

# 稚内VHFレーダーで観測された 夏季中間圏エコーの長期出現特性

小川 忠彦<sup>1</sup>、鈴木秀彦<sup>2</sup>、川村 誠治<sup>1</sup>、村山 泰啓<sup>1</sup>

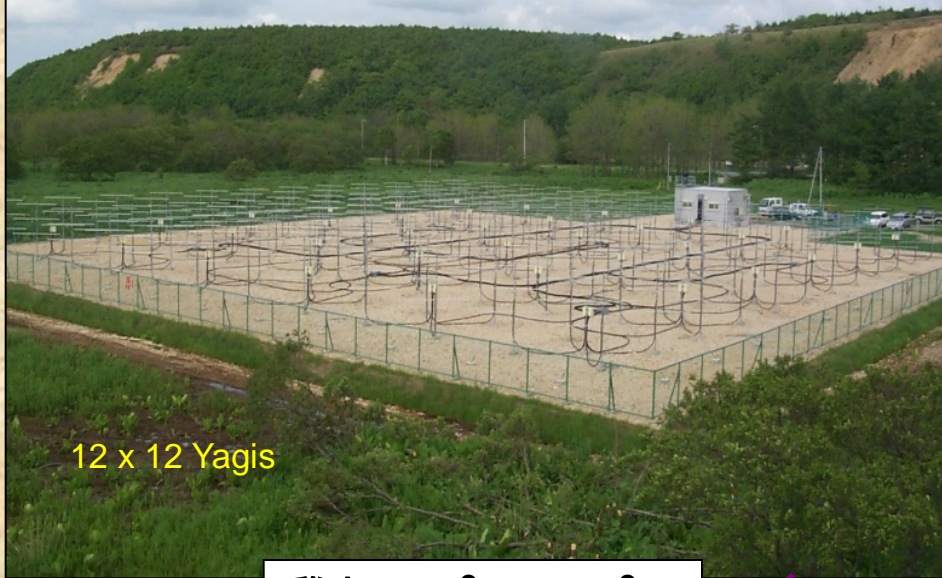
1) NICT 2) 明治大学

## 夏季中間圏エコー (Mesosphere Summer Echoes : MSE) :

- ・ 中緯度帯高緯度側の夏季日中に 80-90 km 高度に出現するレーダーエコー
- ・ 過去にドイツ (51.7°, 54.1°N) と英国 (52.4°N) の VHF レーダーで観測されたが、稚内 (45.4°N) でも 2000 年以降観測されてきた (Ogawa et al., 2011)
- ・ **MSE** の生成因は中間圏界面付近の極低温下 (< 150 K) で生成される荷電氷エアロゾル粒子 (半径 10 - 50 nm) と中性大気 (プラズマ) 乱流。 **MSE** の特性は高緯度帯に出現する **PMSE** のそれに類似するが、出現頻度は低い
- ・ **MSE** と **PMSE** は夜光雲 (NLC : 半径 > 40 nm) / 極中間圏雲 (PMC) を伴う

ここでは、稚内 46.5-MHz VHF レーダーによる 2000-2002 年と 2009-2014 年の計 9 年間の観測に基づき、**VHF-MSE** の出現概要とその長期変化を議論

