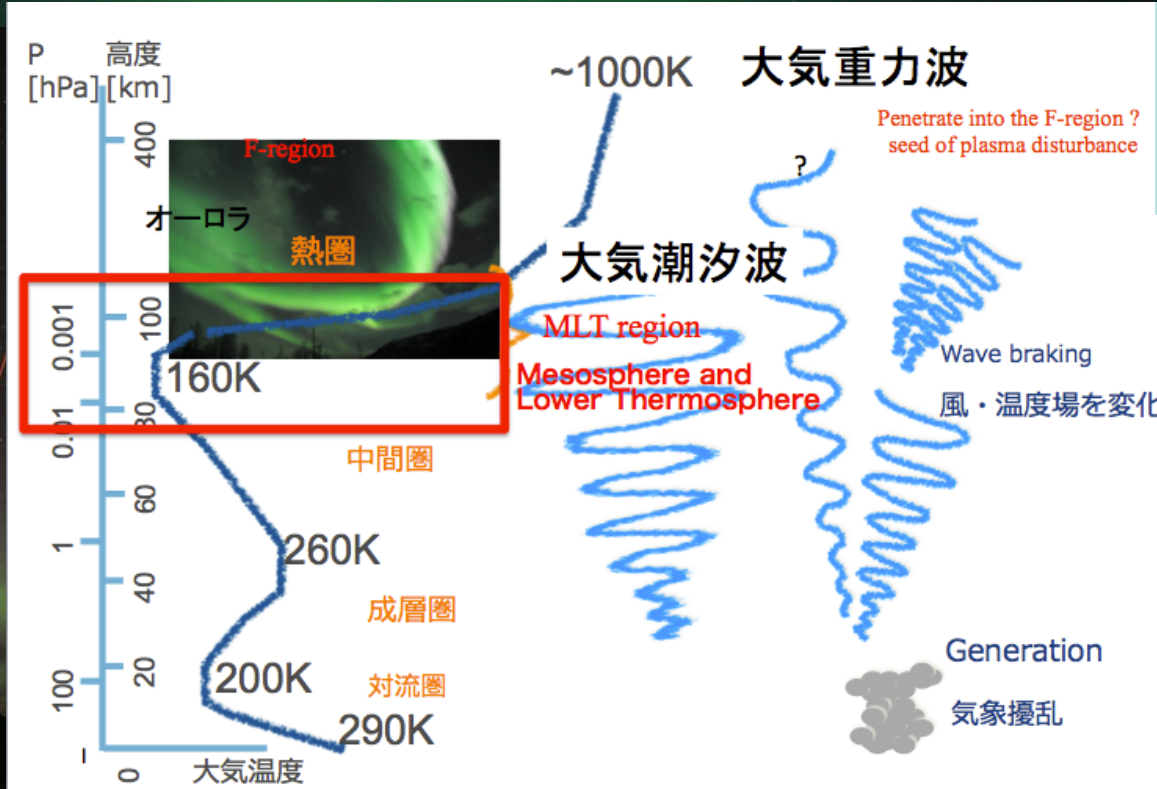


- 北欧トロンソ(北緯70度)において、ナトリウムライダーを中心に用いた観測研究
  - ✓ EISCATレーザー、MFLレーザー、流星レーザー等複数の観測装置を用いた観測研究
  - ✓ 北極域高度70-120 kmの大気変動の観測研究
- ① 磁気圏から流入するエネルギーに対する大気の応答～加熱、風速変動～
- ② 下層大気から伝播する大気波動～大気重力波、大気潮汐波、プラネタリー波～
- ③ 大気上下結合～成層圏—中間圏—熱圏～



