

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

International collaborative studies on the arctic upper atmosphere based on the EISCAT and EISCAT_3D radars

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

¹国立極地研究所

²名古屋大学 宇宙地球環境研究所

³電気通信大学

第138回SGEPSS講演会、2015年11月1日

EISCATについて



Longyearbyen
(Svalbard)

欧州非干渉散乱 (EISCAT) 科学協会は、欧州4カ国と日本、中国の国際共同により非干渉散乱レーダーシステムを運営する非営利団体であり、スカンジナビア半島北部の**トロムソ、キルナ、サダンキラ**における**UHF/VHFレーダー観測**と電離圏加熱観測、スバルバル諸島**ロングイヤビン**における**UHFレーダー観測**を現在実施。これらのレーダーにより、**磁気緯度約60-80度の広い緯度幅の電離圏物理量**(電子密度や温度、速度)を高度約70-1000 kmにわたって観測可能。



Tromsø
(Norway)

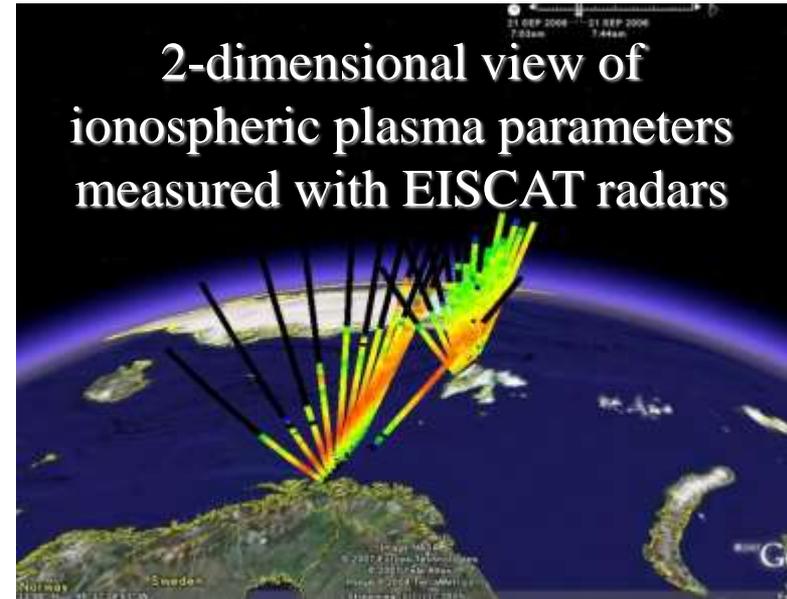
Tromsø VHF radar

Sodankylä
(Finland)

