

# EISCATおよびEISCAT\_3Dレーダーで 拓く極域大気・ジオスペース研究

Study on polar atmosphere and space environment  
opened by EISCAT and EISCAT\_3D radars

宮岡 宏<sup>1</sup>、野澤 悟徳<sup>2</sup>、小川 泰信<sup>1</sup>、大山 伸一郎<sup>2</sup>、藤井 良一<sup>2</sup>、中村 卓司<sup>1</sup>、C.Heinselman<sup>3</sup>

<sup>1</sup>国立極地研究所 <sup>2</sup>名古屋大学太陽地球環境研究所 <sup>3</sup>EISCAT科学協会

H. Miyaoka<sup>1</sup>, S. Nozawa<sup>2</sup>, Y. Ogawa<sup>1</sup>, S. Oyama<sup>2</sup>, R. Fujii<sup>2</sup>, T. Nakamura<sup>1</sup> and C. Heinselman<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *National Institute of Polar Research*

<sup>2</sup> *Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University*

<sup>3</sup> *EISCAT Scientific Association*





# EISCAT Mainland Radars

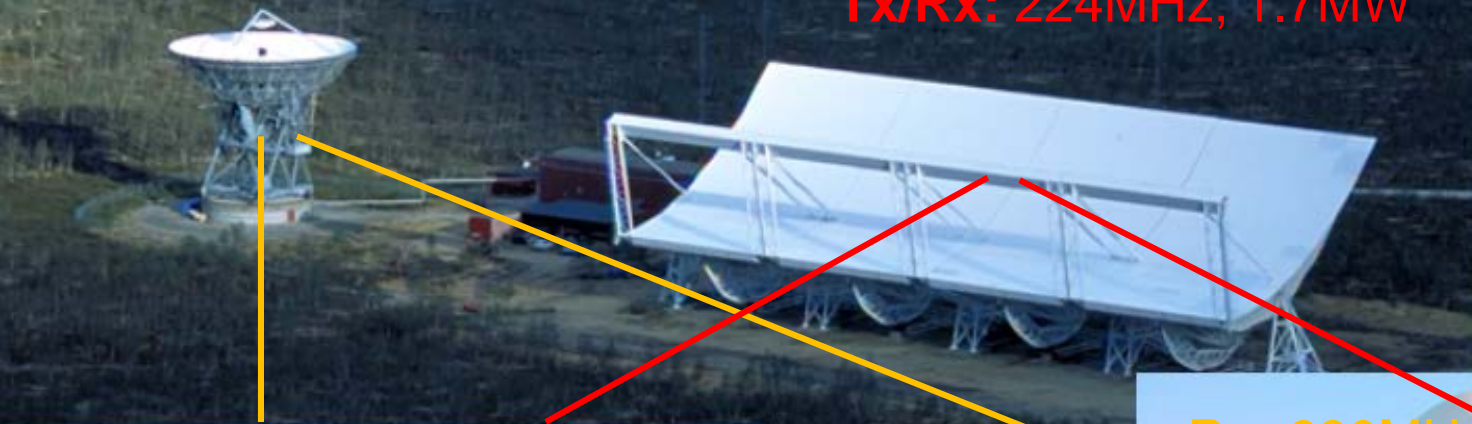
## Tromsø, Norway : Core Site

**Tx/Rx:** 930MHz, 1.7MW

**Tx/Rx:** 224MHz, 1.7MW



**Upgrade of Mainland Radar (EISCAT\_3D) Mainland**



**Rx:** 930MHz, 224MHz

**Rx:** 930MHz, 224MHz

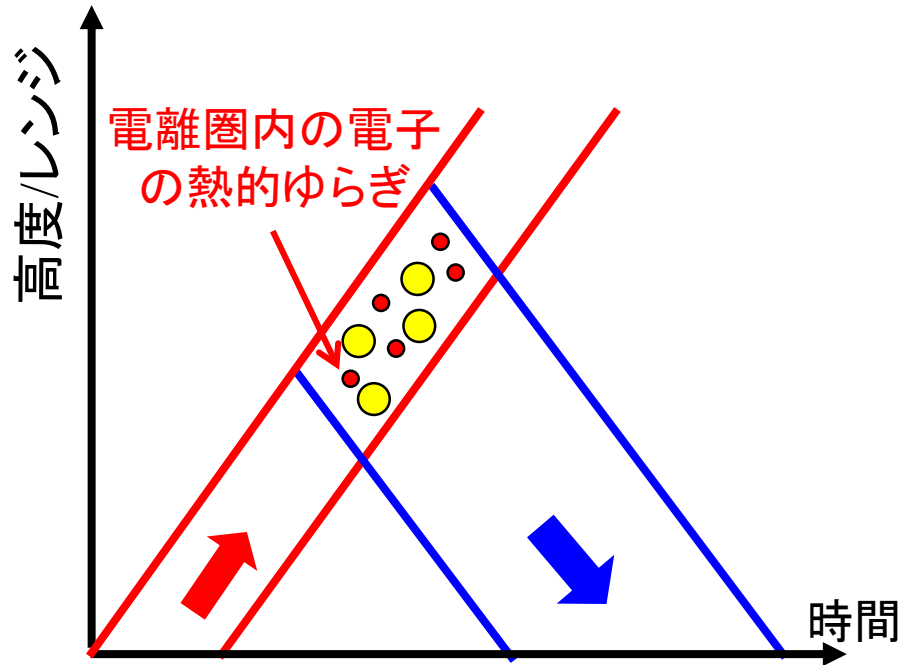


**Kiruna, Sweden**



**Sodankylä, Finland**

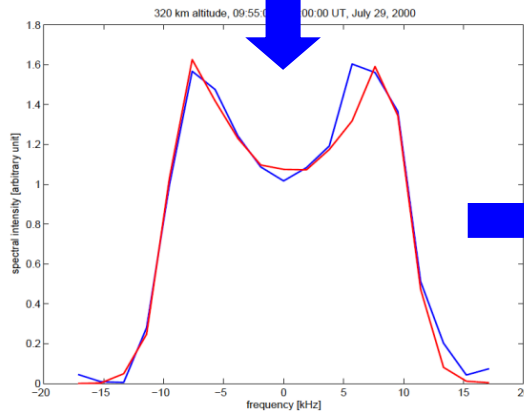
# EISCATレーダーによる非干渉散乱観測



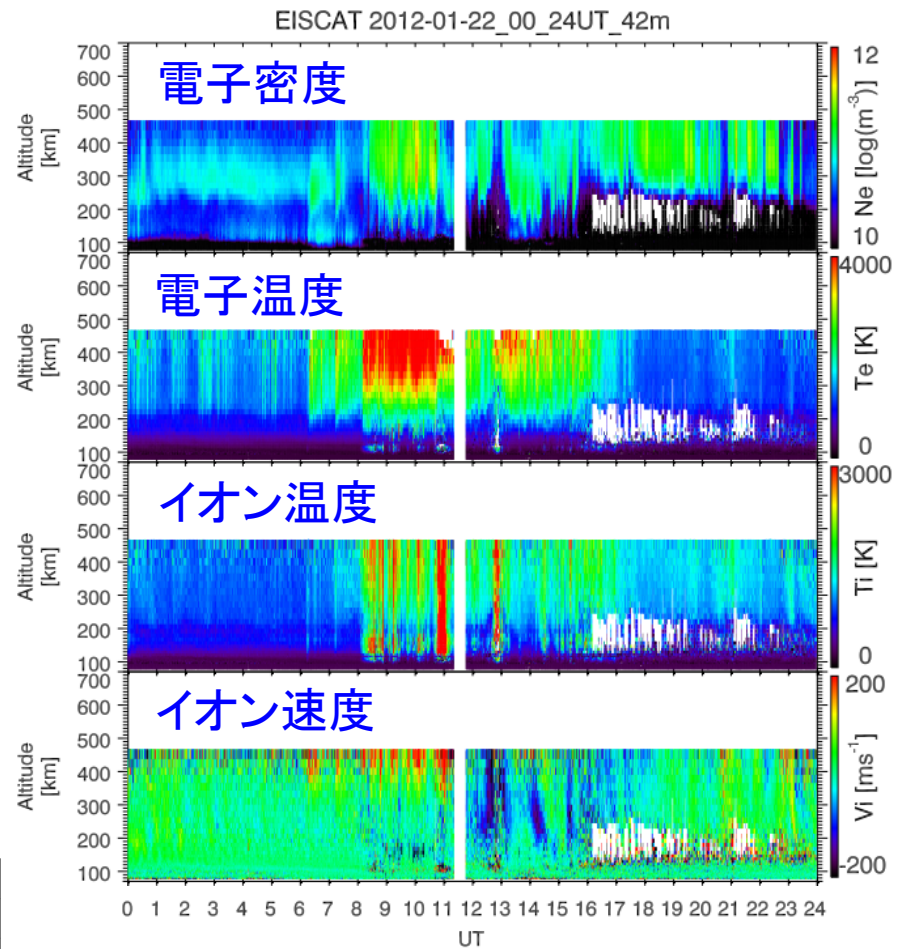
高出力(1MW)のUHF/VHF帯パルス状電波を送信

非常に微弱な信号( $10^{-16}$  W)を受信

非干渉散乱(IS)スペクトルを測定。  
スペクトルフィッティング



— 観測値  
— フィッティングの結果



- 高度約70-1000 kmにおける電子密度や電子/イオン温度、イオン速度を導出。
- さらに経験モデルなどを組み合わせて、電離圏電流、電気伝導度、電離圏電場、下部熱圏中性風速を導出。