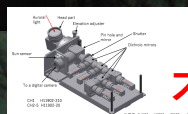
最近の学生のテーマ

- ・特異ナトリウム層
- ・大気潮汐波
- ・大気安定度



EISCATレーザー

ナトリウムライダー



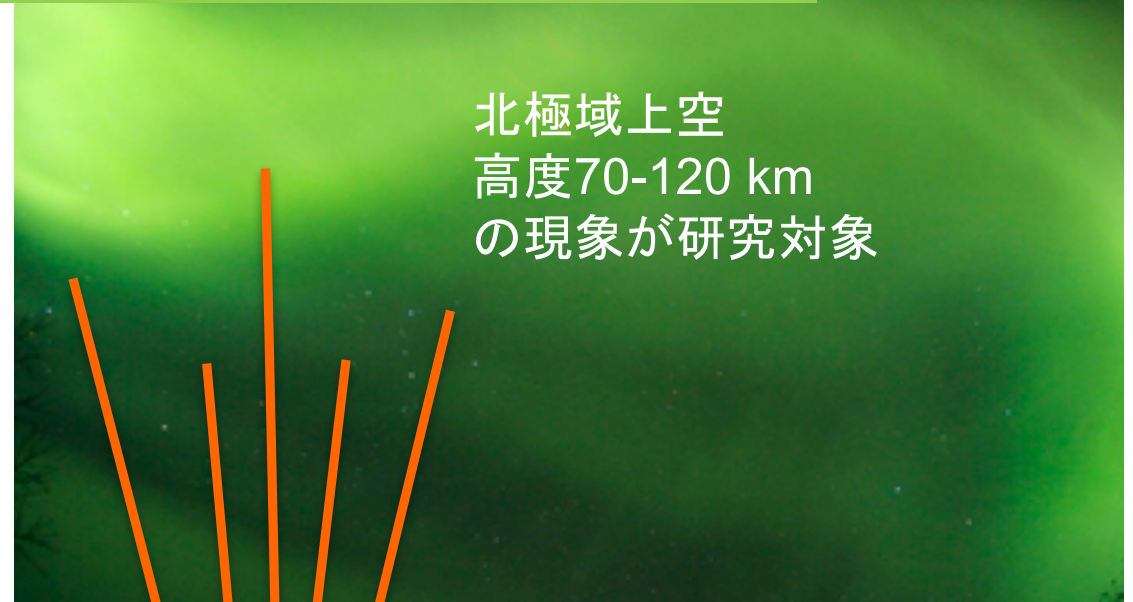
オーロラフォトメータ

観測研究;複数の観測装置を使用。

レーダー(電波)で、プラズマ情報を、ライダー(光)で中性大気の情報を取得



光で観測

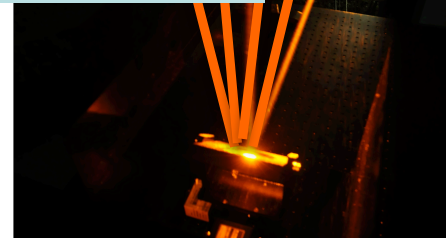


北極域上空  
高度70-120 km  
の現象が研究対象