Kiruna (Sweden)
EISCAT 本部



Tromsø UHF radar

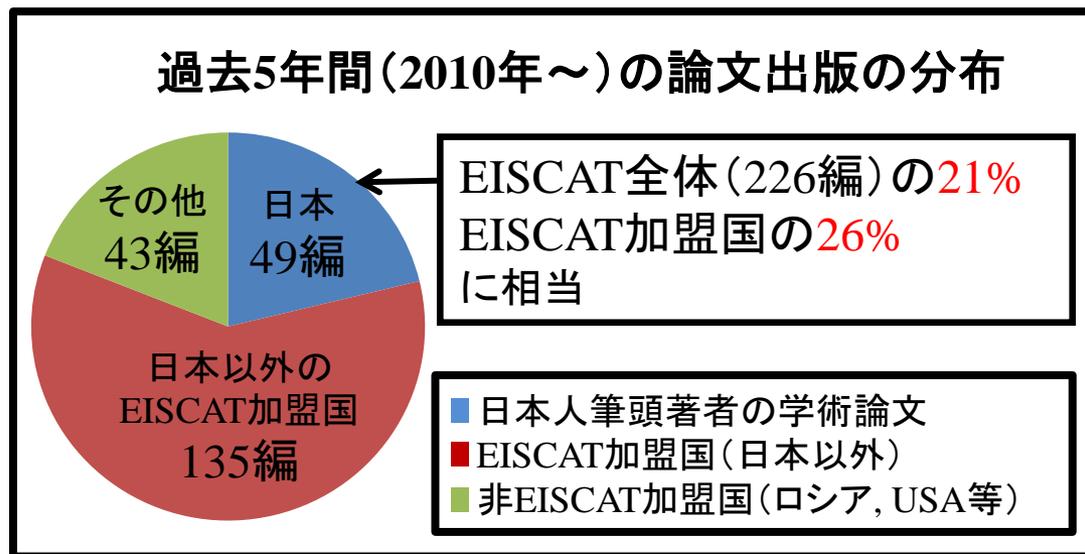


EISCAT 国内ホームページ:
<http://eiscat.nipr.ac.jp>

EISCAT共同利用に関する研究成果

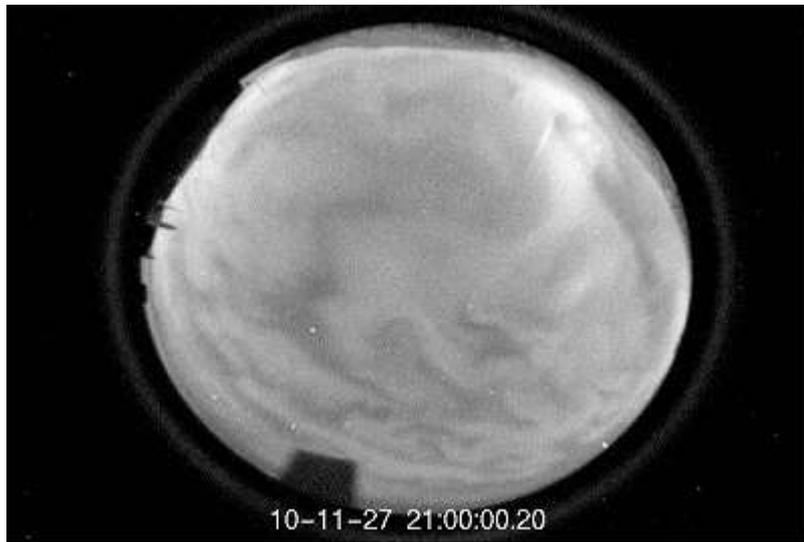
- 国立極地研究所や名大宇宙地球環境研究所 (ISEE) が中心となって、EISCAT全国共同利用を推進。
- 過去5年間(平成22-26年度)で計79件の全国公募に基づく実験申請。
→計60件の実験を実施(平成22-26年度)。
- EISCATを用いて平成22年度以降に64編の査読付き論文を出版。
その内、日本人主著者の論文は49編
- AGUのリサーチハイライトに論文2編が選出。

