

ビッグサイエンスを支える情報基盤とクラウドへの期待 天文学におけるネットワークとクラウド 活用計画

大江 将史
天文データセンタ
国立天文台

自己紹介

- 大江将史 (おおえ まさふみ)

<http://fumi.org/>

工学博士 (奈良先端科学技術大学院大)

- 所属：自然科学研究機構 国立天文台

- 天文データセンター 助教

- なにしてるのか？

- 専門は、ネットワークセキュリティ、衛星通信、無線通信など
 - 天文と情報ネットワークの融合に関する研究等
 - 国立天文台のネットワーク運用や設計等

Our research facilities have been set up around the world for better observational environments to explore the Universe.

Our research and observational facilities are scattered throughout various regions of Japan as well as in foreign countries. To better understand the Sun, stars, interstellar matter, galaxies and other celestial objects, the best quality data in a wide range of wavelengths, from visible to radio waves, are indispensable. For this purpose, our observational facilities are located in the optimum natural environments.

Open this fold out. This way, you can see an outline of the structure of the known Universe. Each of NAOJ's research and observational facilities is cooperating with the others to enhance efforts to unveil the mystery of the entire Universe.

NAOJ Chile



NAOJ Chile Observatory (C Project) → p.18

The Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) project is a partnership including Japan, Taiwan, Europe and North America in cooperation with the Republic of Chile to build an international radio astronomy facility on the 5000 m Atacama Desert in Chile. Now NAOJ is working full scale on this huge project, leading the construction and operation of ALMA on behalf of the Japanese and Taiwanese science communities. ALMA was inaugurated as a completed observatory in March, 2013.

ASTE(Atacama Submillimeter Telescope Experiment)

The ASTE telescope observes radio waves with wavelengths in the range from 0.1 mm to 1 mm. In the superb atmospheric conditions of the Atacama Desert, ASTE has made new scientific discoveries in the center of our own Galaxy, in nearby star-forming regions, and in distant galaxies.



Atacama Desert
Republic of Chile

Santiago

NAOJ Nobeyama Nagano Prefecture

Nobeyama Radio Observatory (C Project) → p.15

Nobeyama Radio Observatory raised Japanese radio astronomy to the top tier, internationally. The 45-m Radio Telescope is the largest millimeter radio telescope in the world. Together with the interferometer array, it has achieved epoch-making results, such as discovery of new interstellar molecules and accretion gas disks around proto-planetary systems. The Nobeyama Campus is open daily to the public.



Nobeyama Solar Radio Observatory (C Project) → p.15

The Radioheliograph is a radio interferometer system dedicated to detailed observations of explosions on the solar surface and the monitoring of solar activities.

NAOJ Okayama Okayama Prefecture

Okayama Astrophysical Observatory (C Project) → p.16

The main facility of the Okayama Astrophysical Observatory is a 188-cm reflector, one of the largest optical-infrared telescopes in Japan. The observatory is the center of optical and infrared observations in Japan aimed at galaxies, stars, and objects in the Solar System. New "eyes" with which to explore the Universe are being developed, such as an infrared spectrometer and an infrared wide field camera.



Mizusawa VLBI Observatory: Yamaguchi Station Yamaguchi, Yamaguchi Prefecture

Seven VLBI Stations (including Four VERA Stations)



Mizusawa VLBI Observatory: Iriki Station (VERA) (C Project) → p.14 Satsumasendai, Kagoshima Prefecture



Mizusawa VLBI Observatory: Kagoshima Station



MURIKABUSHI is a 105-cm telescope in Ishigaki-jima Astronomical Observatory.



Mizusawa VLBI Observatory: Ishigaki-jima Station (VERA) (C Project) → p.14 Ishigaki, Okinawa Prefecture

Japan

Mizusawa

Ibaraki

Nobeyama

Mitaka

Yamaguchi

Okayama

Iriki

Kagoshima

Chichi-jima, Ogasawara Islands

Mizusawa VLBI Observatory: Ogasawara Station (VERA) (C Project) → p.14 Chichi-jima, Ogasawara Islands Tokyo Metropolis



NAOJ Mizusawa Iwate Prefecture

Mizusawa VLBI Observatory (VERA) (C Project) → p.14

Astrometry and geodesy are actively being researched, and the Time Keeping Office here contributes to the determination of Japan Central Standard Time. Our VERA telescope is creating a three-dimensional map of our Galaxy.

Esashi Earth Tides Station

This facility has been monitoring the details of the tidal deformation of the Earth. Shown here are laser tiltmeters to measure the extension of the Earth's surface using laser beams.

RISE(Research of Interior Structure and Evolution of Solar System Bodies) Project (A Project) → p.22

The first accurate gravity and topography maps of the Moon were obtained using the KAGUYA mission's laser altimeter, relay satellite, and VLBI satellite. The lunar interior will be investigated using a laser reflector and VLBI radio sources on board the SELENE-2 mission.



Asteroid explorer "Hayabusa-2" (JAXA/Ikeshita).

Mizusawa VLBI Observatory: Ibaraki Station Takahagi, Hitachi, Ibaraki Prefecture



NAOJ Mitaka Tokyo Metropolis

As the headquarters of NAOJ, the Mitaka Campus houses offices of various projects and divisions, as well as administrative offices.



Solar Observatory (C Project) → p.16

Center for Computational Astrophysics (C Project) → p.17

Hinode Science Center (C Project) → p.18

Gravitational Wave Project Office (B Project) → p.19

TMT (Thirty Meter Telescope) Project Office (B Project) → p.20

JASMINE (Japan Astronomy Satellite Mission for Infrared Exploration) Project Office (A Project) → p.21

Extrasolar Planet Detection Project Office (A Project) → p.21

SOLAR-C Project Office (A Project) → p.22

Astronomy Data Center → p.23

Advanced Technology Center → p.24

Public Relations Center → p.24

Division of Optical and Infrared Astronomy → p.25

Division of Radio Astronomy → p.25

Division of Solar and Plasma Astrophysics → p.26

Division of Theoretical Astronomy → p.26

Office of International Relations → p.27

NAOJ Hawai'i

Subaru Telescope (in Hawai'i) (C Project) → p.17



Subaru Telescope

Subaru Telescope, an 8.2-m optical-infrared telescope, sits on the 4200 m summit of Mauna Kea on the Island of Hawai'i. Open-use observations of the telescope started in 2000 and have been contributing to cutting-edge astronomy ever since.

On the Island of Hawai'i, State of Hawai'i, U.S.A.

Hilo Office

The Hilo Office is the base facility for the Subaru Telescope, located in Hilo, Hawai'i. It houses laboratories, a machine shop, a computer facility, and a remote observation room to support nightly observation programs.

Hawai'i

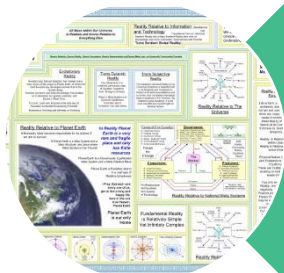
The Island of Hawai'i, U.S.A.