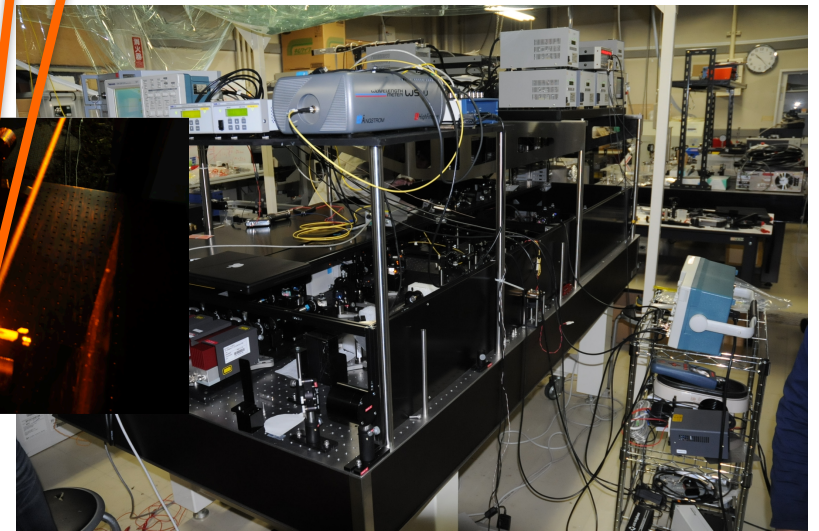


電波で観測

5方向!  
レーザーを  
打ち上げる



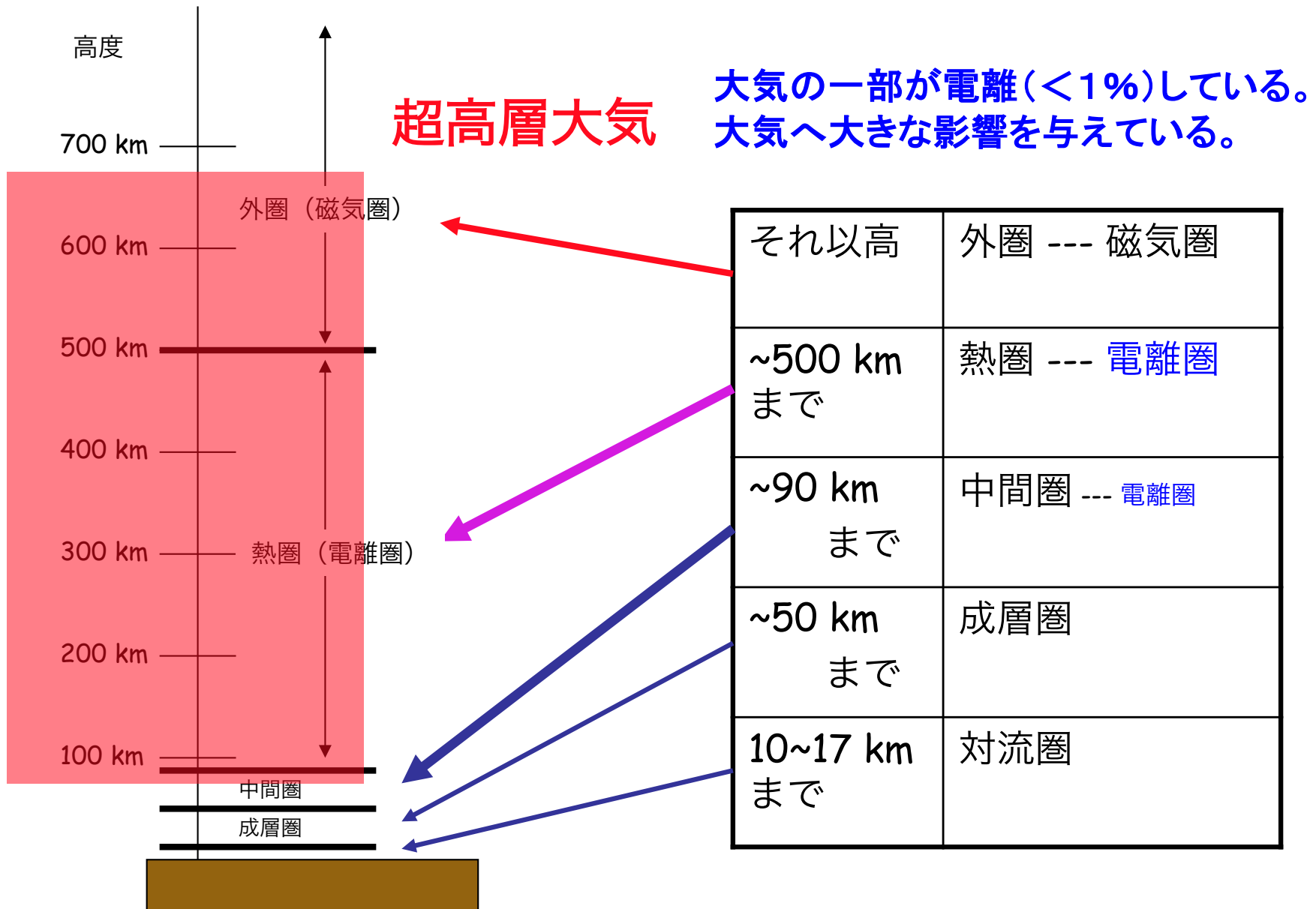
光で観測

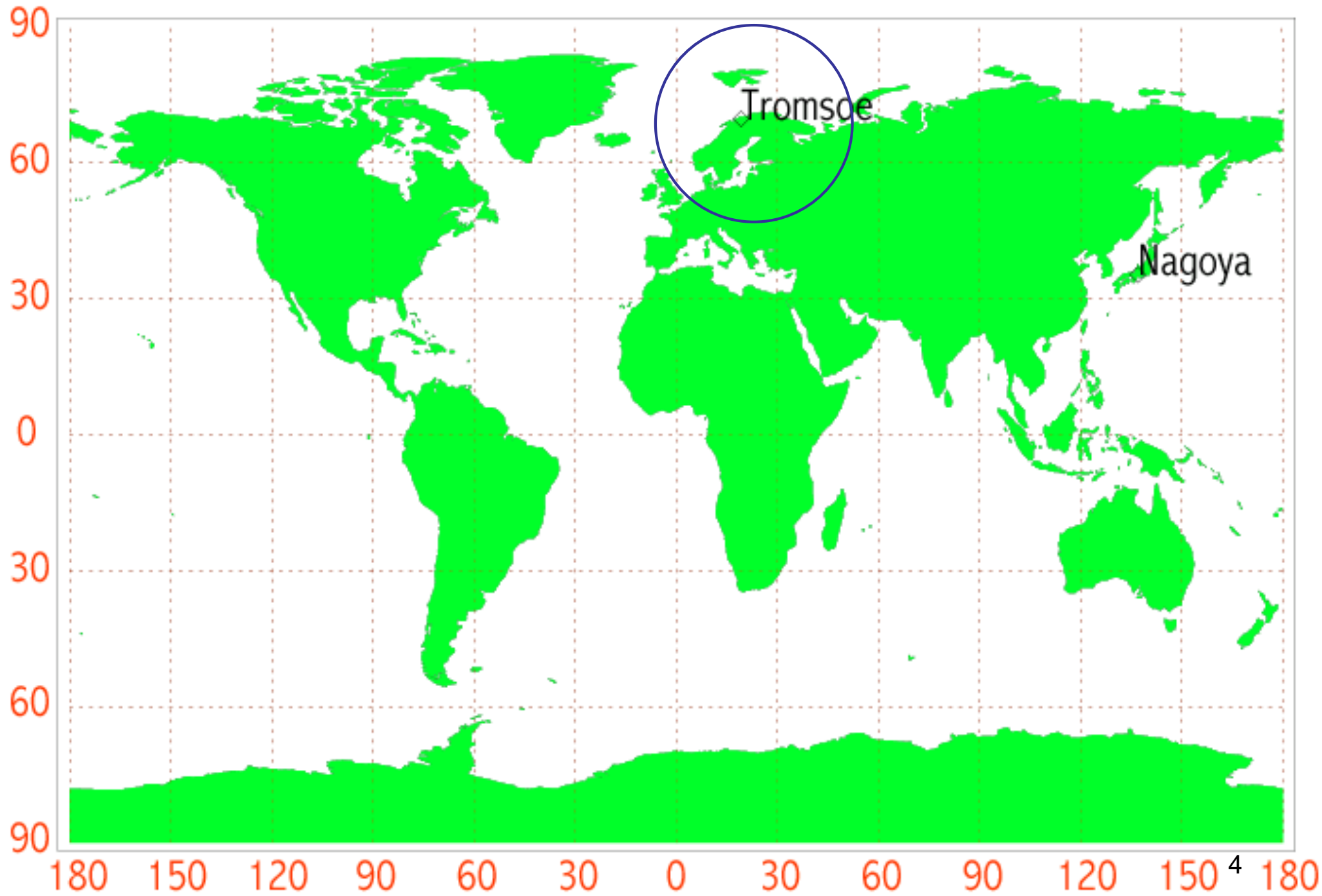


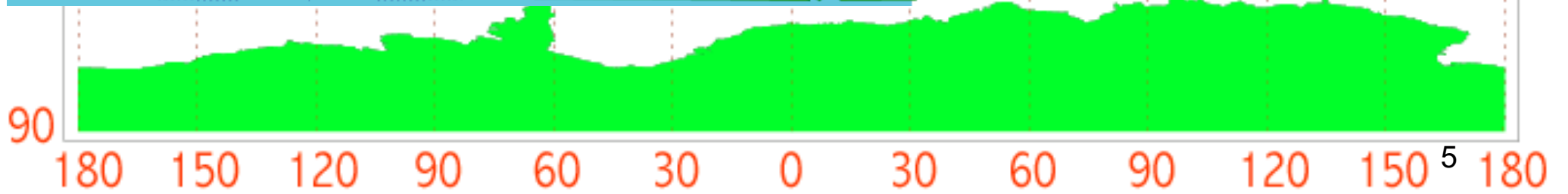
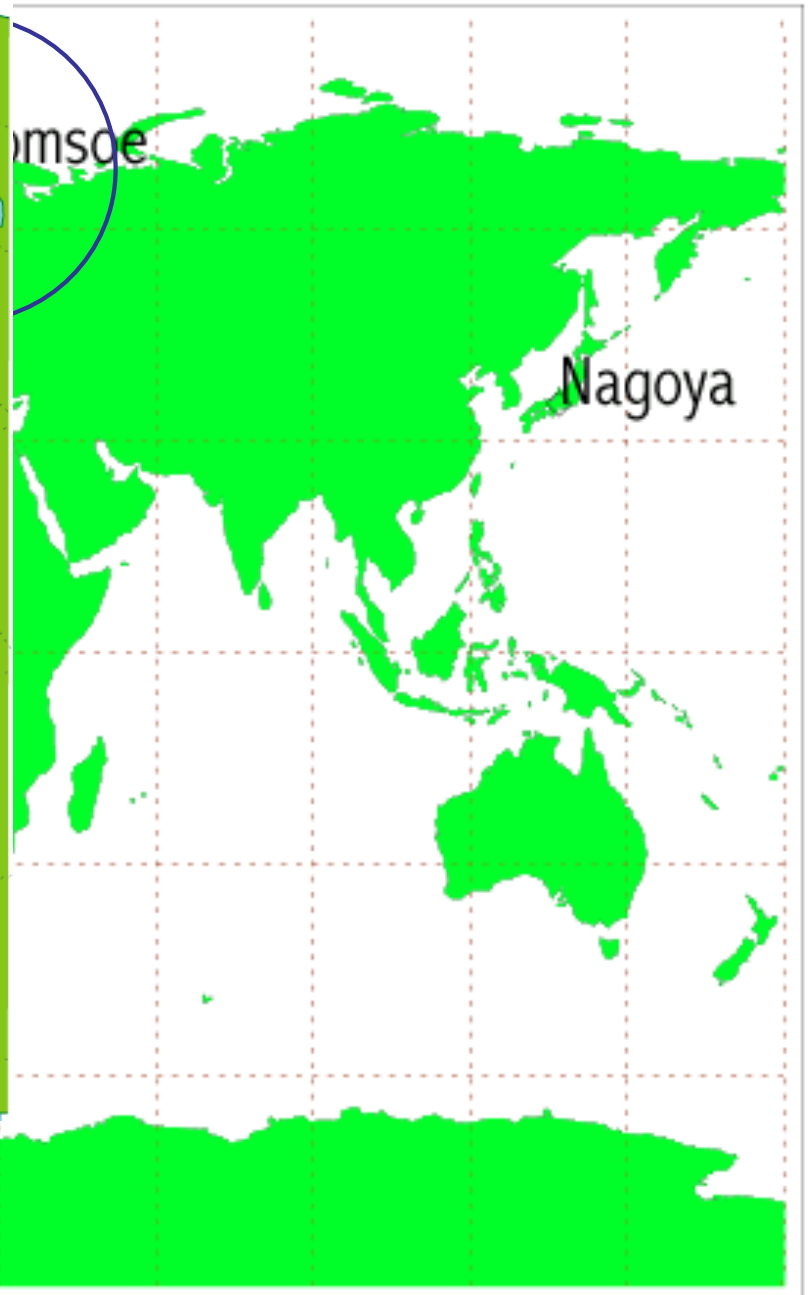
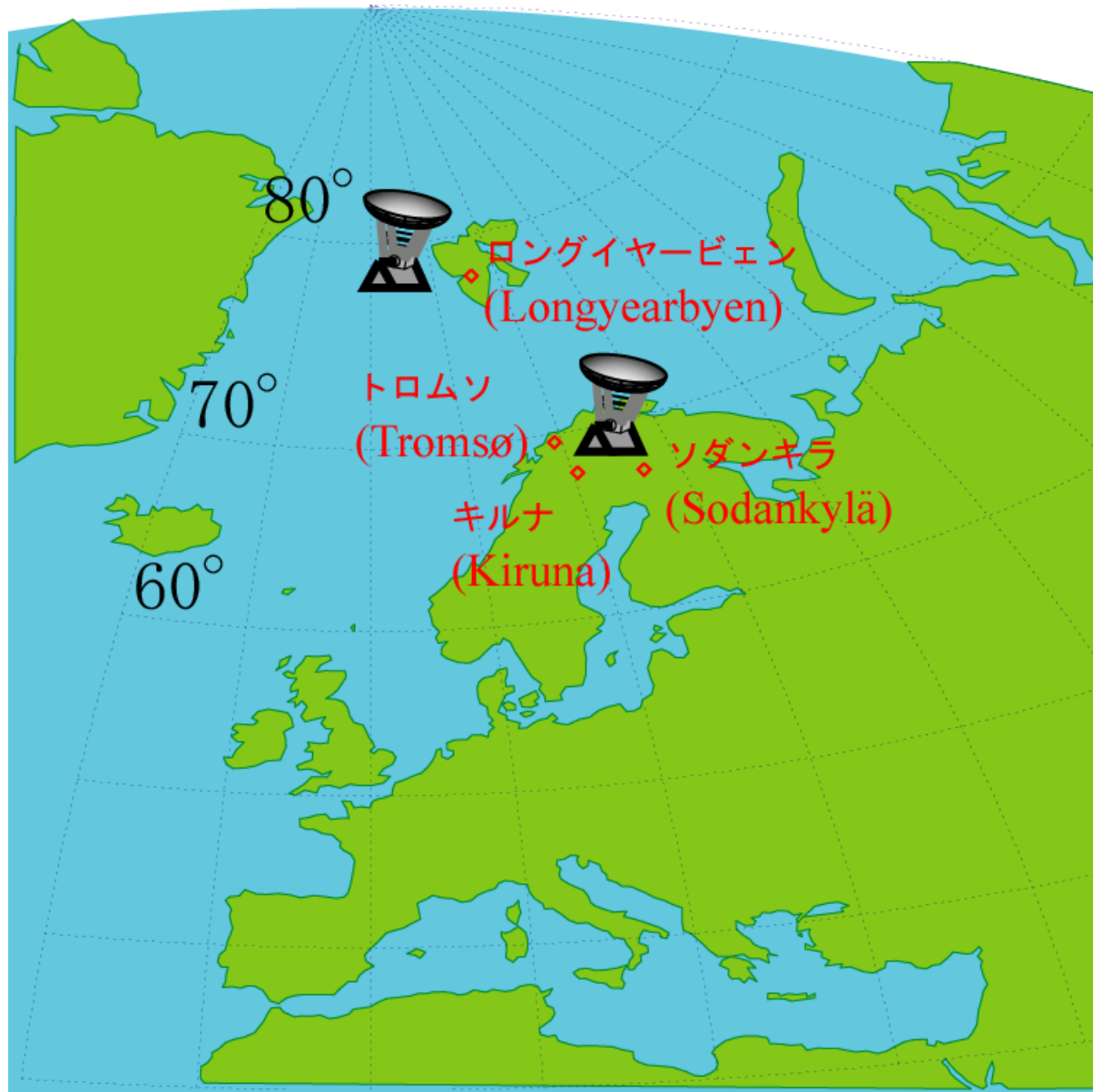
EISCATレーダー  
電子密度、電子温度、イオン温度、イオン速度

