
天文観測 より遠く、より広く、より精細に

情報とシステム2013 シンポジウム
—極限環境からの情報伝送をめざして—

2013.12.17

国立天文台 水本好彦

国立天文台の施設とネットワーク回線概要



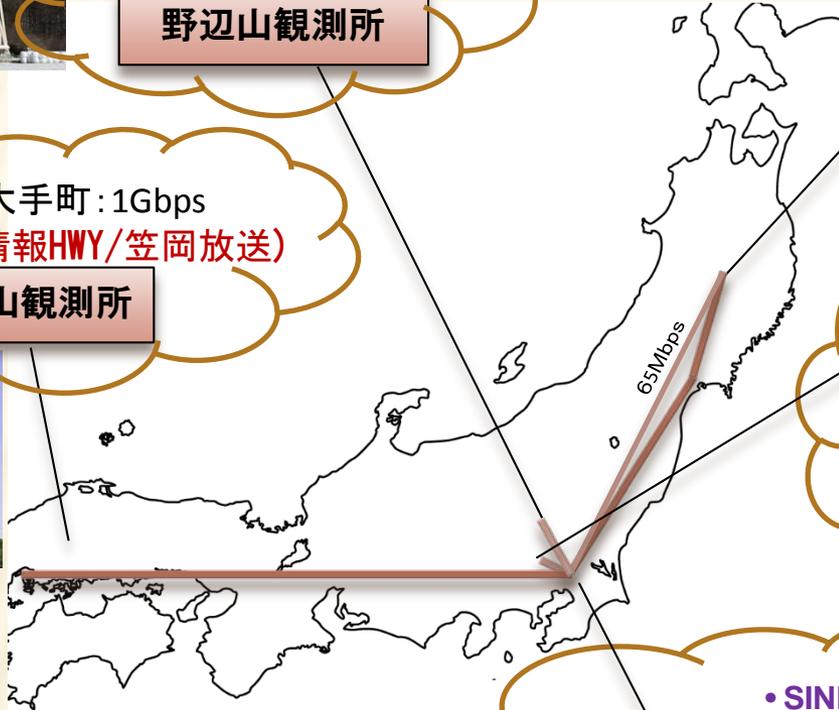
野辺山～大手町
 ・65Mbps(商用)
野辺山観測所



水沢～大手町
 ・10Gbps (JGN-X)
 ・65Mbps(商用)
水沢観測所

岡山～大手町: 1Gbps
 (JGN-X/岡山情報HWY/笠岡放送)

岡山観測所



40Gbps(SINET4)

共同利用者

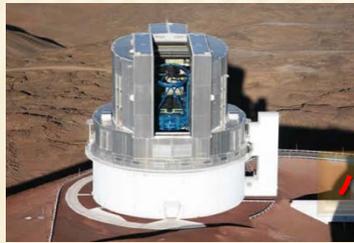
インターネットVPN

チリ観測所



**国立天文台
三鷹本部**

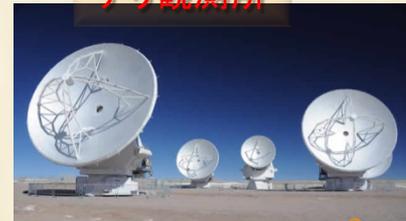
三鷹～大手町
 ・10Gbps (SINET4)
 ・1Gbps(商用)



ハワイ観測所

**国立天文台
大手町DC**

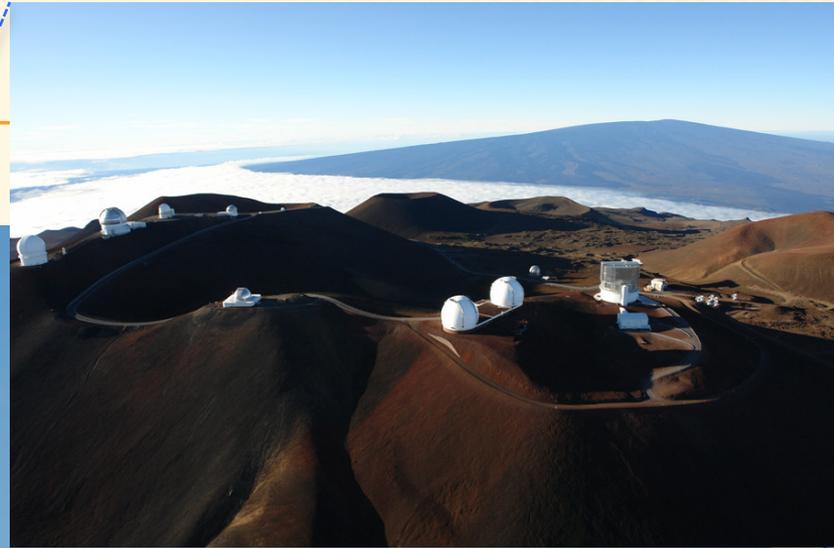
- ・SINET4(10Gbps)
- ・JGN-X(10Gbps)
- ・WIDE(10Gbps)
- ・JP-US(155Mbps x 2)



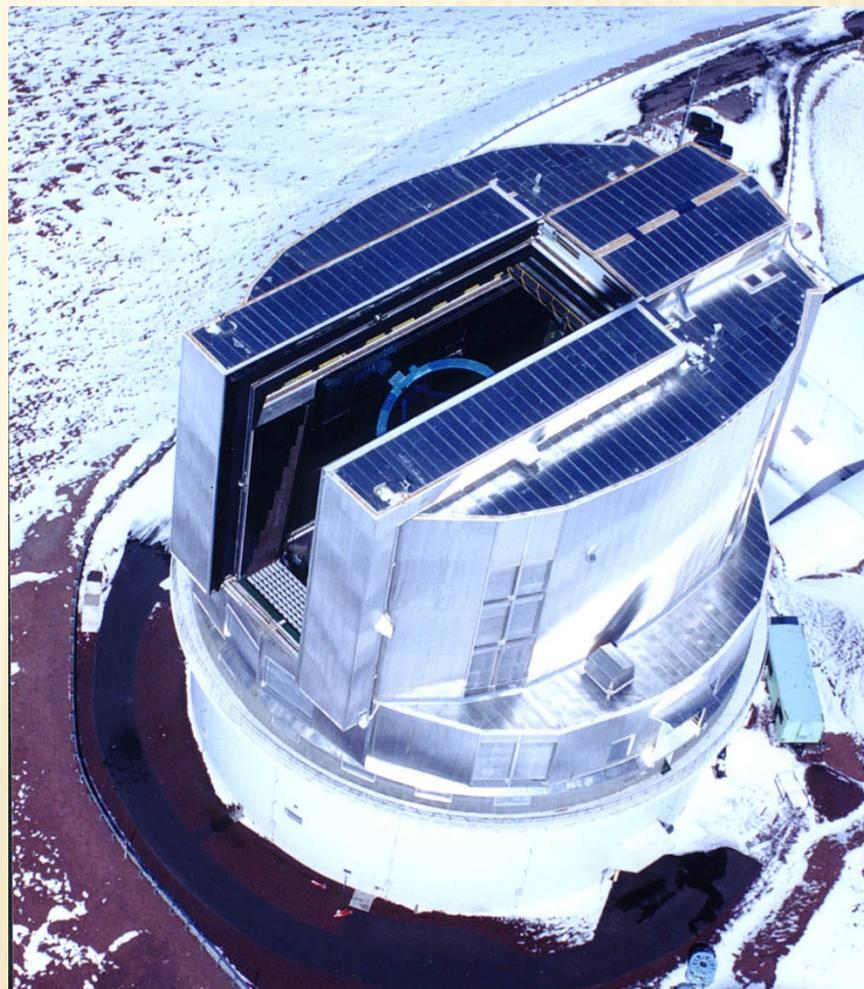
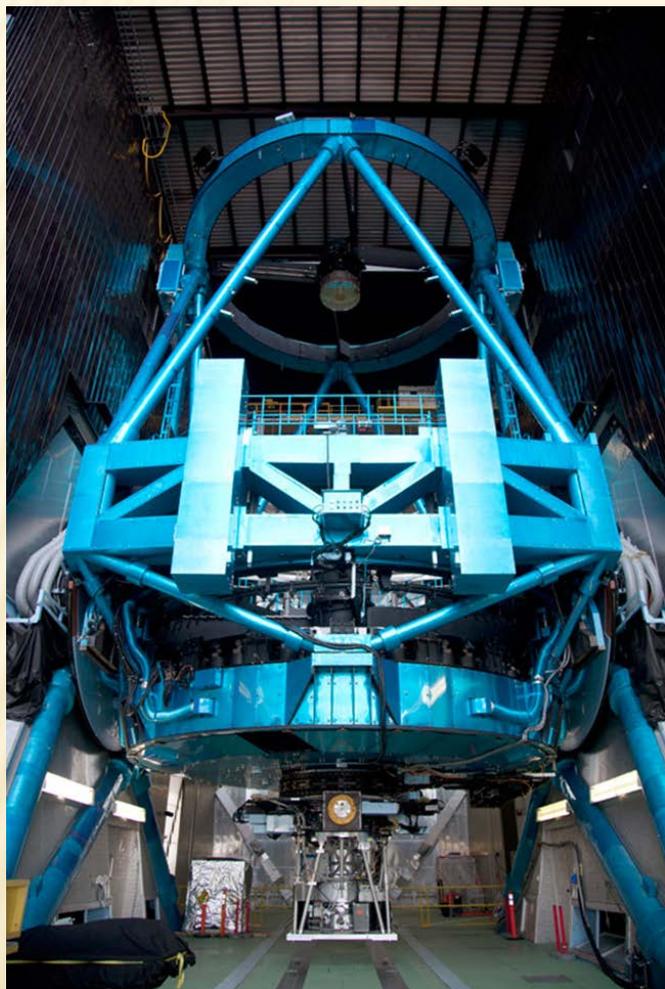
ハワイ島の望遠鏡群