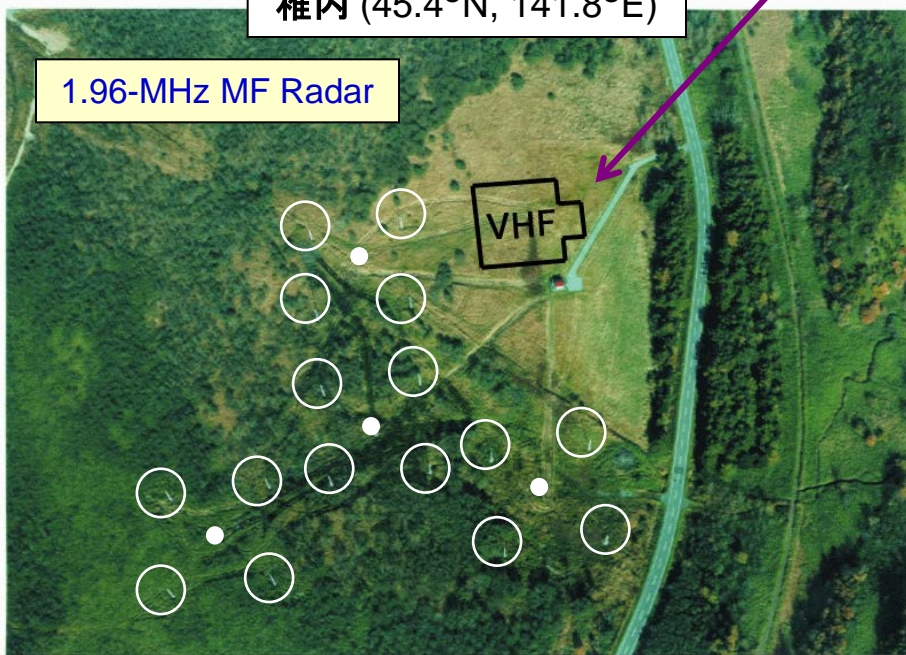
46.5-MHz VHF Radar



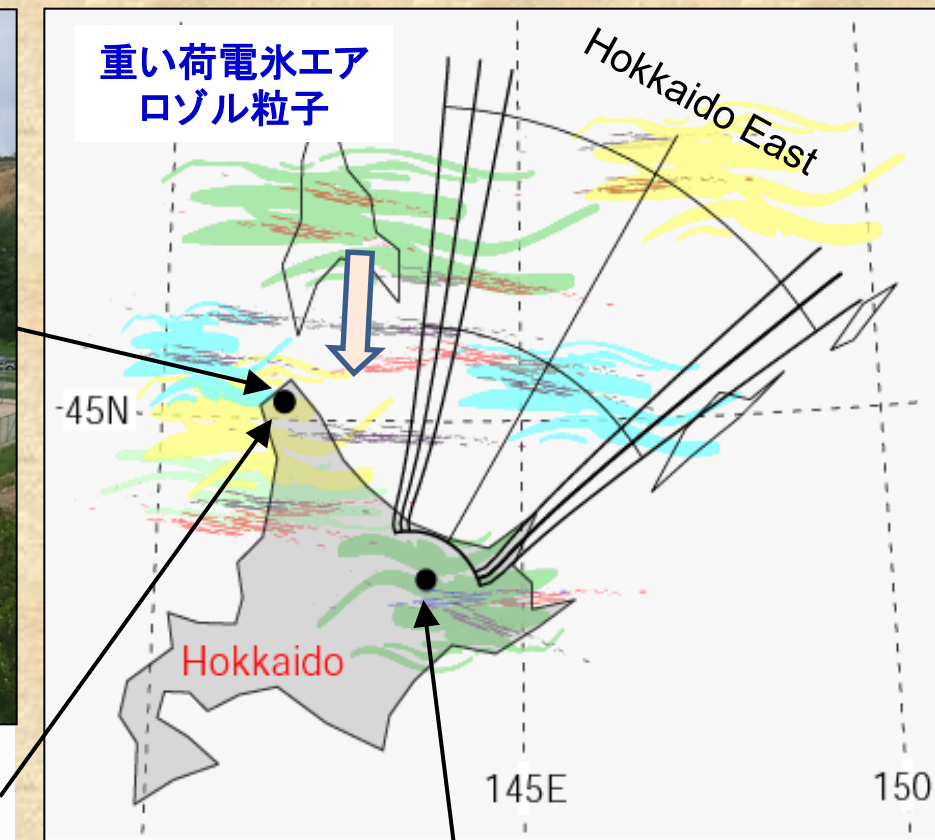
12 x 12 Yagis

稚内 (45.4°N, 141.8°E)