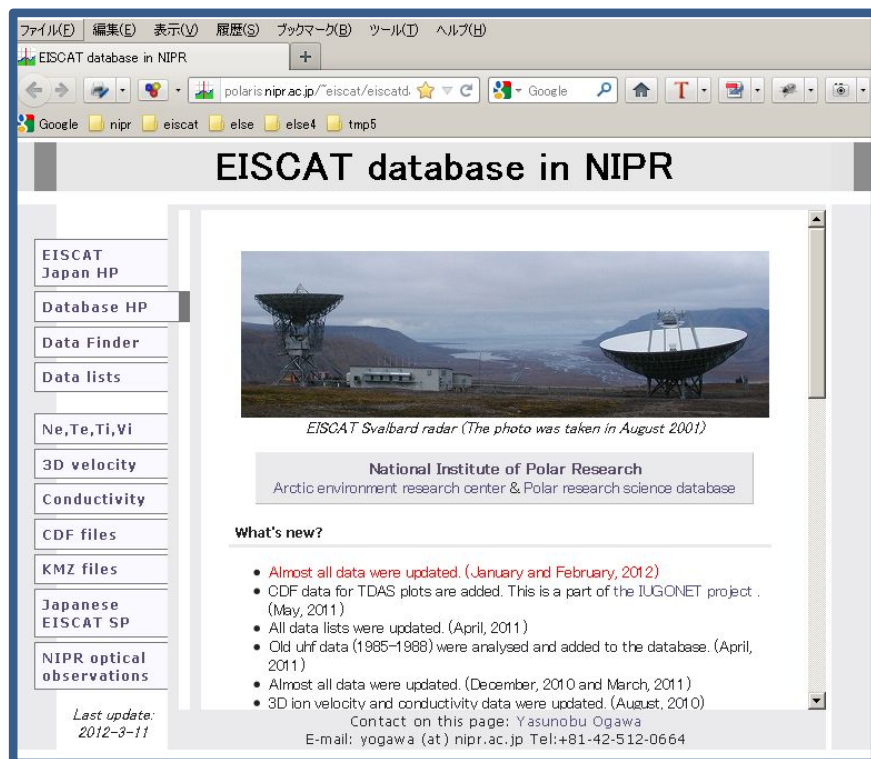


# EISCAT database in NIPR

Uniform and user-friendly database is essential for study of long-term trends and collaborations with other ground-based observations.

EISCAT database has been developed to make users accessible on the web:

<http://133.57.20.115/www/eiscatdata/>



To make the database, we use:

➤ **4 Workstations**

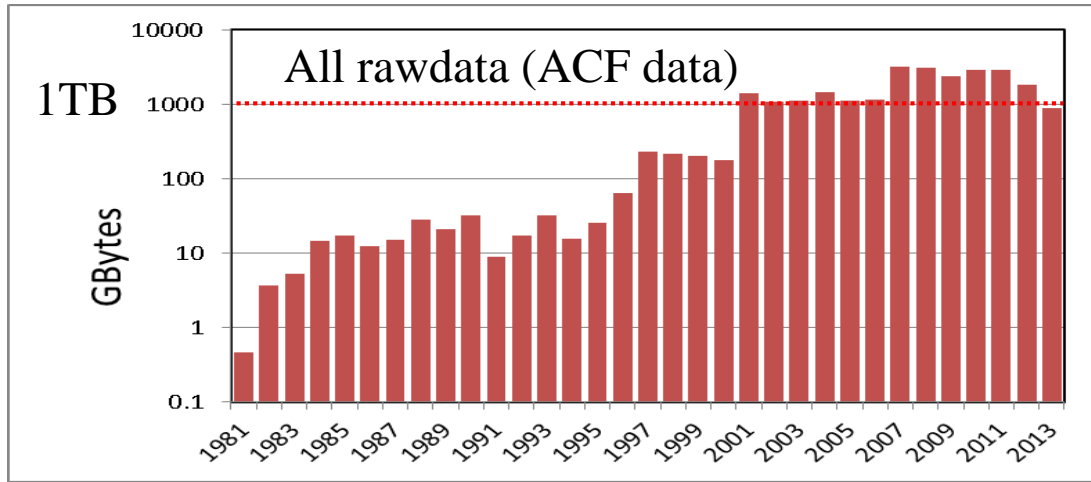
(CPU: Dual Xeon or Core i7)  
for data analysis, web server,  
and license server

➤ **20 NAS** (7 or 8 HDDs each,  
RAID5/6/10, Gigabit Ethernet),  
as file servers.

**Data storage capacity:**  
~200TB in total

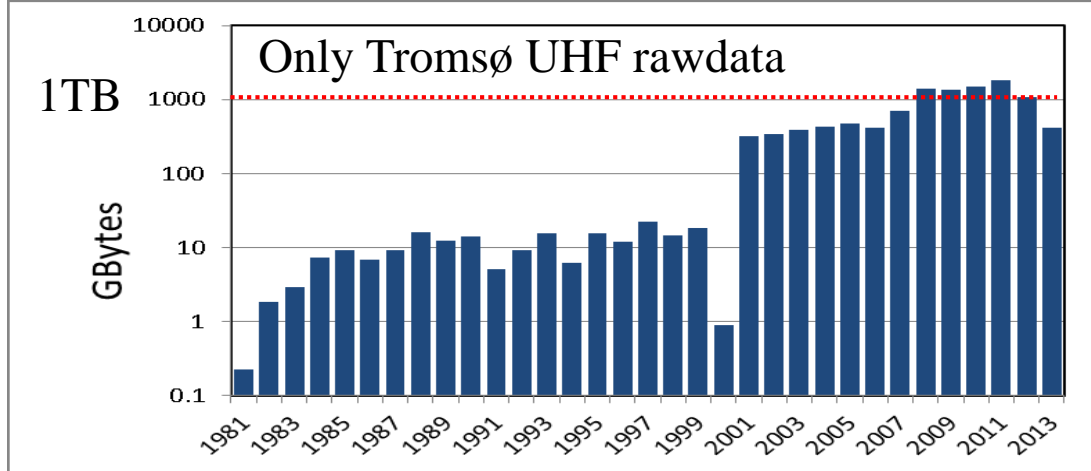
- KST UHF/VHF radar data : 1981-2015
- EISCAT Svalbard radar data: 1996-2015  
(Ne, Ti, Te, Vi, E-field, Conductivities,...)

# Volume of EISCAT data



EISCAT rawdata (-2015):  
~42 TB (~38 TB in NIPR)

EISCAT analysed data  
(-2015): ~6 TB in NIPR



*As a reference:*  
*NIPR optical and radio wave*  
*data at TRO/LYR (2010-):*  
*~50 TB in total*

Rawdata volume of EISCAT for Sep. 1981 - April 2013.  
(Note: Only CP and SP(NI) data in 2012 and 2013)

- Total volume of Tromsø UHF rawdata (ACF data) in 2011: ~2 TB
- EISCAT\_3D (continuous run (x ~4) & multi-beam (x ~50)): ~400 TB/year ?

# Search and visualization on EISCAT database

<http://133.57.20.115/www/eiscatdata/>

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) 履歴(S) ブックマーク(B) ツール(T) ヘルプ(H)

EISCAT database in NIPR

polaris.nipr.ac.jp/~eiscat/eiscatd.

Google nipr eiscat else else4 tmp5

## EISCAT database in NIPR

EISCAT  
Japan HP

Database HP

Data Finder

Data lists

Ne,Te,Ti,Vi

3D velocity

Conductivity


**CDF files**

KMZ files

Japanese  
EISCAT SP

NIPR optical  
observations

Last update:  
2012-3-11



EISCAT Svalbard radar (The photo was taken in August 2001)

National Institute of Polar Research  
Arctic environment research center & Polar research science database

What's new?

- Almost all data were updated. (January and February, 2012)
- CDF data for TDAS plots are added. This is a part of the IUGONET project. (May, 2011)
- All data lists were updated. (April, 2011)
- Old uhf data (1985-1988) were analysed and added to the database. (April, 2011)
- Almost all data were updated. (December, 2010 and March, 2011)
- 3D ion velocity and conductivity data were updated. (August, 2010)

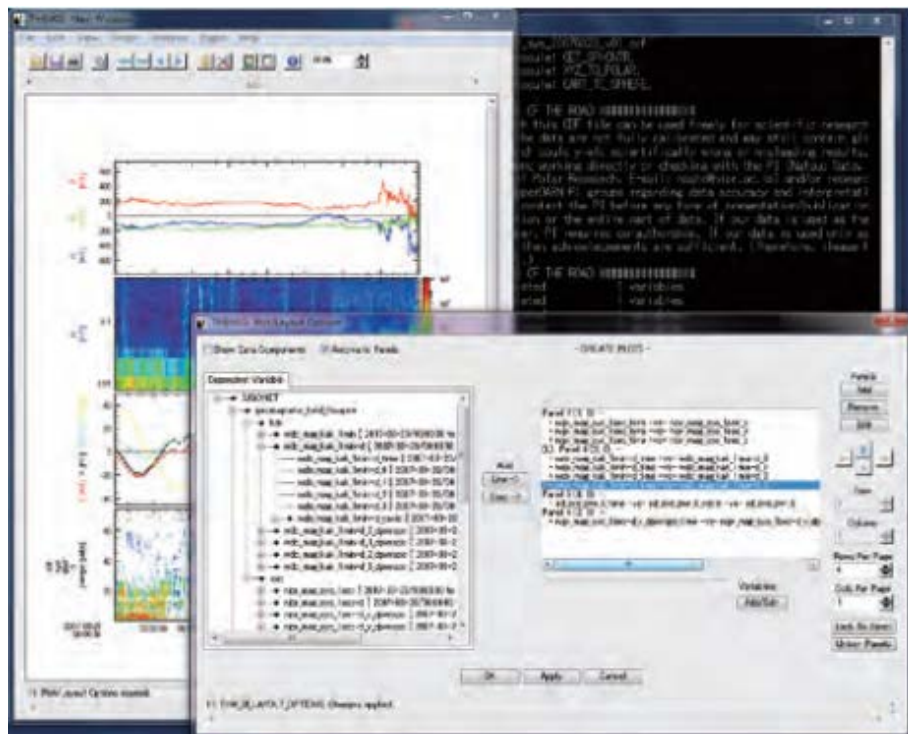
Contact on this page: Yasunobu Ogawa  
E-mail: yogawa (at) nipr.ac.jp Tel:+81-42-512-0664