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。



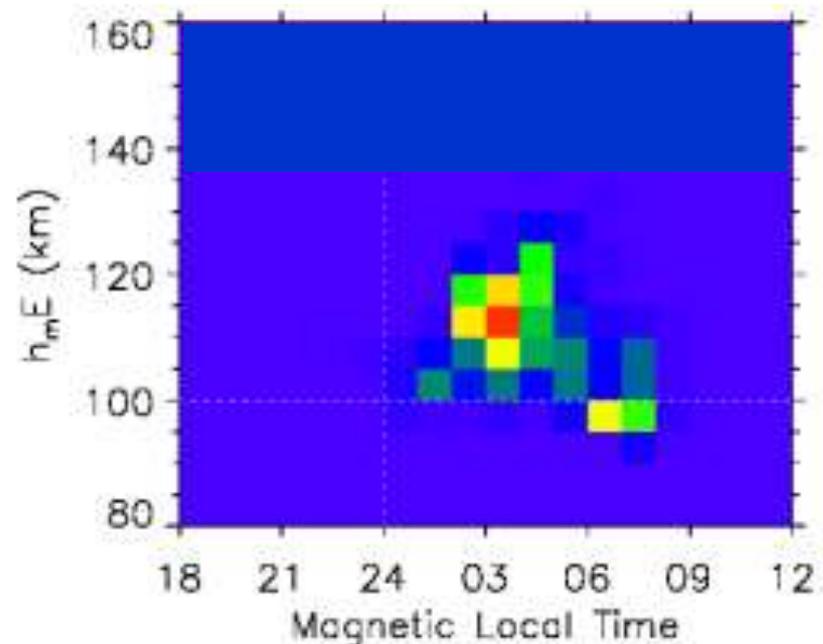
トロンソ・ノルウェーで観測された脈動オーロラの例

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

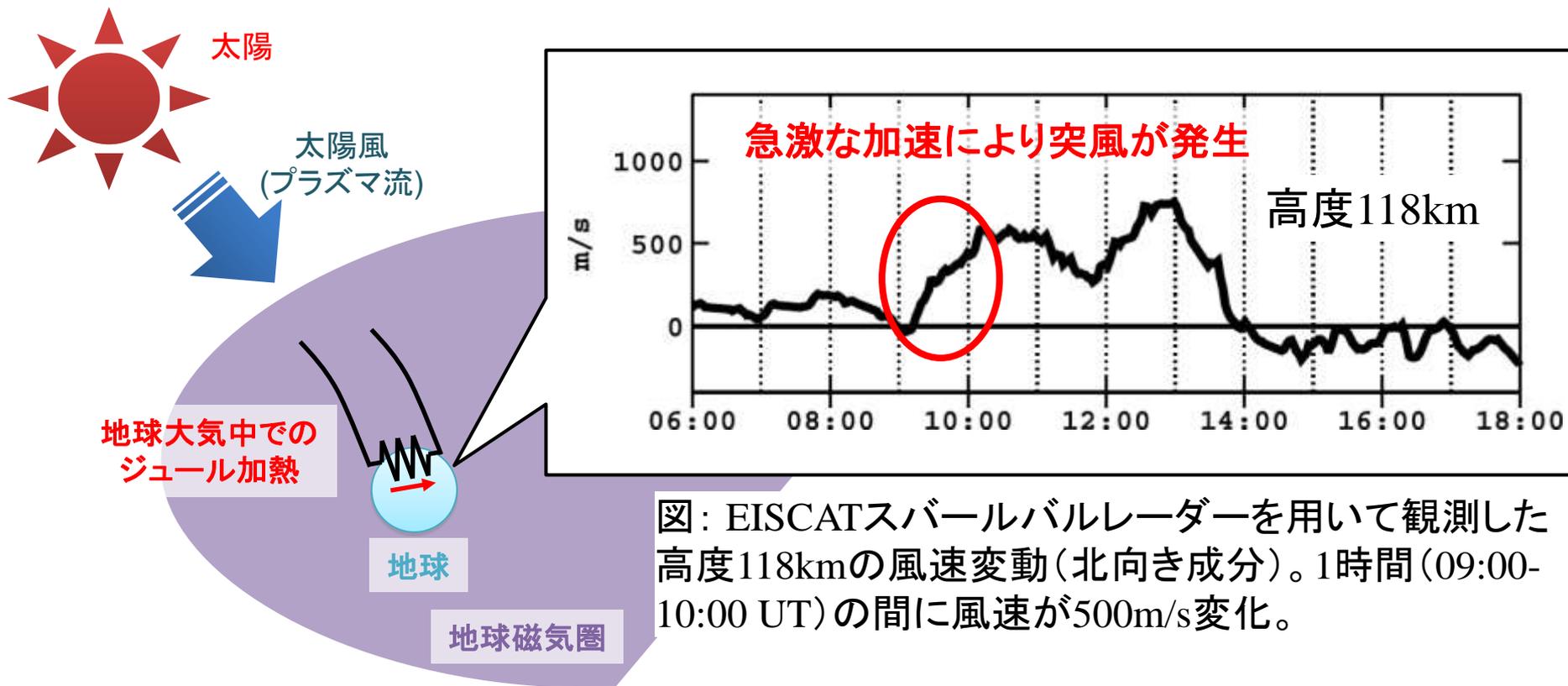


図: EISCATスバルバルレーダーを用いて観測した高度118kmの風速変動(北向き成分)。1時間(09:00-10:00 UT)の間に風速が500m/s変化。

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。

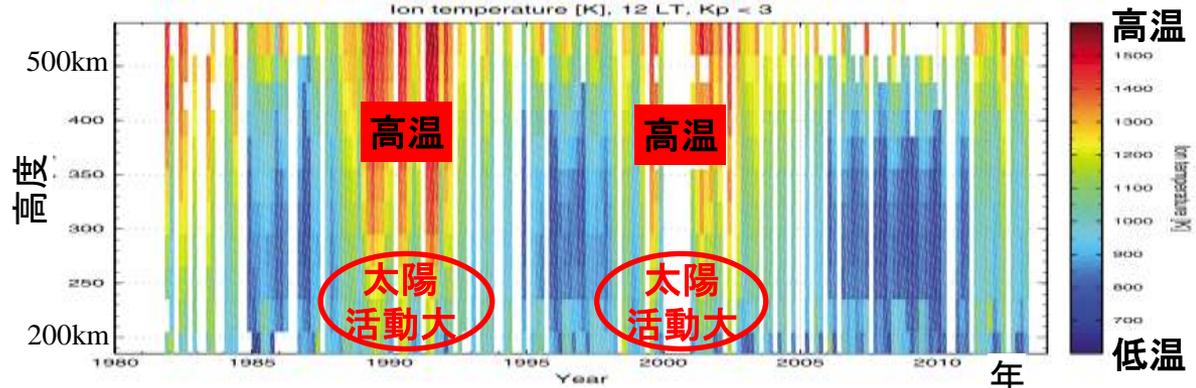