3本の柱



観測



理論

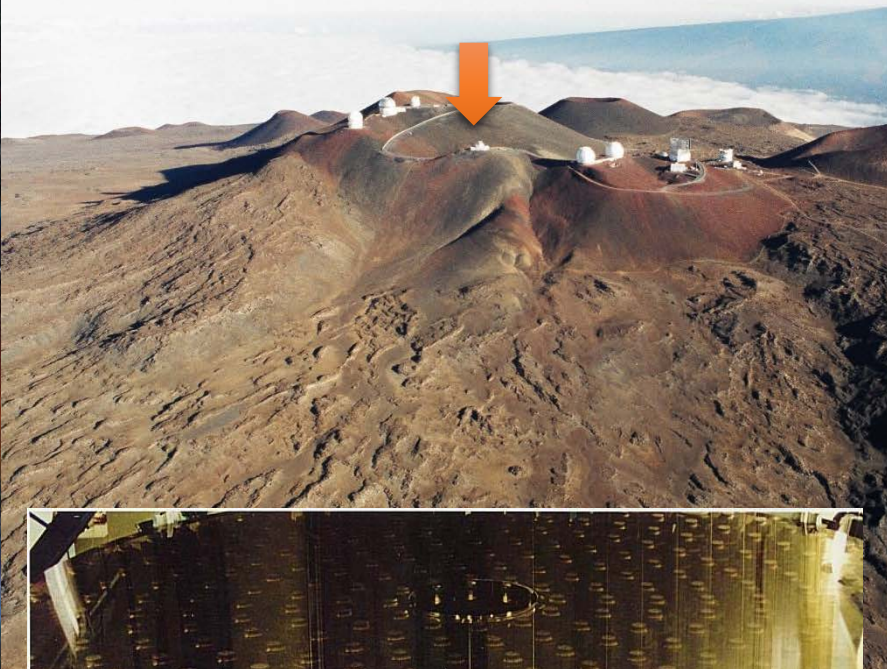


シミュレーション

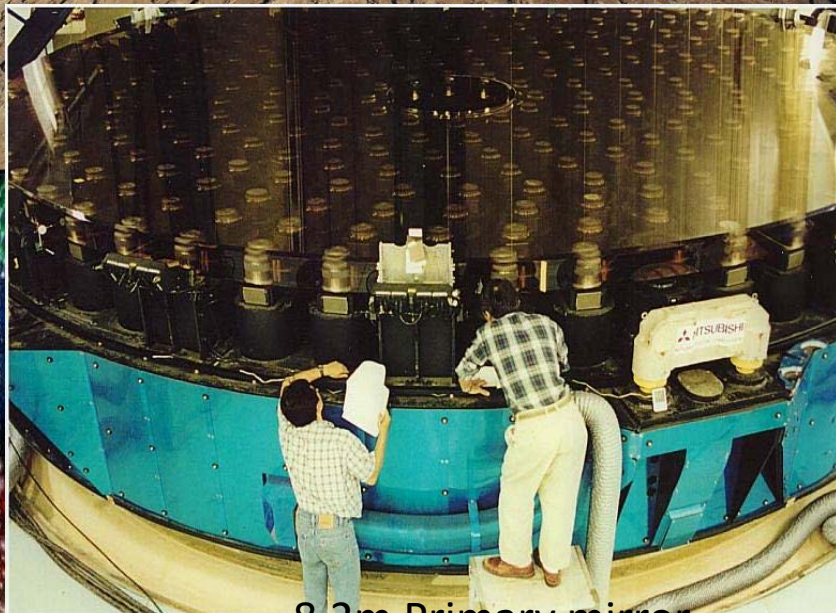
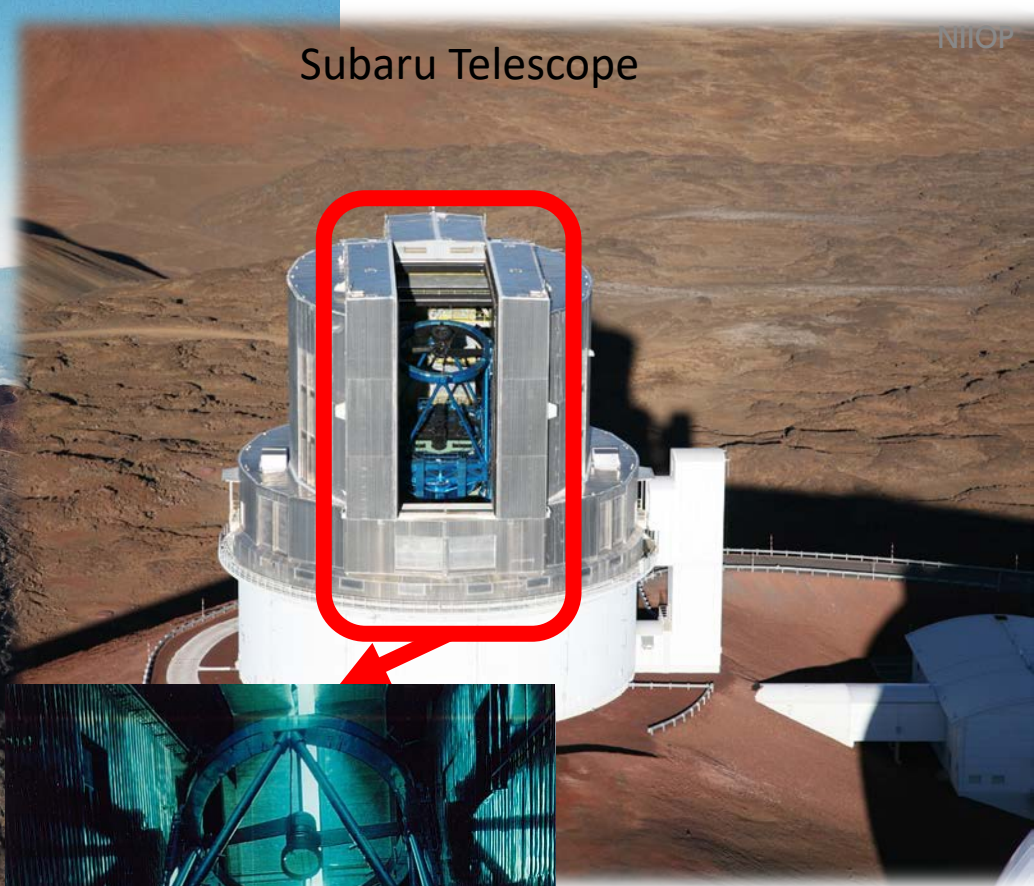
2015/2/3