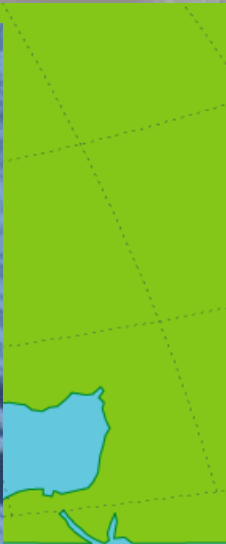
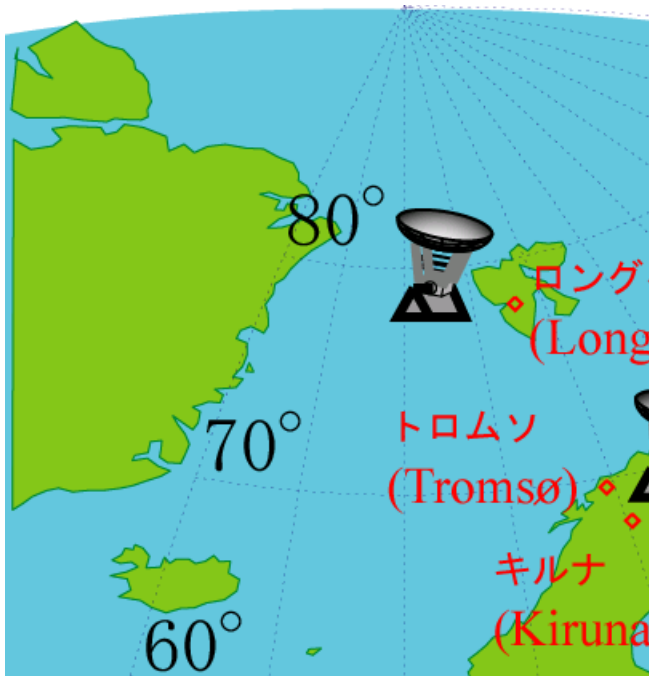
ナトリウムライダー: 中性大気温度,  
風速, Na密度

# 大気の構造





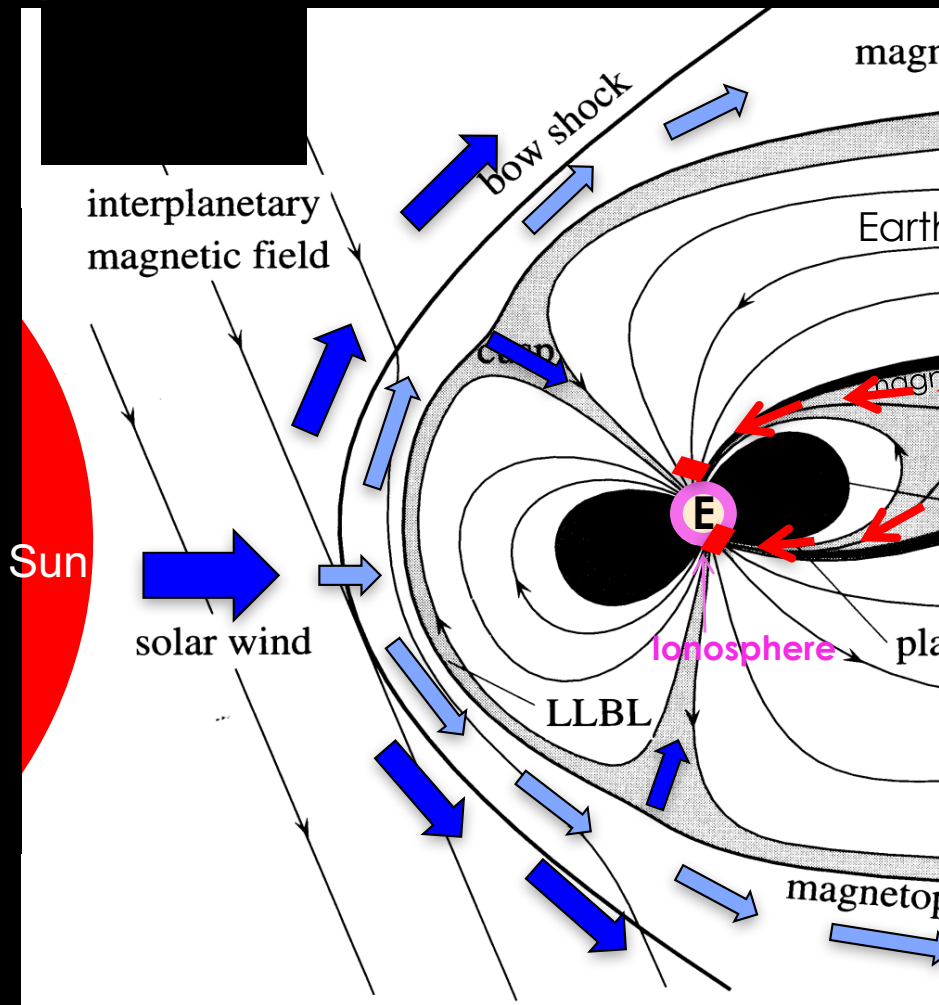




90 180 150 120 90 60 30 0 30 60 90 120 150 180<sup>6</sup>

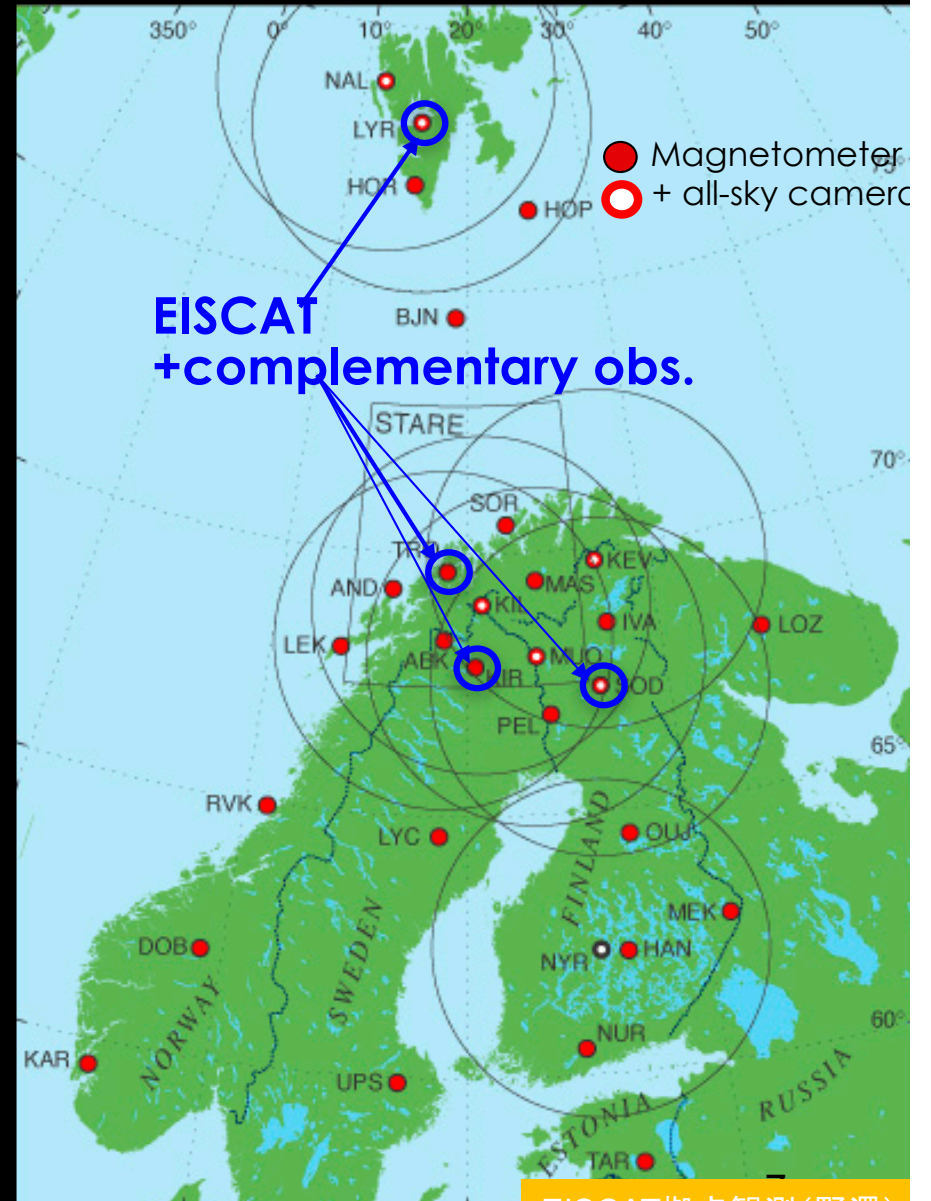
## どうして極域か？

極域大気は、磁気圏および太陽風に繋がっている。



## どうして北欧か？

EISCATレーダーを中心とした多くの観測装置が展開



EISCAT拠点観測(野澤)

