

# EISCAT及びEISCAT\_3Dレーダーを用いた北極域超高層大気の国際共同研究

小川泰信<sup>1</sup>、宮岡宏<sup>1</sup>、野澤悟徳<sup>2</sup>、中村卓司<sup>1</sup>、  
大山伸一郎<sup>2</sup>、津田卓雄<sup>3</sup>、藤井良一<sup>2</sup>、  
EISCATサイエンスチーム

<sup>1</sup>国立極地研究所

<sup>2</sup>名古屋大学 宇宙地球環境研究所

<sup>3</sup>電気通信大学

第29回大気圏シンポジウム、2016年3月8日



# 北極の超高層大気を観測する

アイスキャット

# EISCATレーダー



EISCAT(欧州非干渉散乱)レーダー: 北欧に設置された大型大気レーダー  
3つのレーダーシステムで、高度約80-1000 kmの超高層大気観測を実施。



EISCAT トロムソUHFレーダー

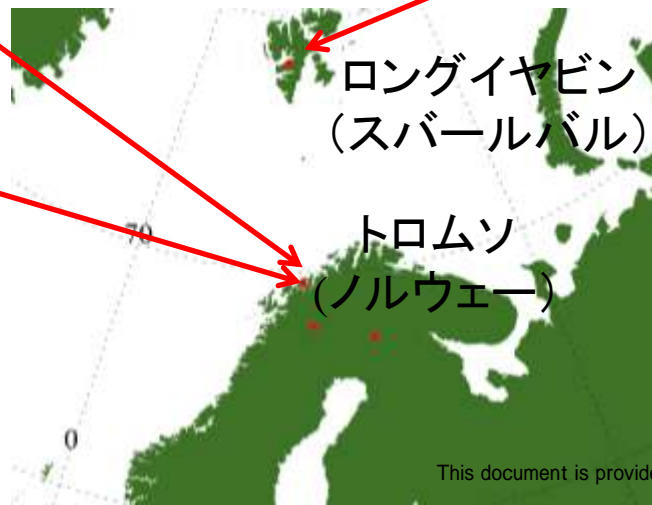


EISCAT トロムソVHFレーダー



EISCAT スバルバルレーダー

- ◎日本は、他のEISCAT加盟国(ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、イギリス、中国)とともに運営を分担し、極地の超高層大気の観測を実施。
- ◎日本に割り当てられた年間約180時間のEISCATレーダー観測を全国公募により実施。



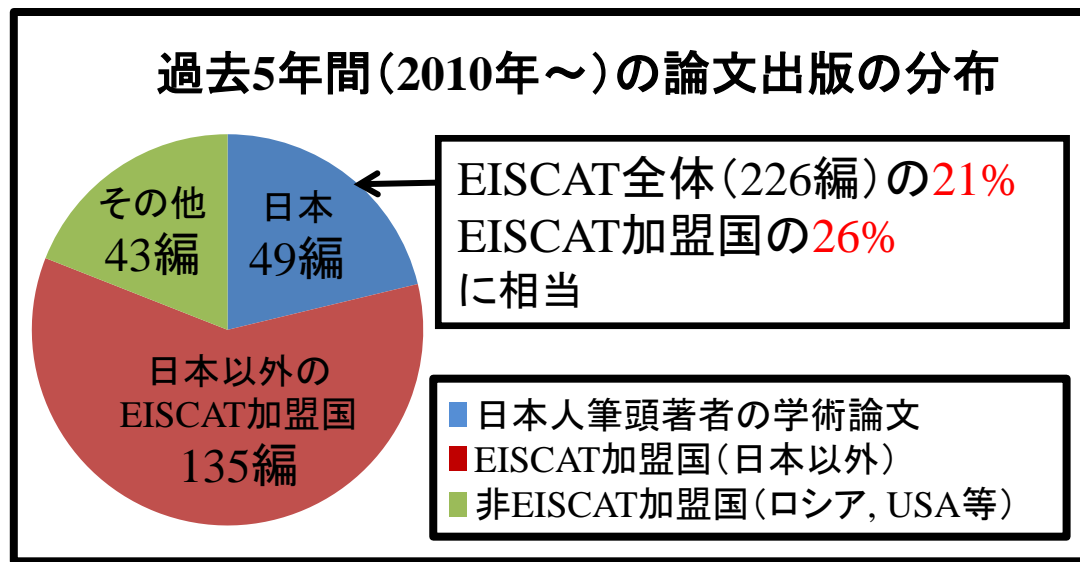
ロングイヤビン  
(スバルバル)

トロムソ  
(ノルウェー)

# EISCAT共同利用に関する研究成果

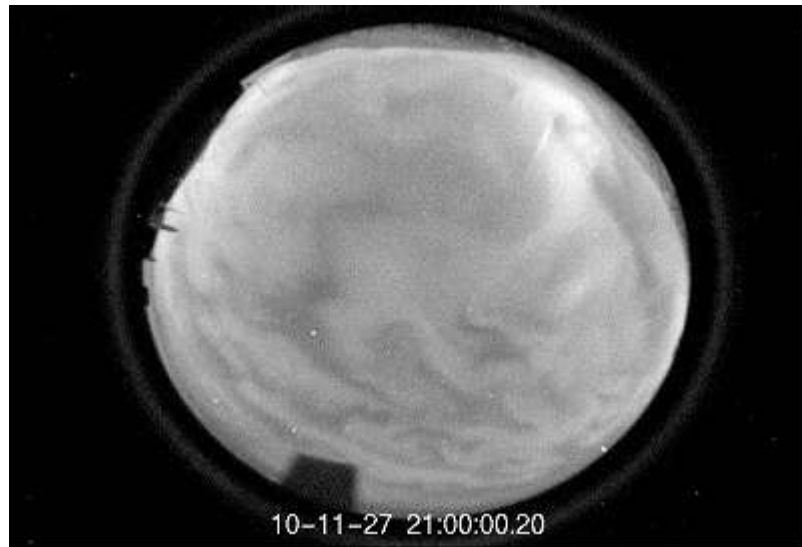
- 国立極地研究所や名大宇宙地球環境研究所 (ISEE) が中心となって、EISCAT全国共同利用を推進。
- 過去5年間(平成22-26年度)で計79件の全国公募に基づく実験申請。  
→計60件の実験を実施(平成22-26年度)。
- EISCATを用いて平成22年度以降に64編の査読付き論文を出版。  
その内、日本人主著者の論文は49編
- AGUのリサーチハイライトに論文2編が選出。