NIOP

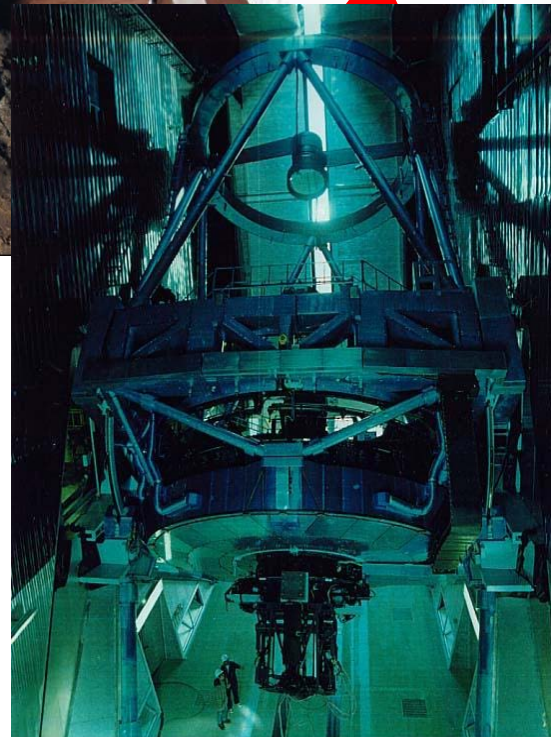
Mt. Mauna Kea, Hawaii,
USA



Subaru Telescope

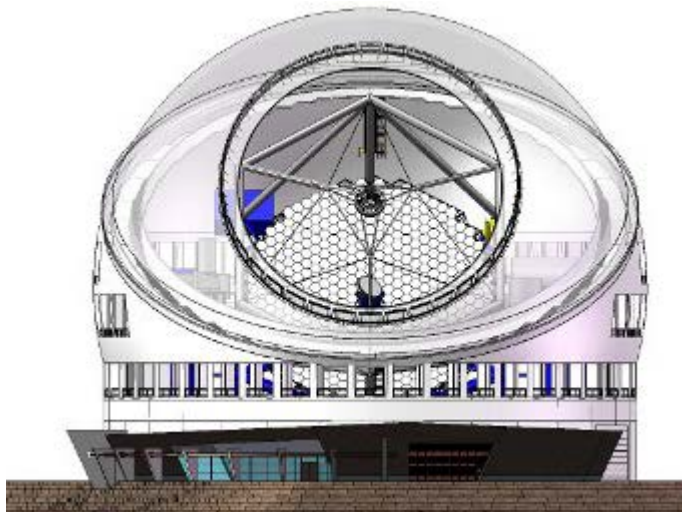


8.2m Primary mirror



TMT: Thirty Meter Telescope Project

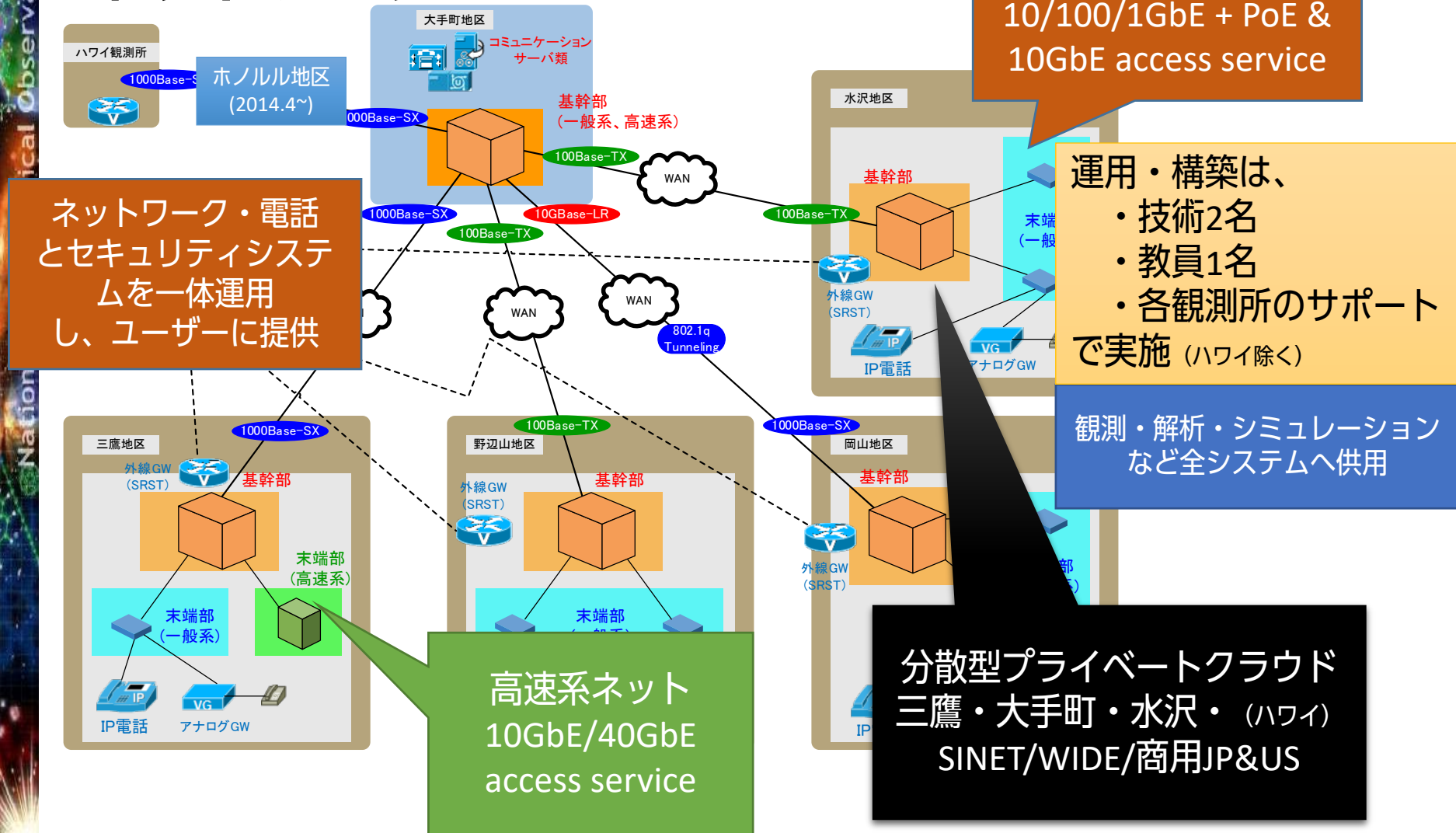
- 30mの複合鏡をもつ光学赤外線・次世代超大型天体望遠鏡
 - 太陽系外惑星の探査や宇宙初期の天体の成り立ちの解明
 - → 太陽系外惑星に生命の存在を探る・宇宙の夜明けを解き明かす
- 2021年度運用開始予定



クラウド：ストレージと計算機

- 各プロジェクトに対応して整備
 - 借用が主
 - 解析用サーバ、アーカイブシステム、共同利用端末、データ公開
 - アーカイブを維持し続ける
 - データは増大を続ける、数十ペタクラス～
 - 元データを破棄する場合も多い
- プライベートクラウド：全プロジェクト共通のシステム
 - 独自デザイン
 - 三鷹・大手町・水沢に分散配置・整備
 - データ公開、広報、情報インフラ
 - ノウハウと研究開発への応用