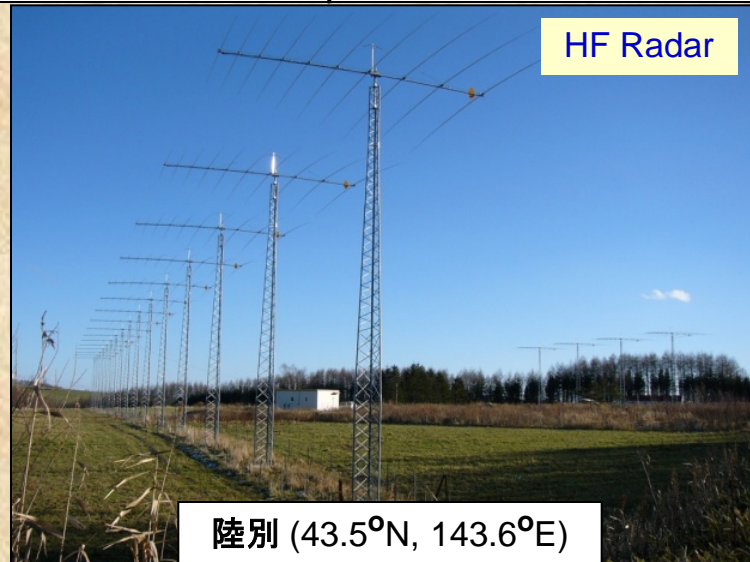
1.96-MHz MF Radar



重い荷電氷エア  
ロゾル粒子

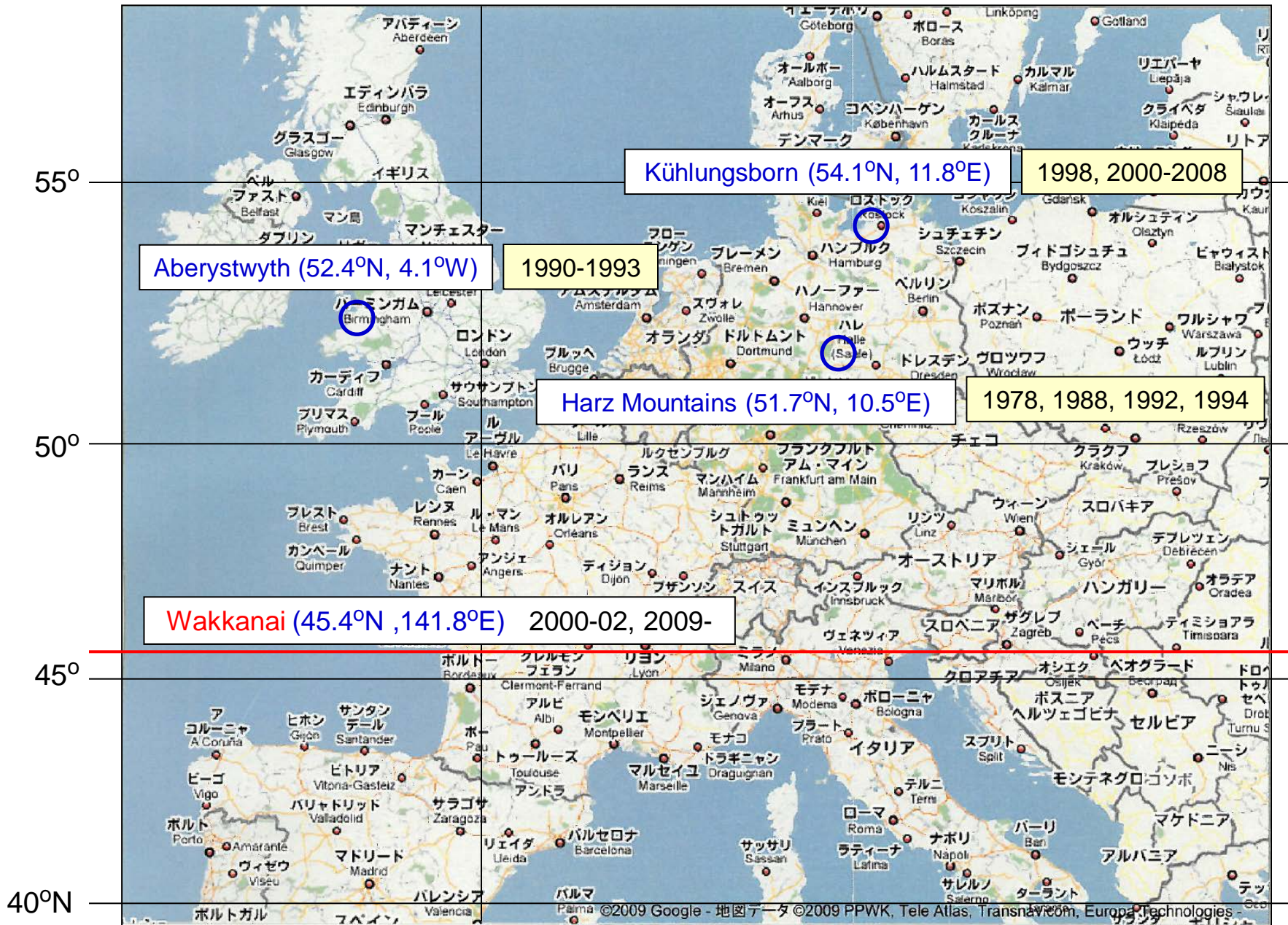


HF Radar



陸別 (43.5°N, 143.6°E)