日本はEISCAT スーパーバルブレーダー(ESR)建設費の一部と、2140万円(全体の7%)の年間運営費を分担し、**約180時間のEISCATレーダー観測(全体の15%の割り当て)**を毎年実施。



# EISCAT成果例：脈動オーロラの統計分布

脈動オーロラ：数秒の周期で明滅。  
様々な時間スケールの変動が介在。  
代表的なオーロラの一つ。



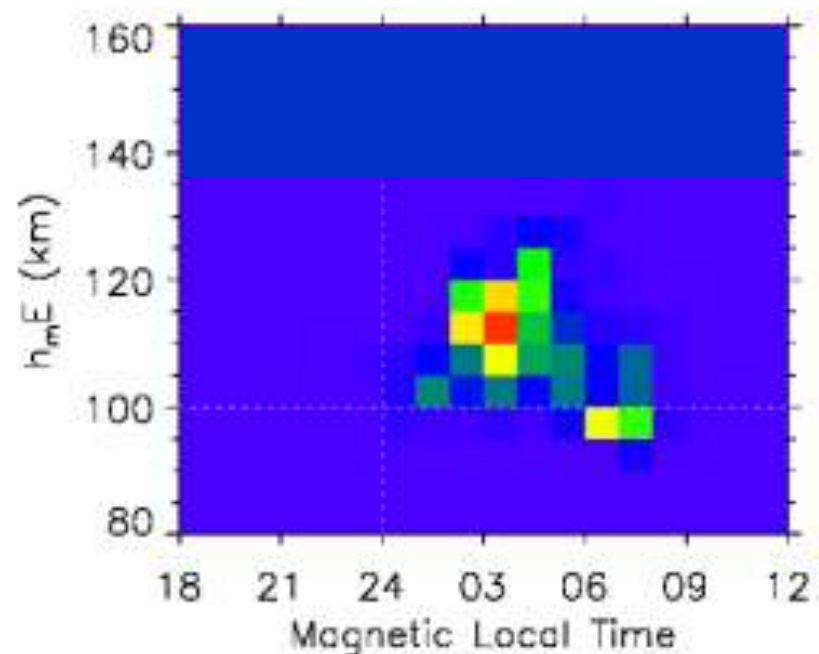
トロンソ・ノルウェーで観測された脈動オーロラの例

科研費 基盤研究S「極限時間分解能観測によるオーロラ最高速変動現象の解明 (代表：藤井良一名大教授)(H27-31年度)」における EISCAT/EISCAT\_3D と ERG衛星・ロケット・数値シミュレーションを用いた脈動オーロラ重点観測・研究の実施。

## 脈動オーロラの発生高度の統計研究

2008-2012年のEISCATレーダーと全天光学機器との同時観測データを利用。

- (1) 全般的に100km以下の高度でよく起こること、
- (2) 真夜中側に比べ、明け方の時間帯の脈動オーロラの方が低高度でよく起きること、
- (3) 地磁気活動が活発→低高度でよく起きること、などを明らかに。