マウナケア

標高4200メートル
天体観測の最適地の一つ
世界各国が運用する大望遠鏡群



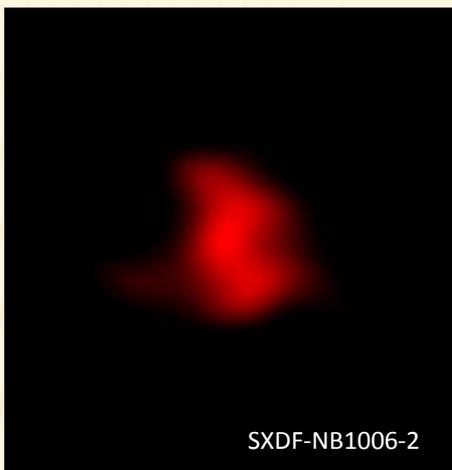
すばる望遠鏡



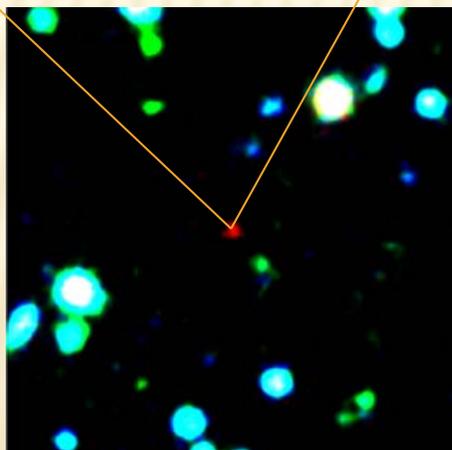
生命と宇宙の起源に迫る

すばる望遠鏡 最近の発見

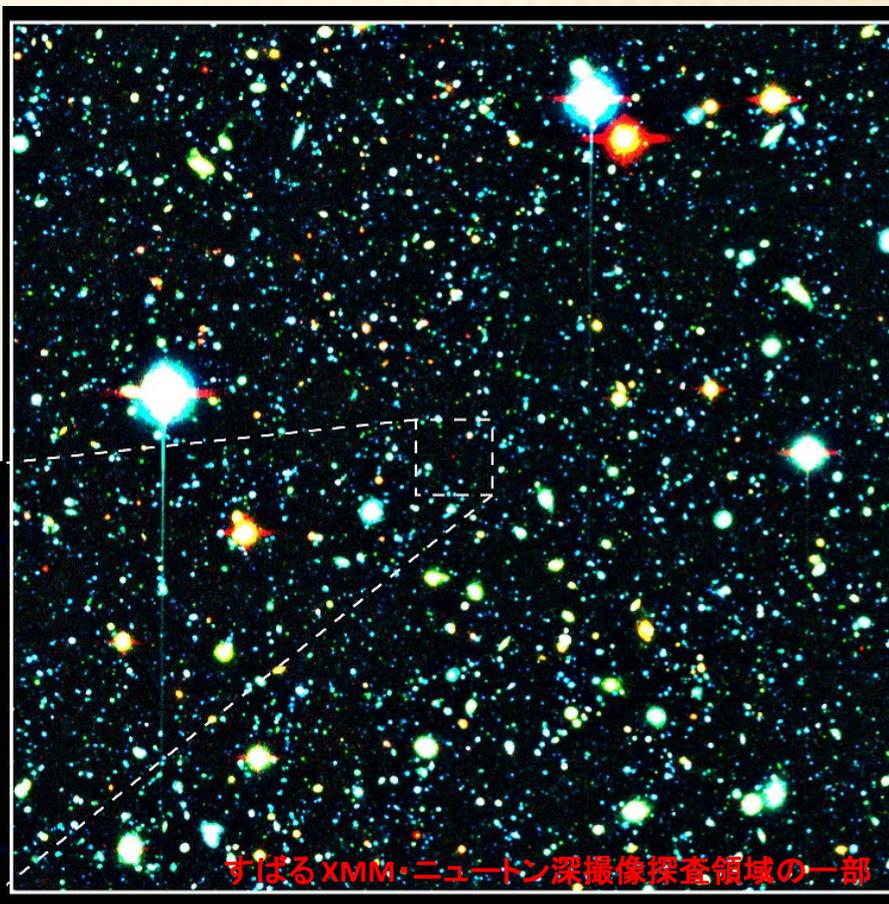
最も遠い銀河（129億光年の彼方）の発見



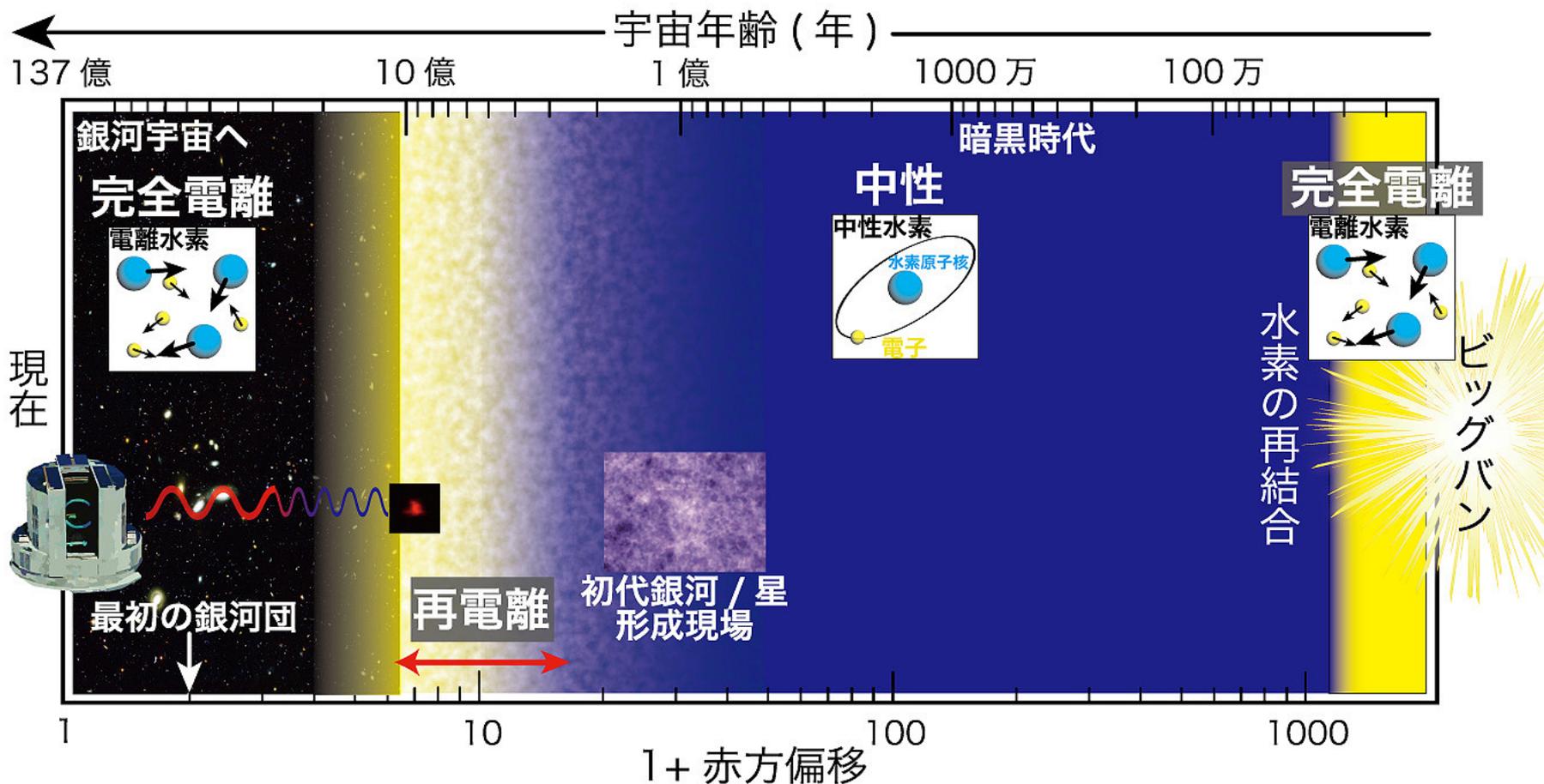
赤方偏移 7.2
(ビッグバンから 7.5 億年後)
水素ガスの約 80% が中性