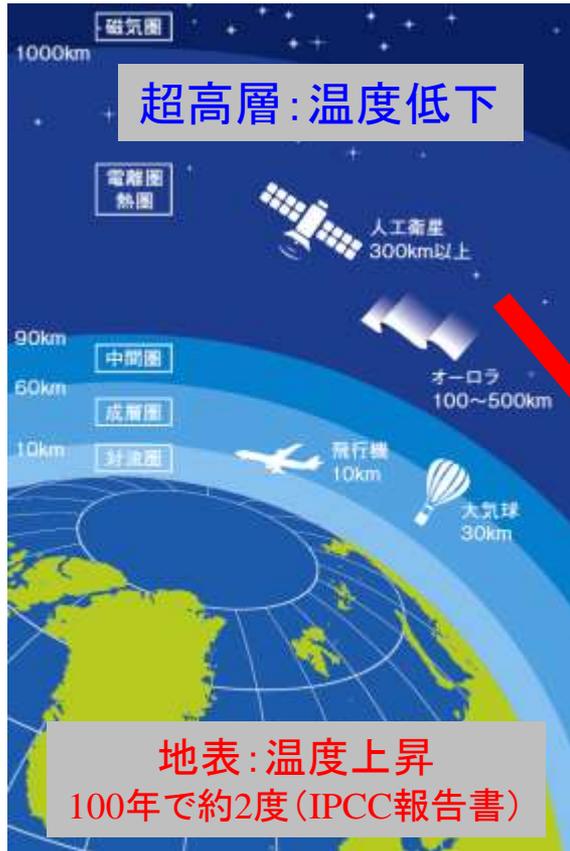


図1: EISCATレーダー観測による33年間のイオン温度変動

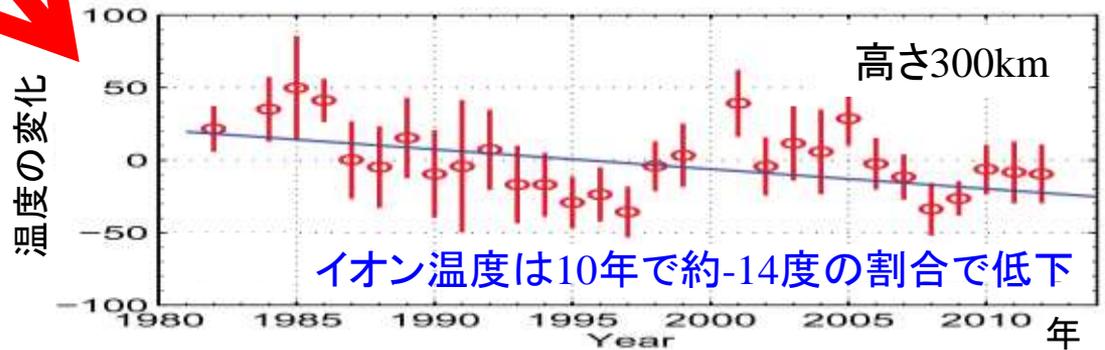


図2: 太陽活動の影響を取り除くことで明らかになったイオン温度の長期変化
Ogawa et al., *GRL*, 2014

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_3Dレーダー計画

大目標: 太陽風エネルギーの流入とその変換過程の全容解明



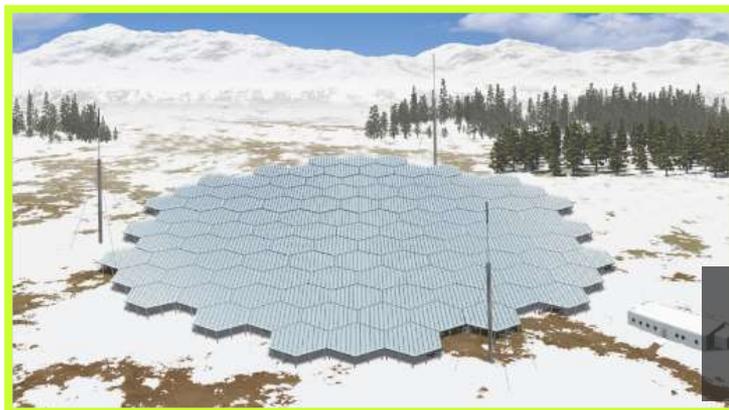
現行のレーダーは、極域特有の激しく変動する物理現象に対して十分なスペックと言えない状況

EISCAT_3Dレーダー (233MHz帯のフェーズドアレイ式レーダー)