NAOJ 'NET2013' サイエンスを支える基盤ネットワーク



広域ネットワークの独自整備と連携

サイエンスの最前線をつなぐネットワークを
国内外の関係機関と独自整備運用で構築

HPC primary storage system
VERA correlation center
Cloud system

NAOJ
Mitaka HQ

Okayama

Nobeyama

Mizusawa

Supercomputer ATERUI
VLBI 20m Antenna
Cloud system

JGN-X 10Gbps

国際回線

ハイローミックスの
2重化による高信頼
性の実現

SINET4 Network

JGN-X Network

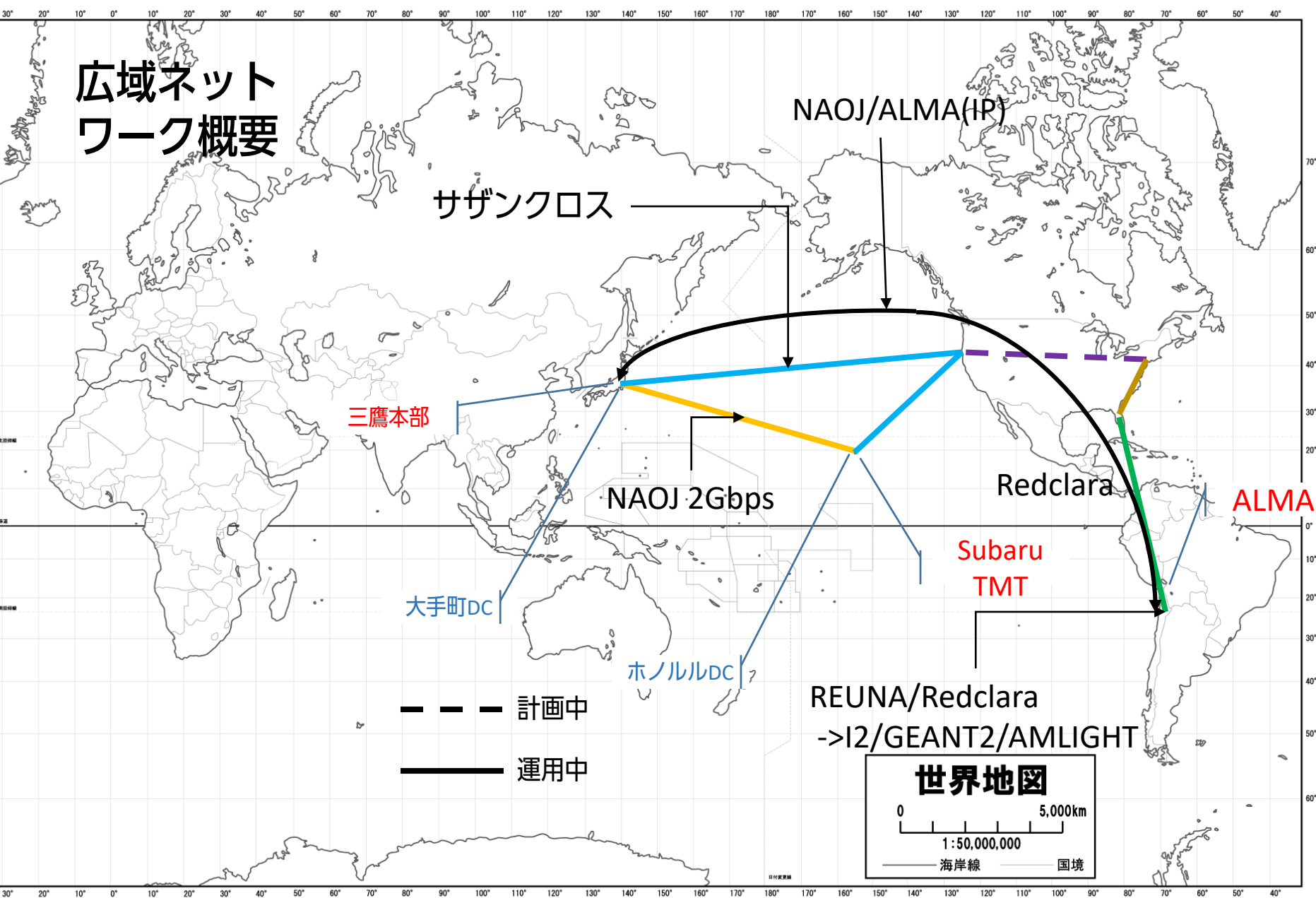
一般回線

SINET4 10Gbps

Otemachi DC

HPC subsystem
Cloud system

広域ネットワーク概要



多重防御機構 Multiple Layer Defense

ファイヤーウォール

Application / Deep inspection firewall

IPS: Intrusion prevention system

Contents block based on NAOJ

Acceptable Use Policy

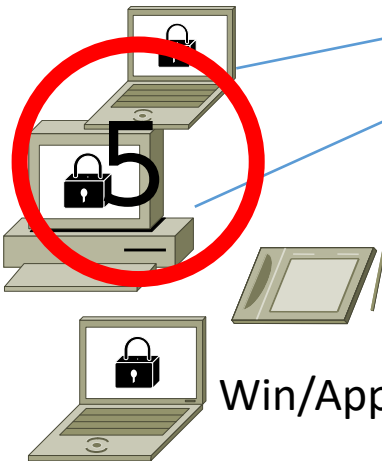
ターゲッティング攻撃検知
シミュレーション攻撃

脆弱性調査

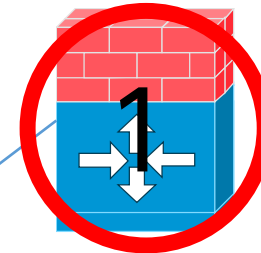
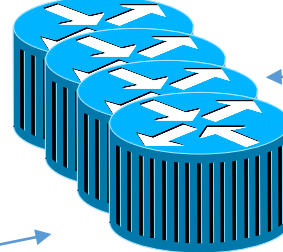
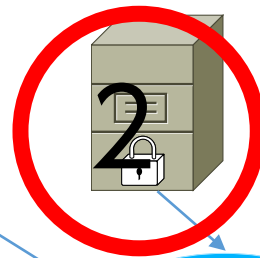
リスクマネジメント