**Solar wind energy input**

**Magnetosphere**

120km

**Thermosphere/  
Ionosphere**

80km

**Mesosphere**

Joule heating/particle heating/ion drag

Momentum/energy input due to waves

**GW**

**Planetary waves,  
tides.**

**Atmospheric waves**

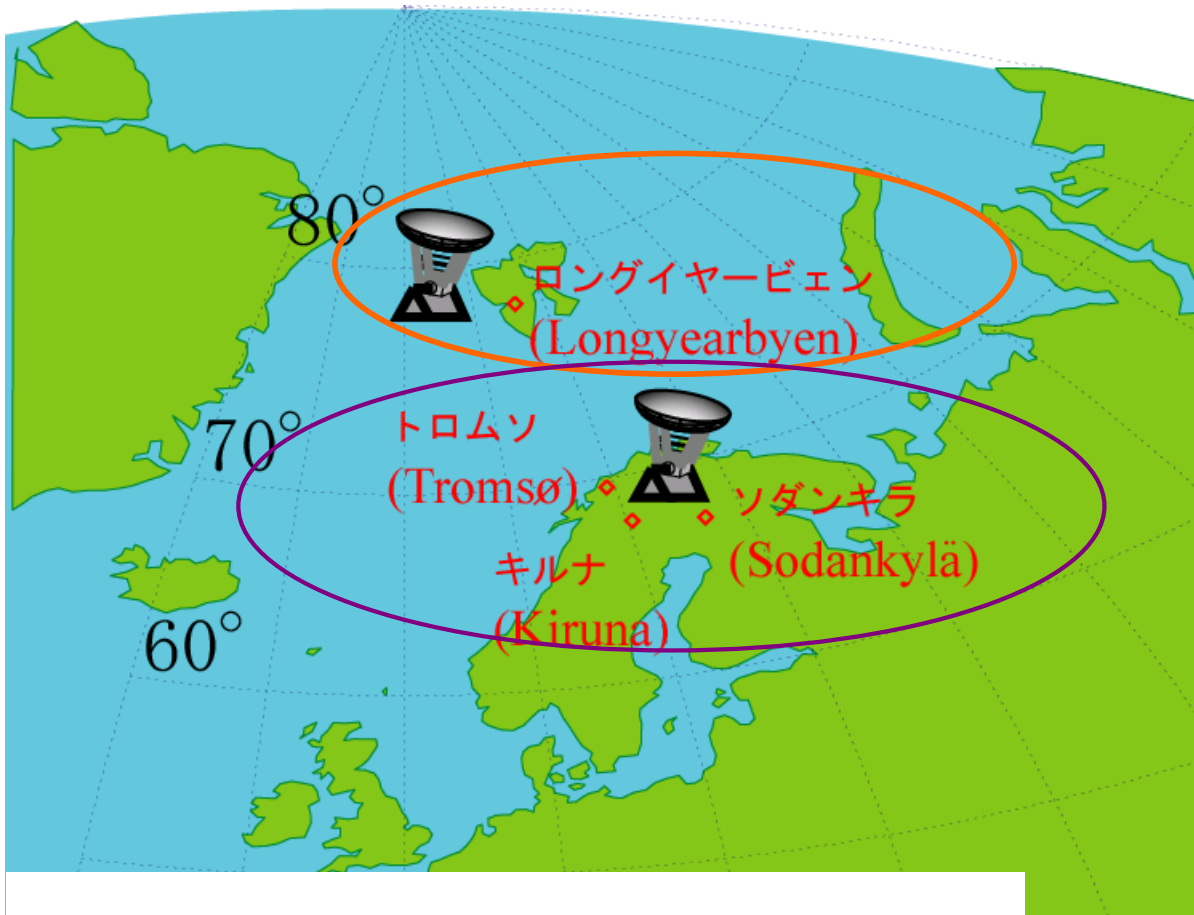
**Particle precipitations**

**Aurora**

**Couplings of the  
neutral atmosphere  
and electric particles**

**Coupling of the upper  
and lower atmosphere**

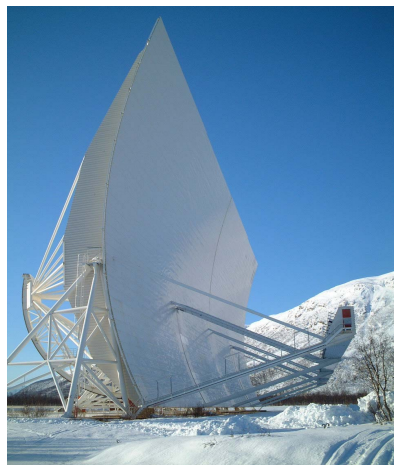




### ESR (EISCAT Svalbard Radar) (送信周波数 500 MHz)



ロングイヤービエン (78.15° N, 16.05° E) に設置。アンテナは可動式 (直径 32 m) と沿磁力線方向固定式 (直径 42 m) の2基より構成。VHF、UHFレーダーに比べ高緯度に設置されているため、太陽風粒子が直接流入するカस्प域や、ポーラーキャップにおける物理現象の観測に適する。



### VHFレーダー

(送信周波数 224 MHz)  
 トロムソ (69.59° N, 19.23° E) に設置  
 アンテナの大きさは120 m × 40 m。  
 4つの可動式シリンダー型のアンテナから成り、2方向の同時観測が可能。  
 UHFレーダーに比べ、高高度または低高度の双方の観測に適する。



### UHFレーダー

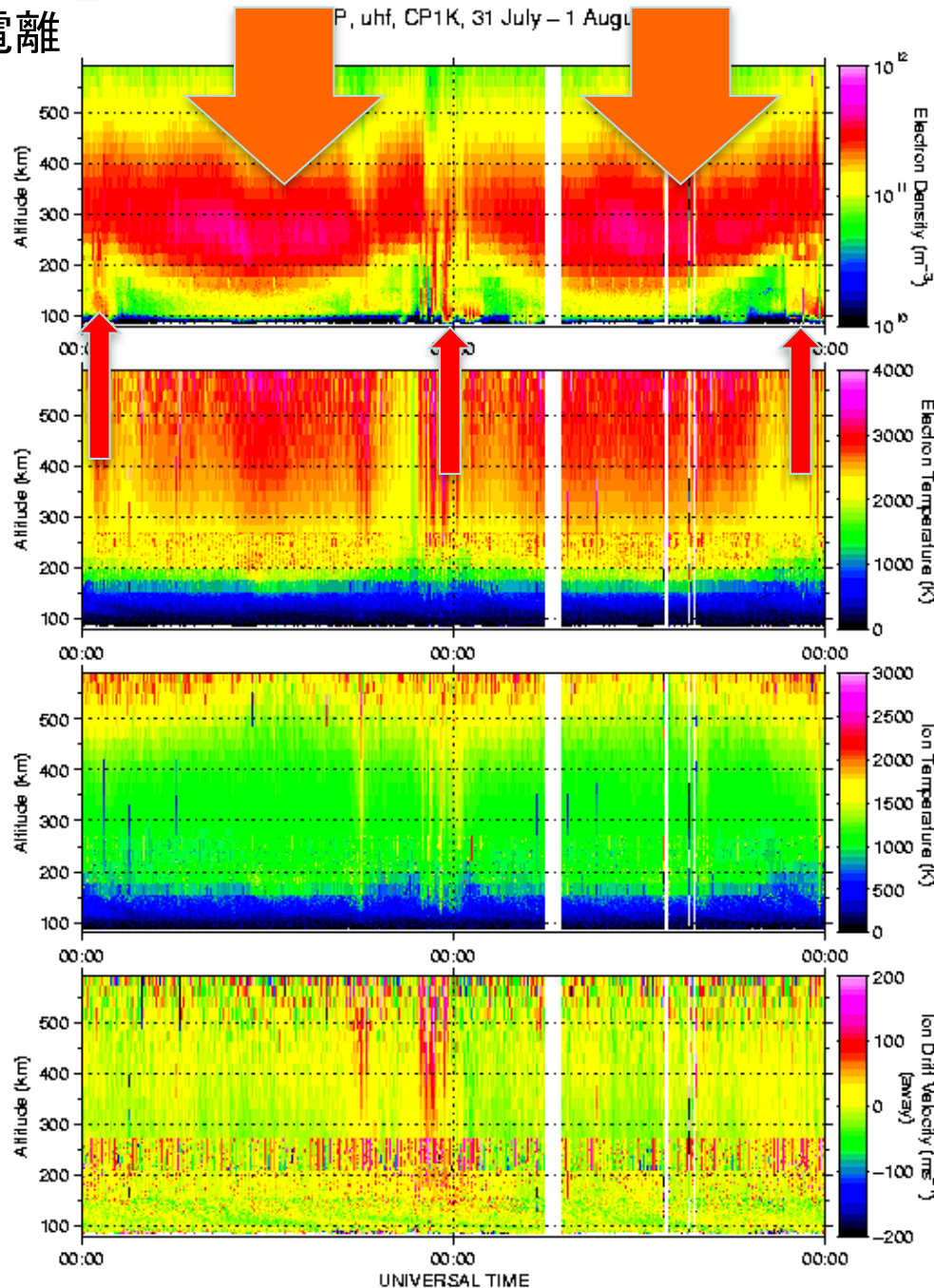
(送信周波数 931 MHz)  
 トロムソ (69.59° N, 19.23° E)、  
 キルナ (67.86° N, 20.44° E)、  
 ソダンキラ (67.36° N, 26.63° E) に設置。  
 アンテナはパラボラ型であり、その直径は 32 m。



EISCATの科学データの例

極端紫外線による電離

P, uhf, CP1K, 31 July - 1 Aug.