上空70-2000 kmの「電子密度」「電子温度」「イオン温度」「イオン速度」を3次元的に測定

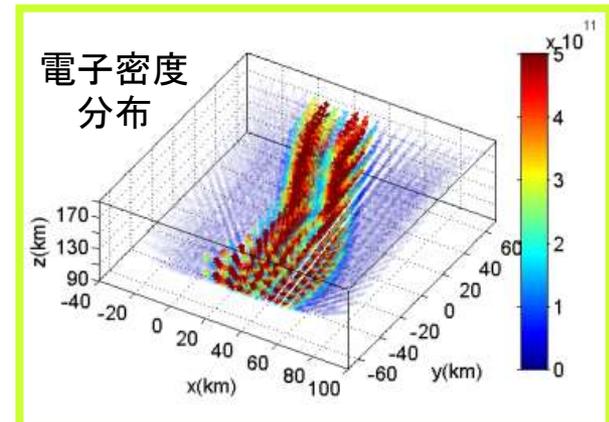
可能な世界唯一のレーダー、分解能: 時間(0.1秒)、空間(50 m)は世界最高性能。

⇒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。



アレイアンテナ
1万本による
3次元立体観測

高速・立体精密観測
が初めて可能に



EISCAT_3Dレーダー計画

大目標: 太陽風エネルギーの流入とその変換過程の全容解明



◎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監視
- ・スペースデブリ、落下衛星などのリスク検知

「マスタープラン2014」重点大型研究計画、 「ロードマップ2014」

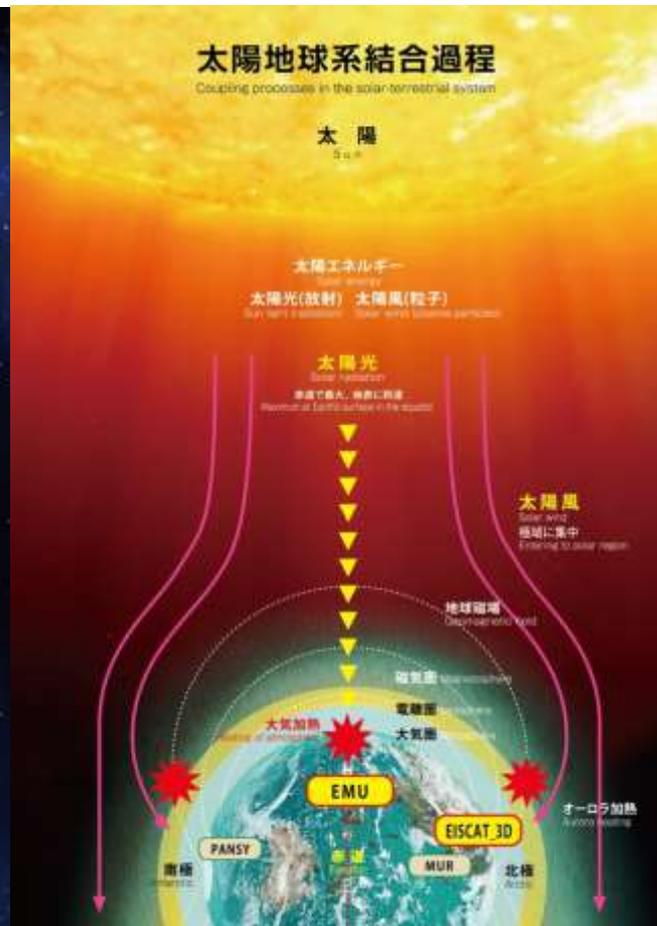
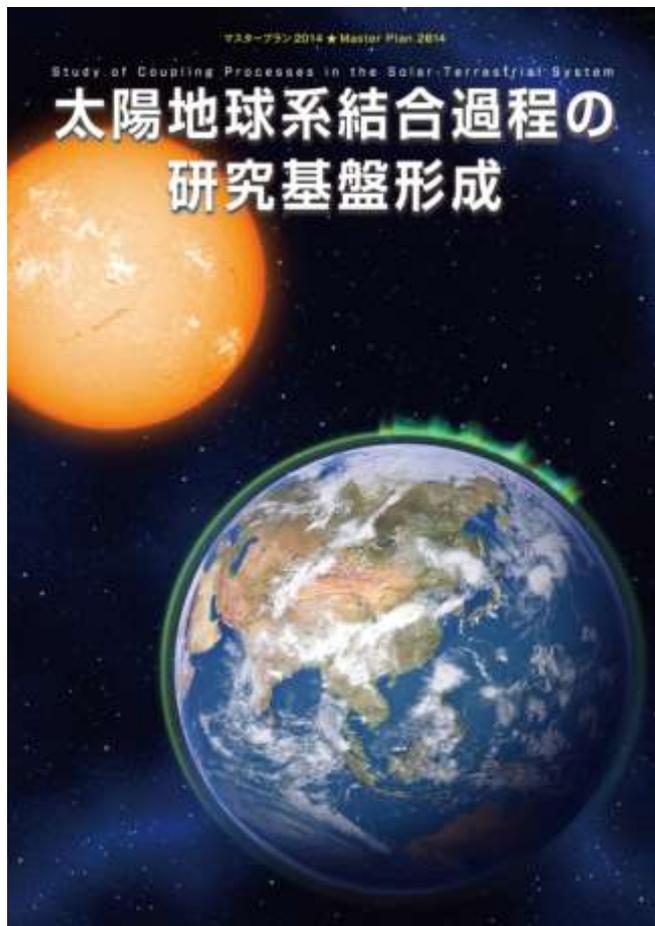
「マスタープラン2014」重点大型研究計画、「ロードマップ2014」に選出された大型計画「太陽地球系結合過程の研究基盤形成」の主要な観測装置の1つとして、EISCAT_3Dレーダーは位置づけられる。