58,733 個の天体が写っている

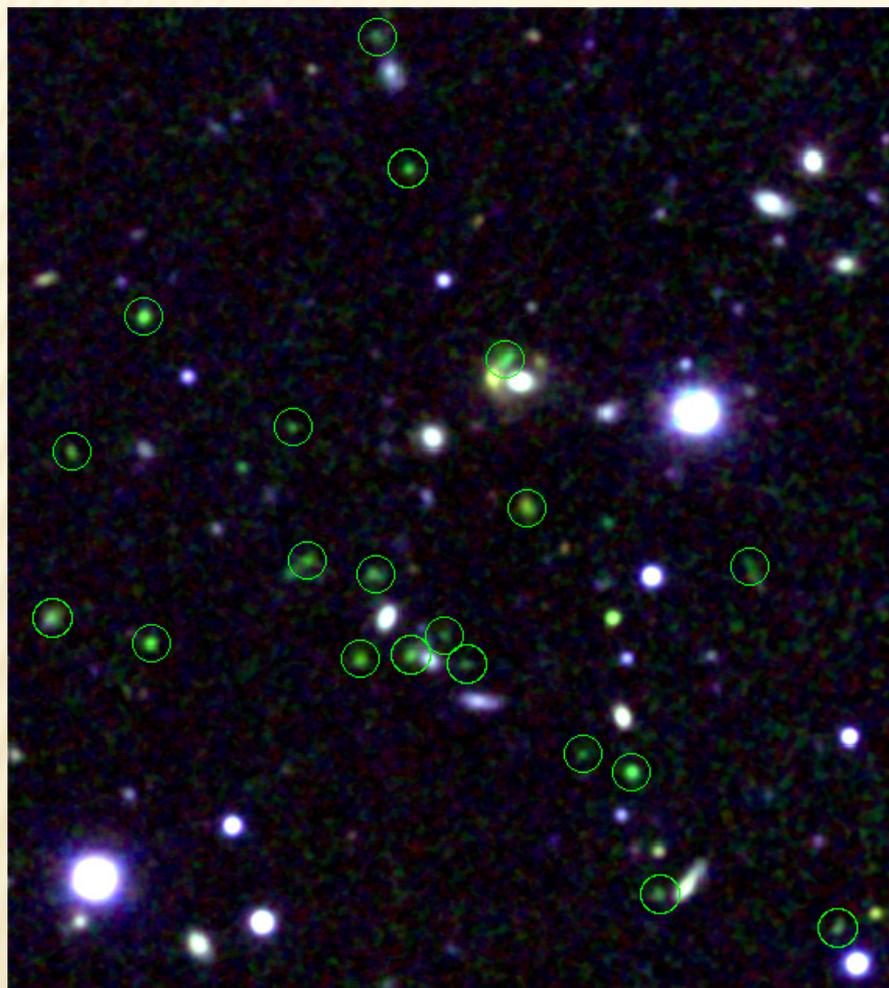


宇宙形成の歴史

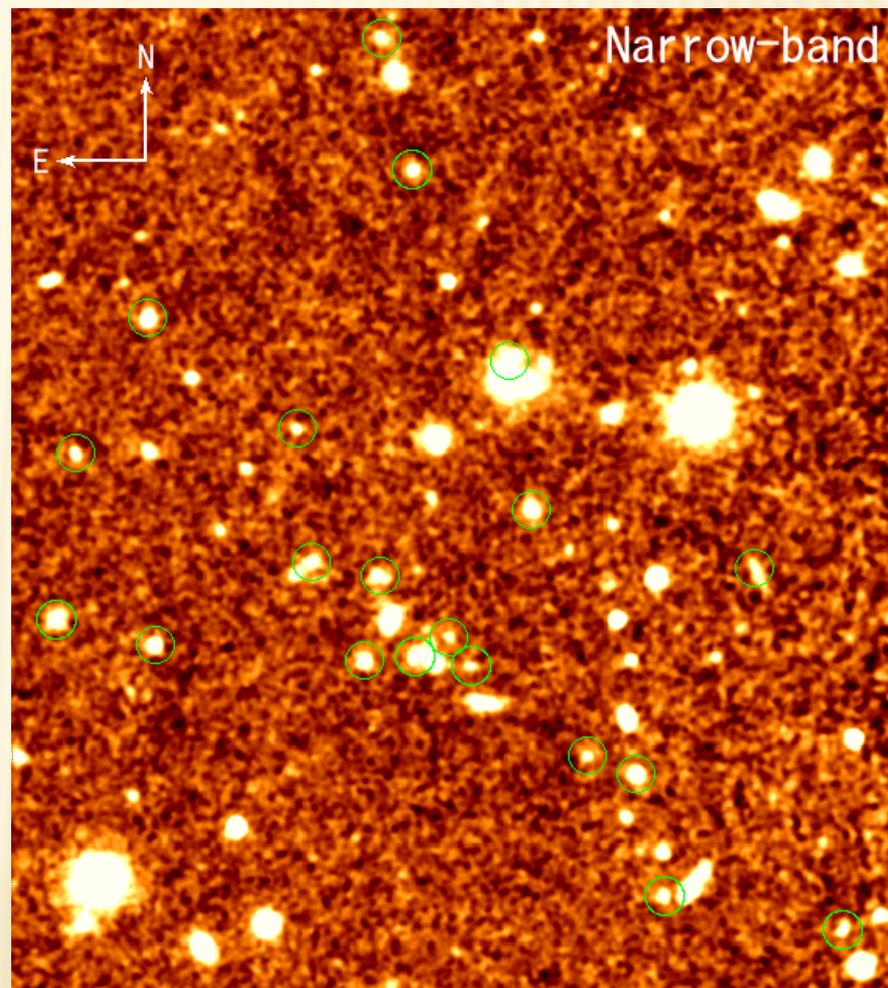


宇宙の再電離はいつどのように起こったのか？

110 億光年彼方の原始銀河団



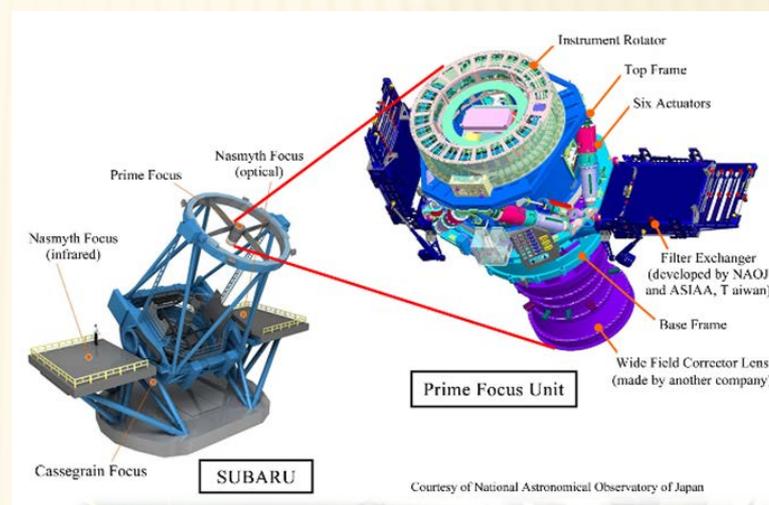
USS1558-003 活発な星形成中の若い銀河の集まり
宇宙誕生27億年後



近赤外線多天体撮像分光装置(MOIRCS)により撮像

超広視野主焦点カメラ HYPER SUPRIME-CAM

- すばる望遠鏡の次期主力観測装置
- より広い視野
 - ◆ 2k×4kのCCD104枚
 - ◆ 1.5度の視野
- シャープな星像

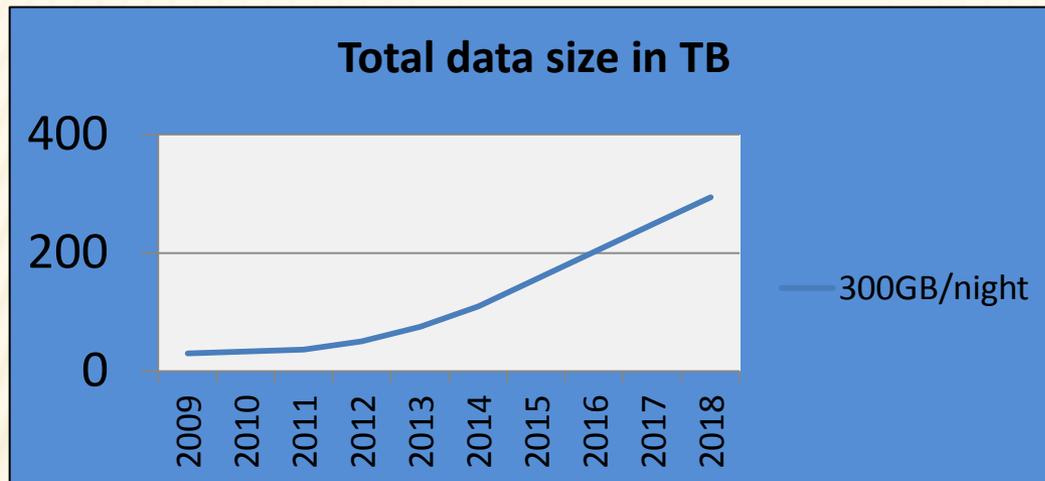


Courtesy of National Astronomical Observatory of Japan



すばる望遠鏡が生成するデータ量

□ 生データの蓄積量予測



- 今後はHSCが大部分のデータを生成
 - ✓ 一晩（8時間）で500GB
 - ✓ 年間5TB～30TB(観測夜数により異なる)
- その他の観測装置は年間3TB
- リモート観測には 1GbE が必要

広視野主焦点カメラ HSC

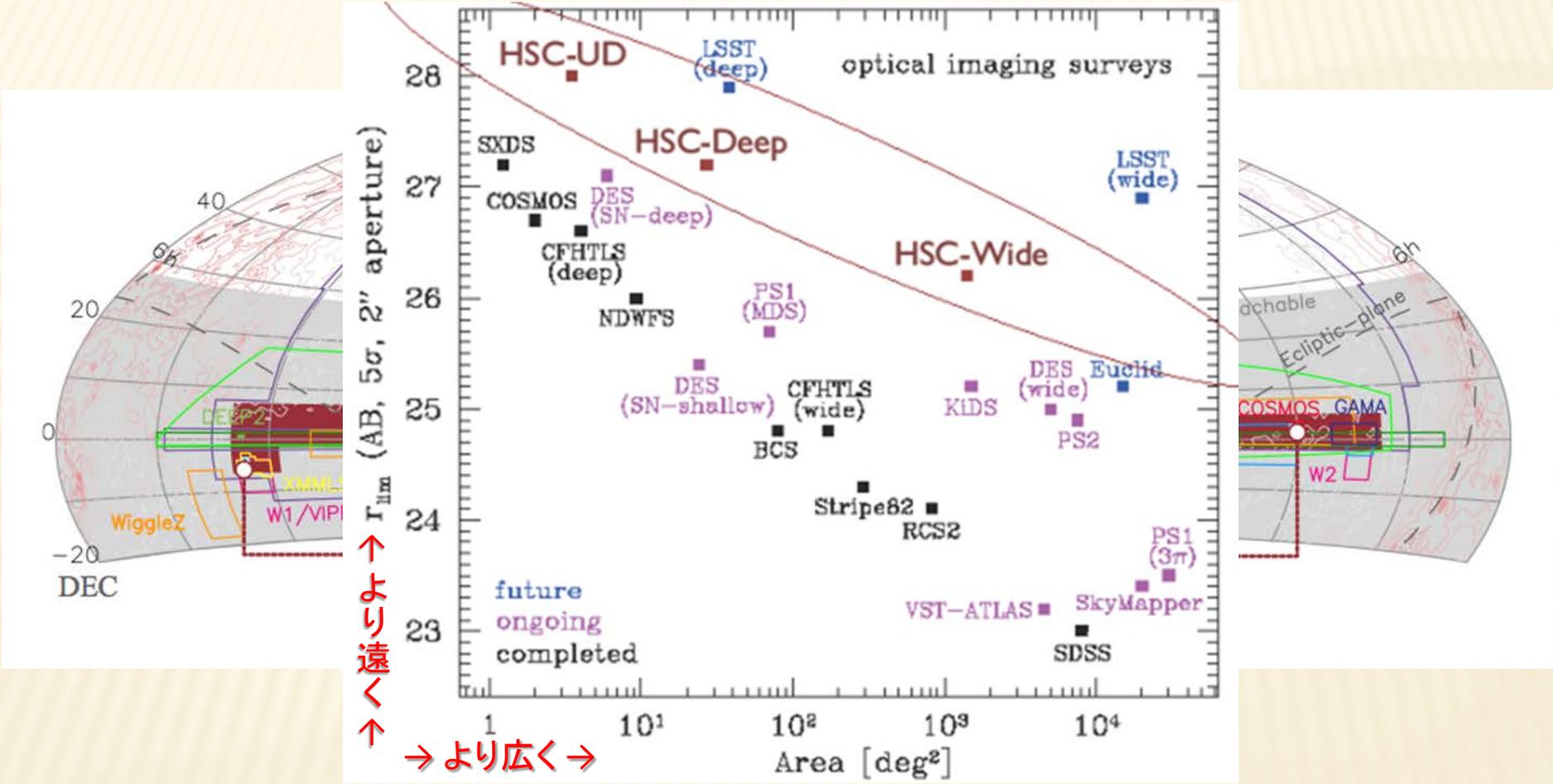


満月 0.5度角

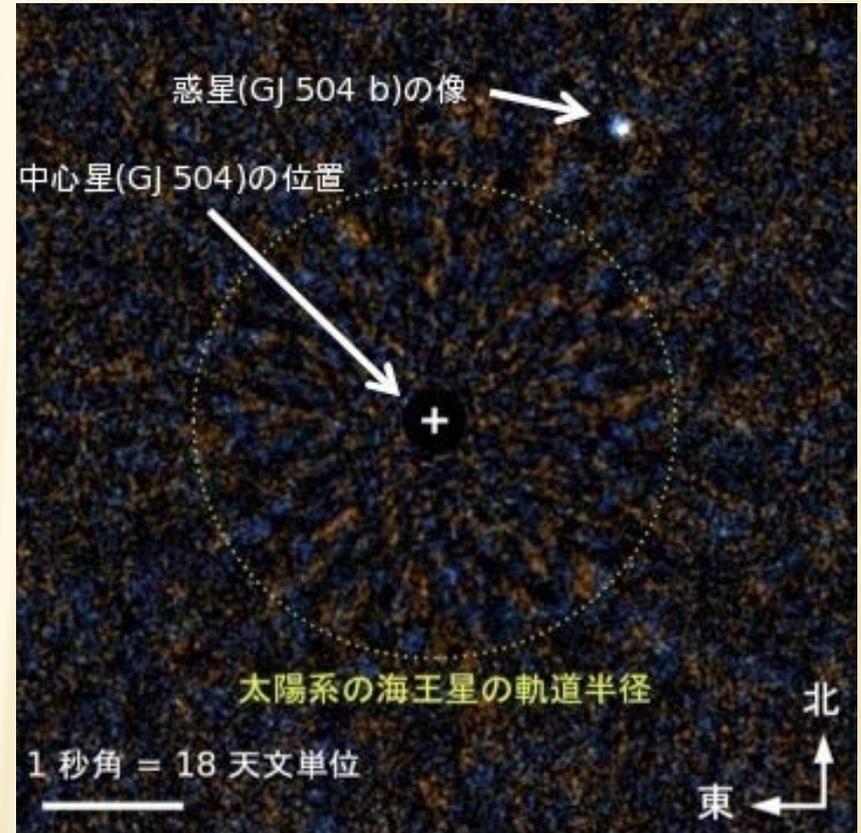
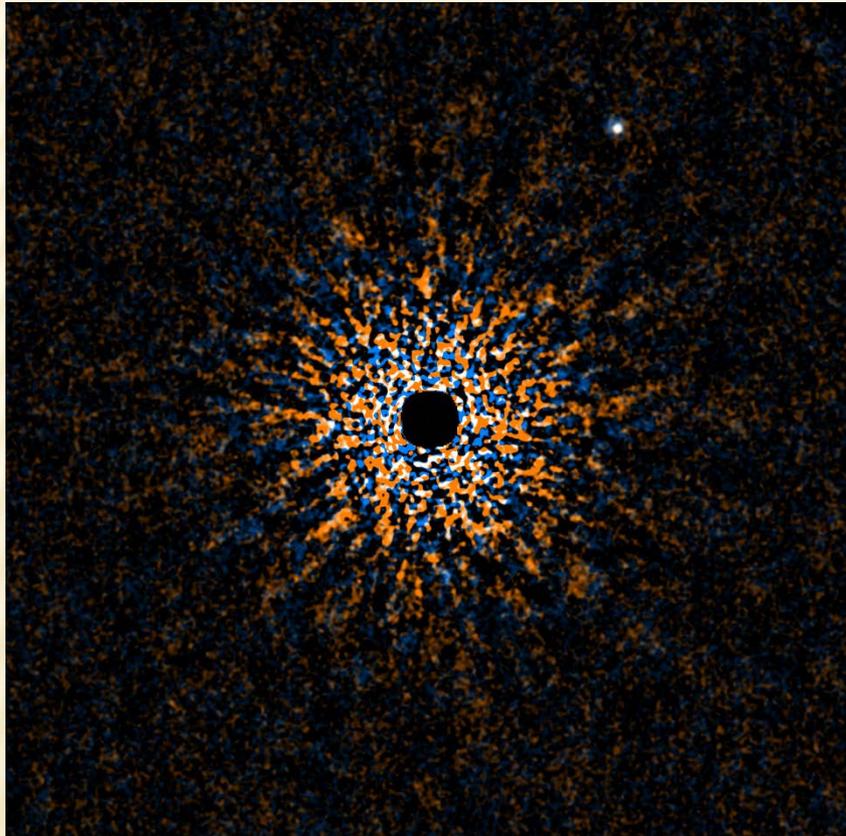