CDF format files  
for  
IUGONET

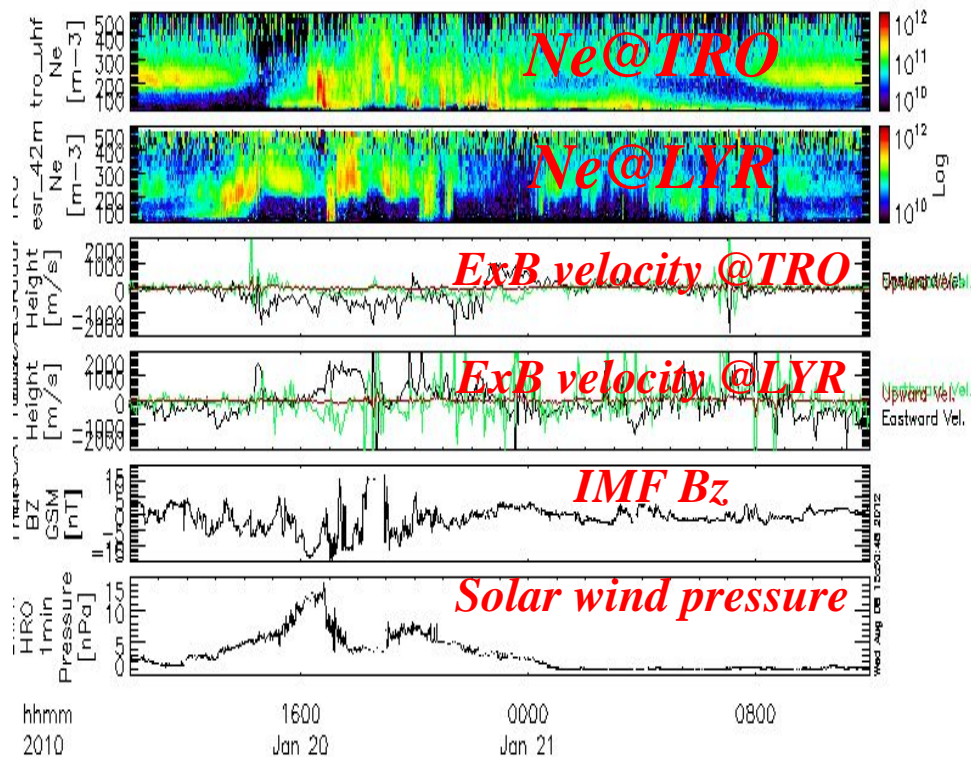
# UDAS of IUGONET

<http://www.iugonet.org/en/>

The IUGONET developed an integrated analysis system known as “**UDAS**,” which provides **time-series plots and an analysis of various ground-based observation data**. UDAS has been released and can be downloaded from website.



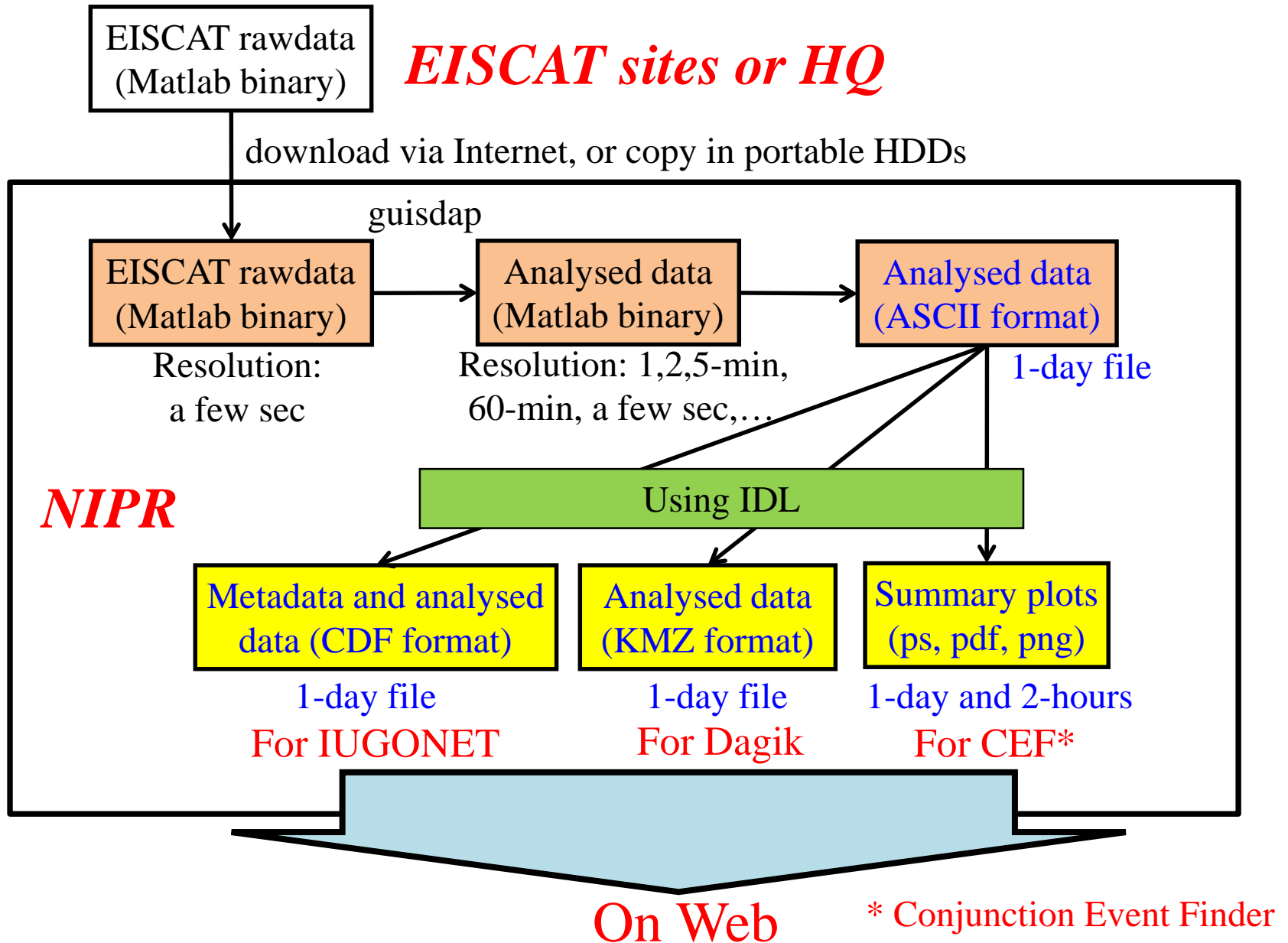
TDAS/UDAS-GUI tool (IUGONET leaflet)



An example of CUI plots of EISCAT and other data using TDAS/UDAS

TDAS/UDAS consists of **CUI and GUI tools**. The GUI tool (works on a **free IDL Virtual Machine**) provides an intuitive operation for IDL beginners. The free IDL Virtual Machine allows **any users without a paid IDL license to use the GUI tool**.

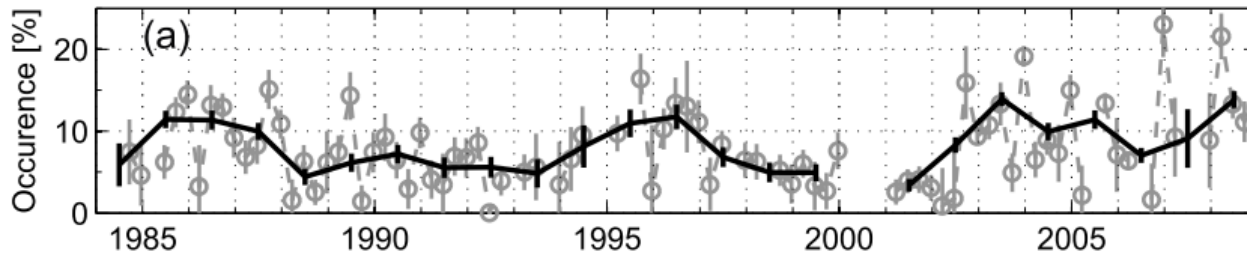
# Procedures for database building



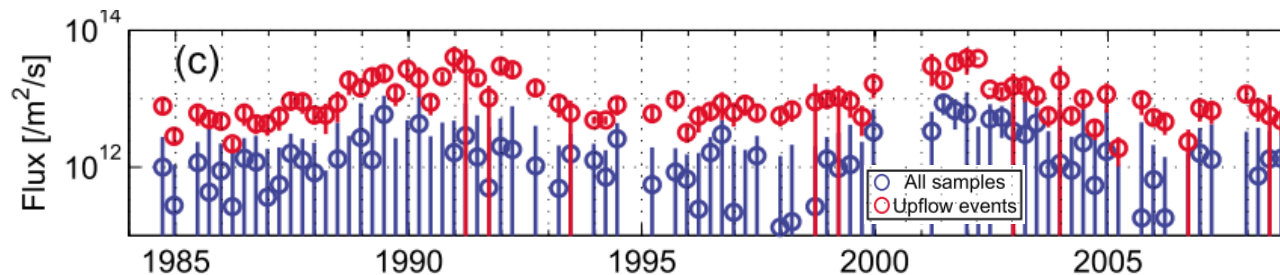


# 極域イオン上昇流の太陽活動度依存性

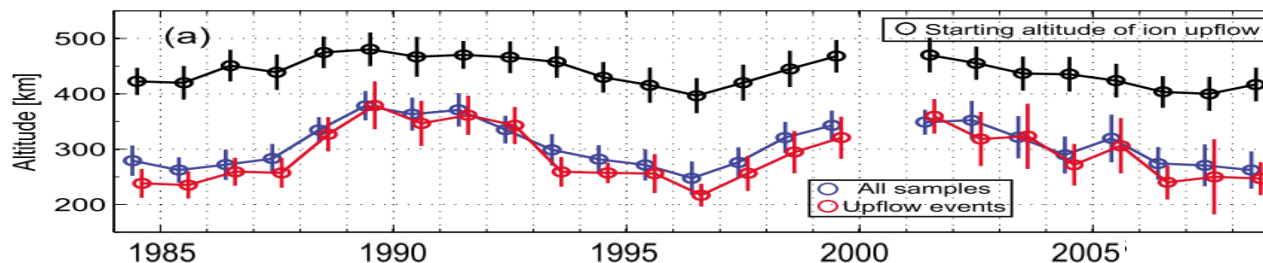
[Ogawa et al., *JGR*, 2010]