研究代表者：津田敏隆
(京大生存研・教授/所長)

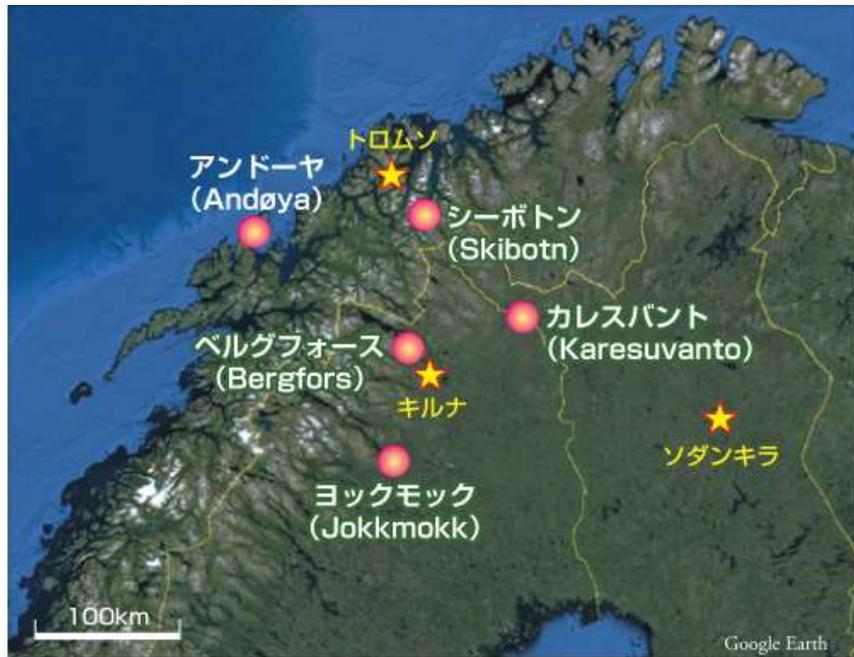
構成組織：
京大生存研、極地研、
名大ISEE、九大、
IUGONET運営協議会