電子密度

電子温度

イオン温度

イオン速度

オーロラ電離

時間分解能1分  
高度分解能3km

# EISCAT radar site at Tromsø (69.6° N, 19.2° E)

EISCATレーダを始め、MFLレーダー、流星レーダー、FPI、オーロライメージャなどが稼働しており、総合的な中間圏・熱圏・電離圏の観測が行われている。

2010年10月からナトリウムライダー稼働開始。



# 2010年10月から観測開始

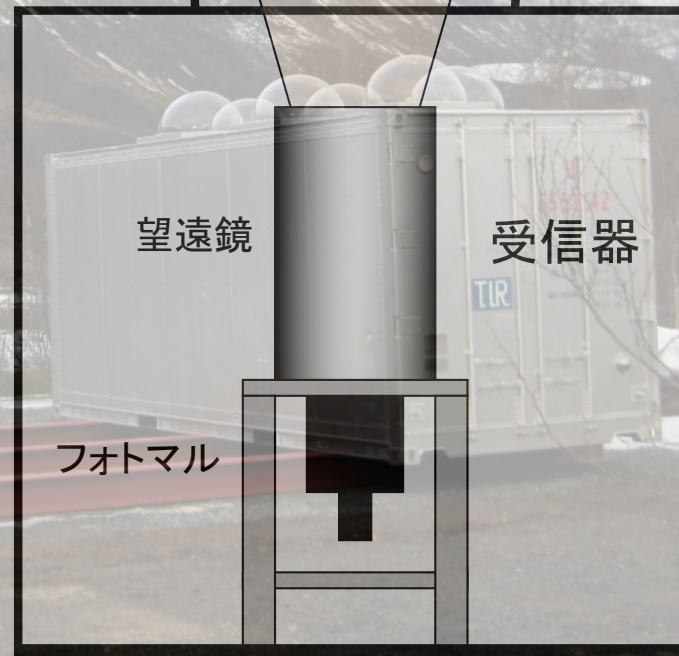
散乱光を観測



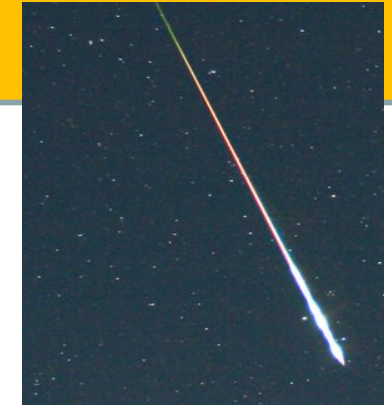
7シーズン終了。約3000時間以上の温度データを取得



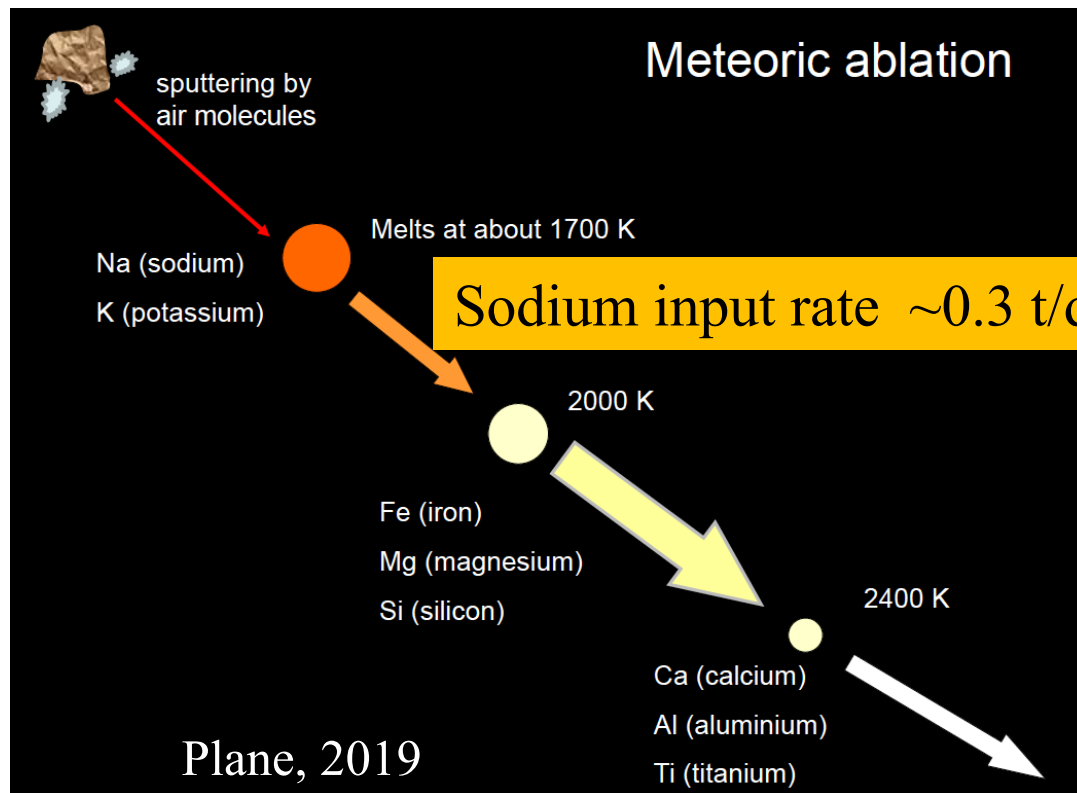
送信コンテナ



受信コンテナ

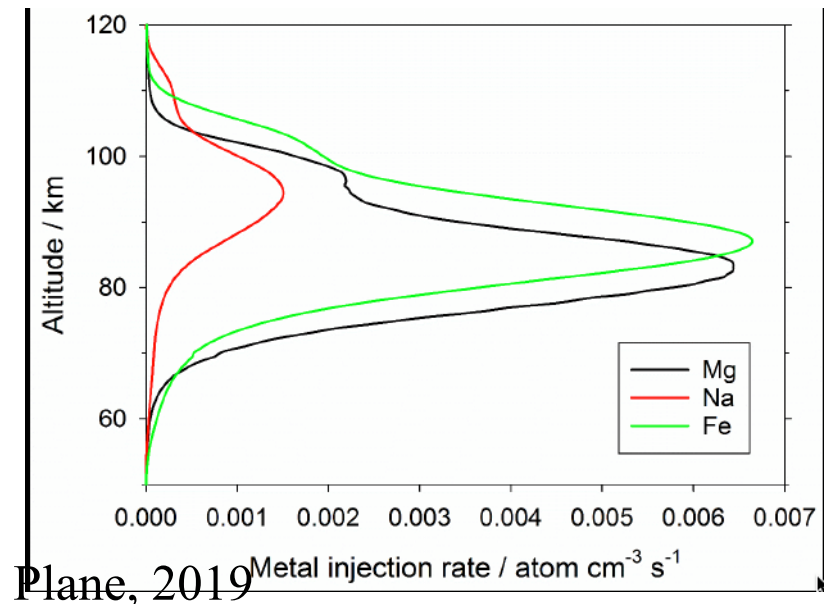


Cosmic dust flux (comets) into the earth's atmosphere



About 30 (3-300) tonnes per day  
Plane, Chem. Soc. Rev., 2012

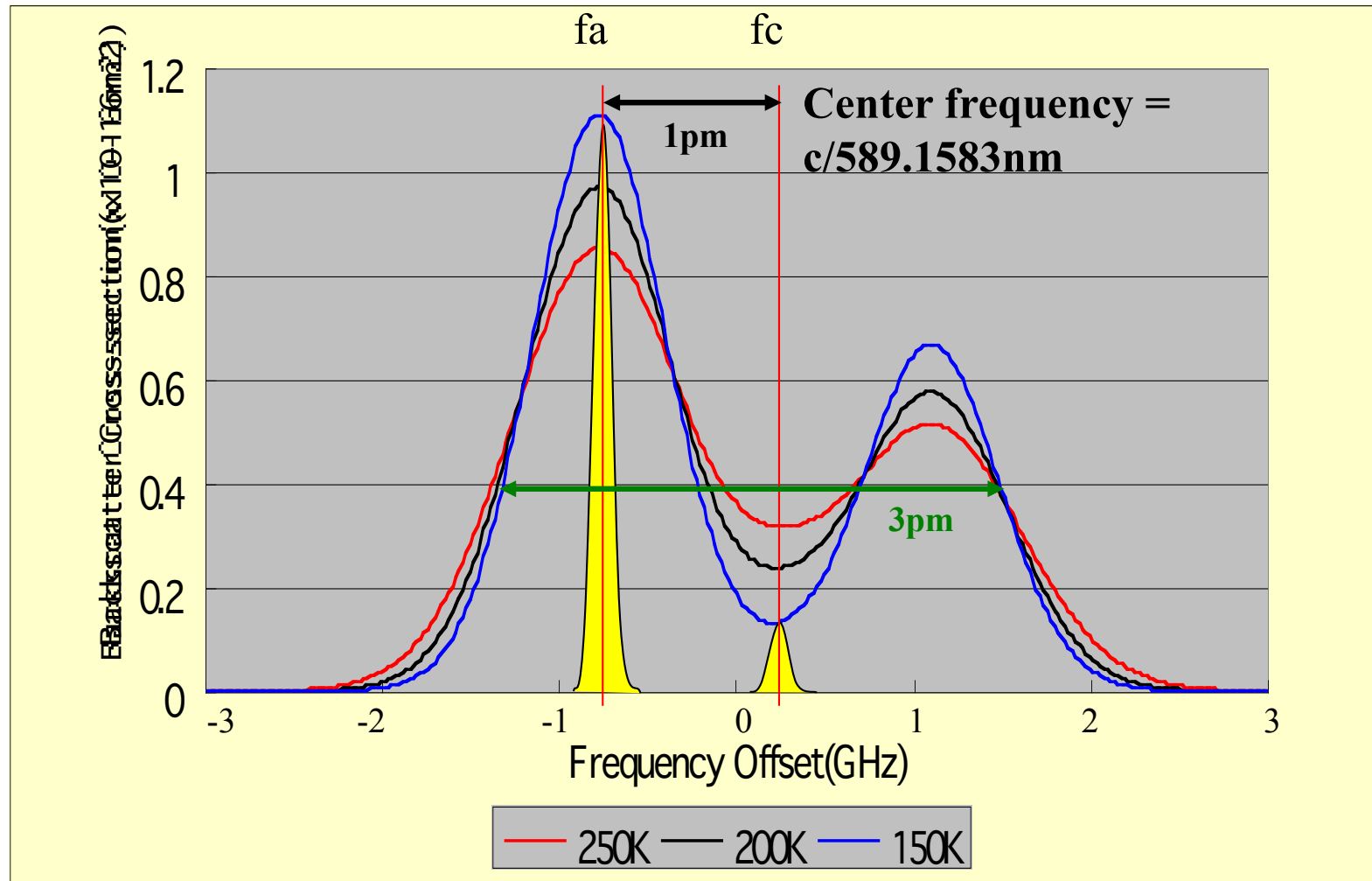
Na ablates about 5 km higher than Fe



# 高い時間分解能(数分)を達成するには、高速に波長変換が必要

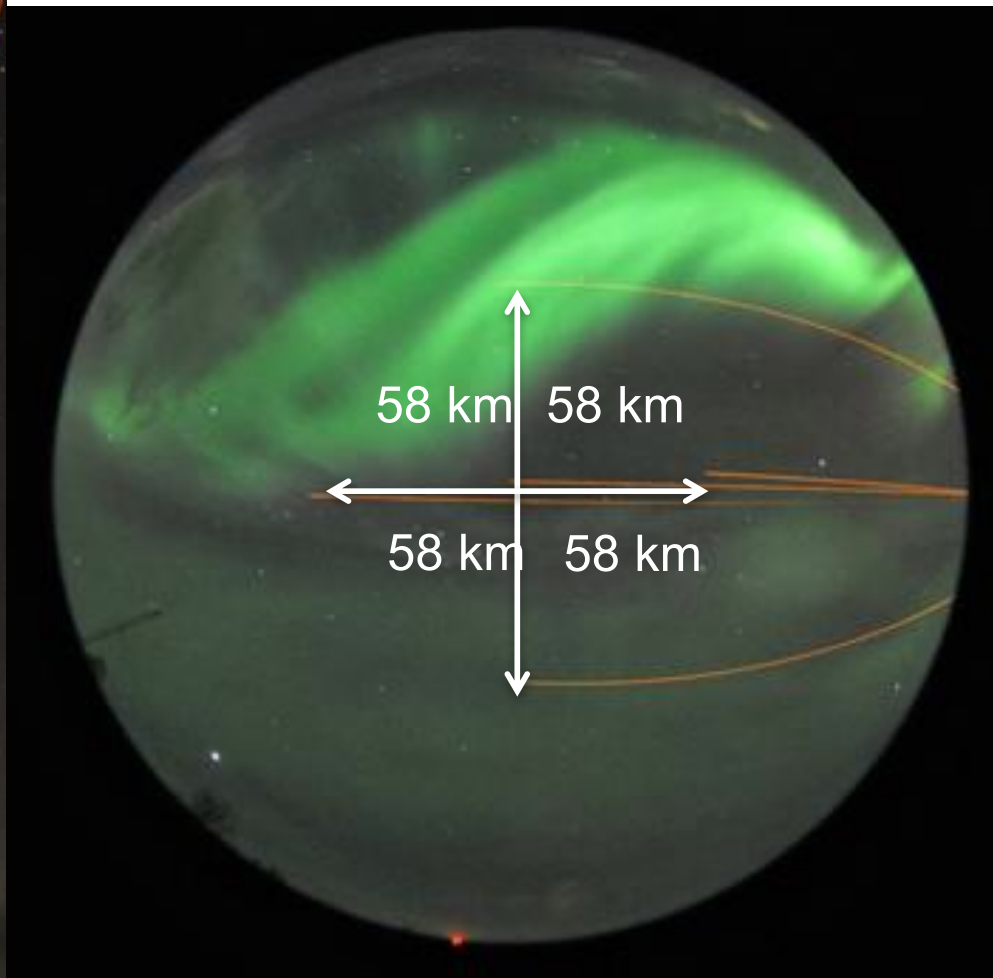
EISCAT拠点観測(野澤)

## Doppler Broadened Sodium D<sub>2</sub> Spectra



0.02 pmの精度で制御

Variation of temperature in altitude,  
Horizontal different, and time



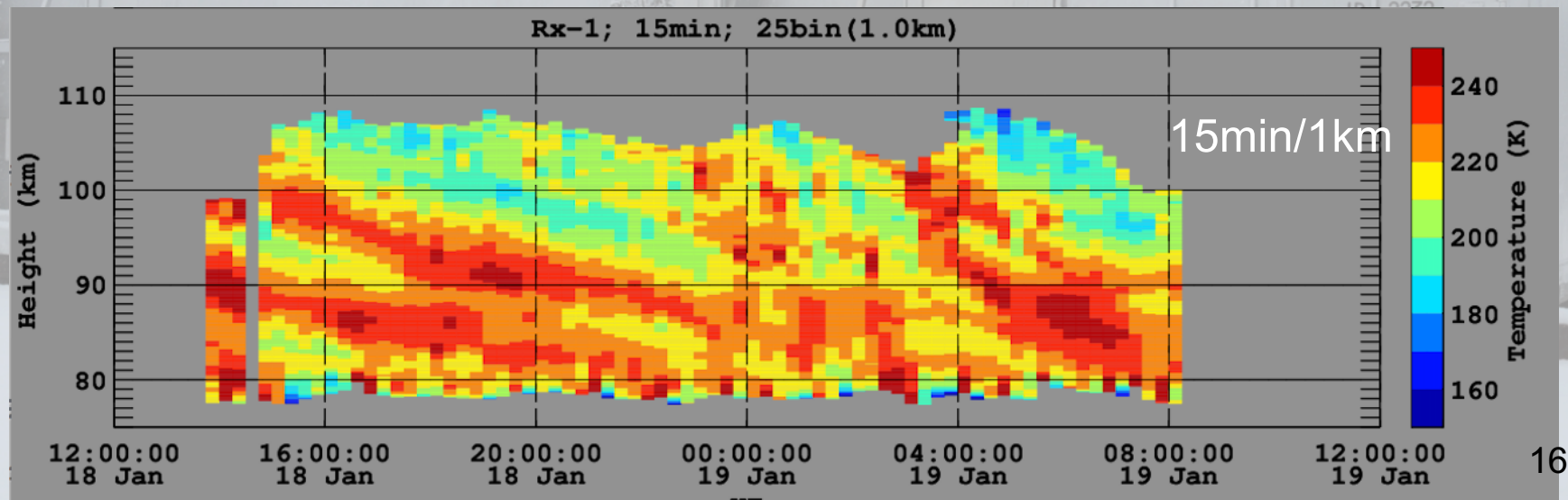
# Characteristics of the sodium LIDAR at Tromsø

Higher power ( $\sim 4$  W), low noise, high-sensitivity PMT, and HANDY  
Covering 80 and 110 km region

## Strong points:

- (1) Simultaneous FIVE directional observations of Temperature, wind, and sodium density.
- (2) High time/altitude resolutions: 3min/500 m (5 sec/96 m)

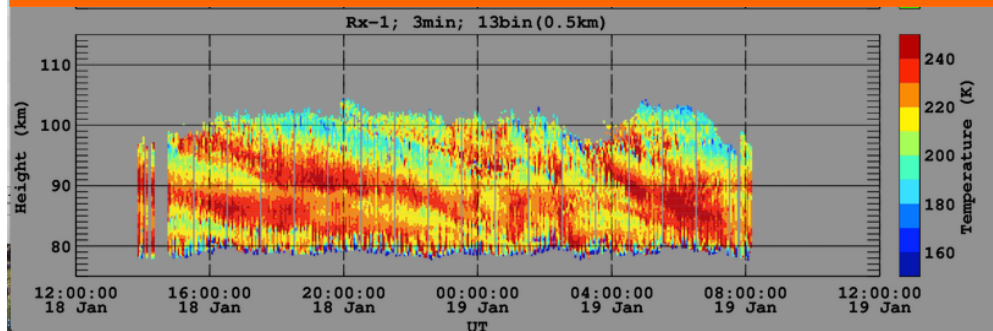
Now 1min/500m



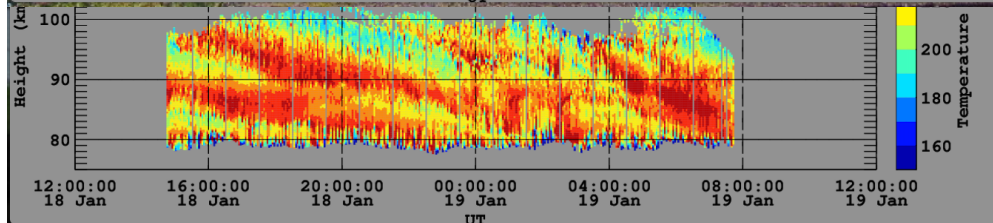


# Sample of LIDAR data:

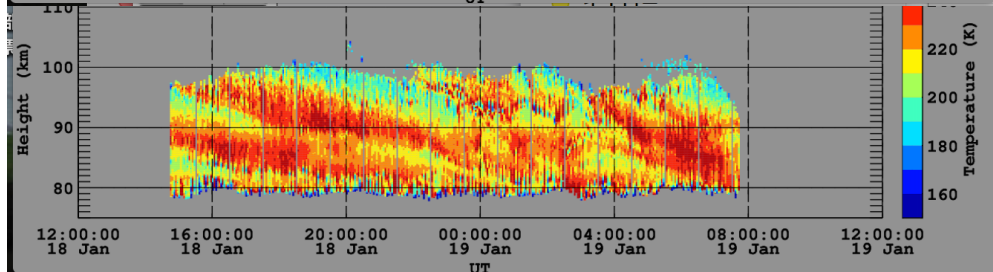
We can obtain temperature, velocity, and Na density simultaneously at the five directions.