脈動オーロラ発生時の電子密度  
ピーク高度のMLT分布

# EISCAT成果例: 極域超高層大気で生じる突風現象の発見

EISCATによる電離圏プラズマ観測→下部熱圏中性風導出

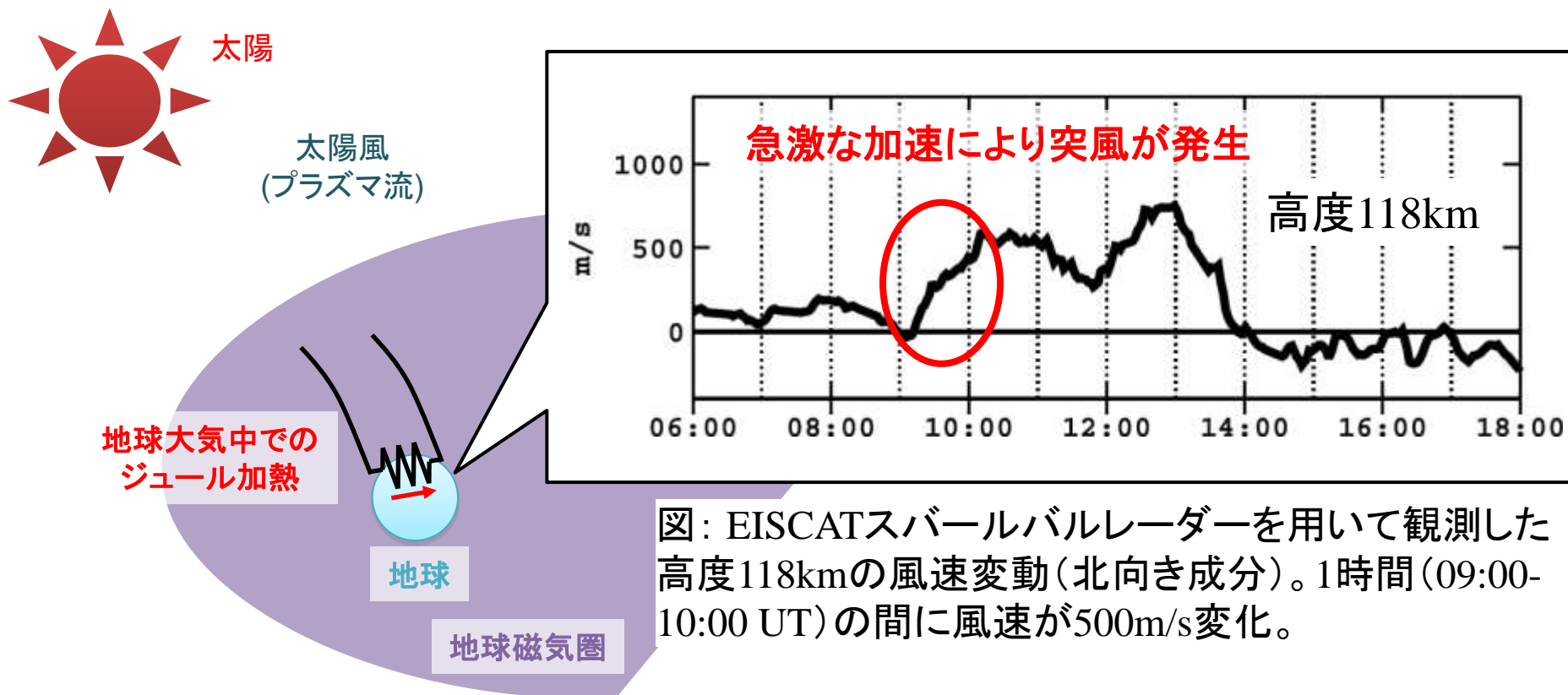


図: EISCATスバルバルレーダーを用いて観測した高度118kmの風速変動(北向き成分)。1時間(09:00-10:00 UT)の間に風速が500m/s変化。

Tsuda et al., *JGR*, 2009

昼側カस्प付近では太陽風の急激な変化に伴い、下部熱圏中性風にも急激な加速が生じている様子を明らかに。イオンドラッグでは説明できず、ジュール加熱に伴う圧力勾配力の寄与大。

# EISCAT成果例：地球温暖化に伴う超高層大気の寒冷化

これまで30年間以上観測しているEISCATレーダーのデータベースを活用して、超高層大気の長期変動の研究を実施。

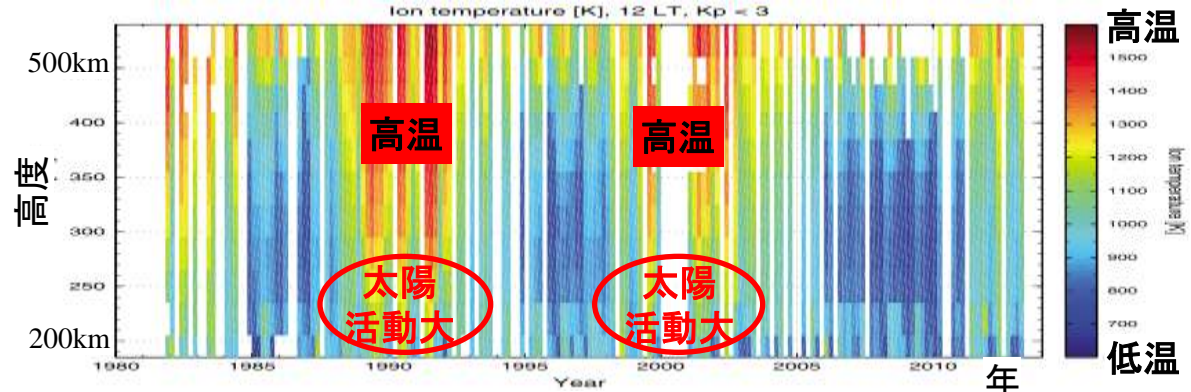
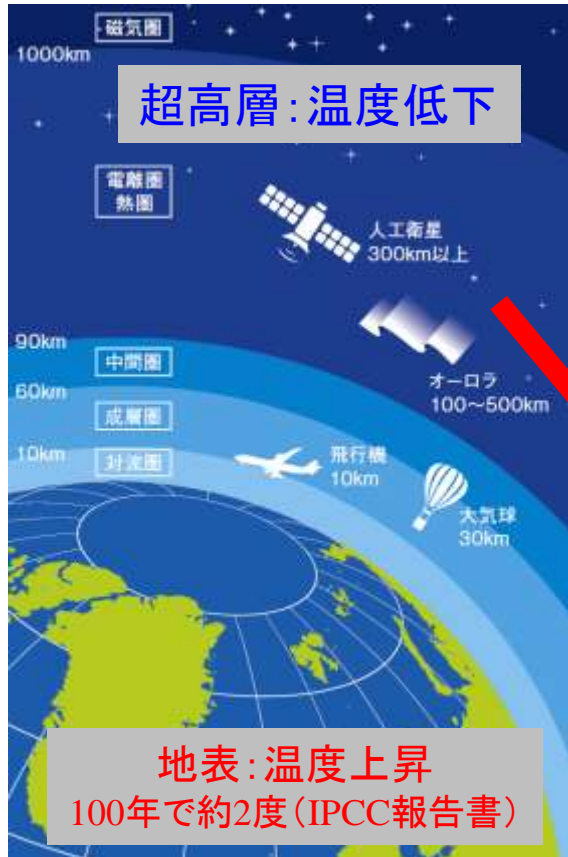