- (1) 赤道ファウンテン
- (2) 極域エネルギー流入過程
- (3) グローバル結合過程

パンフレットより抜粋



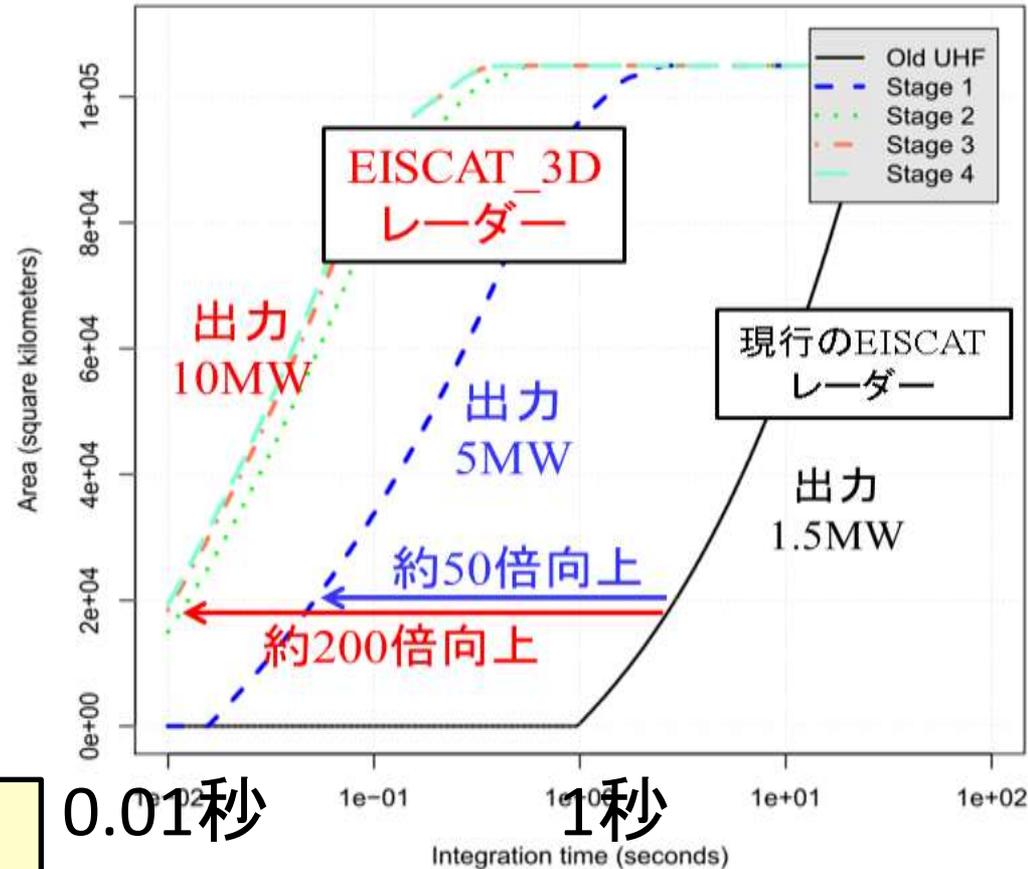
EISCAT_3Dサイト候補地と性能、今後の予定



- 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)



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。

(Courtesy of Drs. I. Virtanen and B. Gustavsson)

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ー極域エネルギー流入・変換過程の全容の解明ー」)

EISCAT_3D Science Case

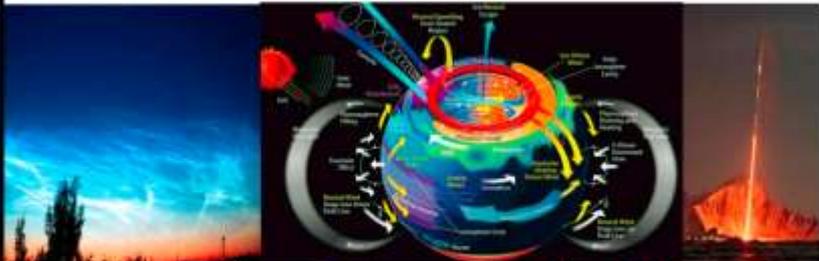
Anita Aikio¹, Ian McCrea²,
and the EISCAT_3D Science Working Groups