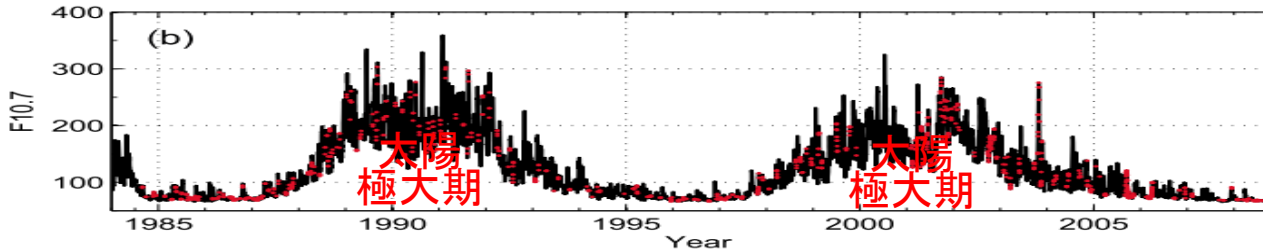
イオン上昇流の  
発生頻度



イオン上昇流のフ  
ラックス



イオン上昇流の  
発生開始高度



太陽活動度指数

太陽活動は、熱圏中性大気密度や温度、電離圏高度、電離圏イオン-中性粒子間の衝突頻度に変化をもたらすことにより、イオン上昇流の長期的な特性にも影響を及ぼす。惑星大気の長期的な変遷を理解する上でも重要。

# 超高層大気の長期変動

極域の超高層大気(高度300km)が、10年で約14度の割合で寒冷化している。

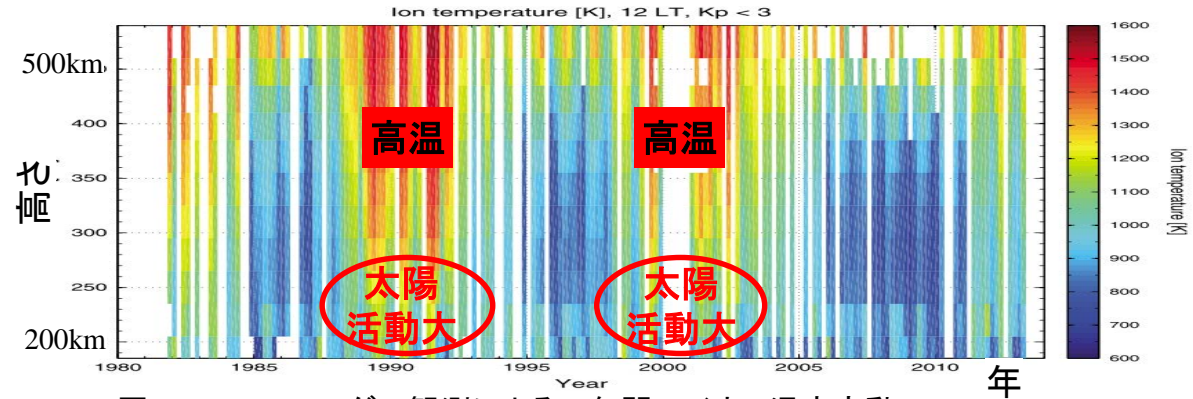
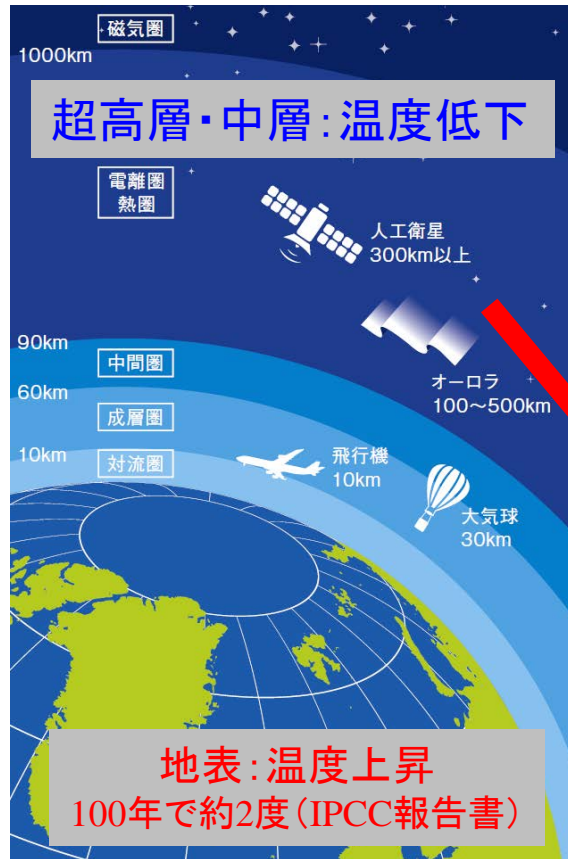


図1: EISCATレーダー観測による33年間のイオン温度変動。  
超高層大気の温度は、太陽活動の影響を受けて変動している。

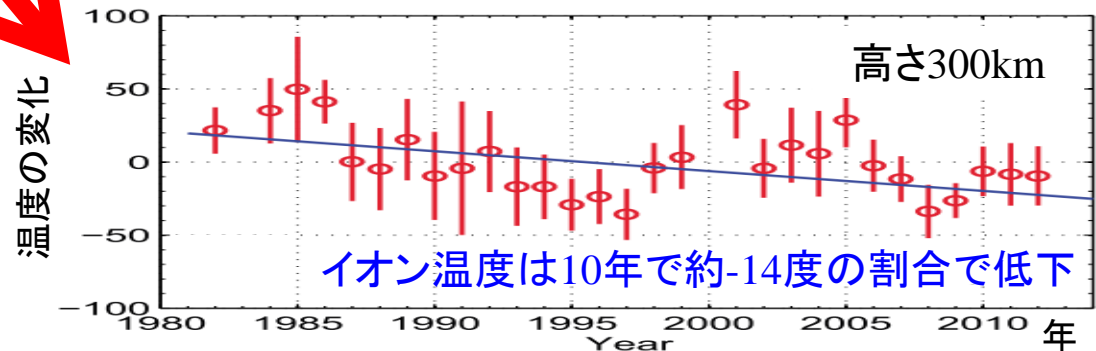


図2: 太陽活動の影響を取り除くことで明らかになったイオン温度の長期変化  
極域の超高層大気が33年間に渡り冷えつつあることが分かる。

[Ogawa et al., *GRL*, 2014]

この成果は、超高層大気中を飛行する人工衛星軌道への影響の理解や  
気候変動の理解に貢献。

# EISCAT's IPY measurement at Svalbard

March 2007 - March 2008 - March 2009

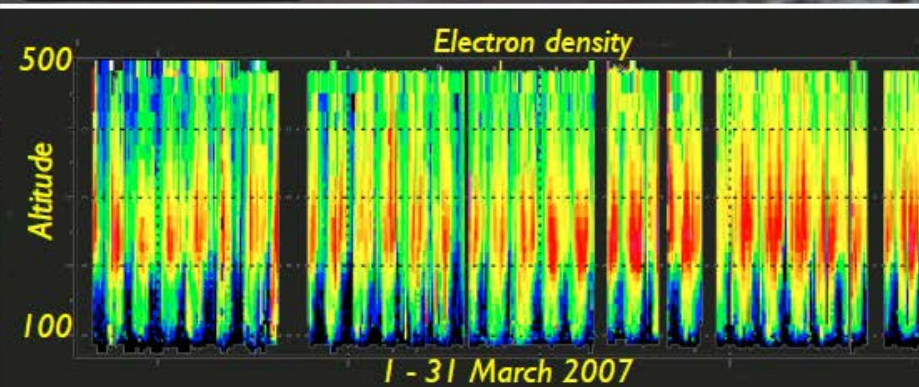
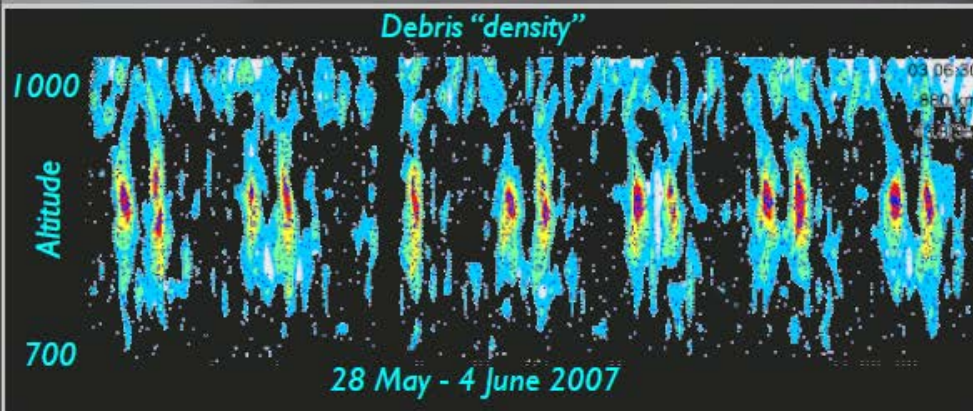
Latitude 78.15 N  
Longitude 16.0 E  
Altitude 440 m

32m steerable  
dish

Space debris  
receiver

Standard  
receivers

42m fixed,  
elevation 82  
azimuth 181  
dish





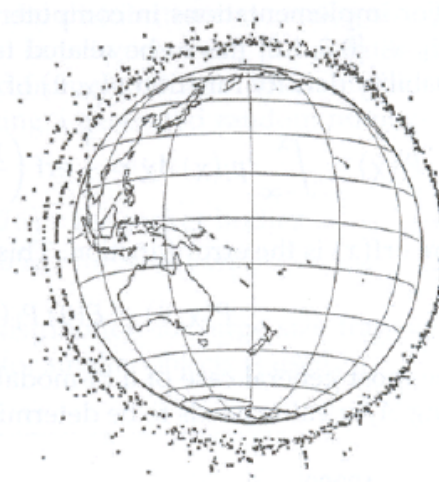
# Spreading of debris after a typical fragmentation event (model calculation)

Assumed: Spherically symmetric breakup on an altitude 800 km, inclination  $98.7^\circ$  orbit.

Source: H. Klinkrad, Space debris, Models and Risk Analysis, p. 72.