図1: EISCATレーダー観測による33年間のイオン温度変動

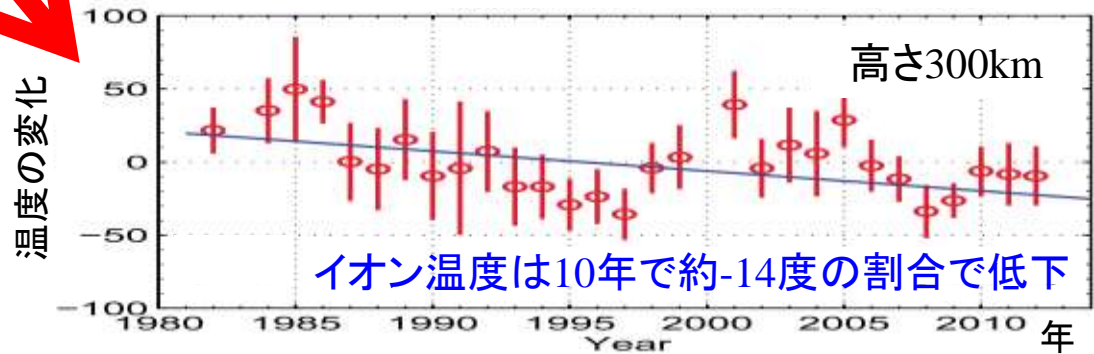
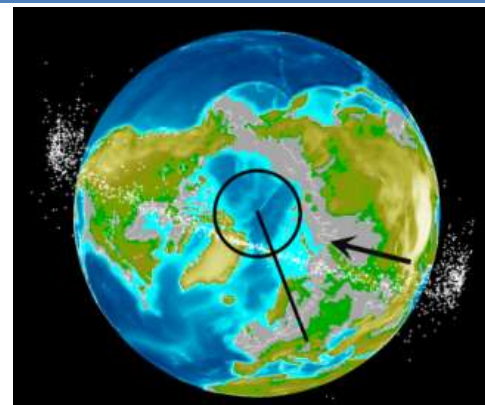
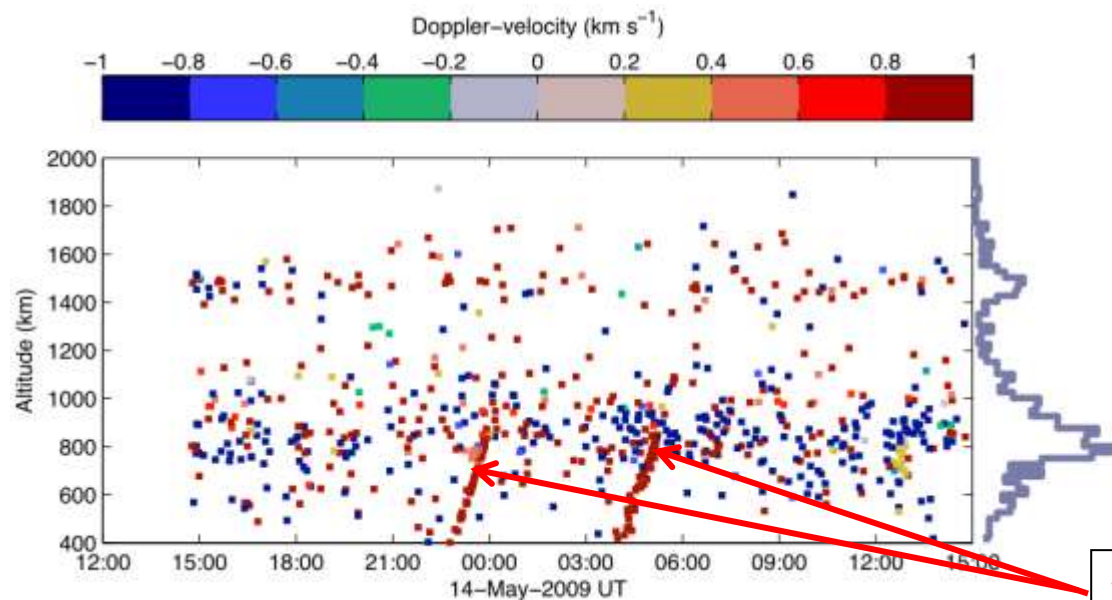


図2: 太陽活動の影響を取り除くことで明らかになったイオン温度の長期変化  
Ogawa et al., *GRL*, 2014

極域の超高層大気(高度300km)が、10年で約-14度の割合で冷えていることを明らかに。(中緯度の長期トレンドの高度分布とは大きく異なることが、未解明の問題。)