Suprime-Cam 10

HSCによる掃天観測計画

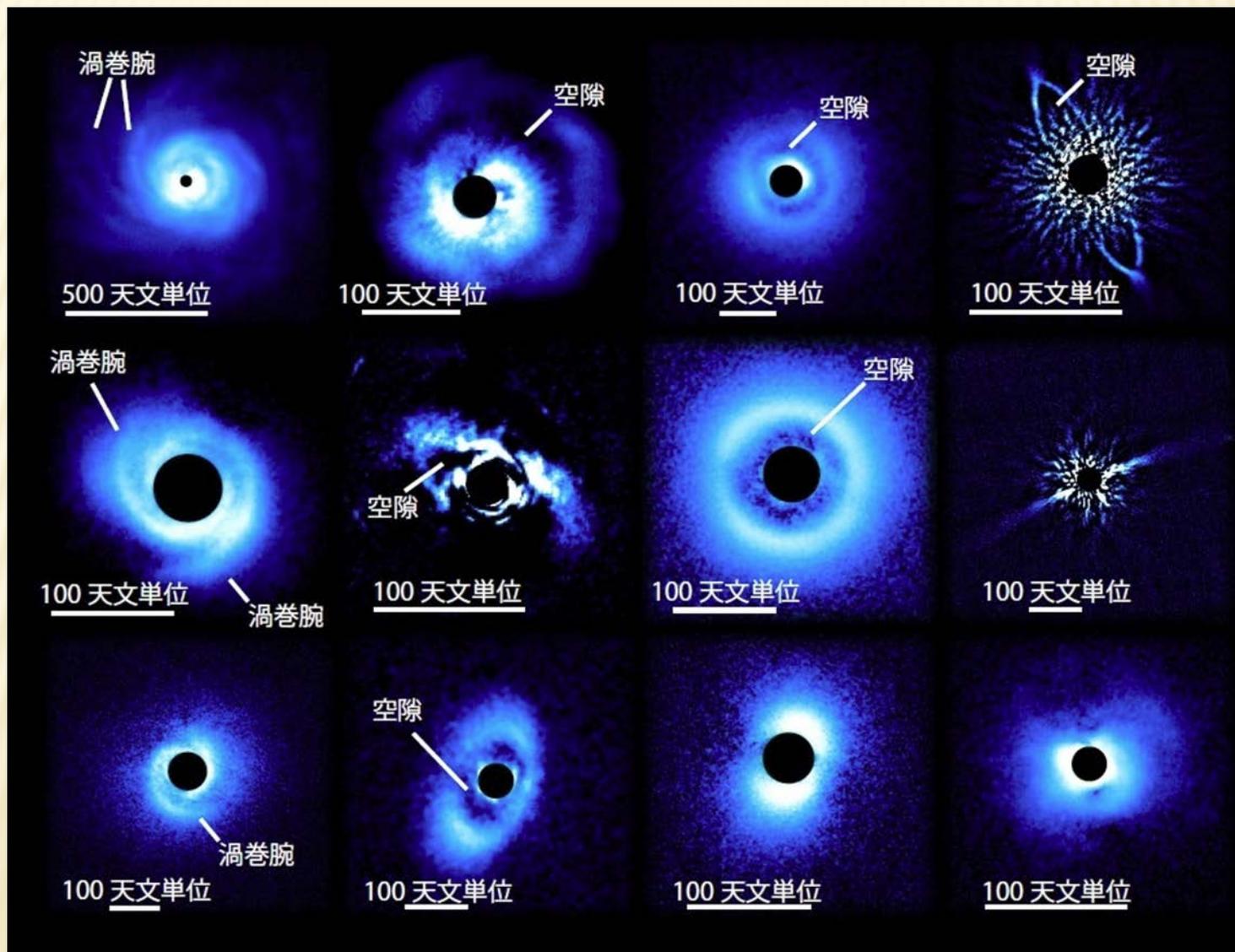


太陽系外の「第二の木星」の直接撮影

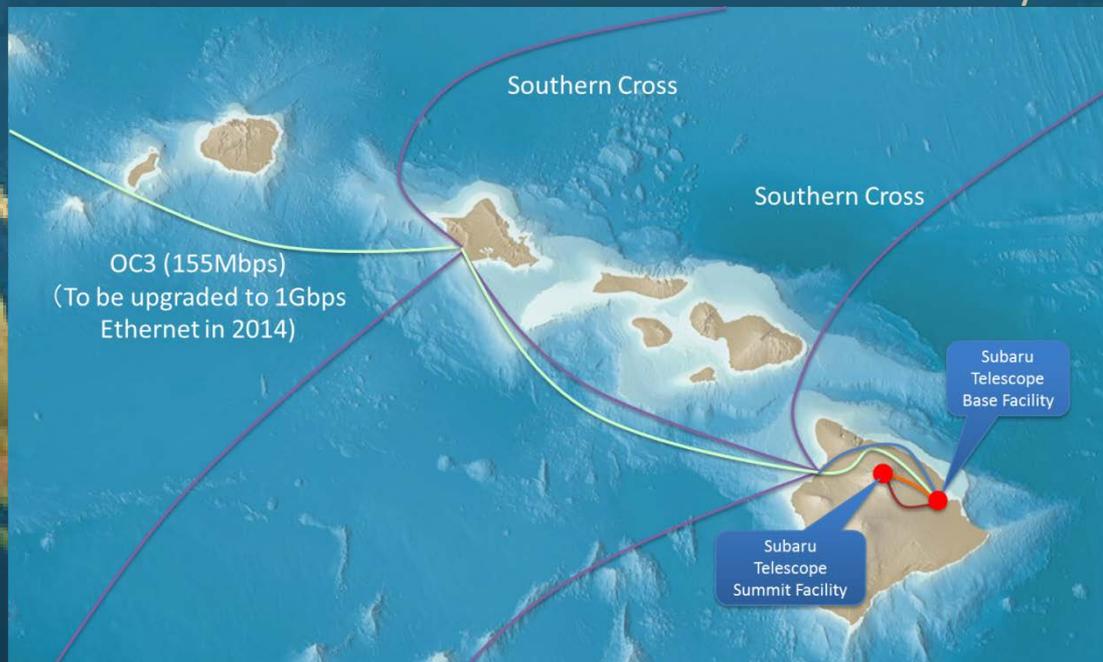


太陽型恒星 GJ 504 のまわりの低質量惑星 GJ 504 b の赤外線合成画像

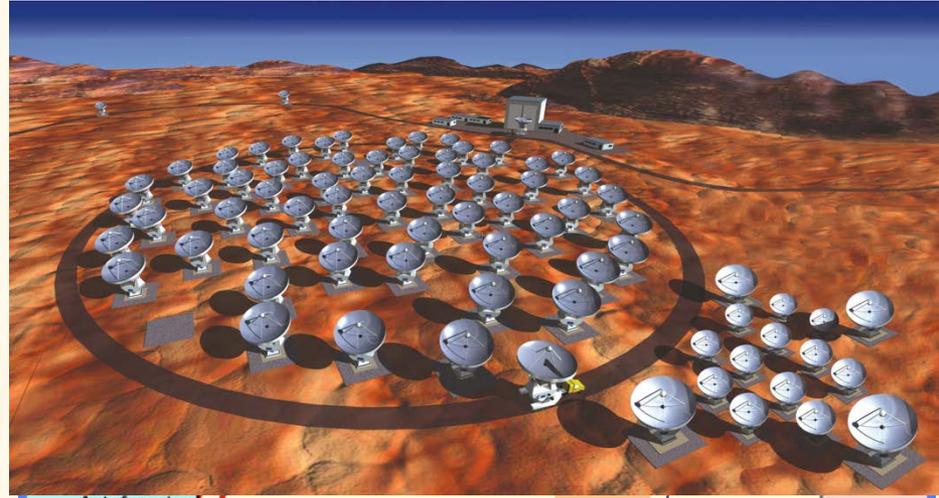
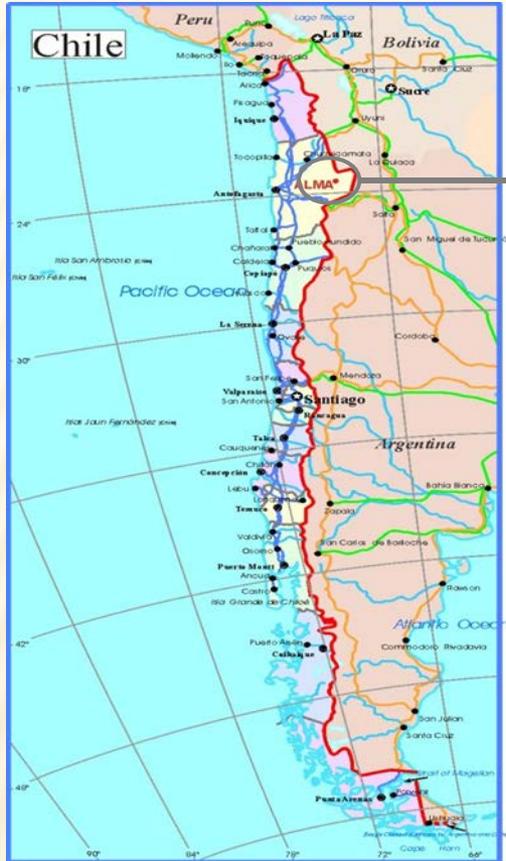
若い恒星のまわりの星周円盤



すばる望遠鏡のネットワーク



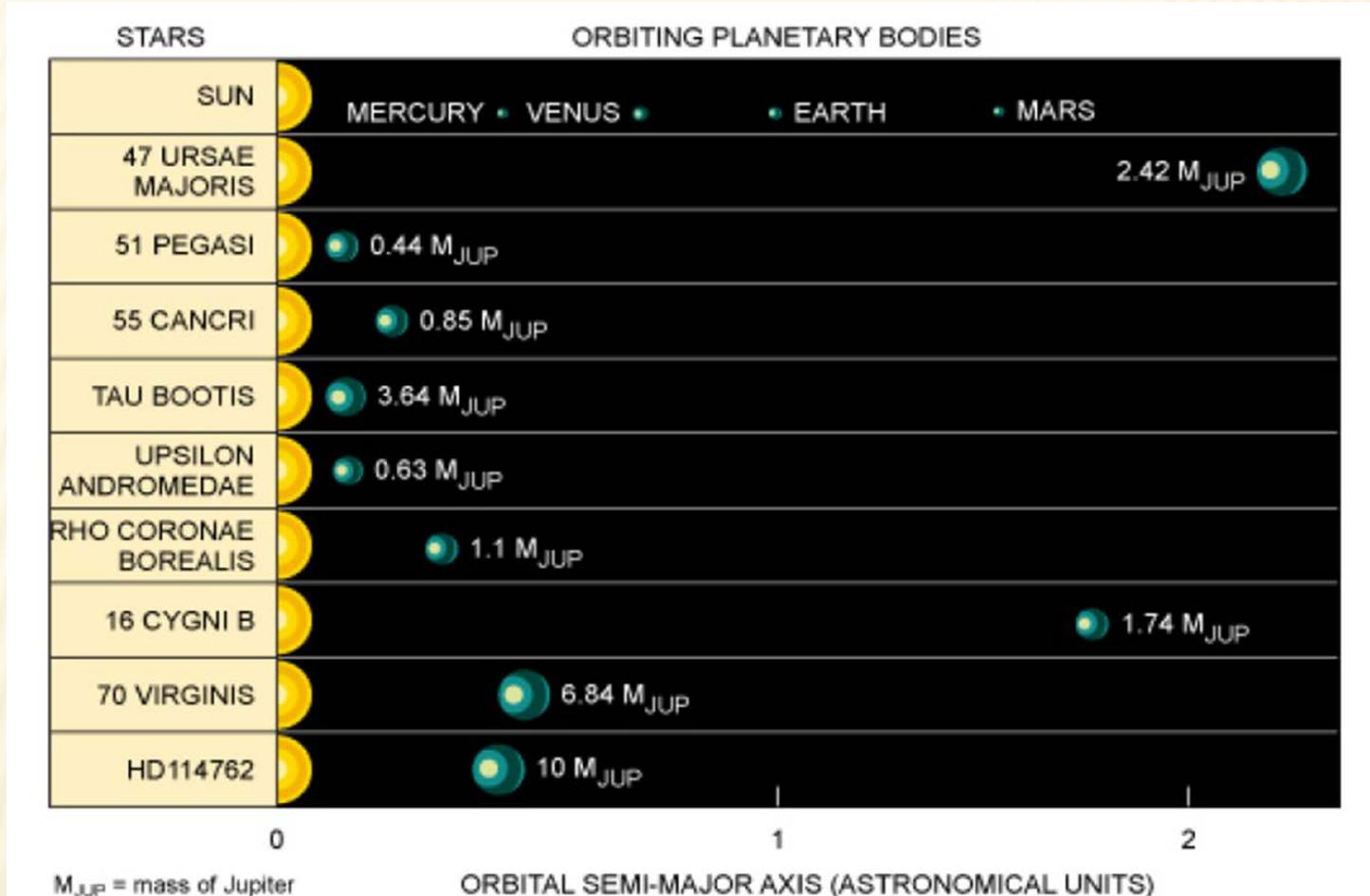
国際電波望遠鏡プロジェクト (ALMA)