エンドコンピュータ向け
プロテクション



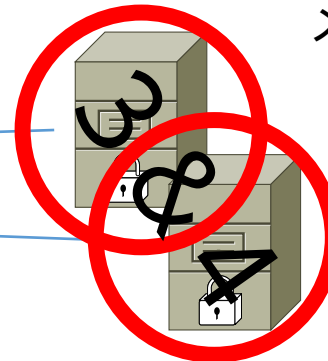
Win/Apple/Linux



Internet

メール防御

2重・3ベンダー
の方式でフィルタ

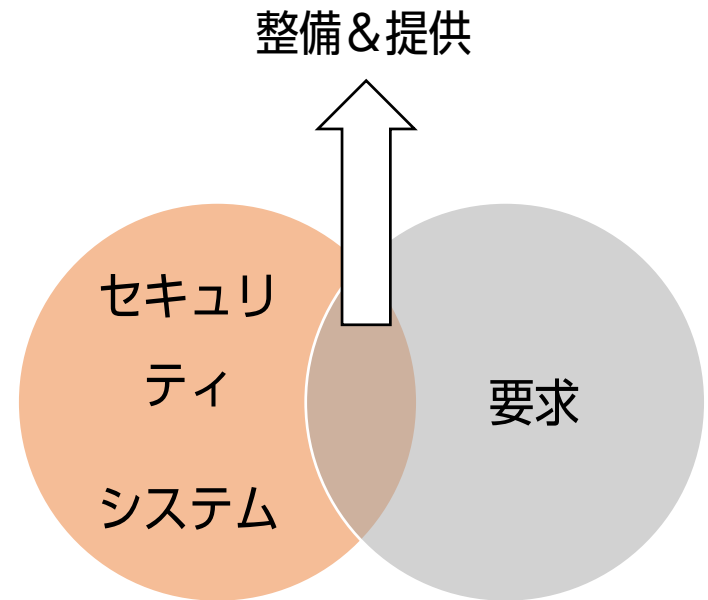
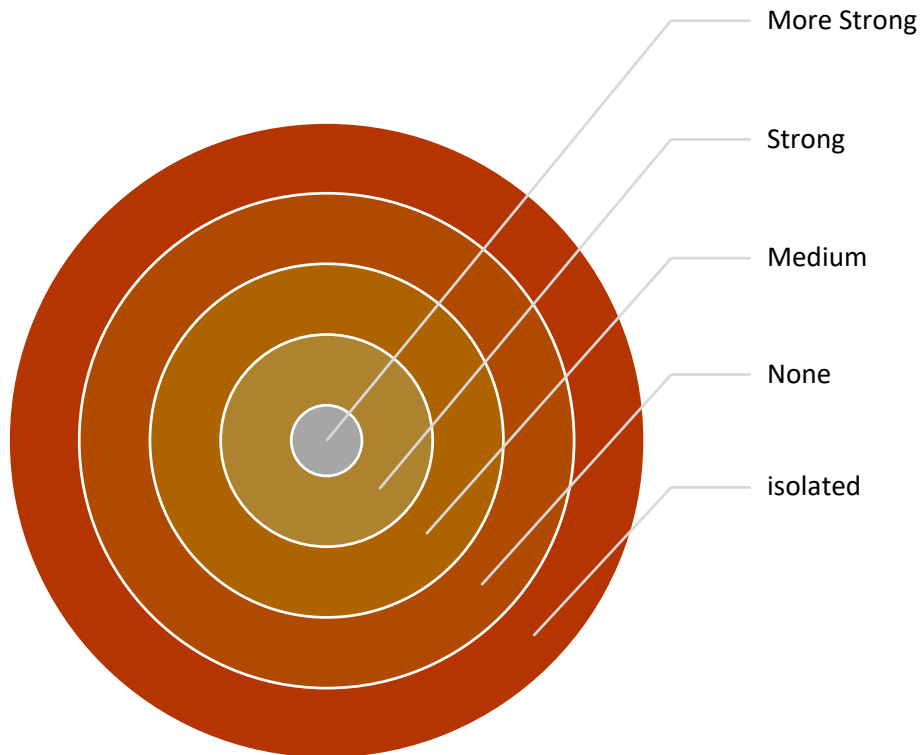


Mail traffic is filtered by 5 different vendor security system.

多層防御機構

Multiple Zoning defense

- ゾーニングによりシステムの分離
- 厳しい制限（防御重視）からなし（速度重視）、隔離



国際協力と連携

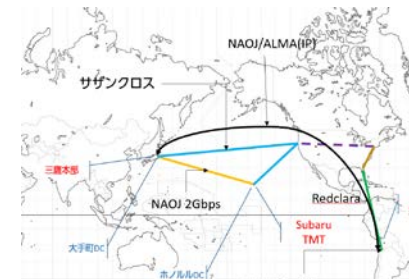
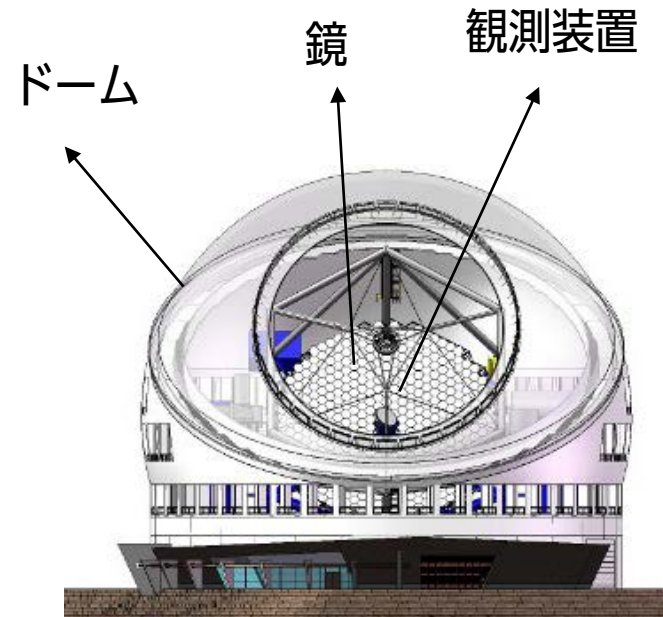
•大型観測装置における国際連携