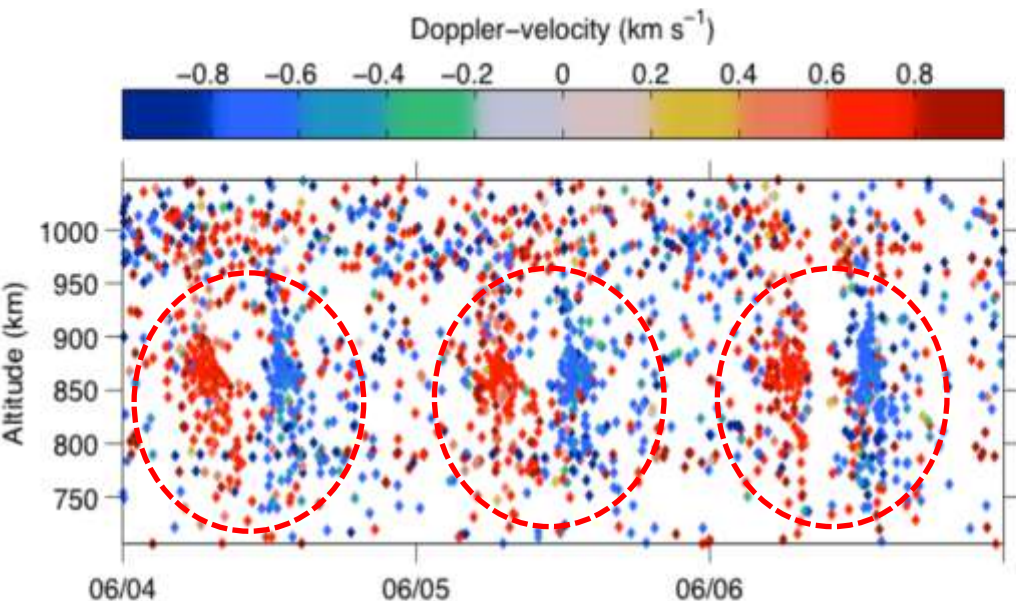
# EISCATレーダーによるスペースデブリ観測



Krag et al.,  
2007

EISCATトロムソUHFレーダー  
によるデブリ観測

2009年5月14日のCOSMOS衛星(露)とIRIDIUM衛星(米)の衝突により発生したデブリ増加を観測した。



EISCATスバルバルレーダー  
によるデブリ観測

2007年1月11日に中国が行ったFY-1C衛星のミサイル破壊実験によって発生したデブリ増加を継続的に観測している(2007年6月4-6日)。

# EISCATを中心とした今後の研究(1)

## (1) 地球大気散逸のメカニズムの解明

北欧におけるロケットキャンペーン観測(SS-520-3)を2017年度冬期に実施予定。

## (2) 極域大気上下結合過程の観測的実証

北極環境研究事業(ArCS、2015-2019年度)では北極大気上下結合過程のシミュレーション研究 → 相補的な観測的研究を実施。



(1) 離大気の流出過程を、ロケットやEISCATレーダー等で総合的に観測・研究

(2) 上方からの影響と下方からの影響を、EISCATレーダーや各種レーダーを用いて観測的に研究

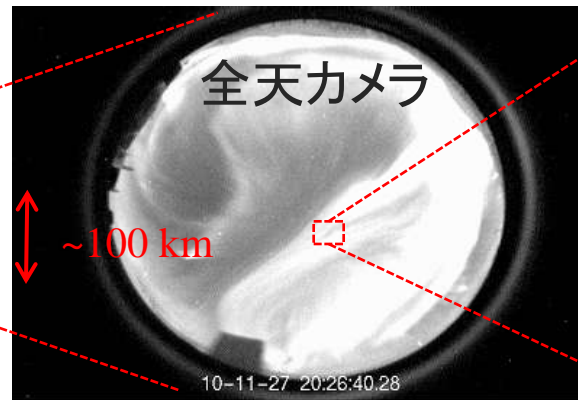
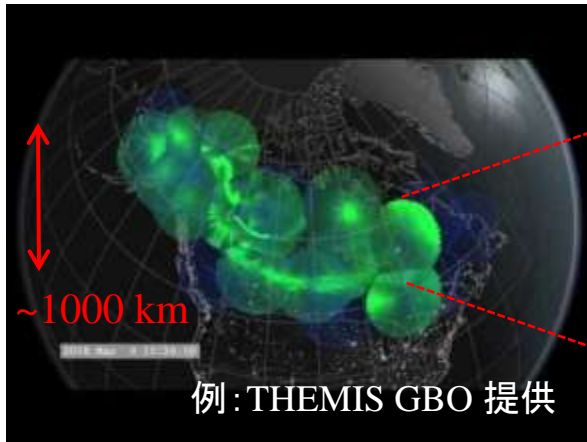
「JCAR長期構想報告書」テーマ10「ジオスペース環境」のまとめ図より



# EISCATを中心とした今後の研究(2)

## (3) オーロラ階層構造の理解

プラズマ物理やスケール間結合過程の理解に貢献。北欧や南極の拠点観測とネットワーク観測、シミュレーション研究を連携して実施。



狭視野カメラ(10x14 deg)

EISCAT UHF radarの視野  
(~1 km @ 100 km)