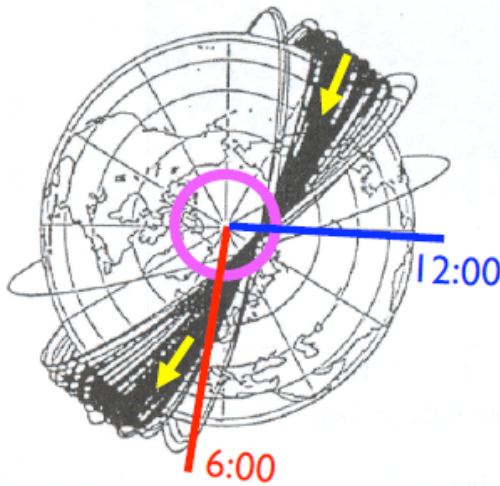


after 1 orbit

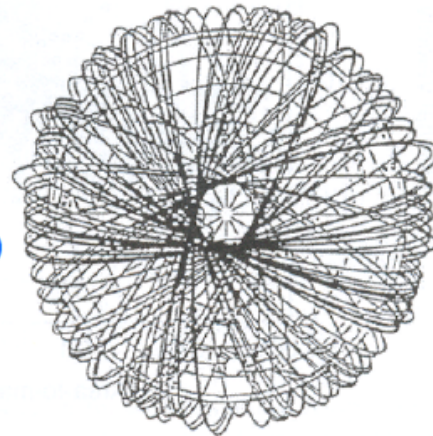


after 20 orbits

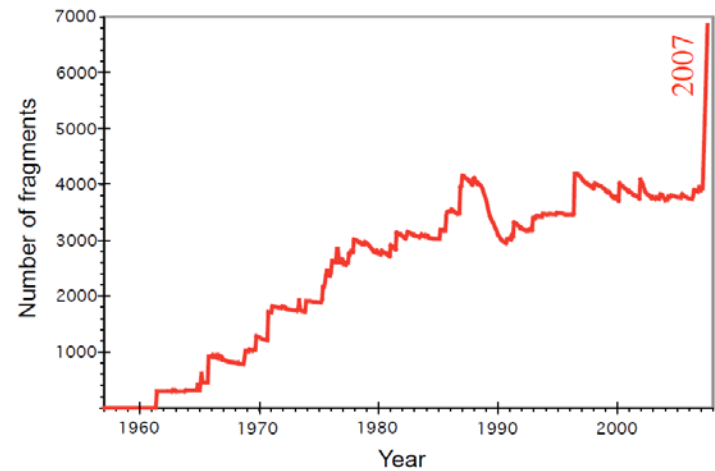
## Number of catalogued fragmentation objects