•各国からのコミットメント

- 本体
- 観測装置
- 計算機・ネットワーク

→コミットに応じた観測時間の確保

国を挙げての連携がコミットにつながる



ネットワーク



アーカイブ・公開

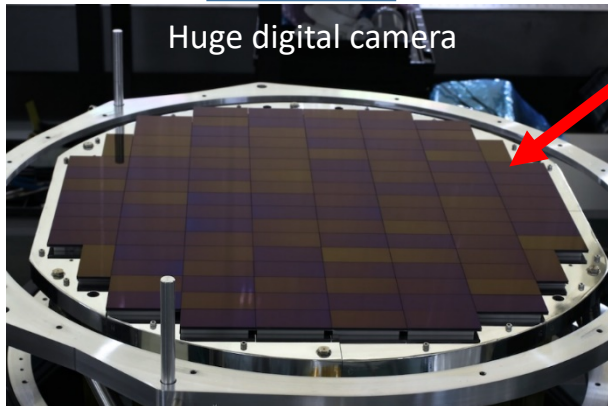
天文学の今に見る広帯域通信処理の 必要性

HSC : Making a revolutionary scientific discovery

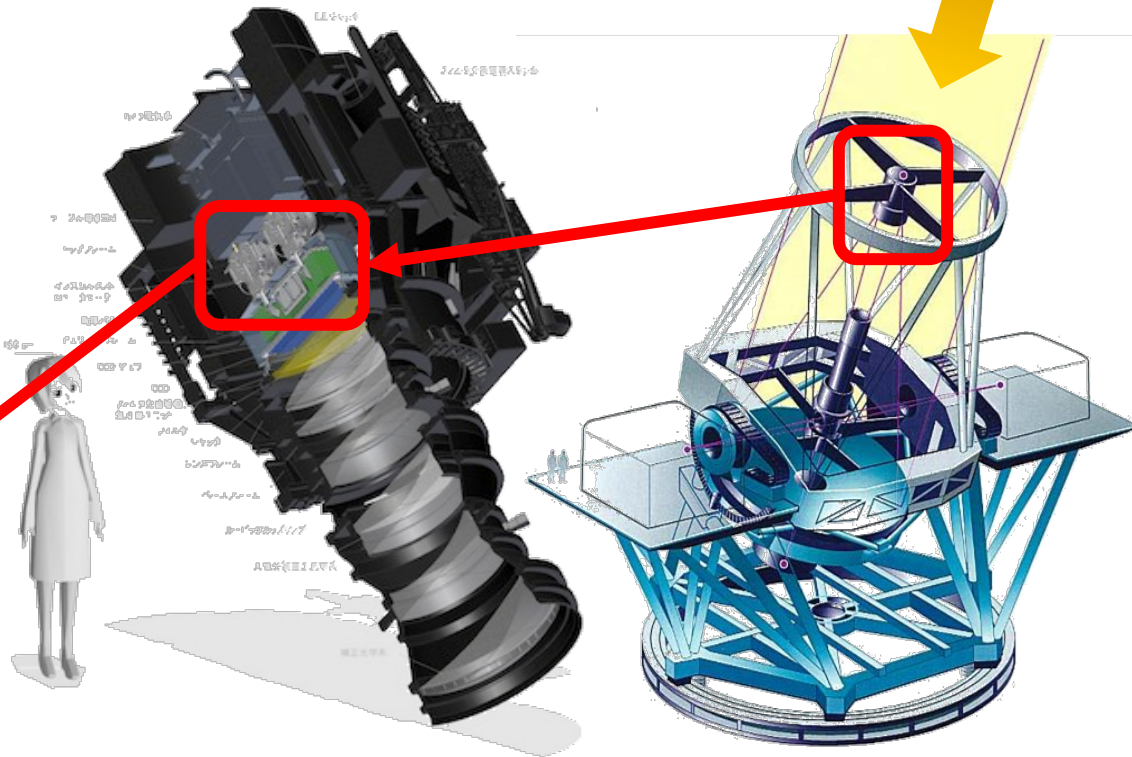
- ・ アーカイブ
- ・ 解析
- ・ 公開

↑
ポスト処理 (計算量大)

↑
Huge digital camera



高感度冷却CCD x 112
870Mピクセル(8.7億)
2GByte/shot



Subaru Telescope

HSC: Hyper-Suprime-Cam
超高視野角の撮像が可能

NS-04 ATERUI Super computer system(HPC)

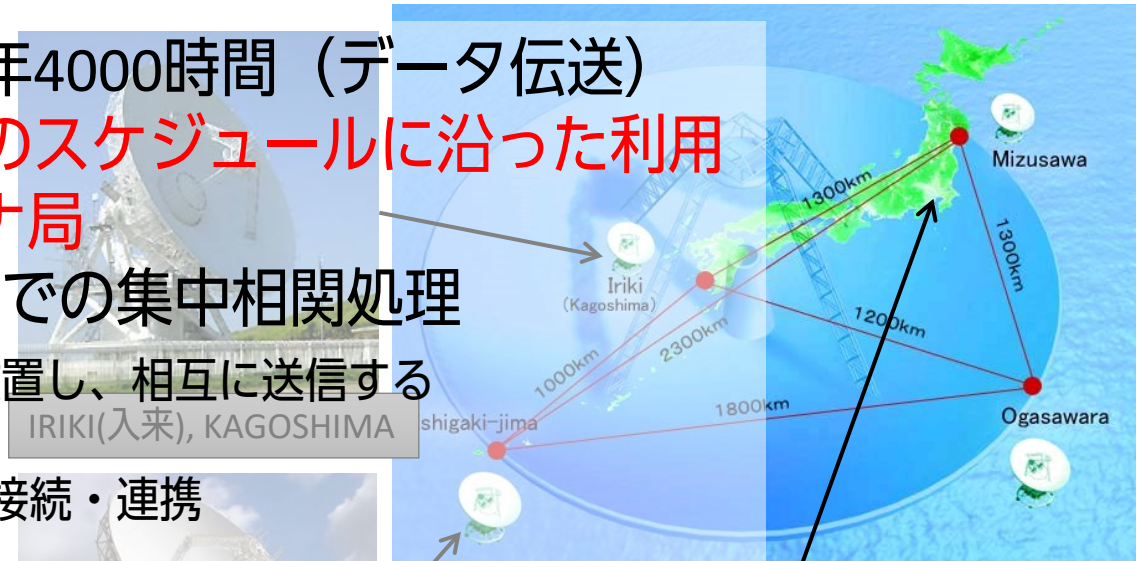
- アテルイ：1TFlops 天文学専用
 - Cray XC-30
 - 本体と一時ストレージは岩手県の水沢地区に整備
- 専用・汎用計算機・恒久ストレージ
 - 汎用クラスタPC / GRAPE系
 - 三鷹地区に整備
- ジョブデータと計算結果が水沢・大手町・三鷹間でやり取りされる。
 - ジョブタイムは、最大8時間



VERA: VLBI Exploration of Radio Astrometry

天の川の3D地図を作る

- 平均**8時間**の観測・年4000時間（データ伝送）
- 1か月前ではほぼ**確定のスケジュールに沿った利用**
- **1G-10Gbps/アンテナ局**
- 相関局（の相関器）での集中相関処理
（アンテナ局に相関器を設置し、相互に送信する分散相関処理もある）
- 国内外の他VLBI施設と相互接続・連携



ISHIGAKIJIMA(石垣島), OKINAWA

Correlation center

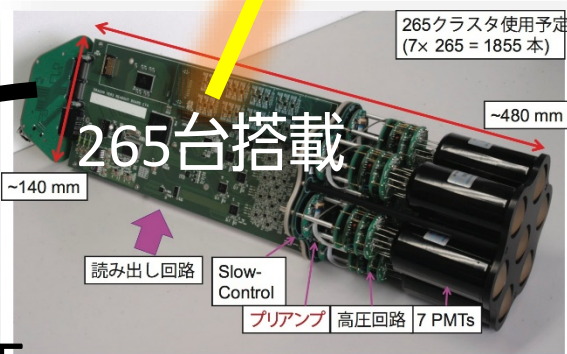
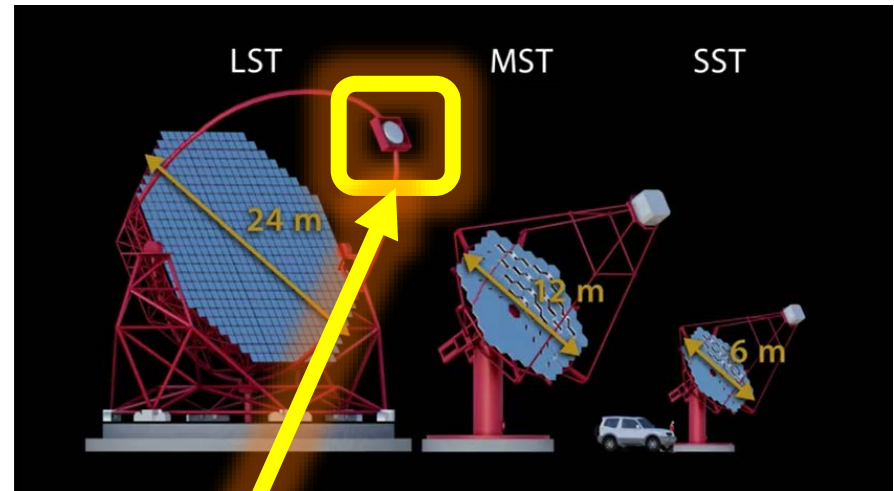


MITAKA(三鷹), TOKYO

望遠鏡（山口・茨城・他）

ガンマ線望遠鏡 LST (Cherenkov Telescope)

- 検出モジュールから観測データが出力
 - モジュールは1GbEを装備
 - 1台のLSTに 265台搭載
- 観測データを集約して観測する
 - 40Gbps~の処理帯域が必要