- 南米チリの標高5000mの高地に電波望遠鏡(66台)
- ミリ波サブミリ波の電波を観測する
- 究極の解像度 0.01秒角



ALMA TARGET 1 : FORMATION OF PLANETS



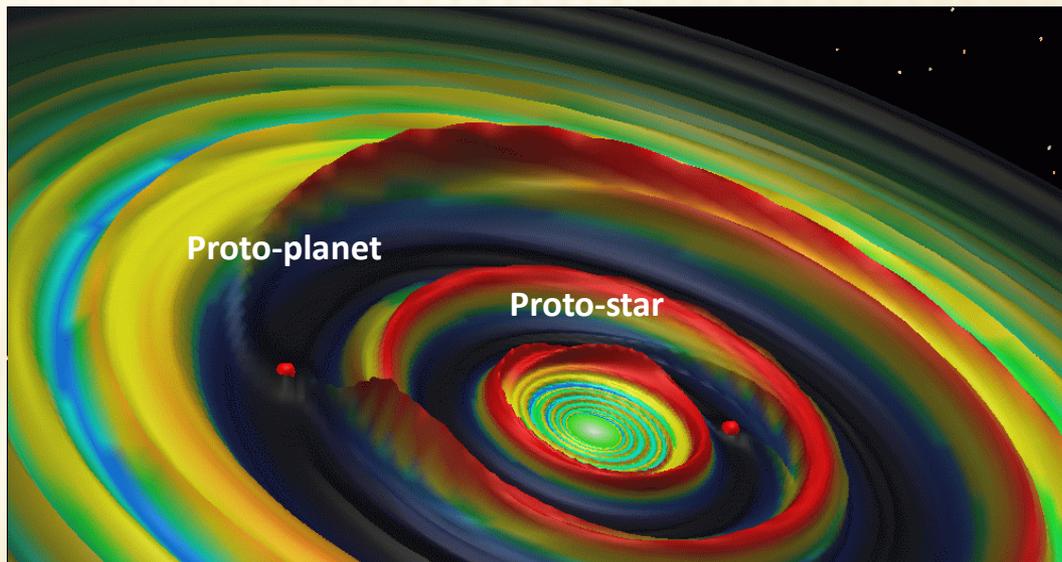
We now know 1000 exo-planets with diversity!!!

太陽系外の惑星形成



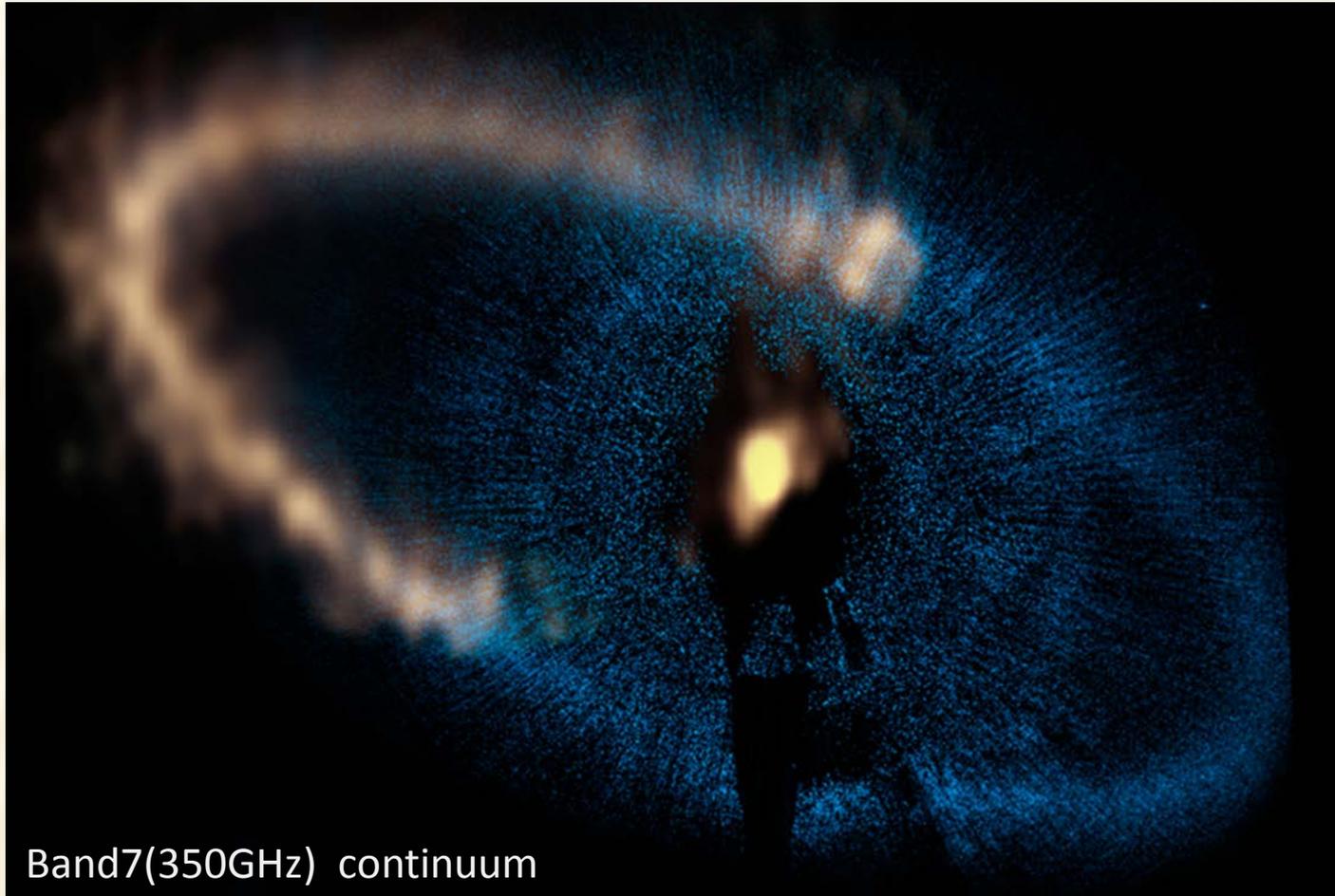
**Hubble image of proto-planetary disk with
several 100 AU size**

(Mark McCaughrean, C. Robert O'Dell, NASA)



Simulation: G. Bryden ⇒ To be tested with ALMA

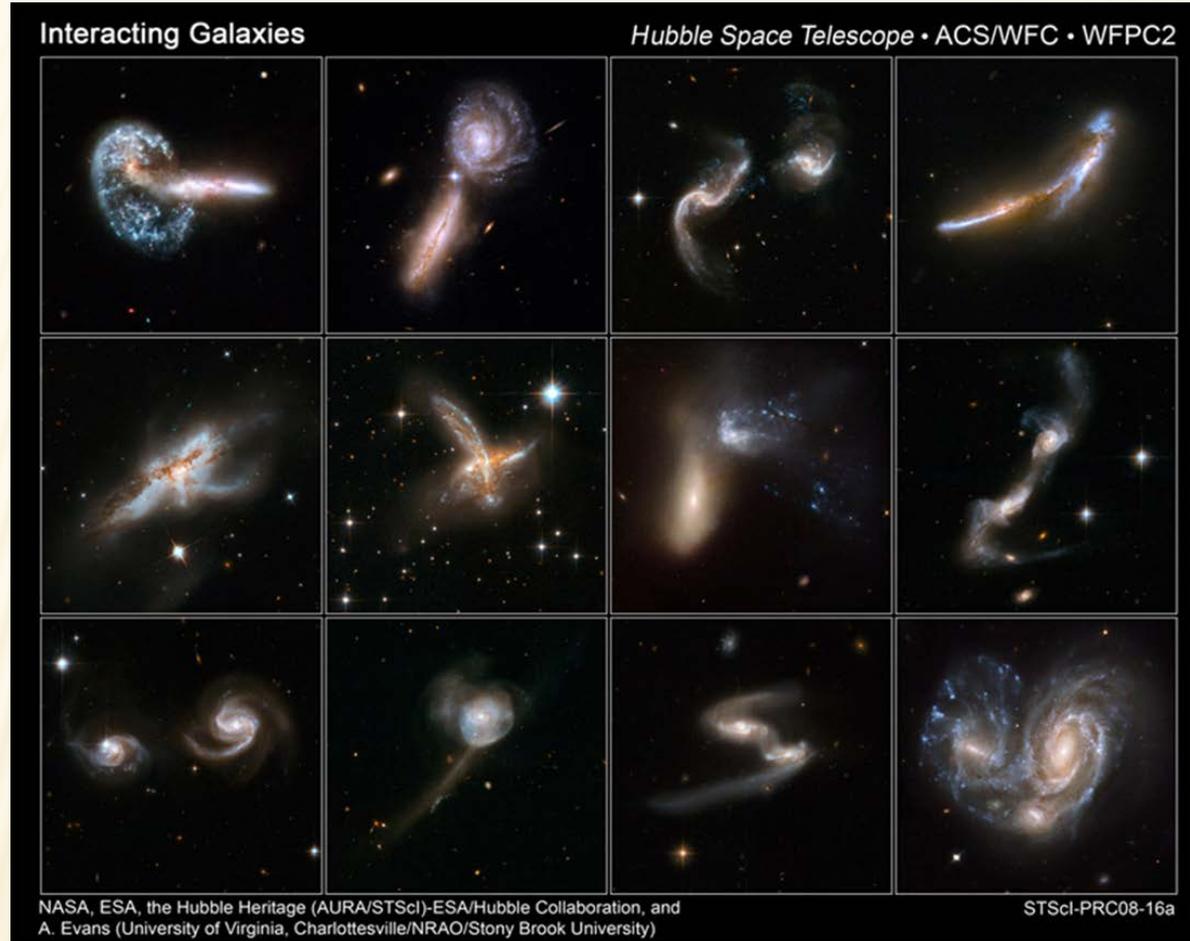
THE PLANETARY SYSTEM OF FOMALHAUT



Band7(350GHz) continuum

A. C. Boley et al. 2012 ApJ 750 L21

ALMA TARGET 2 : FORMATION OF GALAXIES



Interacting Galaxies by Hubble Space Telescope 19

DATA FLOW TO SCO (SANTIAGO CENTRAL OFFICE)



山頂施設
(AOS: 5000m)



最大64 MB/s
距離 ~35km

山麓施設
(OSF: 2900m)