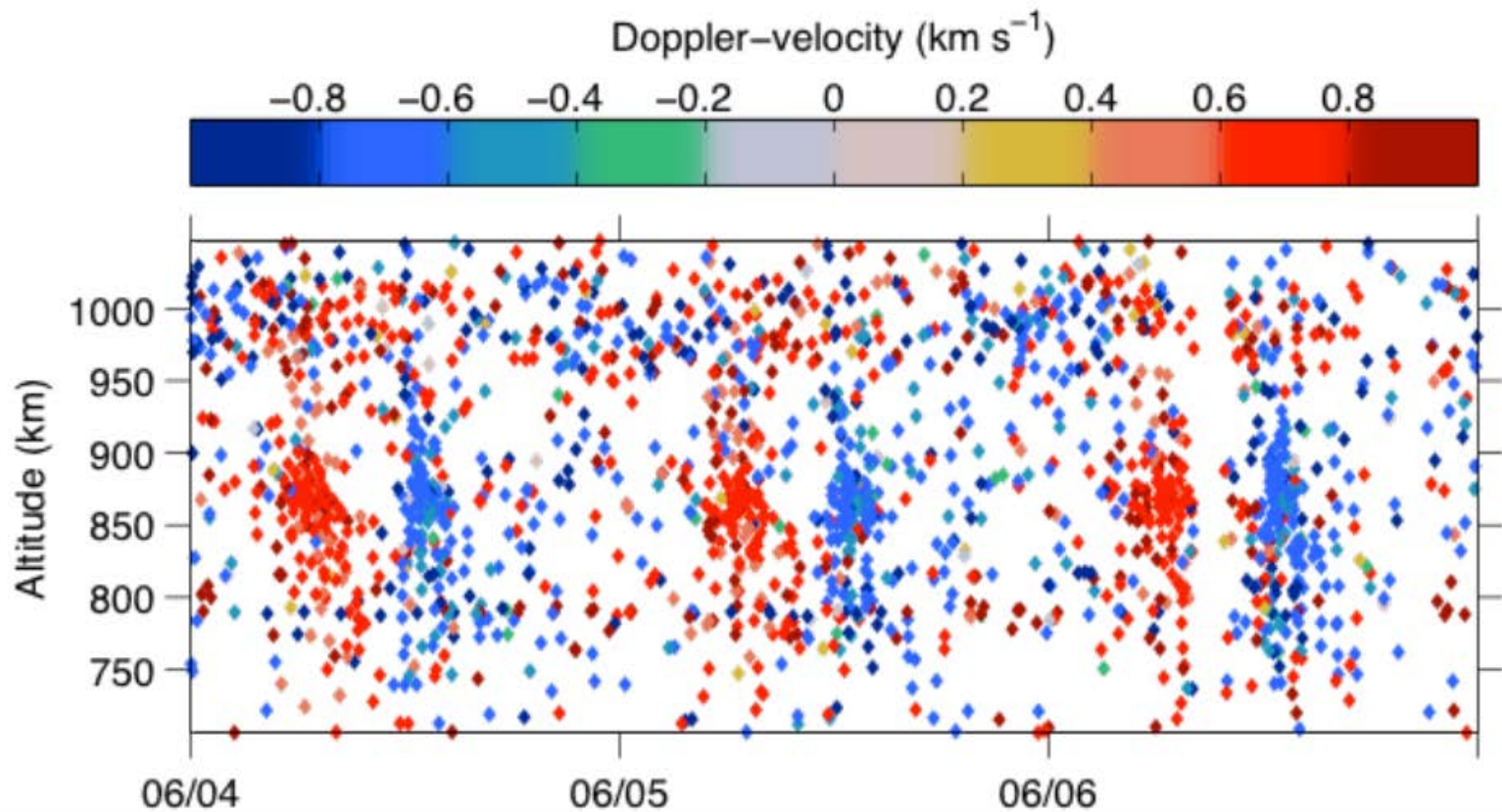
after 3 months



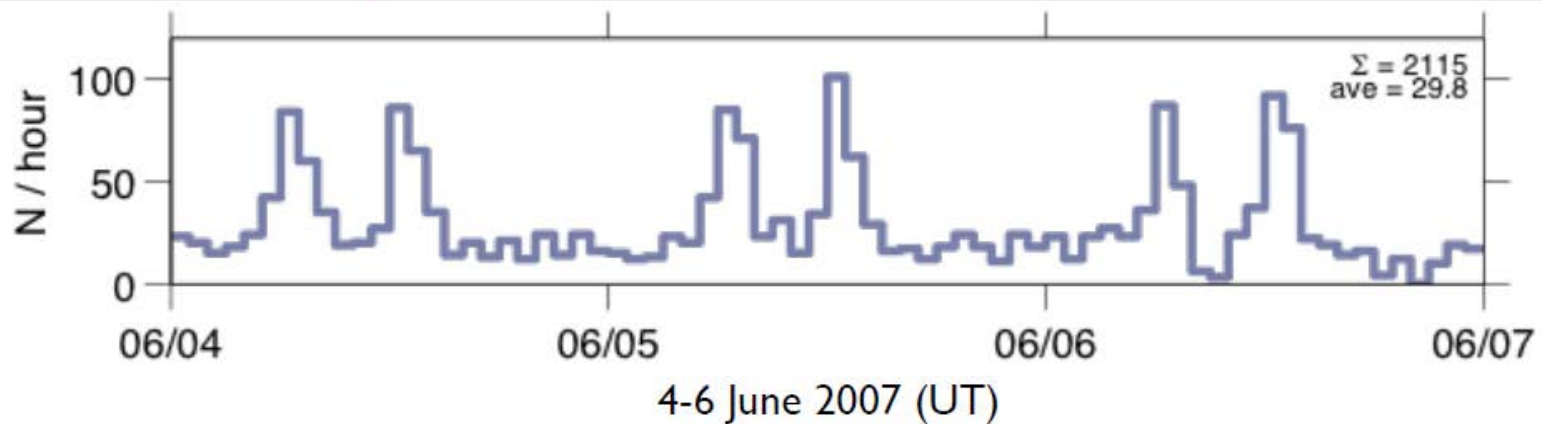
after 4 years



NASA ODQN, July 2007

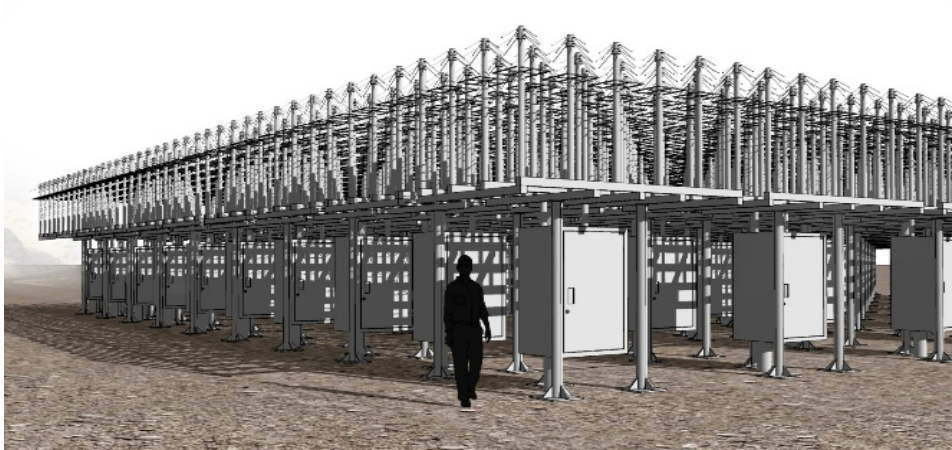
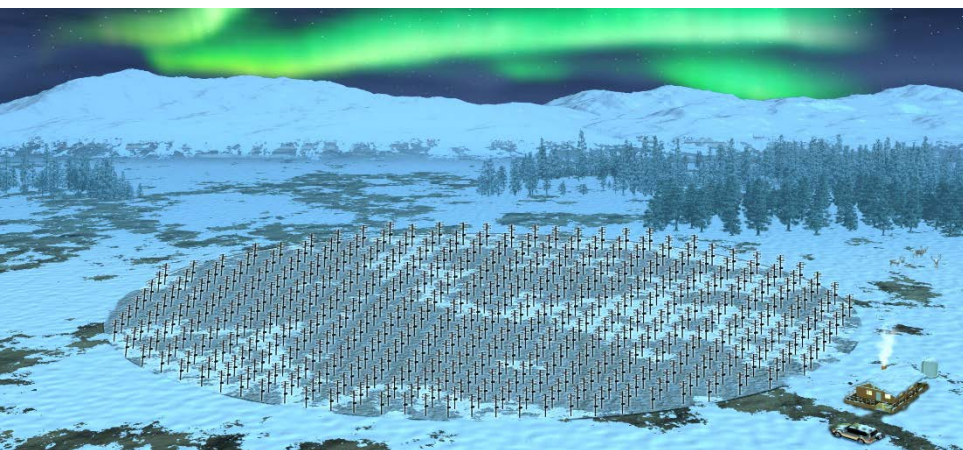
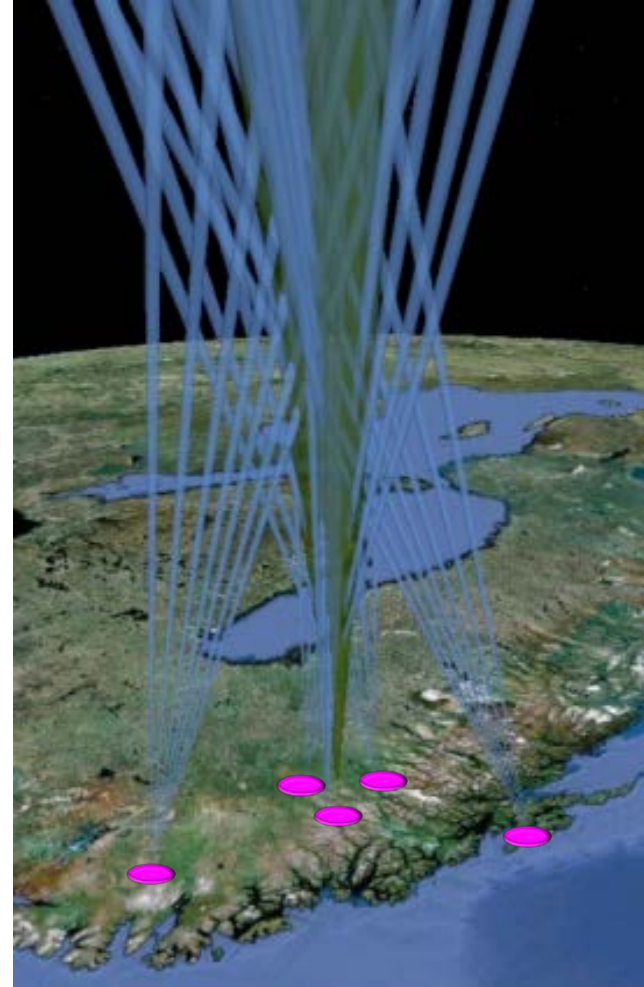
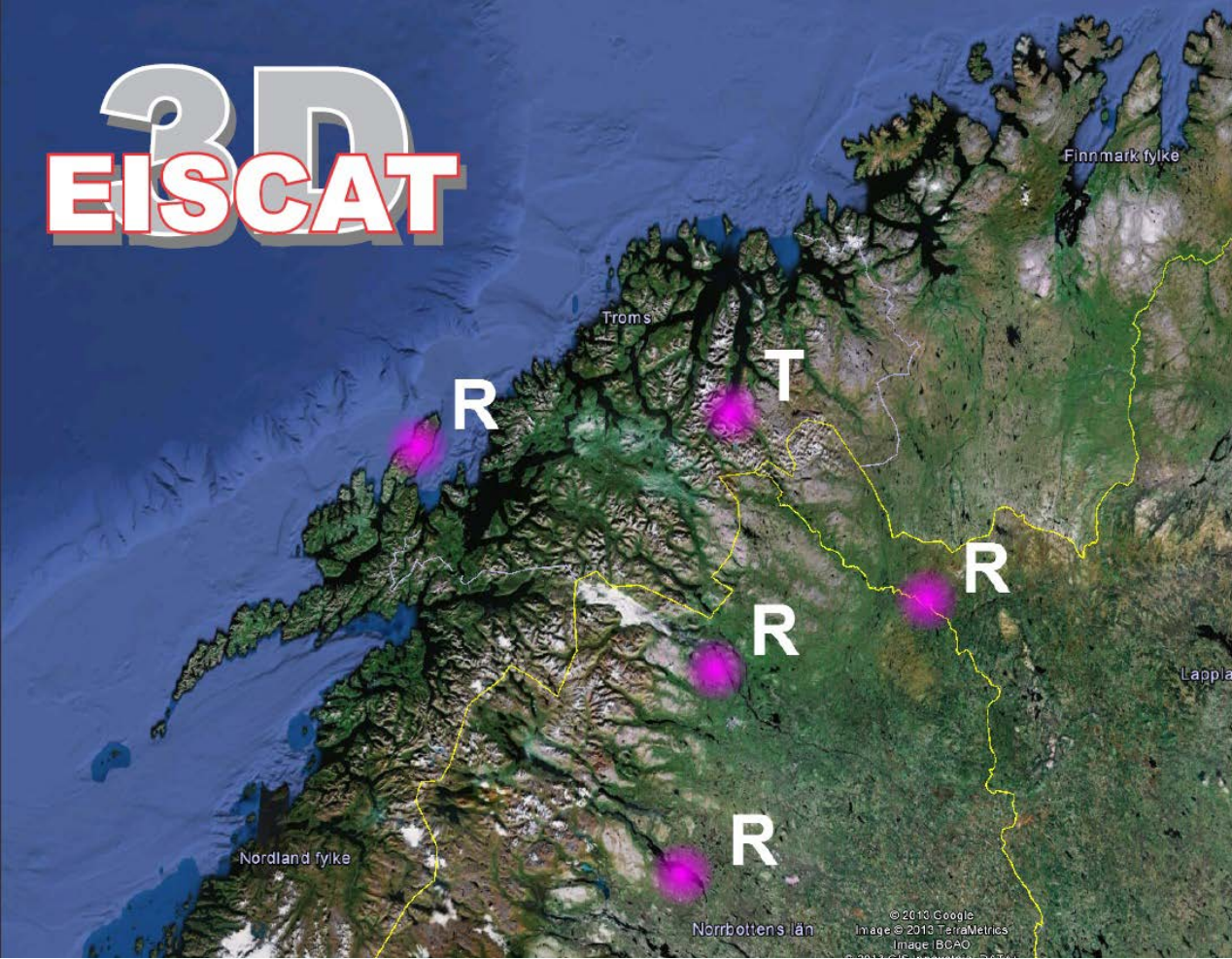


Three days of ESR observations after the FY IC ASAT





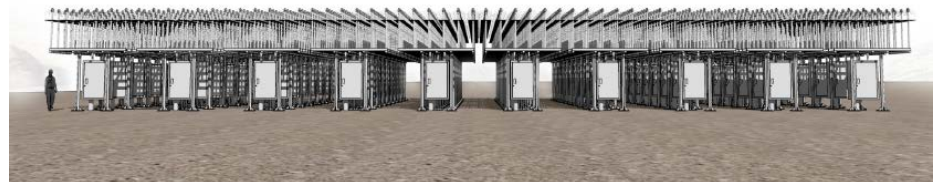
# 3D EISCAT





# EISCATおよびEISCAT\_3Dレーダーの比較

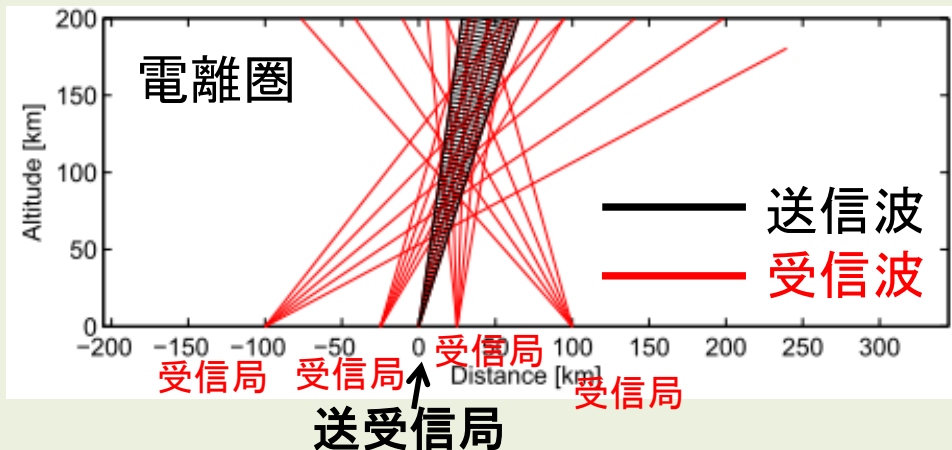
|       | EISCATレーダー(KST)                                     | EISCAT_3Dレーダー  |
|-------|---|--|
| システム  | 3局パラボラアンテナ<br>(1方向の線観測のみ)                           | 5局フェーズドアレイアンテナ<br>(3次元の立体観測が可能)  |
| 中心周波数 | 931MHz (波長: 約0.3 m)                                 | 233 MHz (波長: 約1.3 m)<br>(対流圏・下部成層圏、より高高度の観測が可能)                                |
| アンテナ  | コア(送受信)局に32mパラボラアンテナ1基、2ヶ所の受信局に32mパラボラアンテナ各1基       | コア局: 約1万本の直交八木アンテナ<br>4ヶ所の受信局: 約1万本の直交八木アンテナ<br>(コア局から約110 km と 250 km の距離に配置) |
| スキャン  | 機械的(2度/秒)   | 電氣的(瞬時)  |
| 送受信機  | 送信ピーク電力1.7 MW<br>デューティ比 12.5%<br>高度100 kmで約1 kmの分解能 | 送信ピーク電力10MW<br>デューティ比 0-25%で可変<br>高度100 kmで最高50 mの空間分解能(干渉法)                   |
| データ量  | 10-40Mbit/秒、<br>100TBクラスの記録装置                       | 54Gbit/秒(生データは計1.6Tbit/秒)、<br>20PBの記録装置  |