# 過去の VHF-MSE 観測サイトと観測年

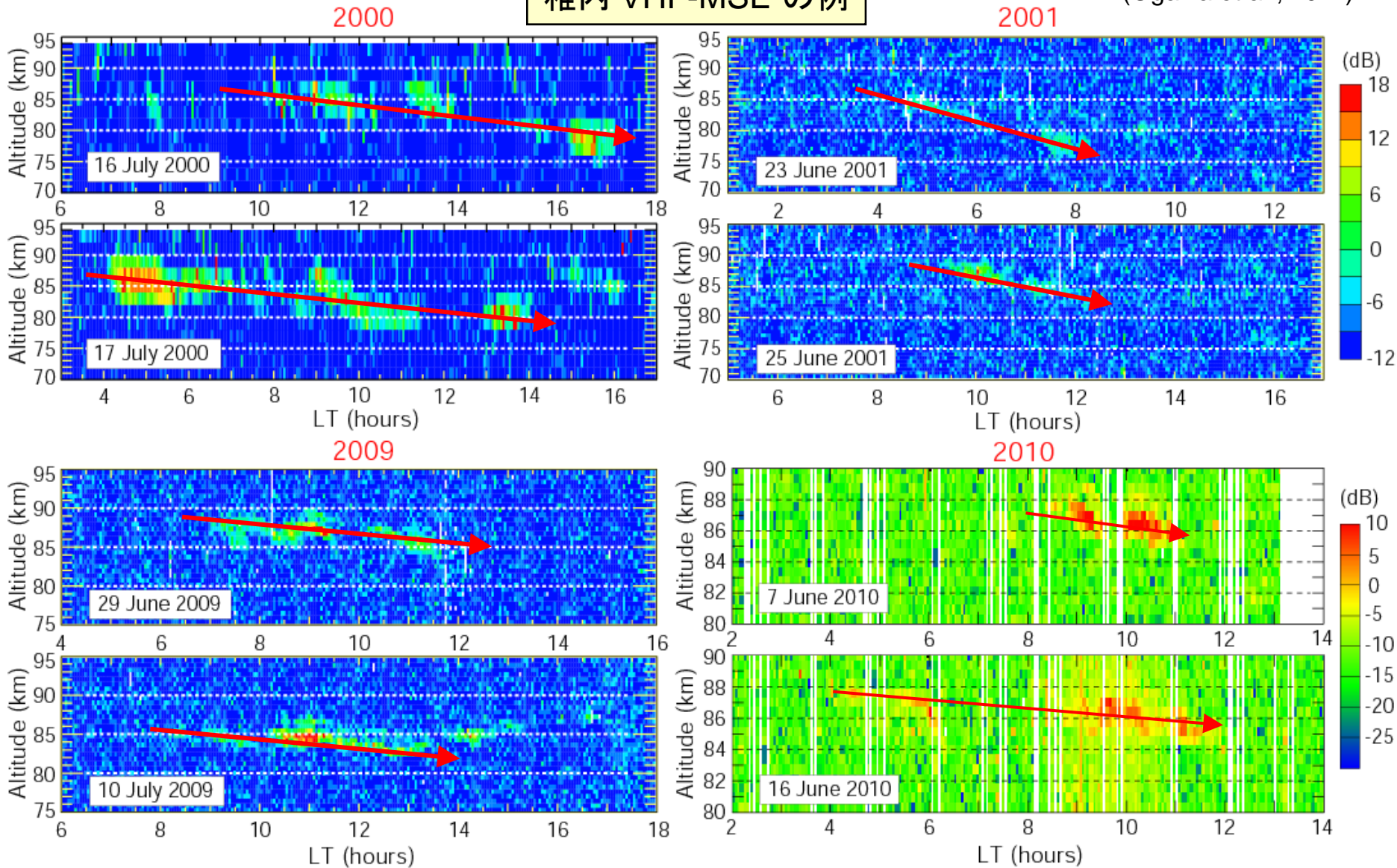


40°N

0°E

# 稚内 VHF-MSE の例

(Ogawa et al., 2011)