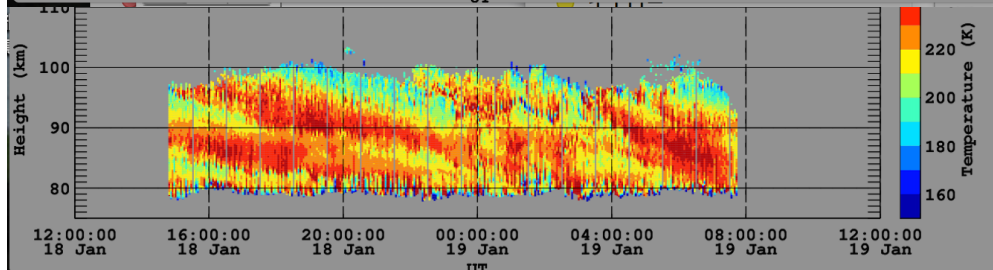
Temperature at the vertical position



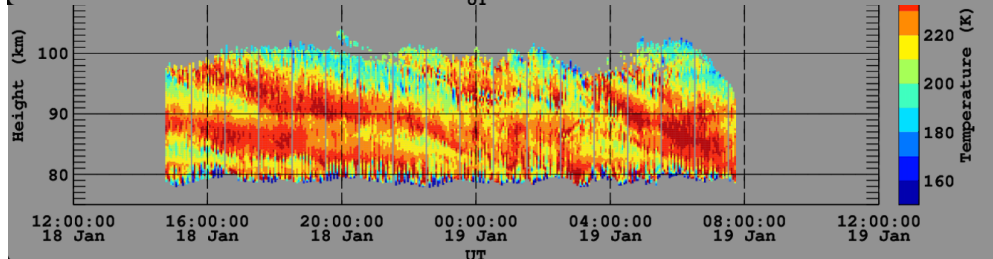
Temperature at southward position



Temperature at northward position



Temperature at westward position



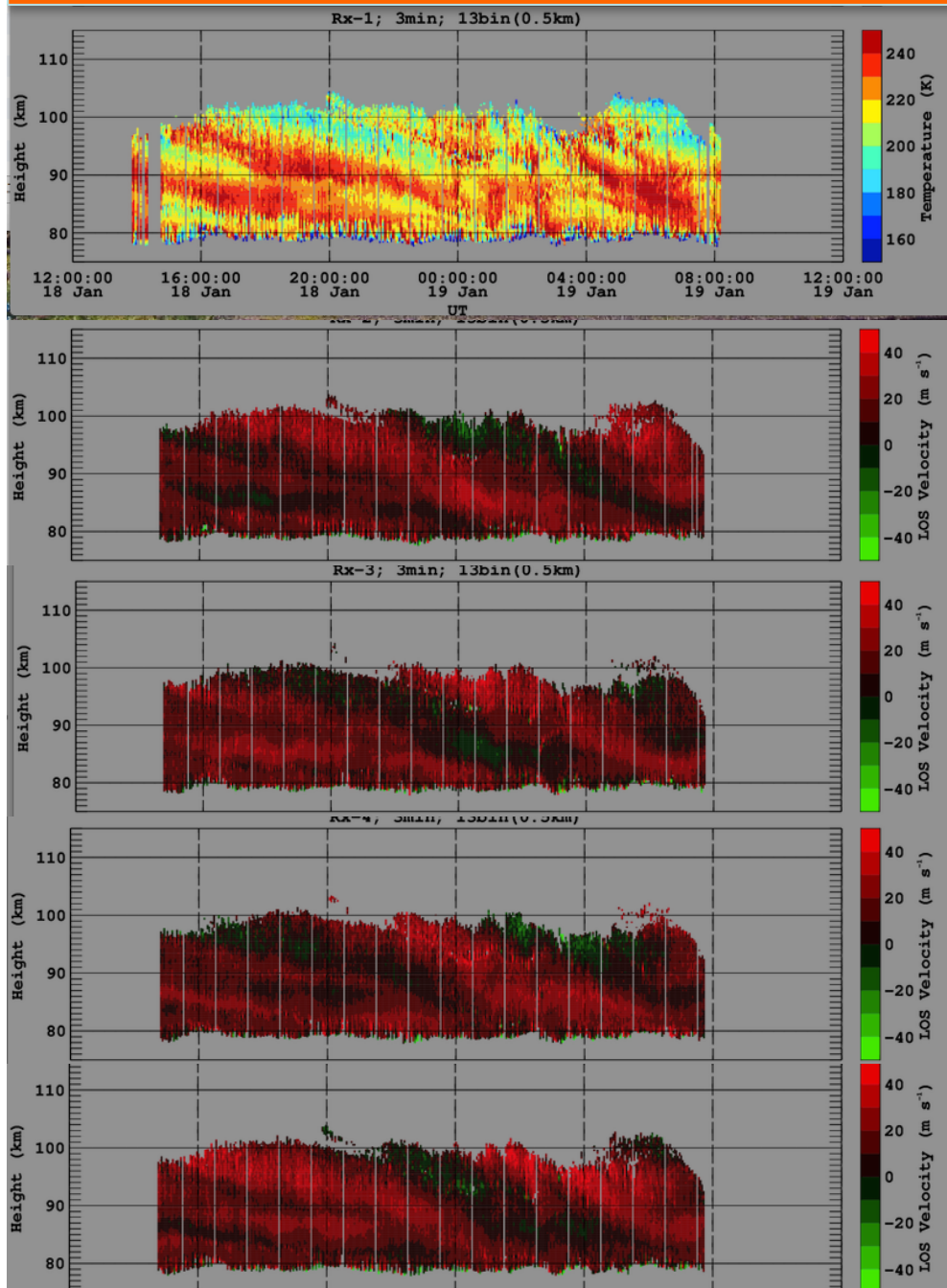
Temperature at eastward position



Zenith angle = 12.5 deg.  
 Resolution = 17  
 3min/500 m

## Sample of LIDAR data:

We can obtain temperature, velocity, and Na density simultaneously at the five directions.



Temperature at the vertical position

LOS velocity at southward position

LOS velocity at northward position

LOS velocity at westward position

LOS velocity at eastward position



Zenith angle =  
12.5 deg.  
Resolution=<sub>18</sub>  
3min/500 m

# Ramfjordmoen (EISCAT Tromsø site)

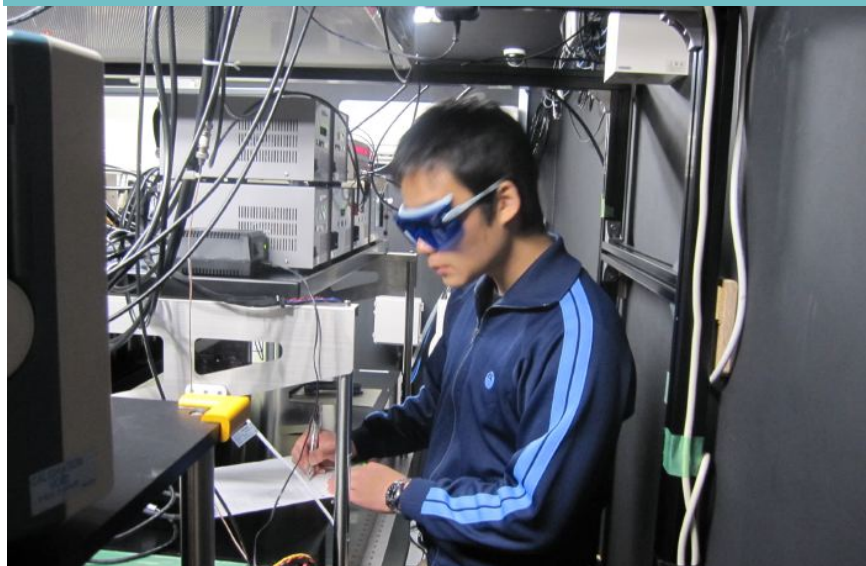
トロムソ中心部から車で 30分



# ライダーオペレーション

EISCAT拠点観測(野澤)

観測中は、観測所に滞在し、自炊する。外国人研究者との国際交流



我々のグループ以外に、電通大、信州大の学生もライダー観測に参加

ただし、今年度は資金がない、、来年もわかりません(°Д°)



雪国の醍醐味！雪かき！



Cooking and monitor



トナカイ肉でdinner

# A new five-wavelength photometer operated in Tromsø (69.6° N, 19.2° E)

EISCAT 拠点観測 (野澤)

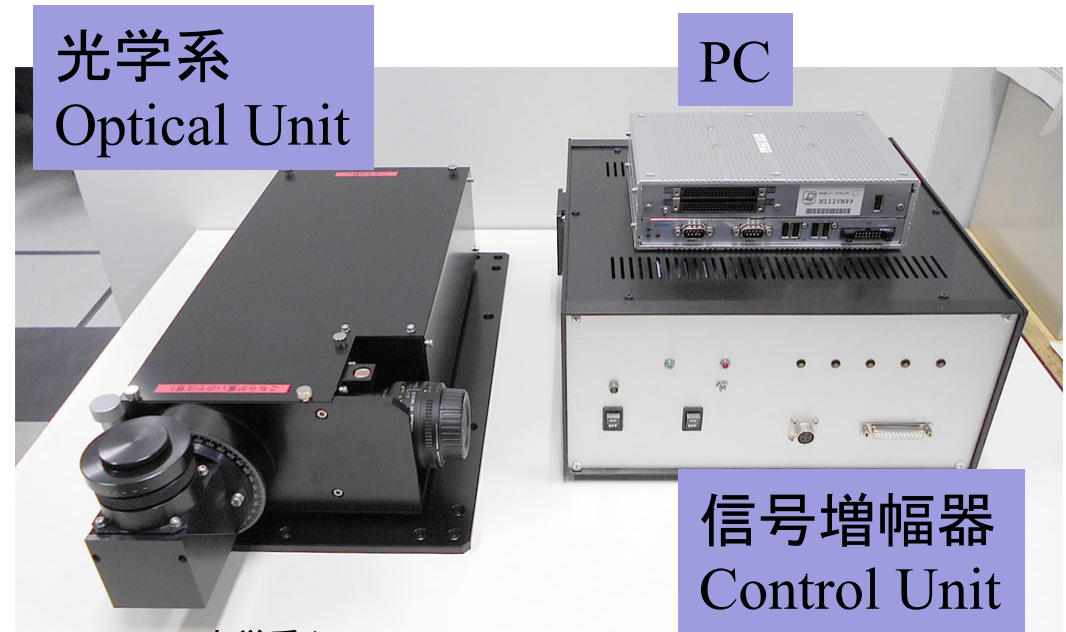
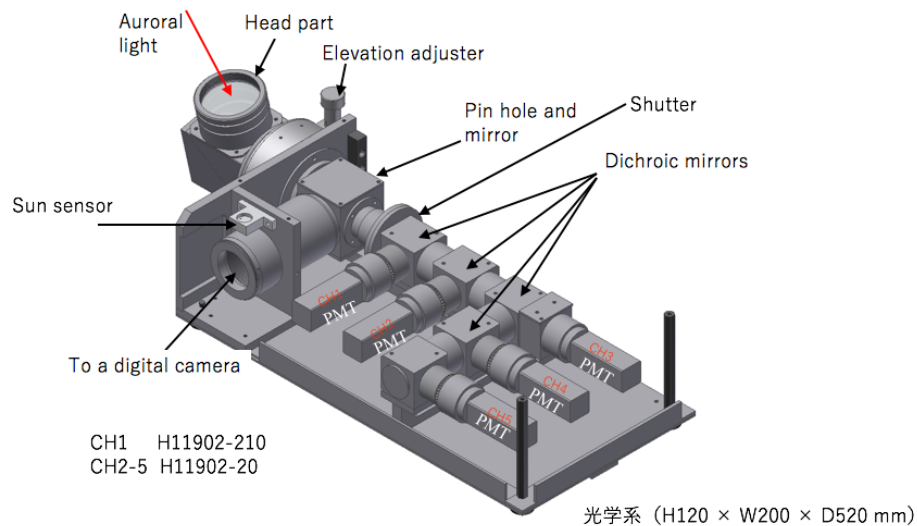
**Compact・light weight (~20 kg)**

**Capability of FOV**

**High sampling rate (400Hz)**

オーロラ発光、電気伝導度導出

Starting observations  
in Feb 2017



光学系 (H120 × W200 × D520 mm)  
信号増幅器 (H160 × W320 × D330 mm)  
FAコントローラ (H60 × W210 × D150 mm)