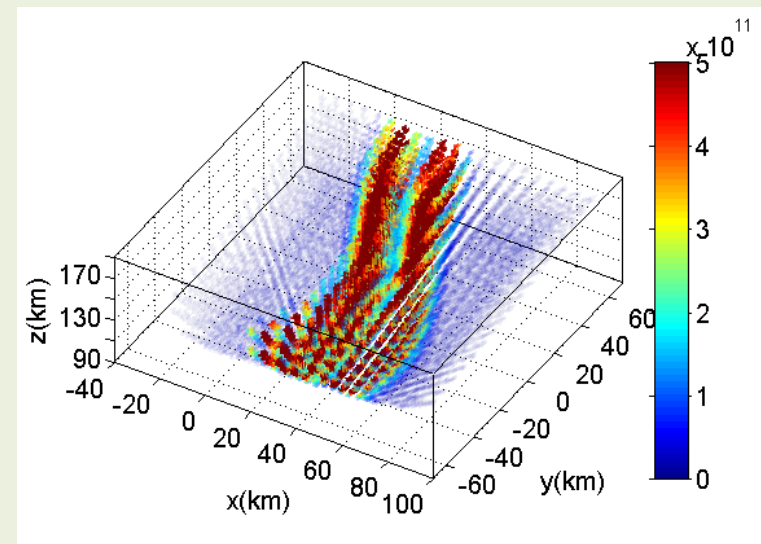
# EISCAT/EISCAT\_3Dレーダーの3次元観測

| プラズマ物理量@高度      | 現EISCAT | EISCAT_3D | 性能比  |
|-----------------|---------|-----------|------|
| Ne,Ti,&Te@110km | 5秒      | 0.05秒     | 100倍 |
| Ne,Ti,&Te@300km | 20秒     | 0.3秒      | 67倍  |
| Vector Vi@110km | 500秒    | 10秒       | 50倍  |
| Vector Vi@300km | 100秒    | 1秒        | 100倍 |

## EISCAT\_3Dレーダーによる3次元観測

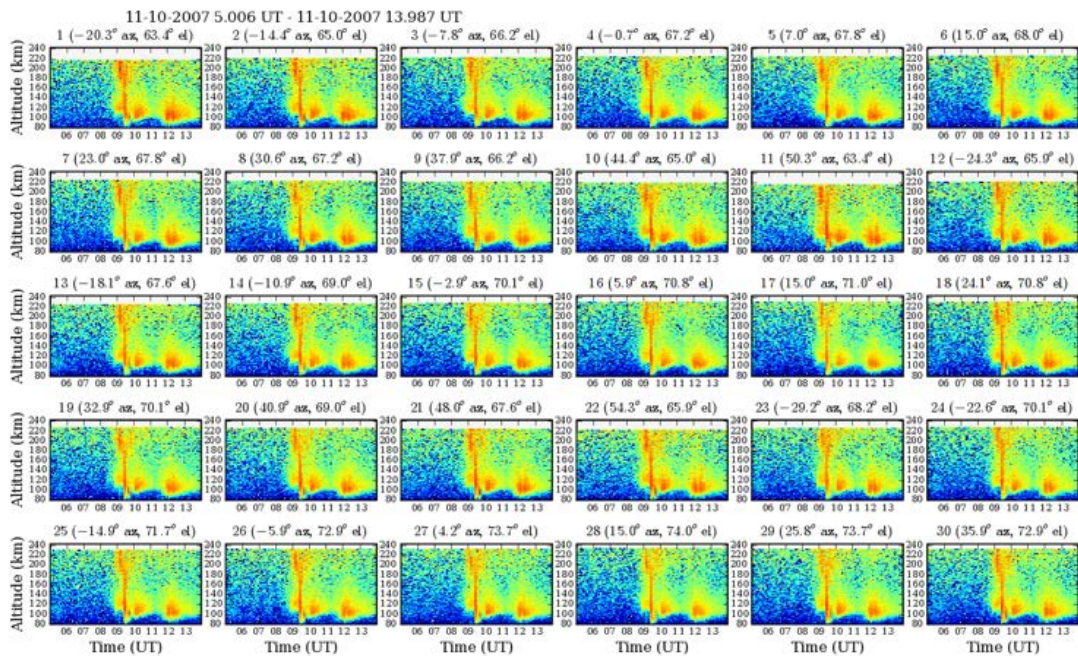
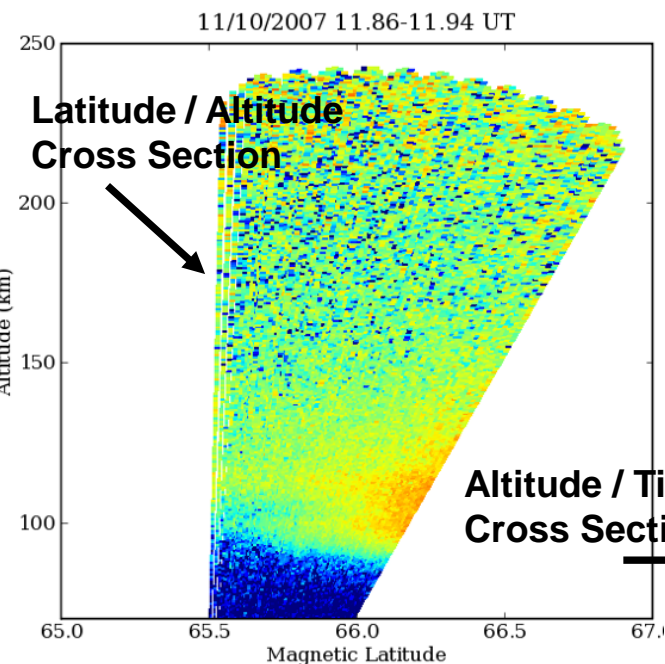


送受信局から送信された複数本の電波が電離圏で散乱する。その散乱波を地上の5つの局で受信することにより、3次元の電離圏観測を実現。

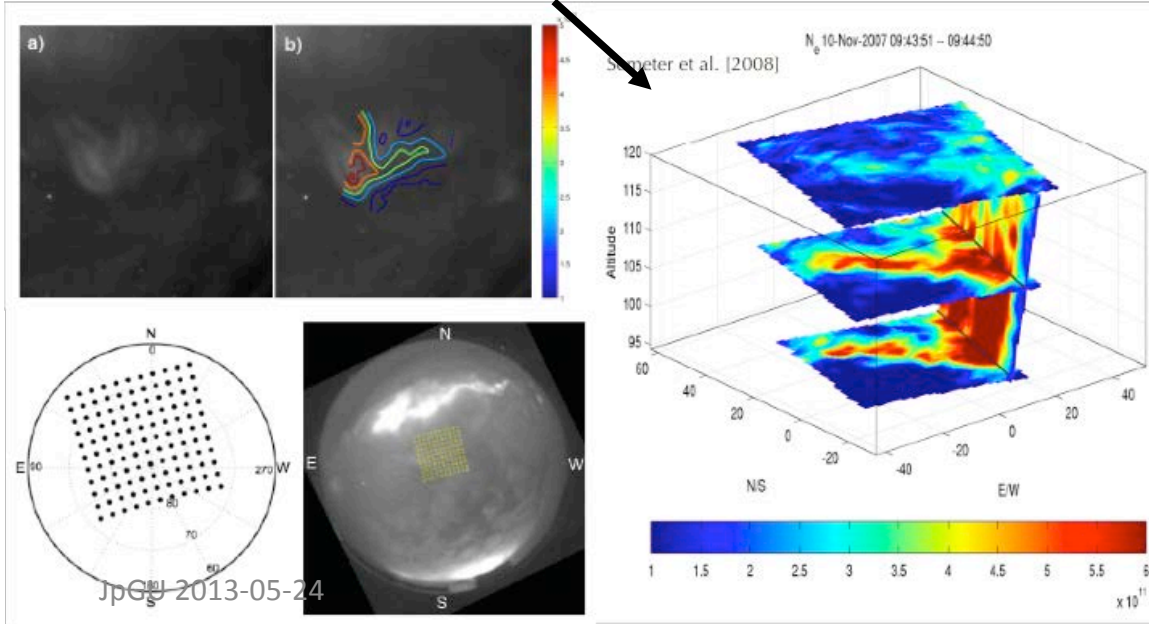
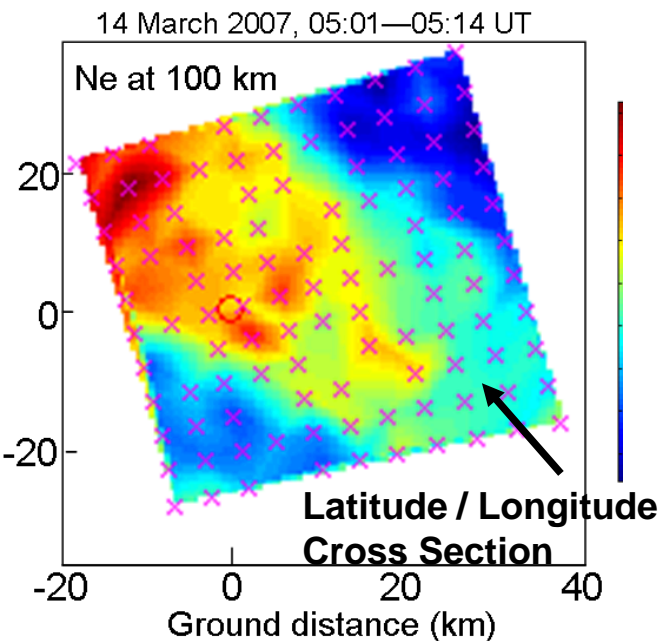