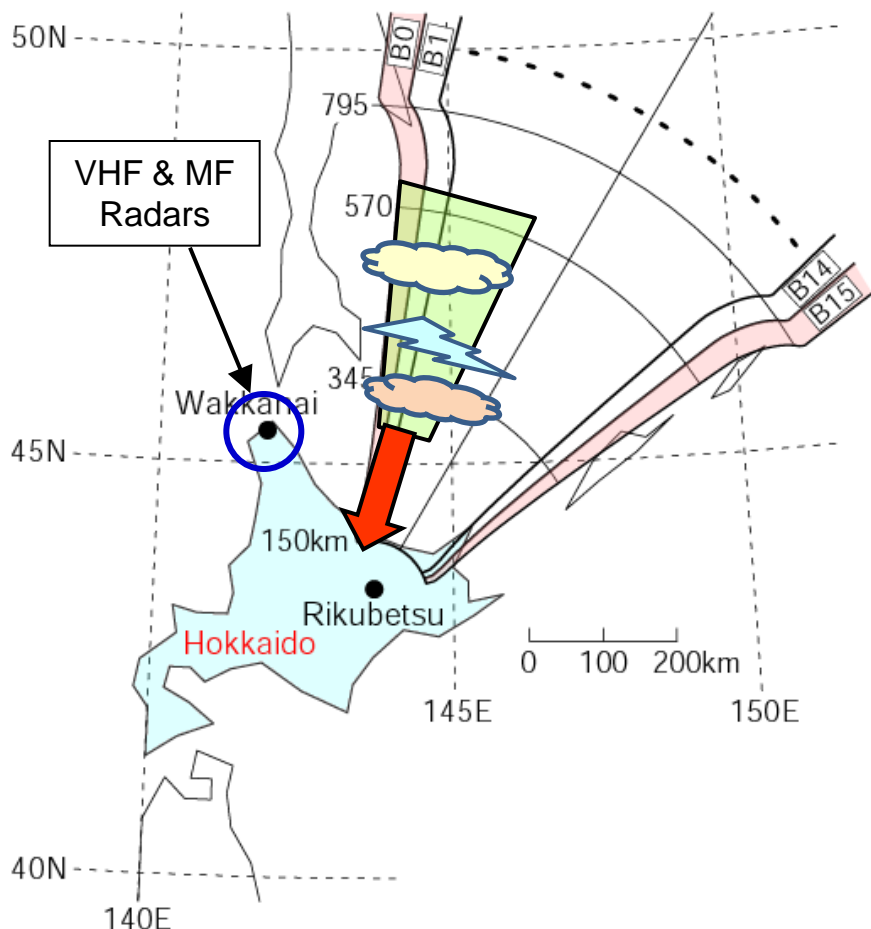
D層電子密度が高い6-7月の日中に出現。高度は中間圏界面付近の80-90 km、層厚は数 km - 5 km。エコー層と強度は周期1-2時間で変動 **半日潮汐により高度は徐々に低下**