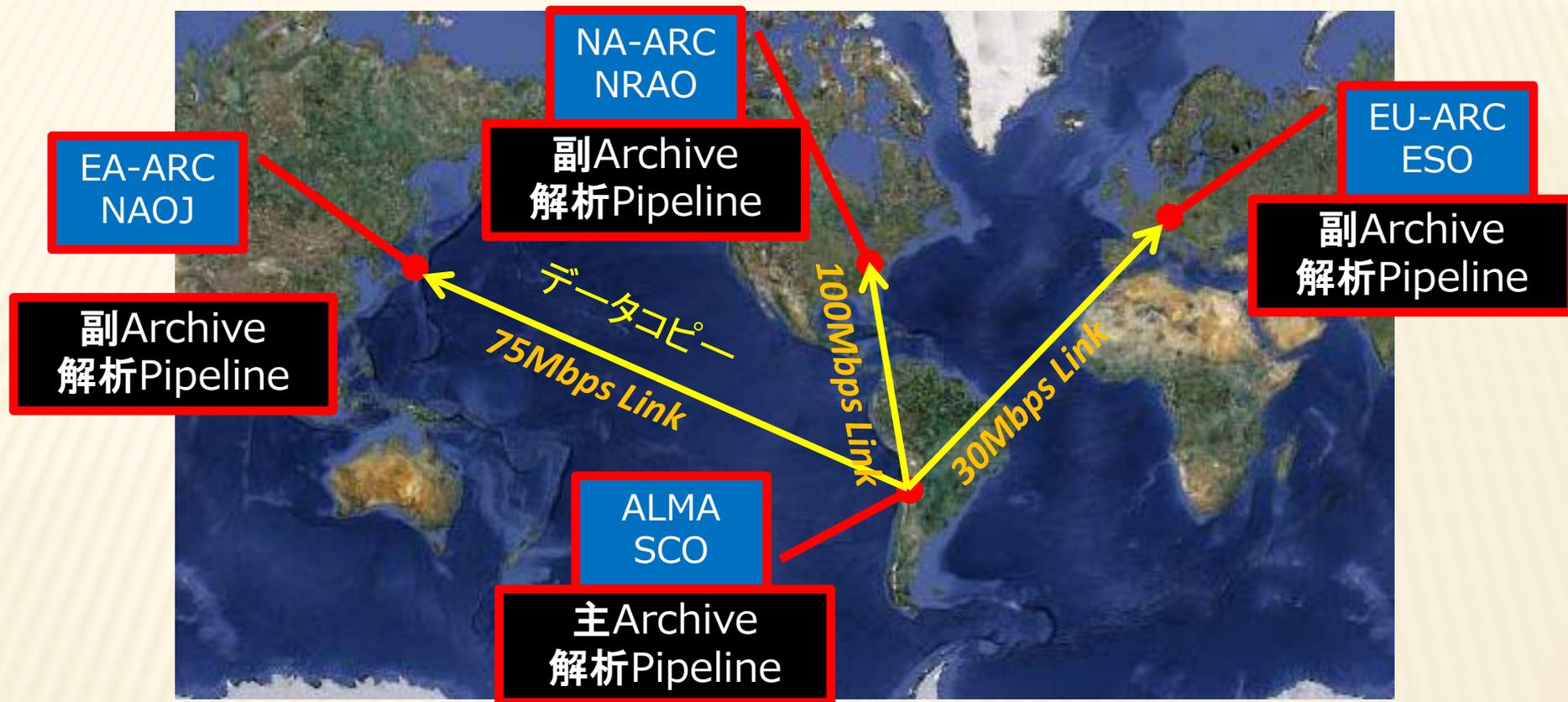


平均6.4 MB/s
~500 GB/day
距離 ~1200km

サンチャゴ施設
(SCO)



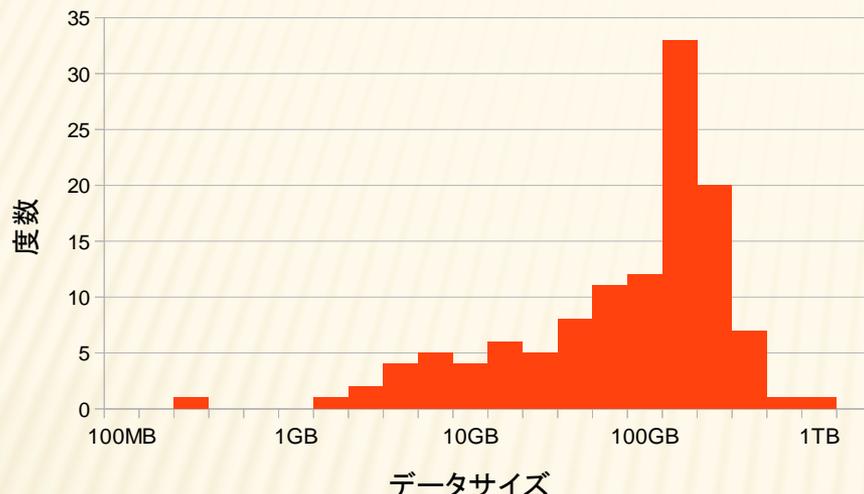
ALMAチリ観測所とARC (ALMA REGIONAL CENTER)



- データレート: 平均50Mbpsに規定
✓ SCO-ARC間ネットワークは必要に応じ拡張の予定
- ARCのデータ蓄積量: 年間200TB
- 観測者は解析済みデータを各ARCから受取る

ARCから観測者へ

Cycle0 公開データのサイズ分布



現在の観測データサイズ

メジアン **150GB**
 最小 240MB
 最大 **1.3TB**

ダウンロード時間がボトルネック

画像になる前のデータ (Visibility)

- 現在
150GB / **10MB/s** ~ 4.3時間
- フル性能時
6.4TB / **10MB/s** ~ 1週間

最終画像のダウンロード時間

- Visibility の1/20 ~ 1/50のサイズ
- 現在性能 10 ~ 25分
- フル性能時 3.5 ~ 9時間

ARCからの高速国内回線が必須

JVO ALMAデータサービス

C:\Users\wataru\Desktop\RScd_line1.fits - Vissage

- Webブラウザ上での画像の閲覧 (ALMAWebQL)
 - ◆ ダウンロードすることなくWeb上で Quick Look
 - ◆ 空間・周波数領域をインタラクティブに絞込み
 - 縮小画像をサーバ (JVO) 側で準備
 - ◆ 必要な部分の選択・切出しダウンロードを支援
- 3次元画像のビューワ (Vissage)
 - ◆ ダウンロードした画像の詳細な観察・閲覧
- JVO ポータルサイト
 - ◆ [HTTP://jvo.nao.ac.jp](http://jvo.nao.ac.jp)

国立天文台におけるネットワーク利用

- 国内：
 - 水沢、野辺山、岡山、三鷹 4地区間のネットワーク
 - スーパーコンピュータ@水沢と三鷹のネットワーク
 - 水沢を中心とする光結合VLBIネットワーク
- 国外：
 - すばる望遠鏡、TMT(30m光赤外望遠鏡) 計画
 - ALMA、SKA計画
- 将来における情報基盤の整備
 - **天文学におけるネットワークの果たす役割は極めて大きい**
 - ✓ 世界の僻地にある望遠鏡との高速大容量データ通信が不可欠
 - 費用対効果の高い整備が求められる
 - ✓ 国内外の学術回線との連携
 - ✓ 情報通信研究分野との共同研究や連携

ご静聴ありがとうございました。

三鷹・水沢間高速ネットワーク



□スパコンを水沢に設置、大容量ストレージは三鷹で製作・設置

●両者の超高速ネットワーク接続が必須

□三鷹⇔水沢ネットワーク 最大10GbE

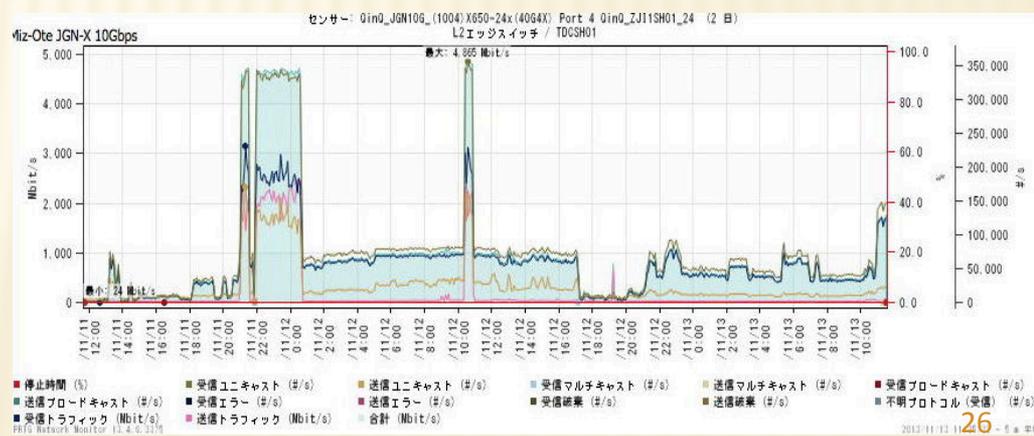
- 三鷹⇔大手町がSINET
- 大手町⇔水沢がJGN-X
- 現時点では10GbEの幅に十分余裕あり

□1年以内に増強予定

- スパコンは速度2倍
- 三鷹のストレージも2-3倍に

□データ転送量も増大

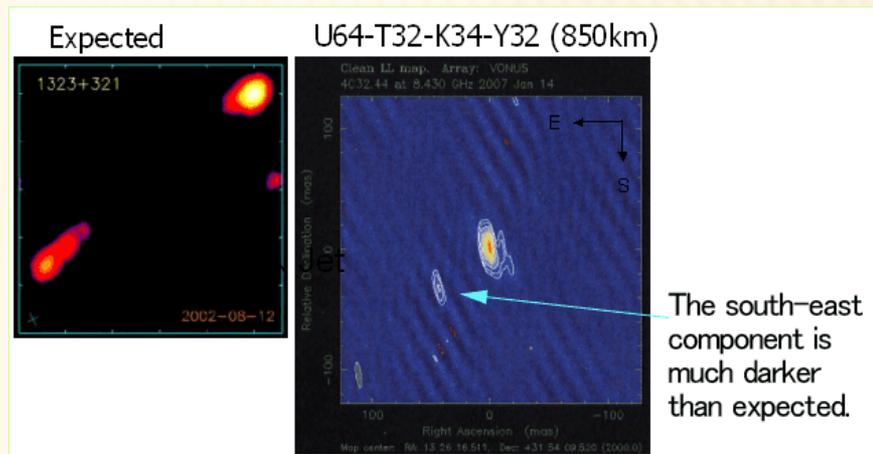
- 10GbEの帯域はほぼ埋め尽くされる



光結合VLBIの利点と将来

利点

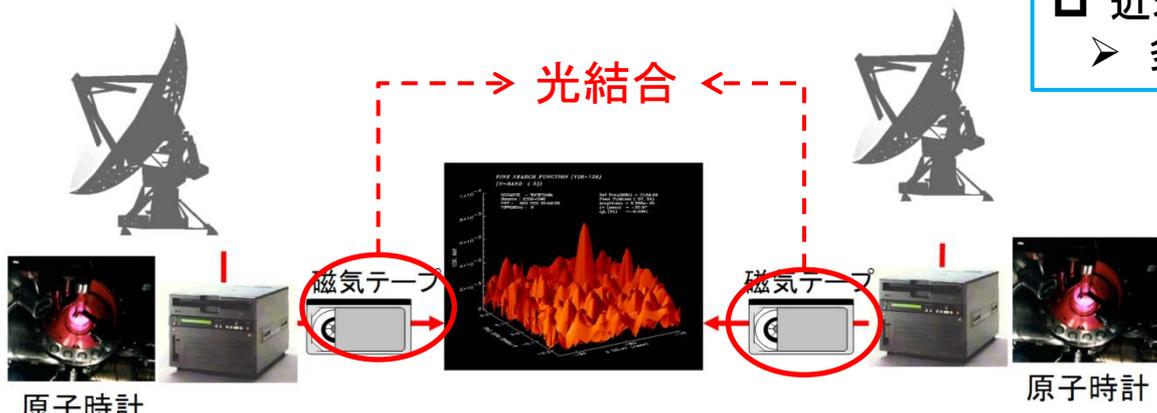
- 広帯域性(現状)
 - ✓ 1Gbps(磁気テープ, VERA日本)
 - ✓ 2Gbps (HDD, 欧州)
 - ✓ 光結合: 2Gbps(片偏波)、4Gbps(両偏波)
- 速報性
 - ✓ すぐに天体情報が得られる
 - ✓ システムトラブルの検出もリアルタイム
- 運用性
 - ✓ テープ輸送の手間がない
- JVN(Japanese VLBI Network)が科学観測、運用
 - ◆ 光結合初イメージ4C32.44
 - X-band, BW512 MHz, 4stations



世界は広帯域観測へ

- ここ数年
 - ~10Gbps/station
- 近未来
 - 多視野給電により必要帯域が2桁超に

- 現在の平均使用率
 - ✓ 観測は月1~2回
 - ✓ 1観測当たり8時間、年間約150時間
- 将来の使用率予想
 - ✓ 月2~3回の観測、年間240時間程度



光結合VLBIネットワークの現状

SINET4 (レイヤー1 オンデマンド回線)
 JGN-X (通常の生活回線)
 Local Access line

苫小牧11m



GbE x3

水沢20m/10m



10GbE x 1

茨城 32mx2



OC48 x 2
(WDM)