EISCAT\_3Dレーダーによる電子密度の3次元分布観測

# PFISR: Images of the Aurora in 4-Dimensions (3-D images v. time) (Heinselmann, 2013)



## Three-Dimensional Visualization





# 「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」

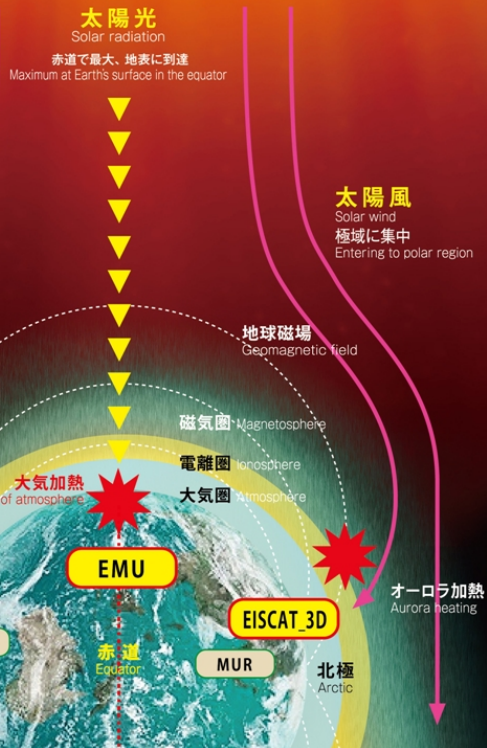
## 太陽地球系結合過程

Coupling processes in the solar-terrestrial system

太陽  
Sun

太陽エネルギー  
Solar energy

太陽光(放射) 太陽風(粒子)  
Sun light (radiation) Solar wind (plasma particles)



提案者:津田敏隆(京都大学生存圏研究所長)

研究課題:

- (1) 赤道ファウンテン  
(赤道MUレーダー)
- (2) 極域エネルギー流入過程  
(EISCAT\_3D)
- (3) グローバル結合過程  
(地上観測ネットワーク)



# EISCAT\_3D整備計画

| 計画         | 整備内容   | 年次          | 建設経費   |
|------------|--|-------------|--------|
| 第1<br>ステージ | 主局 (Skibotn、送信機 50%)<br>2受信局 (Bergfors, Karesuvanto) | 2015 - 2021 | 全体の60% |
| 第2<br>ステージ | 主局の送信機増設 100%  | 2022        | 15%    |
| 第3<br>ステージ | 1受信局 (Andoya)  | 2023        | 12%    |
| 第4<br>ステージ | 1受信局 (Jokkmokk)                                      | 2024        | 12%    |

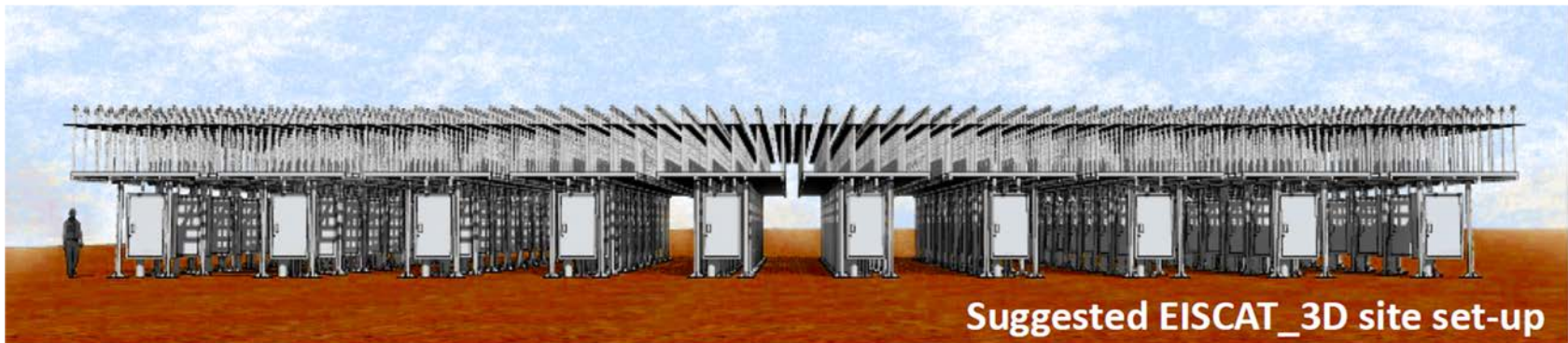


第1 - 2 段階で整備するサイト



第3 - 4 段階で整備するサイト  
(完成)

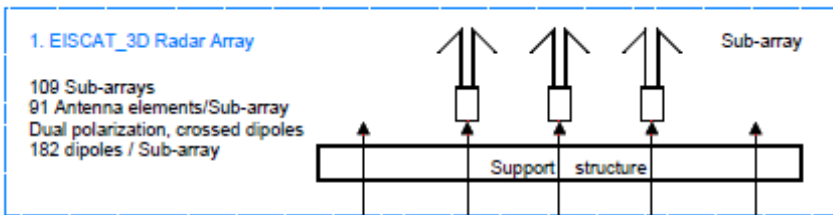
EISCAT\_3Dは4段階に分けて計画的に整備を進める。第1段階でEISCAT\_3Dの基本的なレーダー観測機能が整い、本格観測が開始される。



主局および受信局のアンテナ外観図。積雪の影響を避けるため、アンテナ全体を数m高の架台上に設置する。



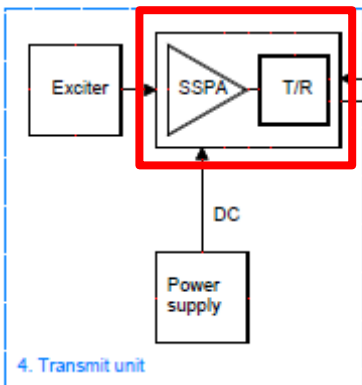
# Antenna Array with support structure



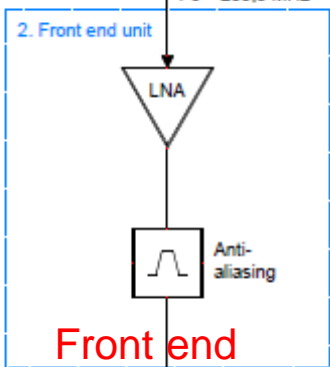
91 elements x 109 sub-arrays



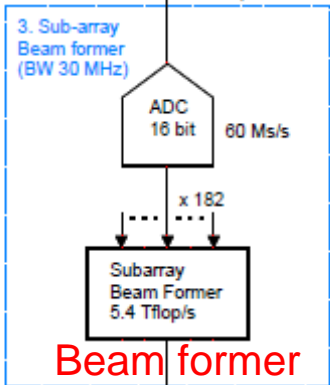
## Signal processing and Computing



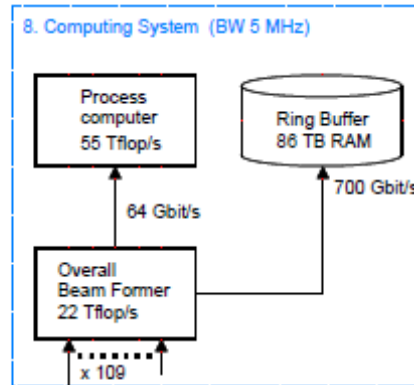
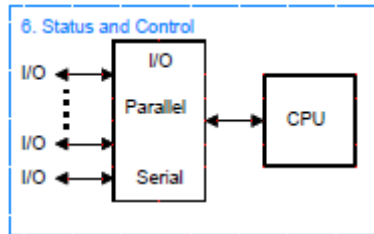
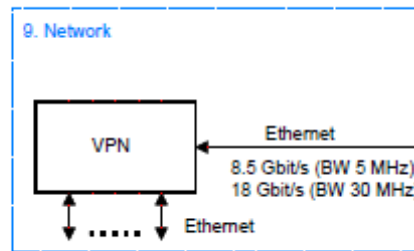
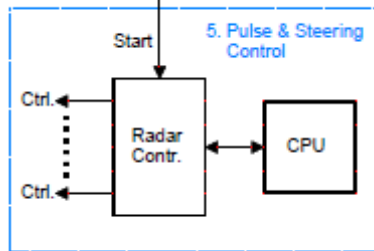
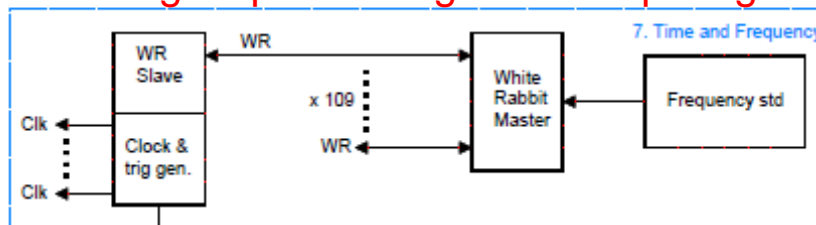
### Transmitter module



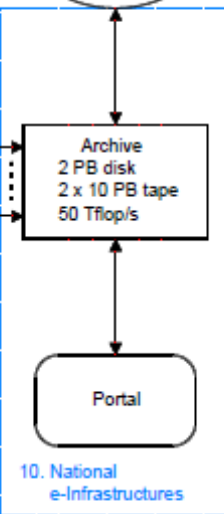
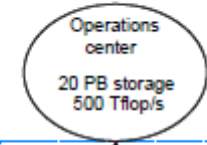
### Front end



### Beam former



### Operation Center



### Data Center Regional Center

- Peak Power 500W
- Duty Cycle 25%
- Efficiency 50%
- Quantity 10,000 units

6.3 Gbit/s (BW 5 MHz)  
 38 Gbit/s (BW 30 MHz)



# 本講演のポイント:

- 大学間連携によるIUGONET開発整備の大きな成果として、1981年以降のEISCAT全データがIUGONETの統合解析環境に組み込まれた。
- 次世代のEISCAT\_3Dレーダーは、極域へのエネルギー流入や変換過程の解明を飛躍的に進めるとともに、連続モニタリング観測を通じて、熱圏・電離圏の環境変動やスペースデブリ等のリアルタイム監視にも極めて有用。
- EISCAT\_3Dでは、さらにデータのオープン化が進み、国際的なデータ解析競争が予想される。日本としても、いち早く成果を創出する態勢の整備が必要。IUGONETの継続的発展が不可欠。