これらの特性は過去にドイツと英国で観測された MSE 特性と一致。また、高緯度帯の PMSE のそれとも一致

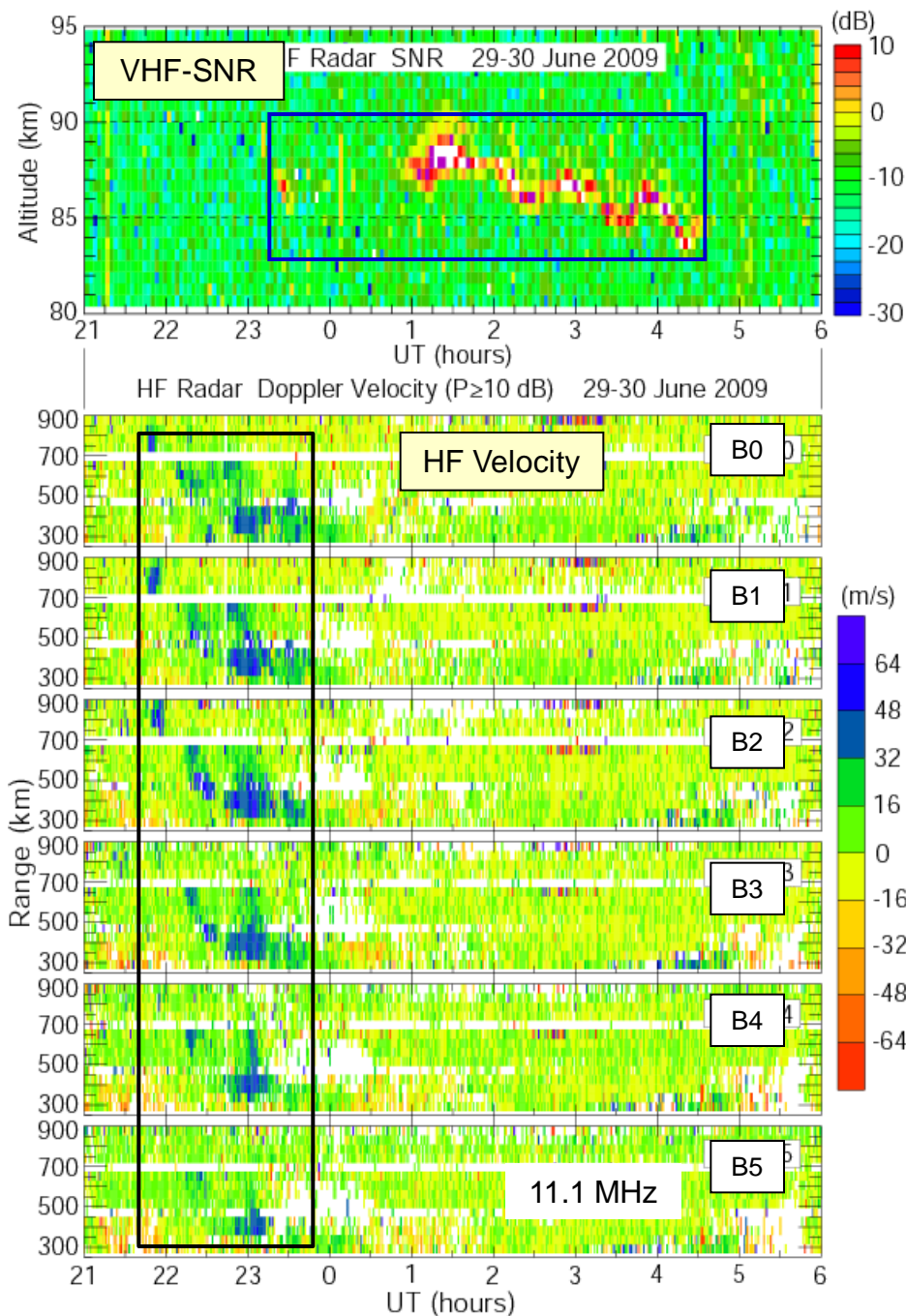
# SuperDARN による中緯度 MSE の初観測

29-30 June 2009

(Ogawa et al., 2013)