北大

10GbE x 1

鹿島34m



10GbE x 1



NRO 45m



白田64m

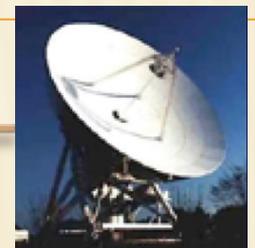
調布

10GbE x 2
(LAG)

大手町
SINET4

大手町
JGN-X

つくば 32m



10GbE x 1

高エネ研

10GbE x 1



10GbE x 1

山口 32m

山口大

10GbE x 1

岐阜11m



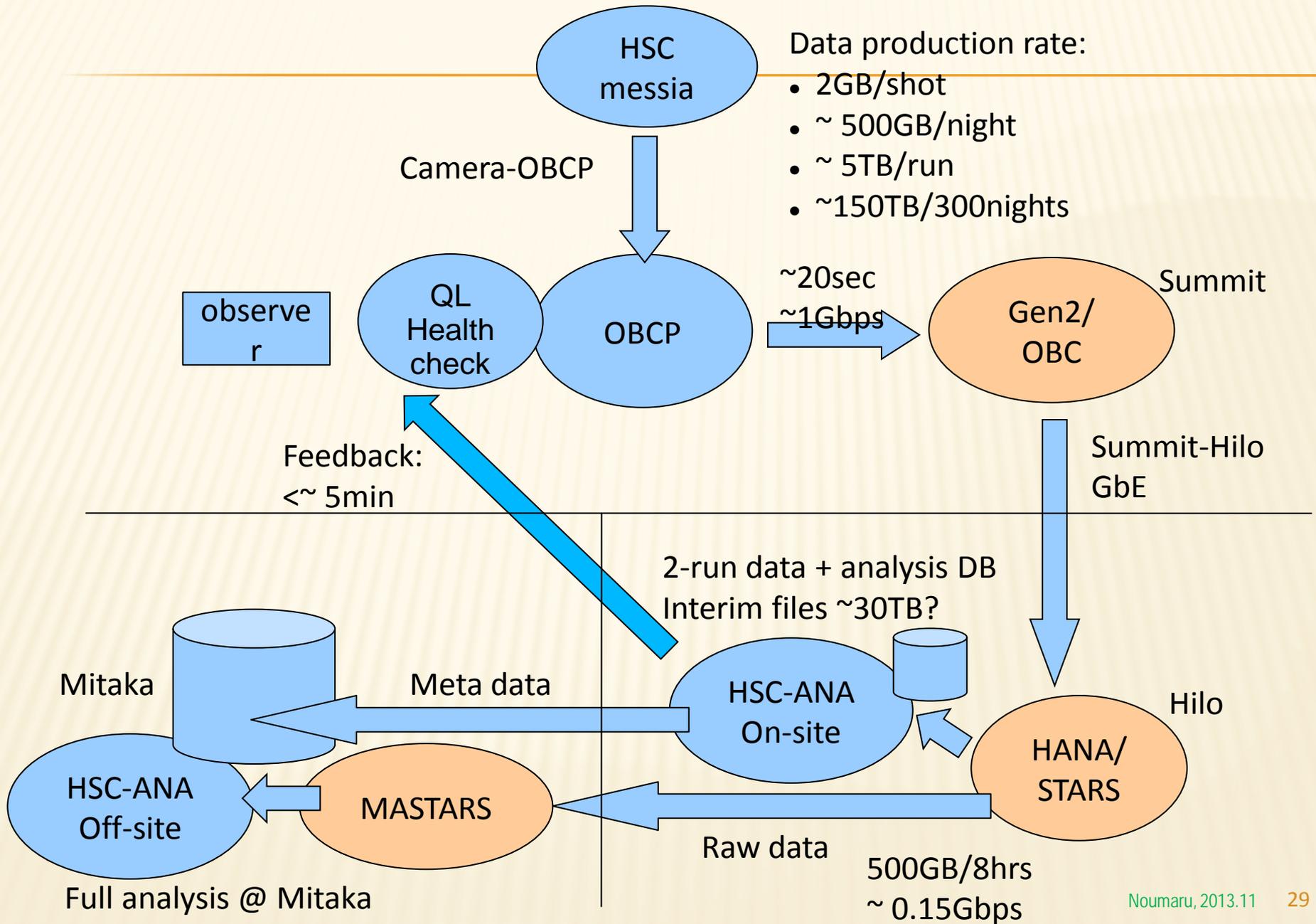
OC48 x 2
(WDM)

核融合研

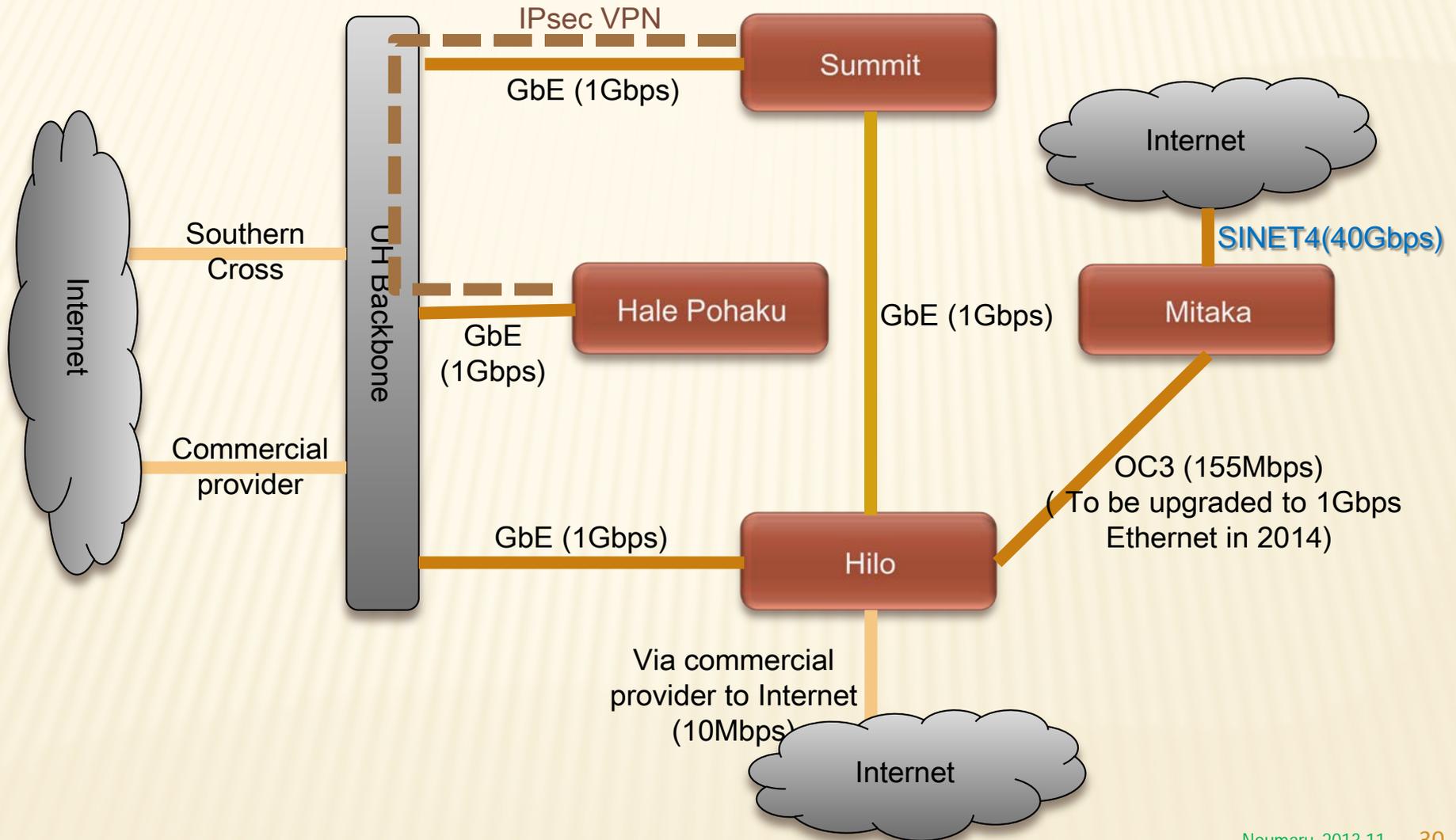
国立天文台
【相関器】

Network: 2Gbps x 1or2 Required

※点線は接続準備中



SUBARU TELESCOPE NETWORK DIAGRAM



TMTとデータ転送

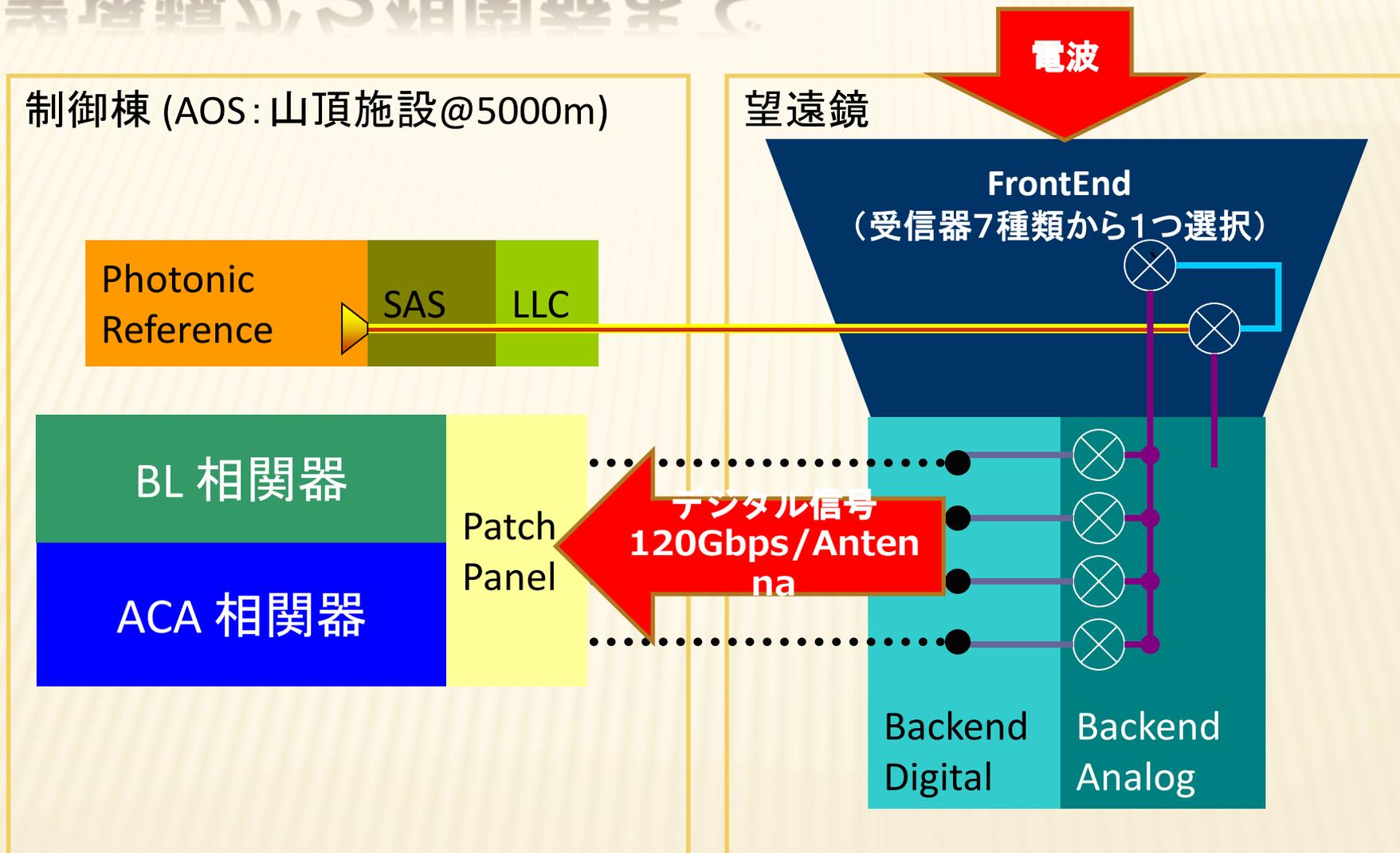


TMT = Thirty Meter Telescope

日本をはじめとする国際プロジェクトが、マウナケア山頂に建設する口径30mの超大型望遠鏡。2014年に着工し、約10年後の完成を目指す。

- ✕ TMTは視野が10分角と狭いため、狭視野の分光観測装置が主流である。
- ✕ 「TMT計画説明書」に挙げられている将来装置の候補のなかで、最も大量のデータを出すであろう広視野赤外カメラも視野はせいぜい30秒角で、生成されるデータはせいぜい年間数TB程度であろう。
- ✕ 一方、すばるは最大1.5度角の広視野を活かし、撮像と多天体分光により、TMTが追観測をおこなうために必要な観測候補天体のカタログを提供する。したがって、すばるはTMTが完成した後も数10TBのデータを生成しつづける。
- ✕ すばるのデータアーカイブシステムやデータ転送のインフラは、TMTをサポートするものとしては十分と考えられる。