フォトメータは意外と役に立つ！

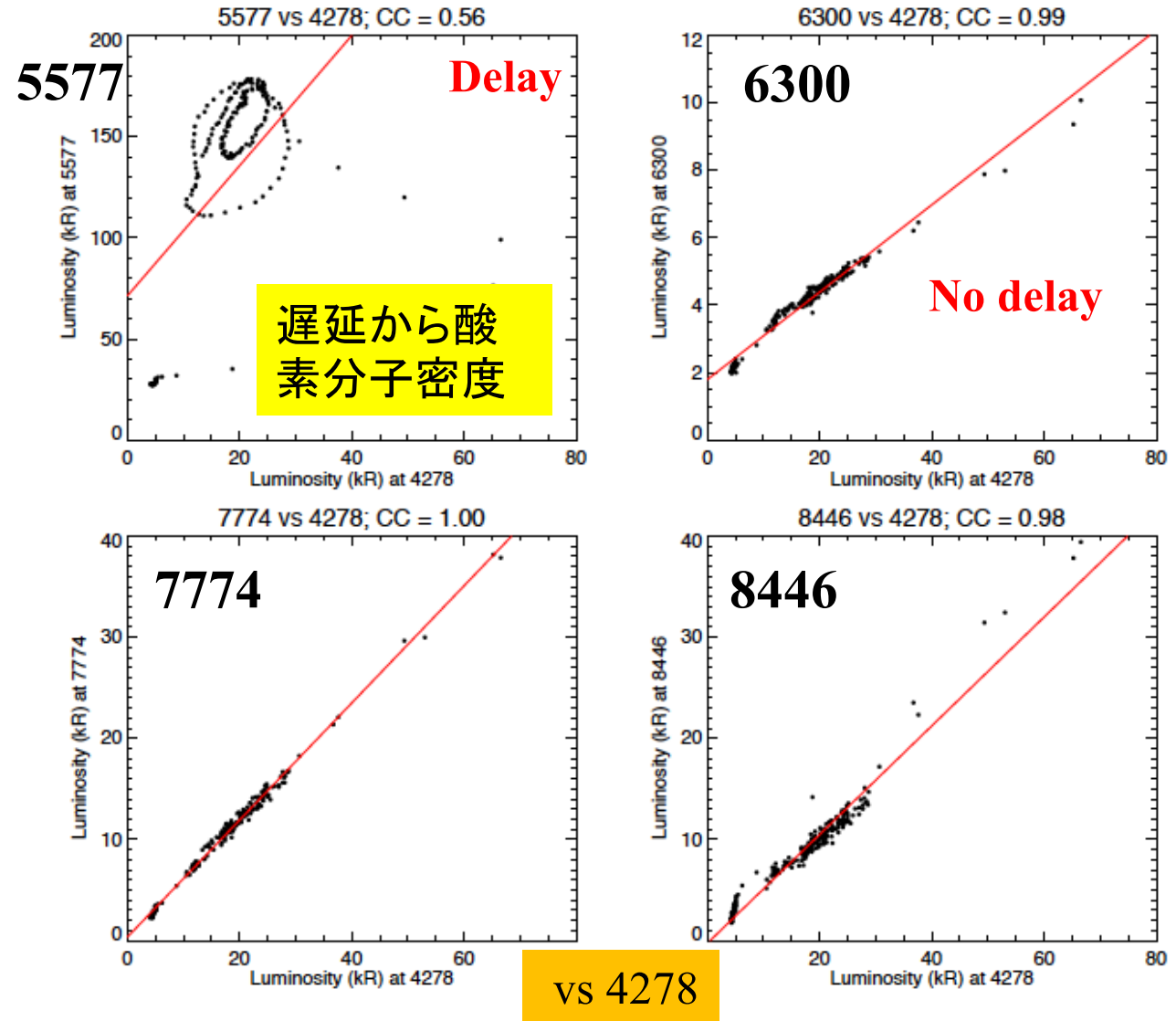
オーロラモニターに加えて：

Results October 19,  
2017  
2016:47-2016:59

Scatter plots of auroral intensities (20 Hz data) between 427.8 nm and 557.7 nm (top-left), 630 nm (top-right), 777.4 nm (bottom-left), and 844.6 nm (bottom-right) between 20:16:48 UT and 20:16:59 UT on October 19, 2017. Red solid lines are fitted lines determined with the least square fit.

各発光のタイミングの違いの違い

427.8 nm は、 $N_2^+$ 、それ以外は、O

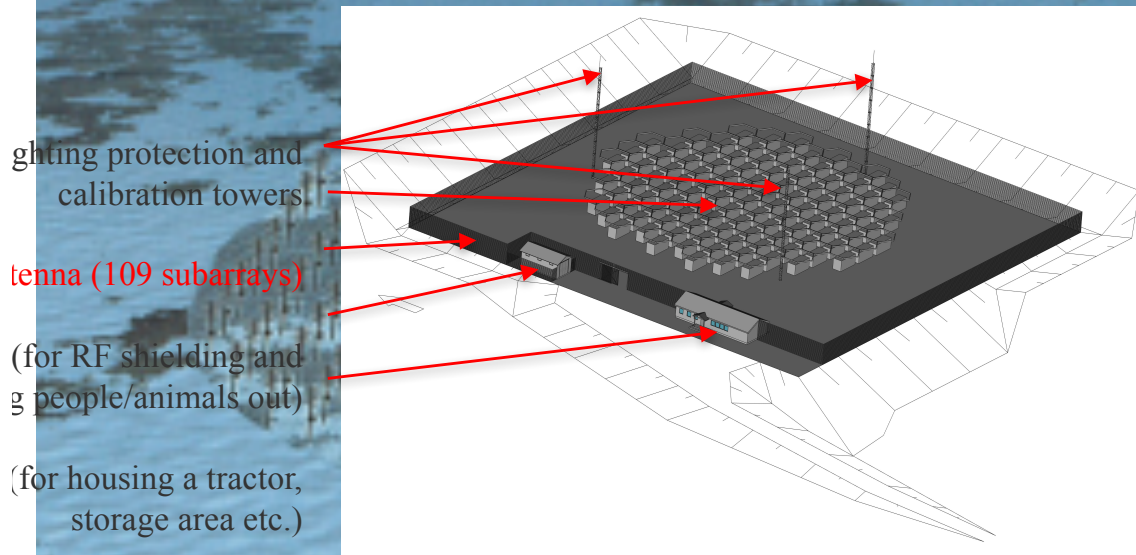


2波長の組み合わせで、降下電子エネルギー推定

# EISCAT\_3D

新型のレーダーが建設中。性能は、これまでの100倍！ 2022年稼動開始予定

- ☑ One core array (10 MW, 233 MHz) and 4 remote arrays will make it possible 3D imaging of the ionosphere.
- ☑ Phased array system (about 10,000 antennas each site).
- ☑ Included on the EU ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures) road map (announced in December 2008: 44 projects).
- ☑ Costs 132 million Euro (about 16.5 billion Japanese yen).



lighting protection and calibration towers

Antenna (109 subarrays)

for RF shielding and keeping people/animals out

for housing a tractor, storage area etc.)

ded House (computer room, office, small workshop etc.)

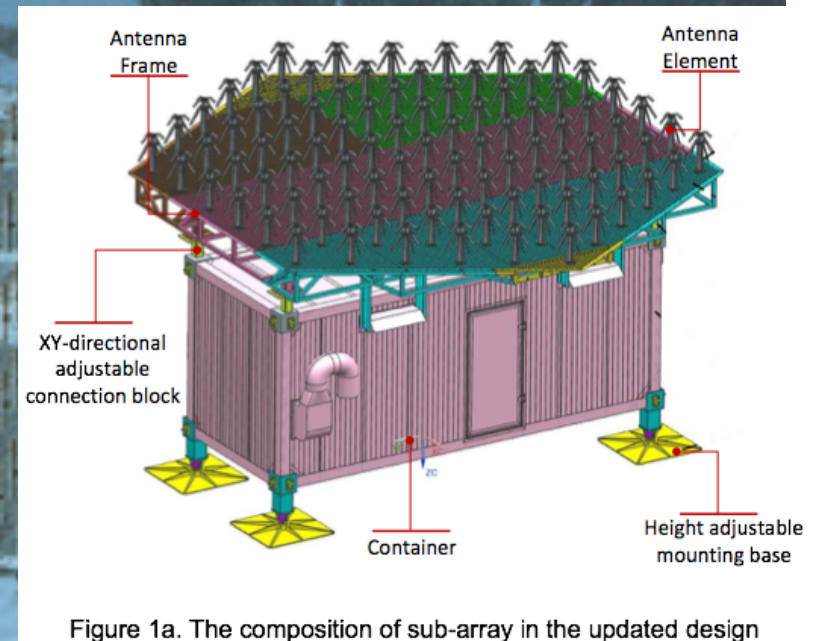


Figure 1a. The composition of sub-array in the updated design

## ターゲット: 高度70 kmから120 kmの北極域大気の変動

大気加熱(ジュール加熱、粒子加熱)  
 スポラディックナトリウム層(SSL)  
 鉛直風  
 大気波動による風速・温度変動  
 (大気重力波、大気潮汐波、プラネタリー波)  
 大気ダイナミクス・大気安定度  
 大気上下結合(成層圏突然昇温)

在籍学生

D1 1名(男)

M2 1名(女)

M1 1名(女)

### 修士論文題名:

H27:北極域下部熱圏における中性大気温度とイオン温度の比較研究及びジュール加熱の定量評価

H27:トロンソナトリウムライダーを用いた上部成層圏大気温度の導出

H30:トロンソナトリウムライダーを用いた北極域SSLの統計解析

### 博士論文題名:

H26:Vertical coupling in the polar mesosphere and lower thermosphere:

Event studies of a gravity wave and a sporadic sodium layer

(北極域中間圏・下部熱圏における大気上下結合過程の研究:

大気重力波およびスポラディックナトリウム層の事例研究)



# 研究内容

太陽風エネルギー注入に対して、超高層大気がどのように応答するか？  
～地球大気環境～

- 磁気圏—電離圏—熱圏—中間圏相互作用の研究・大気上下結合—  
—下層大気からの影響と、磁気圏（太陽風）の影響を定量的に吟味—  
EISCATレーダーを利用して下部熱圏大気の運動（風）、加熱量の導出。中間圏観測用分反射（MF）および流星レーダーを用い、中間圏から下部熱圏にわたる大気ダイナミクスを探る。さらに、ナトリウムライダーにより、風速および大気温度を測定して、磁気圏からのエネルギー注入への応答を探る。

極域中間圏・下部熱圏（70 - 120 km）が研究対象領域  
大気ダイナミクス、大気加熱、大気波動伝搬、  
砕波現象、Naレイヤーの生成等々

キーワード：北欧、オーロラ、ライダー、EISCATレーダー、  
大気上下結合、大気—プラズマ相互作用

お問い合わせ：野澤悟徳 nozawa (at) nagoya-u.jp