光検出器
信号読出し回路

GbE I/F

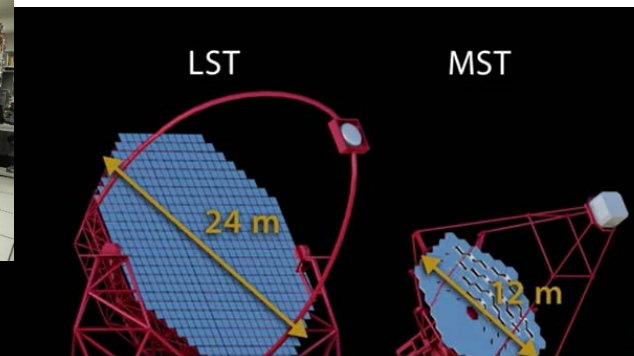
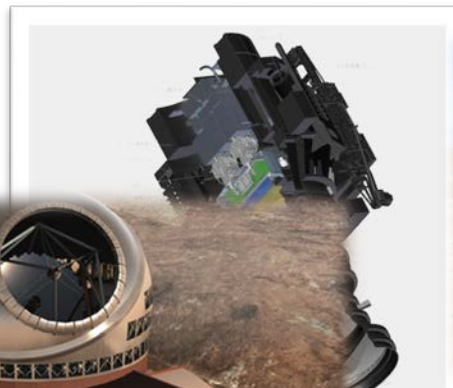
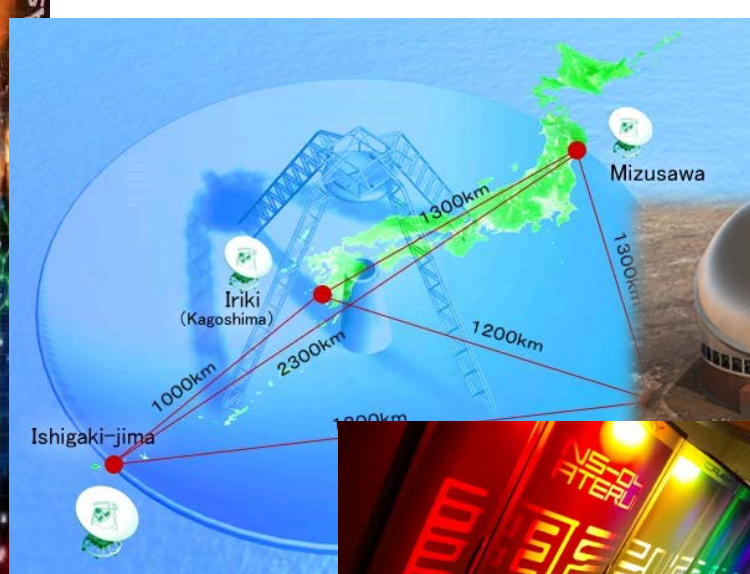
出典: 東京大学宇宙線研究所
<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/~cta/research.html>

これからの天文学＋ネットワークの 面白いこと

広帯域処理の容易化、ネットワークの広帯域化が開く未来

費用対効果の高いアプリケーション開発 ができる

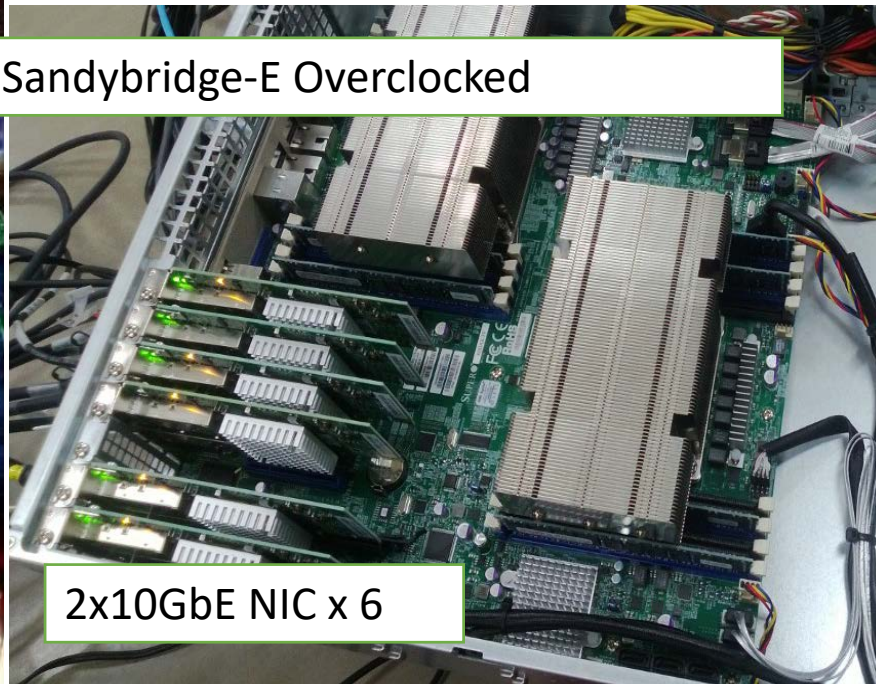
- 広帯域をアプリケーションの実装開発コストの低下
 - 100Gbps/200Gbps級のアプリケーション実装
 - 専用機からx86の活用へ
 - 企業・研究所・大学が参画した「高速PCルータ研究会」の活動



実装例) ULTRA200 連雀(Renjyaku)

- ULTRA 200 hardware based on SandyBridge-E Overclocked model.
 - 12 ports x 10GbE SFP+ interface or 4 ports x 40GbE
- Based on Linux Kernel : CentOS 6.4
 - Kernel TCP/IP stack on Kernel has been offloaded on NIC using offloading hardware on NIC
 - Intel DPDK

Sandybridge-E Overclocked



2x10GbE NIC x 6

Renjyaku+ / Intel DPDK

TX performance : 1Core- 1Port
 2.8GHz (E5-2680) 10C
 Port1 : 23.2Mpps / 64byte
 Port2 : 23.2Mpps / 64byte