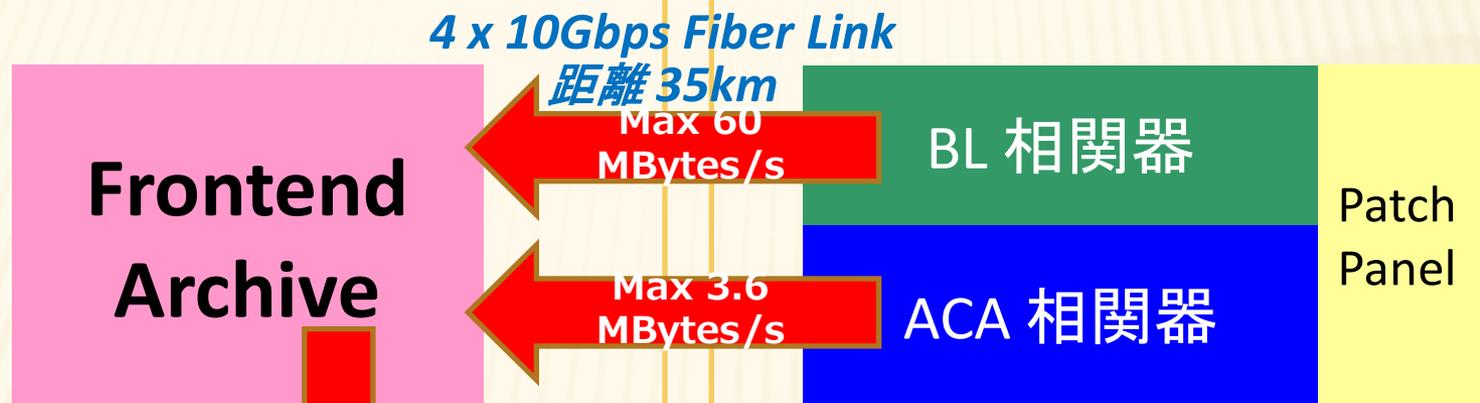
望遠鏡から相関器まで



相関器からアーカイブまで

制御棟 (OSF:山麓施設@2900m)

制御棟 (AOS:山頂施設@5000m)



サンチャゴ施設(SCO)

ALMA Science Archive (ASA)



電波天文データの特質そしてALMAの運用

- 電波天文データの特質は、データ圧縮が効かないことである。電波データは基本的には雑音であり、その中に紛れ込んだ天体からの信号、コヒーレントな成分を抜き出す作業である。川辺で無数の砂の中から砂金を探し出すのにも似ている。そうはいつても、すべてを転送できないので、「宝物」を失わない程度に時間積分をしたり、周波数方向にチャンネル積分したりして、送るのである。
- また、ALMAは（最終的には）毎日24時間、年間365日ほぼ休みなく観測する望遠鏡なので、データも逐次転送しなければならない。

CURRENT NETWORK ROUTES

- NAOJ (Mitaka, Japan)
 - ◆ SINET (Japan) —
 - ◆ Internet2 (US) —
 - ◆ RedCLARA (US-Chile) —
 - ◆ REUNA (Chile, 32.5 Mbps) —
- ALMA Observatory (Chile)

TRACEROUTE

- 1 133.40.64.1 (133.40.64.1) 3.137 ms 1.088 ms 0.899 ms
- 2 pa-int (133.40.135.252) 1.151 ms 1.144 ms 1.189 ms
- 3 fia101 (133.40.3.254) 1.549 ms 2.062 ms 1.446 ms
- 4 tokyo1-dc-rm-ae-3-101.sinet.ad.jp (150.99.197.129) 2.898 ms 2.757 ms 2.589 ms
- 5 tokyo-dc-gm1-ae0-vlan10.s4.sinet.ad.jp (150.99.2.50) 2.779 ms 2.706 ms 2.911 ms
- 6 nyc-dc-gm1-xe1-0-0-vlan10.s4.sinet.ad.jp (150.99.2.74) 172.851 ms 172.968 ms 173.475 ms
- 7 abilene-ny.gw2.sinet.ad.jp (150.99.200.194) 185.039 ms 178.043 ms 173.111 ms
- 8 200.0.207.9 (200.0.207.9) 207.005 ms 207.324 ms 207.488 ms
- 9 saopaulo-miami.core.redclara.net (200.0.204.41) 558.711 ms 418.883 ms 407.598 ms
- 10 santiago-saopaulo.core.redclara.net (200.0.204.37) 740.188 ms 520.587 ms 626.549 ms
- 11 reuna-cl-sant.peer.redclara.net (200.0.204.142) 626.906 ms 454.790 ms 486.511 ms
- 12 146.83.242.98 (146.83.242.98) 625.024 ms 626.394 ms 455.276 ms

CURRENT STATUS

□ RTT

- ◆ Was 330ms, but is now **450ms-500ms** (via USA East Coast)

□ Bandwidth

- ◆ **30 Mbps effective** (up and down), under 32.5 Mbps contract with REUNA (Chile).
- ◆ 90Mbps when tested without bandwidth restriction

利用者によるALMAデータの取得

□ ARCから提供

- ◆ 複数個に分割したtarballとして

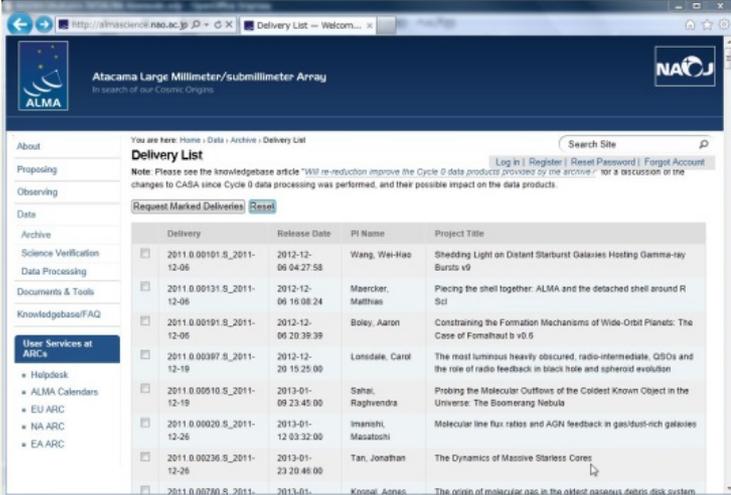
□ 観測者

- ◆ 占有期間（観測後1年）中に
 - FTP（専用アカウント）

□ 一般ユーザ

- ◆ 公開データに

- ALMAアーカイブサイトからHTTP
- <http://almascience.nao.ac.jp/alma-data/archive>



The screenshot shows the 'Delivery List' page on the ALMA archive website. The page has a navigation menu on the left with options like 'Proposing', 'Observing', 'Data', 'Archive', 'Science Verification', 'Data Processing', 'Documents & Tools', and 'Knowledgebase/FAQ'. The main content area displays a table of delivery records. The table has columns for 'Delivery', 'Release Date', 'PI Name', and 'Project Title'. The 'Delivery' column contains checkboxes and alphanumeric codes. The 'Release Date' column shows dates in YYYY-MM-DD format. The 'PI Name' column lists the names of the Principal Investigators. The 'Project Title' column provides a brief description of the project.

Delivery	Release Date	PI Name	Project Title
<input type="checkbox"/> 2011.0.00101.S_2011-12-06	2012-12-06 04:27:58	Wang, Wei-Hao	Shedding Light on Distant Starburst Galaxies Hosting Gamma-ray Bursts v9
<input type="checkbox"/> 2011.0.00131.S_2011-12-06	2012-12-06 16:08:24	Maercker, Matthias	Piecing the shell together: ALMA and the detached shell around R Scl
<input type="checkbox"/> 2011.0.00191.S_2011-12-06	2012-12-06 20:39:39	Boley, Aaron	Constraining the Formation Mechanisms of Wide-Orbit Planets: The Case of Fomalhaut b v0.6
<input type="checkbox"/> 2011.0.00397.S_2011-12-19	2012-12-20 15:25:00	Lonsdale, Carol	The most luminous heavily obscured, radio-intermediate, QSOs and the role of radio feedback in black hole and spheroidal evolution
<input type="checkbox"/> 2011.0.00510.S_2011-12-19	2013-01-09 23:45:00	Sahai, Raghendra	Probing the Molecular Outflow of the Coldest Known Object in the Universe: The Boomerang Nebula
<input type="checkbox"/> 2011.0.00620.S_2011-12-26	2013-01-12 03:32:00	Imanishi, Masatoshi	Molecular line flux ratios and AGN feedback in gas/dust-rich galaxies
<input type="checkbox"/> 2011.0.00236.S_2011-12-26	2013-01-23 20:46:00	Tan, Jonathan	The Dynamics of Massive Starless Cores
<input type="checkbox"/> 2011.0.00790.S_2011-12-26	2013-01-23 20:46:00	Kossov, Arsen	The origin of molecular gas in the oldest nascent debris disk system

JVO ALMA データサービスの構成

検索・配信エンジン

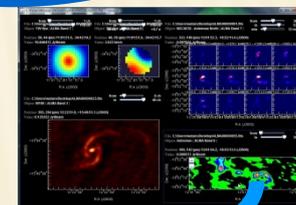
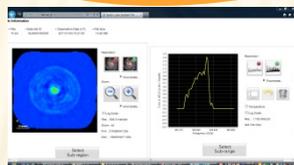
領域・解像度
絞り込み、DL

詳細に観察・検討

JVOポータル

ALMA
WebQL

Vissage



新たなデータを
要求

大サイズに対応

多次元に対応

ALMAデータをダウンロードすることなく Web上で Quick Look するための機能

- ・空間画像(周波数方向に積分)、および
スペクトル画像(空間方向に積分)の閲覧
- ・空間・周波数領域をインタラクティブに絞り込み
- ・絞り込んだ画像をダウンロード

The screenshot displays the ALMAWebQL interface in a web browser. The browser address bar shows the URL <http://jvo.nao.ac.jp/alma/webql/ALMAWebQL>. The page title is "Quick Look System for ...".

Information

Title	Data Set ID	Observation Date (UT)	File Size
R Sci	ALMA01000003	2011/11/03 10:21:50	12.82 MB

The interface is divided into two main panels:

- Left Panel (Spatial Image):** Shows a 2D spatial image of a source. The image is a square with a central bright spot and concentric rings. A scale bar in the bottom left indicates "10 arcsec". To the right of the image are controls for Resolution (two icons with red and green arrows), Zoom (two magnifying glass icons with minus and plus signs), and Log Scale (a checkbox). Below these controls, the following parameters are listed: Res.: 600.0 mas/pix, Zoom: x2, R.A.: 01h26m57.23s, and Dec.: -32d33m07.122s. A "Select Sub-region" button is located at the bottom of this panel.
- Right Panel (Spectral Plot):** Shows a spectral plot with Frequency (GHz) on the x-axis (ranging from 345.775 to 345.850) and $F_{int} (\times 10^{-3} \text{ Jy/pix / beam})$ on the y-axis (ranging from -0.5 to 1.5). The plot shows a prominent emission line. To the right of the plot are controls for Resolution (two icons with red and green arrows), Log Scale (a checkbox), and Temperature (a checkbox). Below these controls, the following parameters are listed: Res.: 1.153 MHz/ch and 345.744 GHz. A "Select Sub-range" button is located at the bottom of this panel.

The Windows taskbar at the bottom shows the system clock as 9:25.

Vissage

ローカルにダウンロードしたALMAデータを
 より詳細に観察・閲覧するためのビューワソフト