→EISCAT\_3Dでは干渉手法により50mの空間分解能観測

## (4) 中性-プラズマ-ダストの化学反応の理解

電離圏D領域における(流星ダストを含む)複雑な化学反応過程の理解は、惑星大気及びその進化に重要な知見を与える。

EISCATレーダー及び各種レーダー/ライダーによる拠点観測を実施。

## (5) EISCAT\_3Dデータに基づく情報・システム科学の進展

ビックデータ整備や信号処理系の新規手法開発を、電気情報システム分野の研究者と連携・協力しながら実施。



3D  
EISCAT

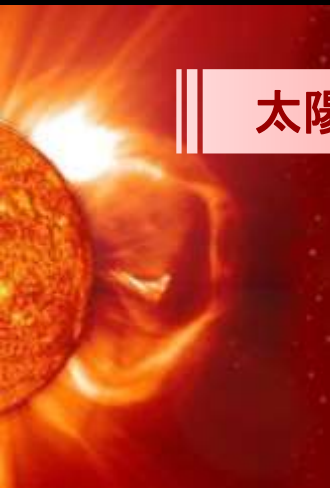
# 北極の新しい大型大気レーダー

アイスキャット スリーディー

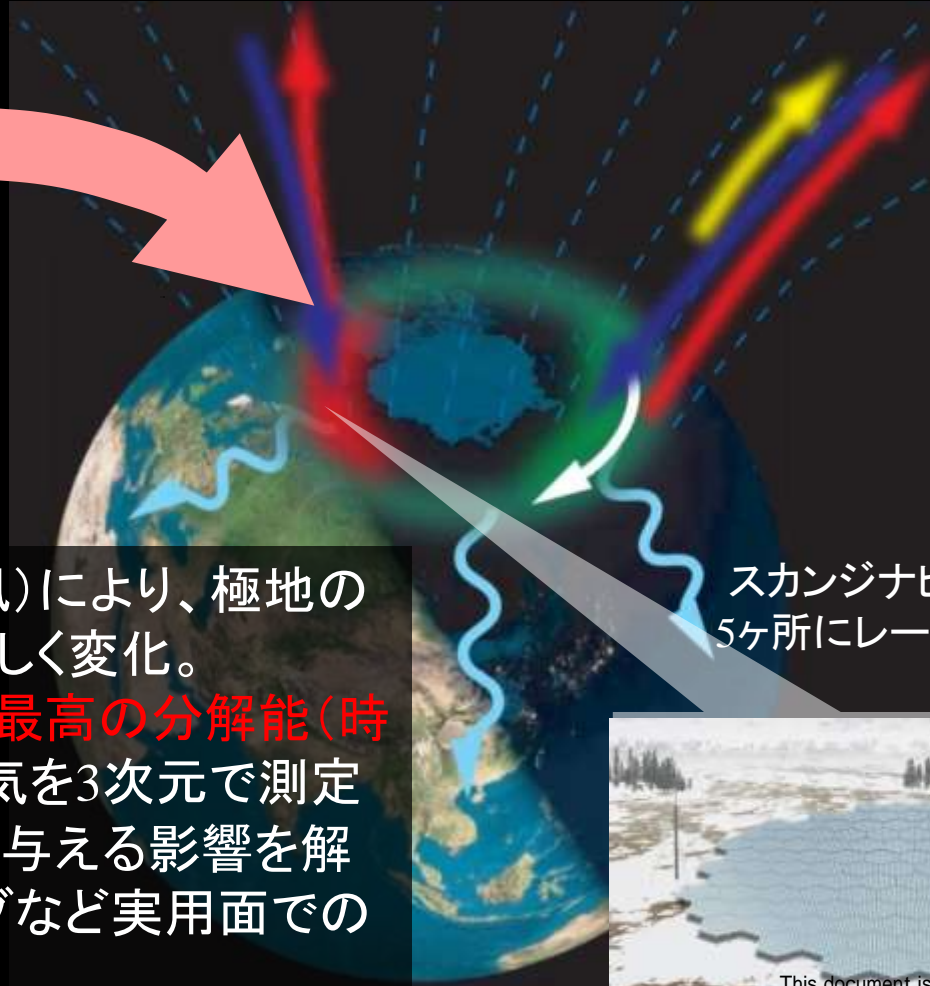
# EISCAT\_3D計画



EISCAT\_3Dレーダー: 太陽と地球のつながりを理解するための大型大気レーダー。  
2021年の本格稼働を目指し、整備を国際的に推進中。



太陽風



スカンジナビア半島の  
5ヶ所にレーダーを設置



This document is provided by JAXA.

- ☆ 太陽から降り注ぐ粒子(太陽風)により、極地の地球大気は時間的・空間的に激しく変化。
- ☆ EISCAT\_3Dレーダーは、**世界最高の分解能(時間0.1秒、空間50m)**で超高層大気を3次元で測定することにより、太陽風が地球に与える影響を解明。また、宇宙ゴミのモニタリングなど実用面での応用も期待。



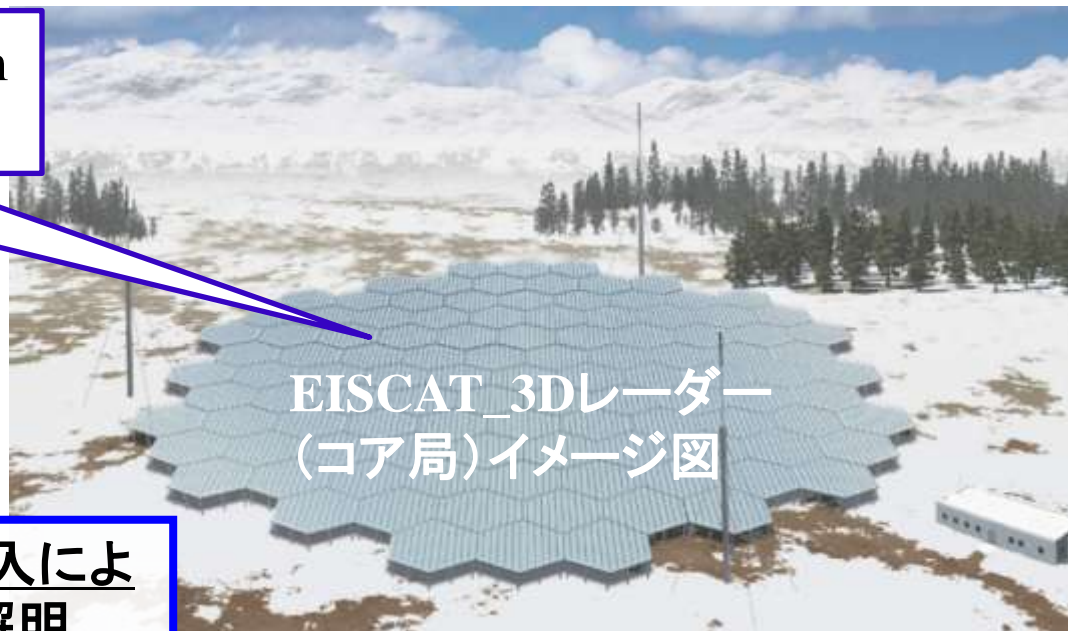
**3D**  
**EISCAT**

# EISCAT\_3D計画



レーダーアンテナの直径：約120m  
アンテナアレイの数：約1万本

**EISCAT\_3Dレーダー** (233MHz帯の  
多点フェーズドアレイ式レーダー)  
⇒時間・空間的に激しく変動する太陽風  
エネルギー流入の影響が測定可能に



EISCAT\_3Dレーダー  
(コア局)イメージ図

## ◎太陽からの太陽風エネルギー流入によ って極域に発生する特異現象の解明

- ・オーロラに代表される**地球周辺プラズマ現象**の生成と崩壊
- ・**地球大気が宇宙空間へ流出**する仕組みや流出量
- ・**大気成分の鉛直下方向への輸送** (特に、オゾン破壊にも繋がる大気微量成分の輸送)
- ・極域から**低緯度へのエネルギー輸送現象** (電離圏/熱圏で水平方向に伝搬する擾乱)