¹University of Oulu, Finland

²STFC Rutherford Appleton Laboratory, United Kingdom

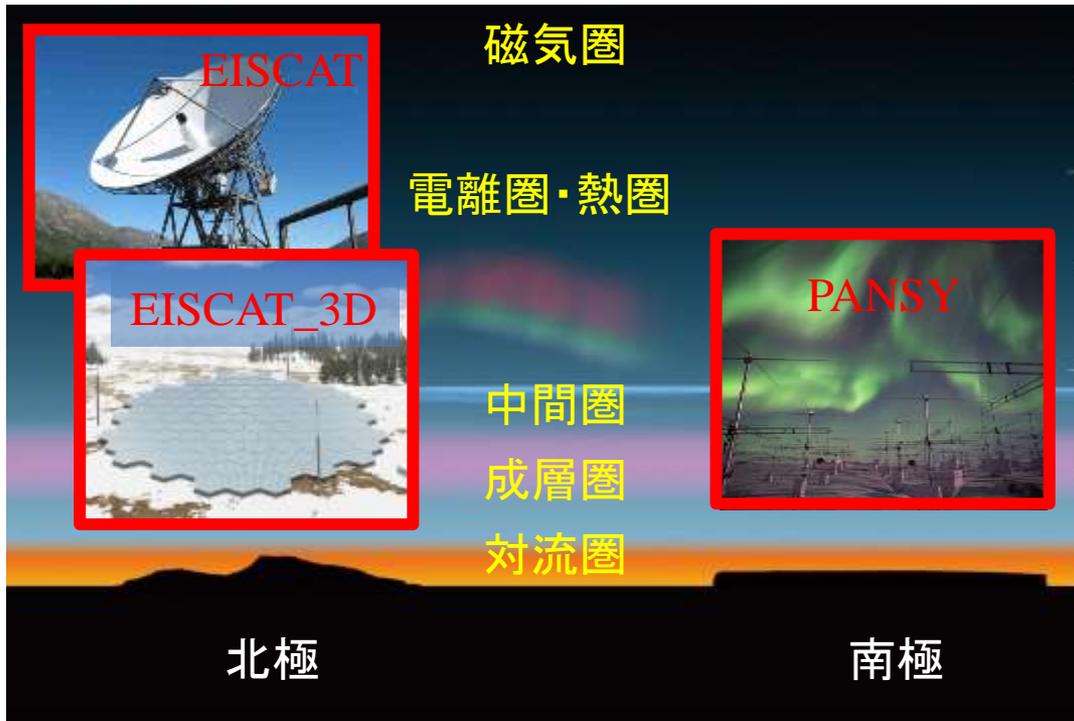
EISCAT_3D Preparatory Phase Project WP3

Version 3.0, July 2014

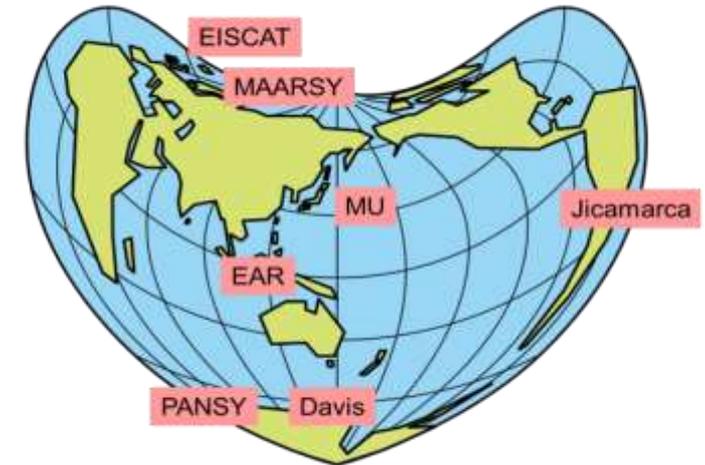


EISCAT と PANSY : 両極の大型レーダー

EISCATとPANSYは、ユニークな地理的共役点(地理緯度69度)
→ 両極を繋ぐ全球規模の大気・物質循環研究の進展



大型大気レーダー国際協同観測 (ICSOM)



大型大気レーダー国際協同観測 (ICSOM) を実施予定

- SCOSTEP/VarSITIの国際キャンペーン観測に認定。
- 2015年度(2016年1月15~31日)に第1回目を実施予定。
- PANSYレーダーやEISCATレーダーに加え、世界各国の大型大気レーダー(MU、MAARSY等)、各種電波・光学観測装置が参加予定。

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H28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

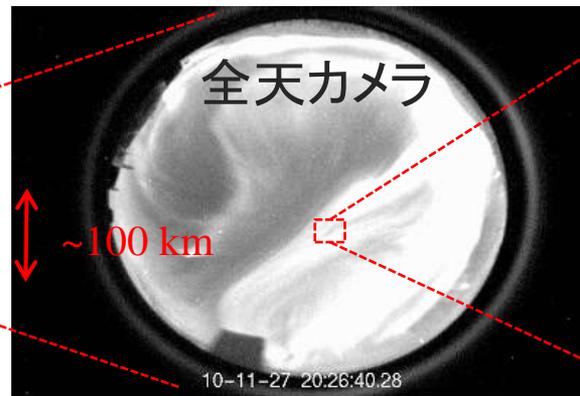
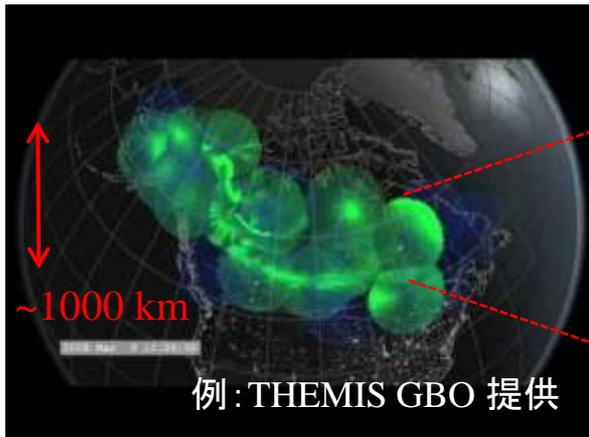
(2) 上方からの影響と下方からの影響を、EISCATレーダーや各種レーダーを用いて観測的に研究

「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。

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。
- 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。