?
  - 載せるアンテナは?
- 将来的にはPAFでVLBI?
  - サイエンスは？
  - 周波数は？
    - 相手局としてFASTやASKAPを考えればLバンド
    - 日本の独自性を出すなら高周波

- 検討の「余地」は大きいが「価値」はある
  - 技術的にも面白い！

既に日本でも実績が！？

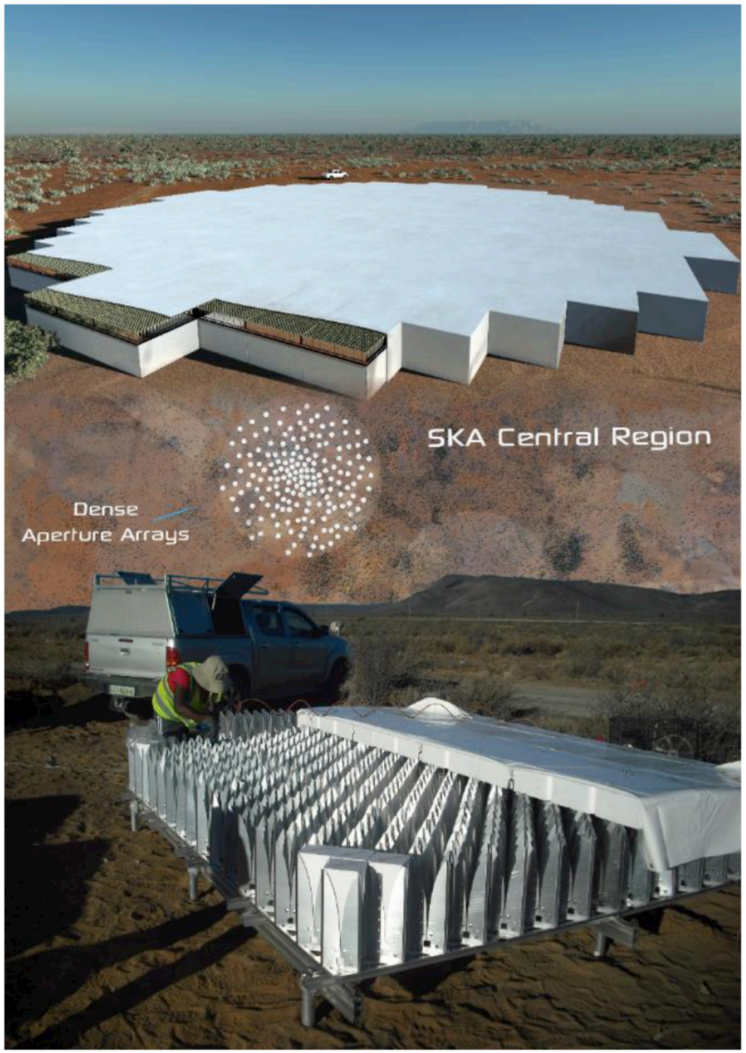
天文台試作PAF

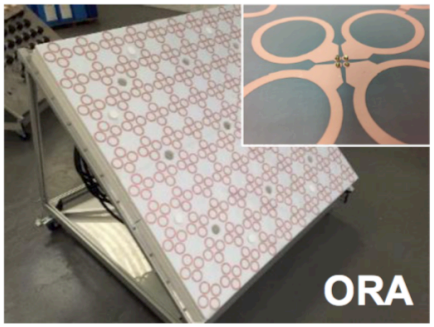
PAFではないがマルチビーム望遠鏡

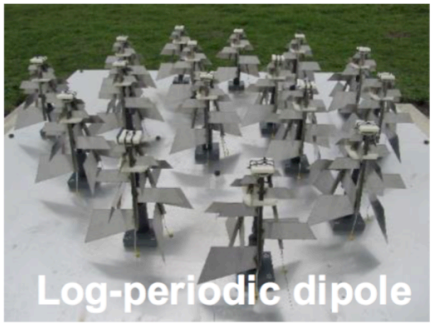


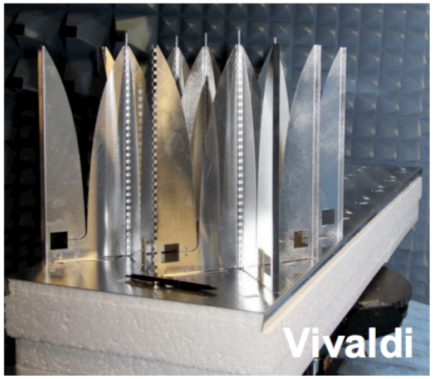
全く同じコンセプトの望遠鏡
が SKA Precursor に！

広視野・マルチビーム望遠鏡





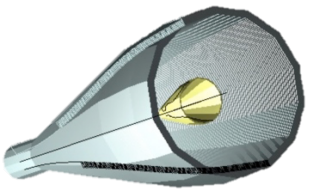


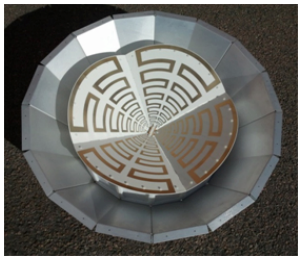


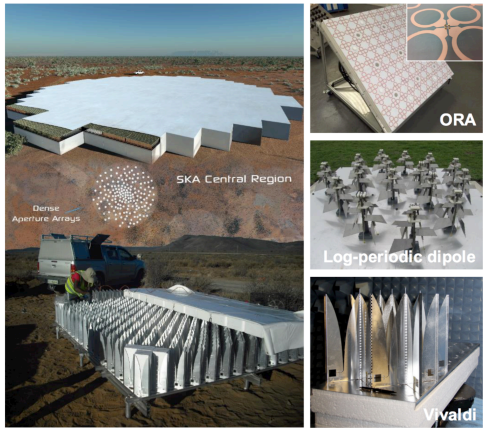
- PAFを並べた SKA2-MFAA (?)
- Dishアンテナよりはるかに費用対効果が高い
- 日本でも検討の価値あり！

SKA2への技術開発

- Wide Band Single Pixel Feed (WBSPF)
  - 広帯域フィード





- Phased Array Feed (PAF)
  - 広視野・マルチビームフィード

- Mid-Frequency Aperture Array (MFAA)
  - SKA-LOWと同じコンセプトで別周波数の望遠鏡