PC
CPU1

Intel XL710

40GbE-X

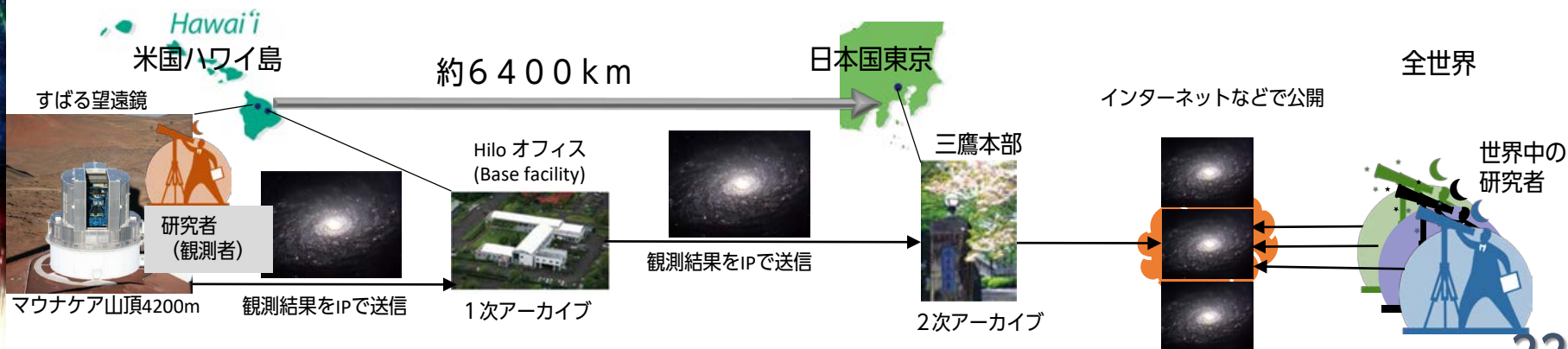
40GbE-X

L2/L3SW

PCI-E3.0x8 in #1PCI-E Slot

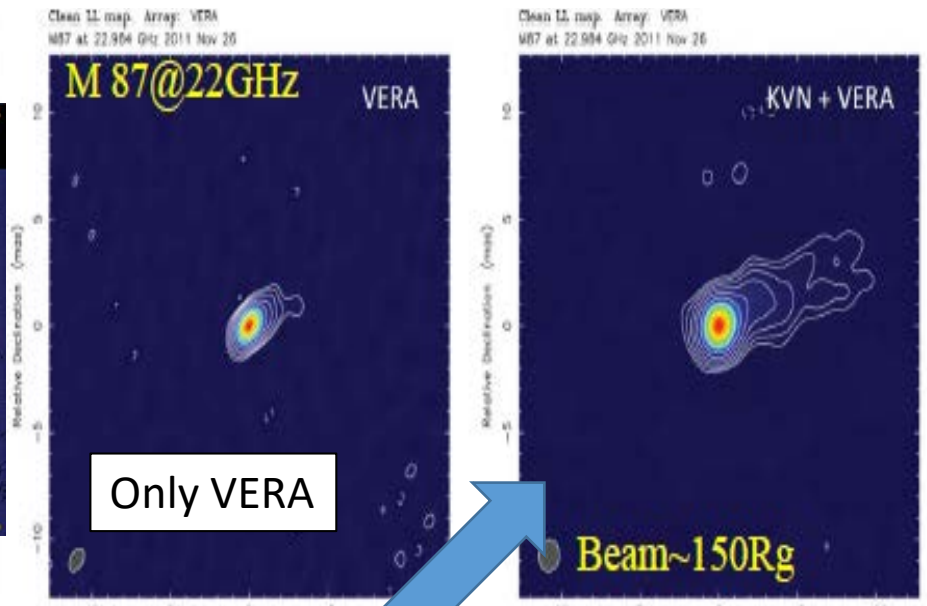
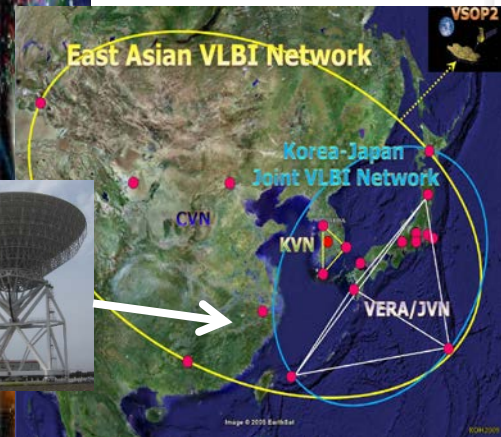
1) 観測データのアーカイブと公開

- 各観測システムでの観測データは、アーカイブ、後に公開
 - 貴重な観測結果を各所に伝送（地理的に分散）し、アーカイブ
 - 望遠鏡を利用する研究者が天体・観測方法を定め観測する
 - データは基本的に消さない
 - アーカイブされた観測データを世界中の研究者が異なる視点で再活用
 - アーカイブを利用した天文観測という分野
 - ALMA：リージョンごとに構築されるデータ公開システムの設計と運用
- → ネットとストレージの活用が天文学の発展を支える

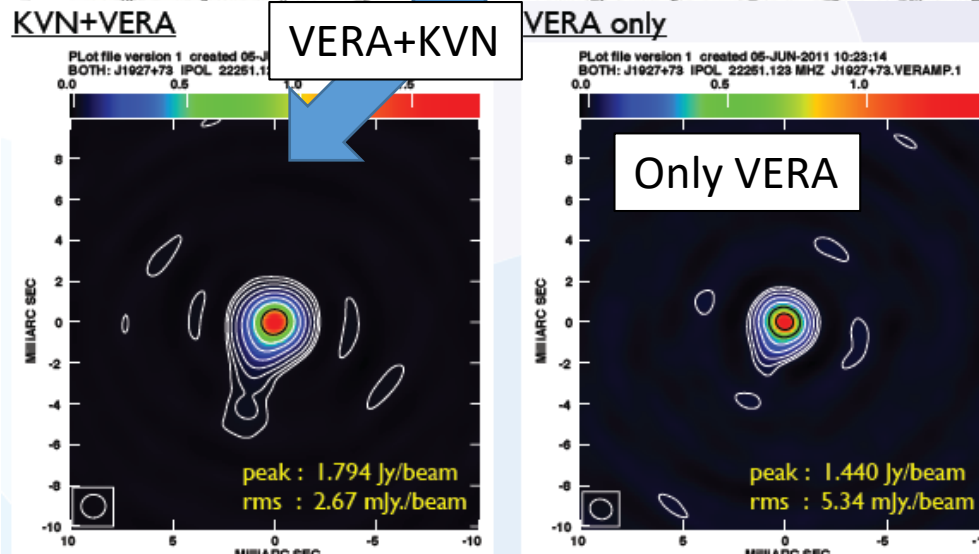


2015/2/3

2) ネットワークで結べば性能アップ Better Imaging Capability



M87 Jet can be clearly seen in the right side figure which was taken with a joint array of KVN and VERA. (Reported by Kino and Niinima)



The southern elongated jet of the J19 27+73 is clearly seen with VERA+KVN (Left), Identification of the Jet is difficult (Right). (Reported by Sawada-Sato)

3) 計算資源とストレージとネットワークの連携

科学者と社会をつなぐ

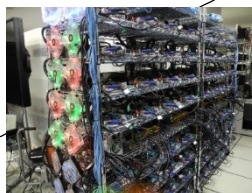


計算資源
Post processing
QC判定と可視像生成

NICT / JGN-X StarBed



Mitaka HQ



ネットワーク

RAWデータ

遠隔観測

観測

Real-time Universe Viewing

大阪

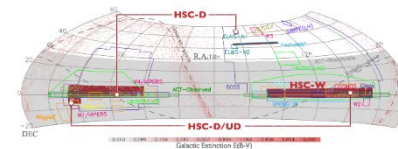


Figure 11: The location of the HSC-Wide, Deep (D) and UltraDeep (UD) fields on the sky in equatorial coordinates. A variety of external data sets and the Galactic dust extinction are also shown. The shaded region is the region accessible from the CMB polarization experiment, ACTPOL, in Chile.

さいごに

(ネットワーク・クラウド技術の観点から)

- 国立天文台、参画する国際プロジェクトで科学的成果を出すために
 - 国内外を問わず活用可能なR&Dネットワークと連携していきます。
 - 必要に応じて広域回線の自営整備を進めます。
 - 企業・研究所・大学と連携した費用対効果の高い通信処理機構の研究開発をすすめます。
 - 計算・ストレージ・データ公開を通して、クラウドデザインから運用で得られた知見の公開を進めます。

➡ 大型観測装置・計算機・研究者、
そして、社会をつなぐ ”役に立つ” 研究開発の実現