## ◎スペースデブリ等の近地球宇宙監視

## ◎自然科学研究への貢献

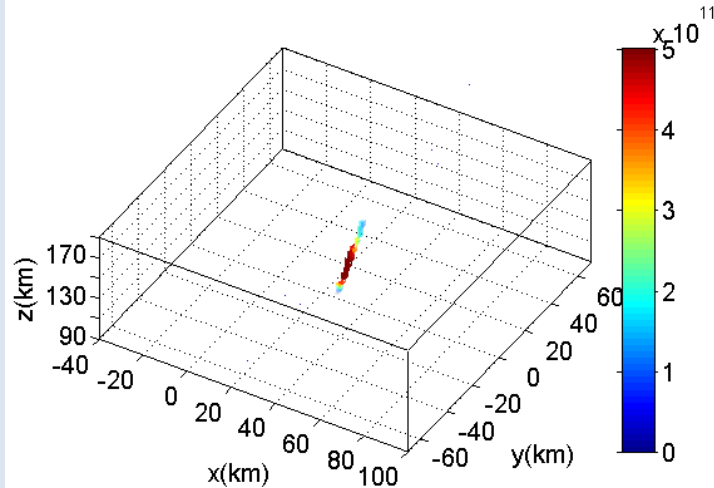
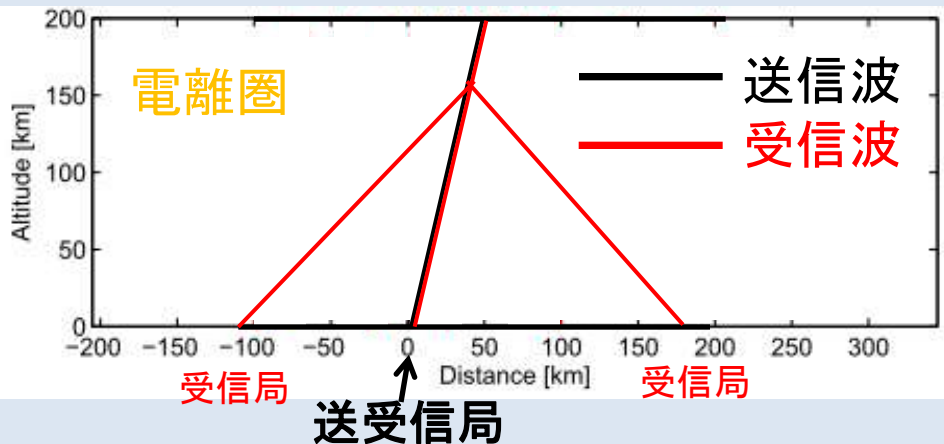
- ・太陽活動が**全球システムに及ぼす影響とその仕組みの全容解明**

## ◎実社会への貢献

- ・GPS測位や極軌道衛星の作動に影響する宇宙天気  
の監視
- ・スペースデブリ、落下衛星などのリスク  
検知

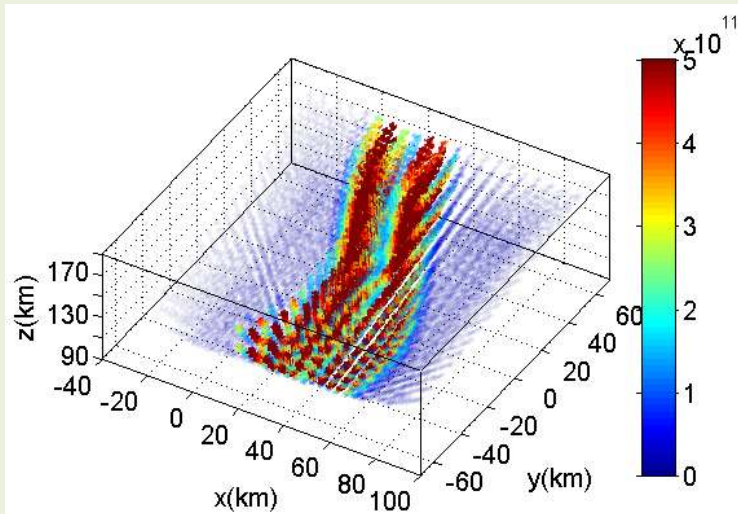
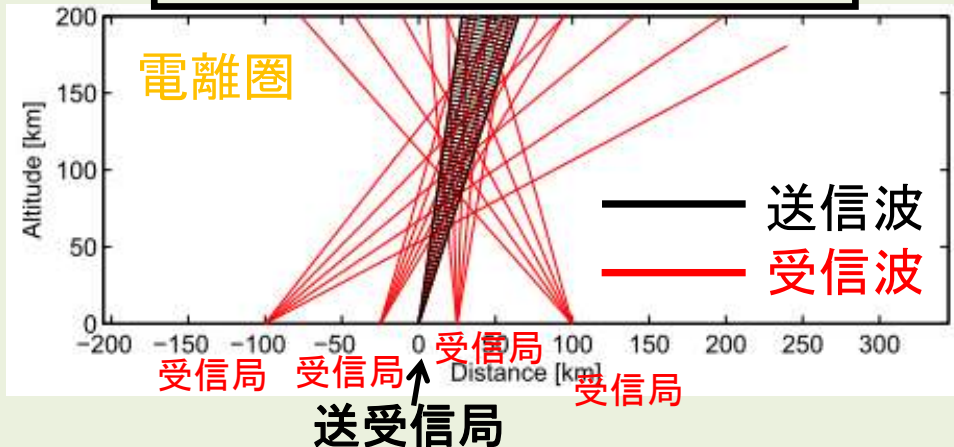
# 現行EISCAT vs EISCAT\_3Dの3次元観測の仕組み

## 現行のEISCATシステムによる3局観測



現行システムによる線観測のイメージ図

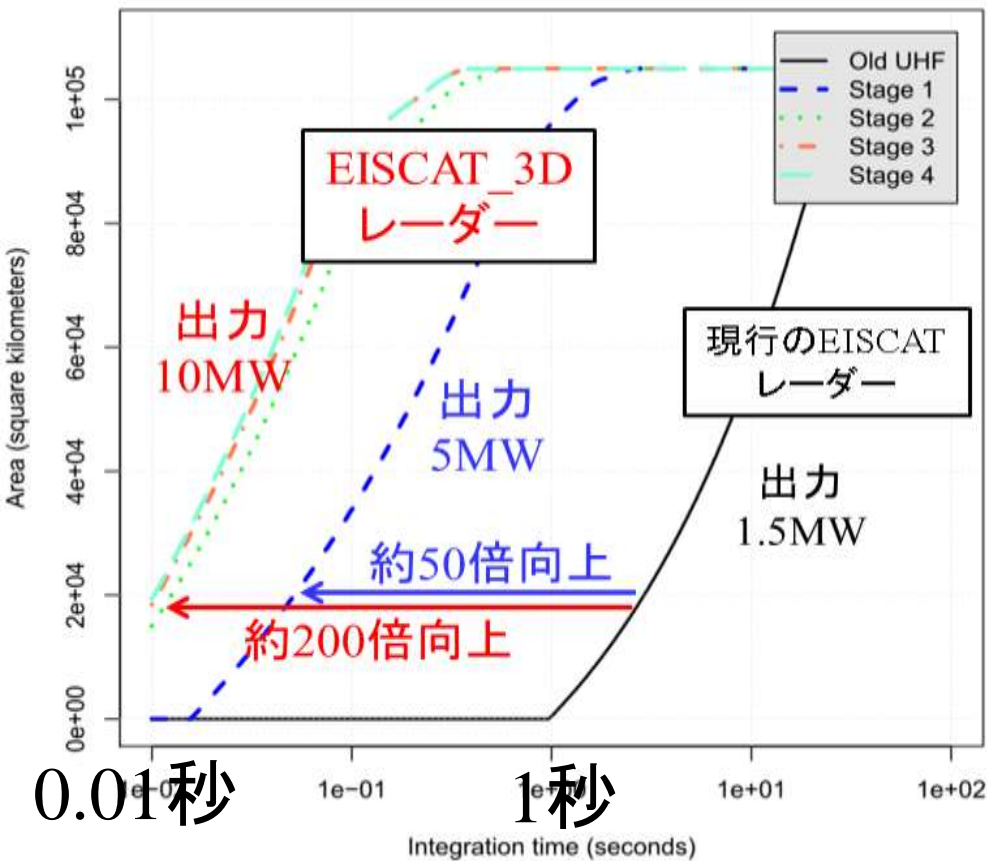
## EISCAT\_3Dの3次元観測



送受信局から送信された複数本の電波が、電離圏で散乱。その散乱波を地上の(コア局を含む)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で観測される電子密度の3次元分布のイメージ図

# EISCAT\_3Dレーダーの性能



0.01秒

1秒

図：高度110kmで、電子密度が $2 \times 10^{11} \text{m}^{-3}$ の領域を測定するのに必要な時間。

→EISCAT\_3Dの第1段階(5MW。3サイト)で、現行のEISCATレーダーよりも約50倍速く測定可能に。

## 性能比のまとめ表

parameters @height	EISCAT	EISCAT_3D	性能比
Ne, Ti, &Te @110km	5 sec	0.05 sec	100
Ne, Ti, &Te @300km	20 sec	0.3 sec	67
Vector Vi @110km	500 sec	10 sec	50
Vector Vi @300km	100 sec	1 sec	100

# EISCAT\_3Dサイト予定地と今後の予定



- EISCAT\_3D サイト候補地
- ★ 現行の EISCAT サイト

## 今後の整備計画

- 2016-2017年：技術実証
- 2018-2021年：第1段階の本格整備  
(2019-2020年頃より、コアサイト  
(シーボトン)の部分運用を予定。)
- 2022年：第2段階(出力5MW→10MW)
- 2023年：第3段階(アンドーヤサイト整備)
- 2024年：第4段階(ヨックモックサイト整備)

## 計画実現へ向けた動き

☆スウェーデン、ノルウェー、フィンランドは、日本を含むEISCAT加盟国が出資することを条件に予算措置を内定。

☆日本では、日本学術会議マスタープラン2014及び文部科学省ロードマップ2014の重点大型研究計画に採択され、出資に向けた準備中。

# EISCAT\_3Dサイエンスケース

各国の研究者が協力し、2014年7月にリリース。  
<https://www.eiscat3d.se/project/fp7/science-case>

## 目次:

- A. Atmospheric physics and global change
- B. Space and plasma physics
- C. Solar system science
- D. Space weather and service applications
- E. Radar techniques, coding and analysis

*Appendix A: Table of EISCAT\_3D radar performance requirements by science topics*



**Ian McCrea et al., The Science Case for the EISCAT\_3D Radar, *Progress in Earth and Planetary Science*, 2:21, July, 2015.**

<http://www.progearthplanetsci.com/content/2/1/21>

→2015年10月27日までに、1305回の論文ダウンロード

日本独自のサイエンス計画書を作成中  
(タイトル:「地球大気とジオスペース環境の理解に向けて 一極域エネルギー流入・変換過程の全容の解明一」)



## EISCAT\_3D Science Case


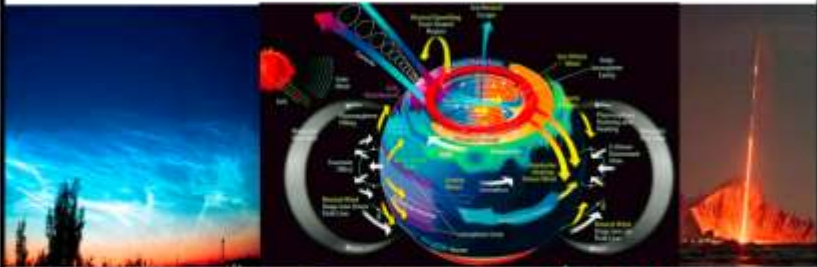
Anita Aikio<sup>1</sup>, Ian McCrea<sup>2</sup>,  
and the EISCAT\_3D Science Working Groups

<sup>1</sup>University of Oulu, Finland

<sup>2</sup>STFC Rutherford Appleton Laboratory, United Kingdom

EISCAT\_3D Preparatory Phase Project WP3

Version 3.0, July 2014



# 発表のまとめ

- 日本は欧州非干渉散乱(EISCAT)科学協会に1996年に加盟後、EISCATレーダーシステムを用いて、北極域中間圏-熱圏-電離圏-磁気圏領域における国際共同観測・研究を推進。
- EISCATレーダーシステムと、各種レーダー、光学観測機器、人工衛星やロケットを相補的に組み合わせた観測を実施し、北極域超高層大気に生起する様々な物理現象を対象とした研究を実施。
- 現行のEISCATレーダーシステムでは、極域特有の時間的・空間的に激しく変動する物理現象に対して十分なスペックと言えない。  
→最先端のフェーズドアレイ式レーダー設置するEISCAT\_3D計画を提案・推進。
- EISCAT\_3Dは、宇宙プラズマ物理学や太陽系科学の推進、宇宙天気や地球気候の予測精度の向上に貢献。  
→ EISCAT及びEISCAT\_3Dを含む国際的なグローバルネットワーク観測が重要。マスタープラン2014及びロードマップ2014の重点大型研究計画「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の推進。