最大 +60 m/s のドップラー速度は荷電氷エアロゾル粒子が高緯度帯から南向きに輸送されたことを示唆。稚内MFレーダーでも高度 84-88 km で南向き中性風を観測



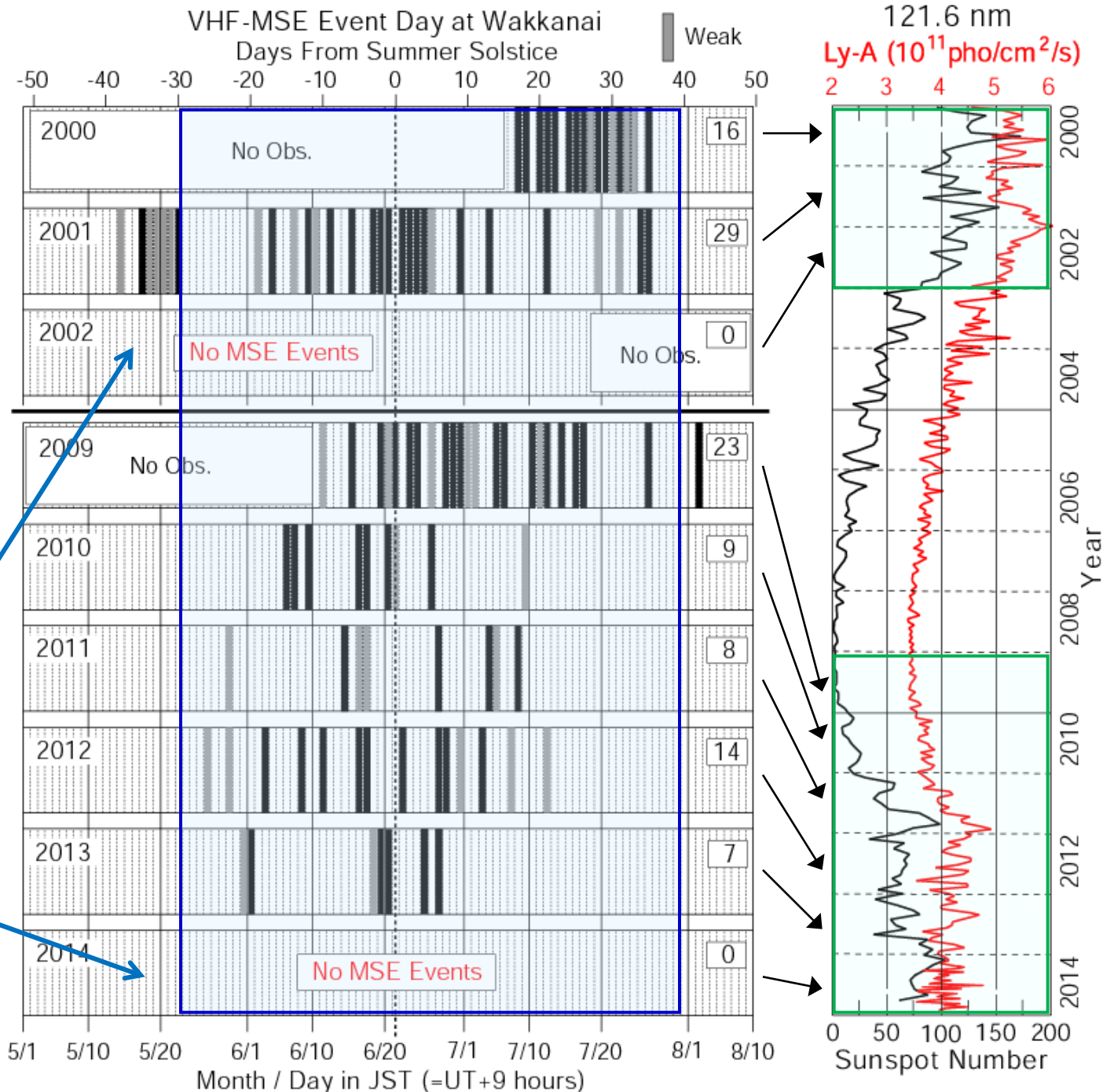
・夏至の -30 ~ +40 日に発生

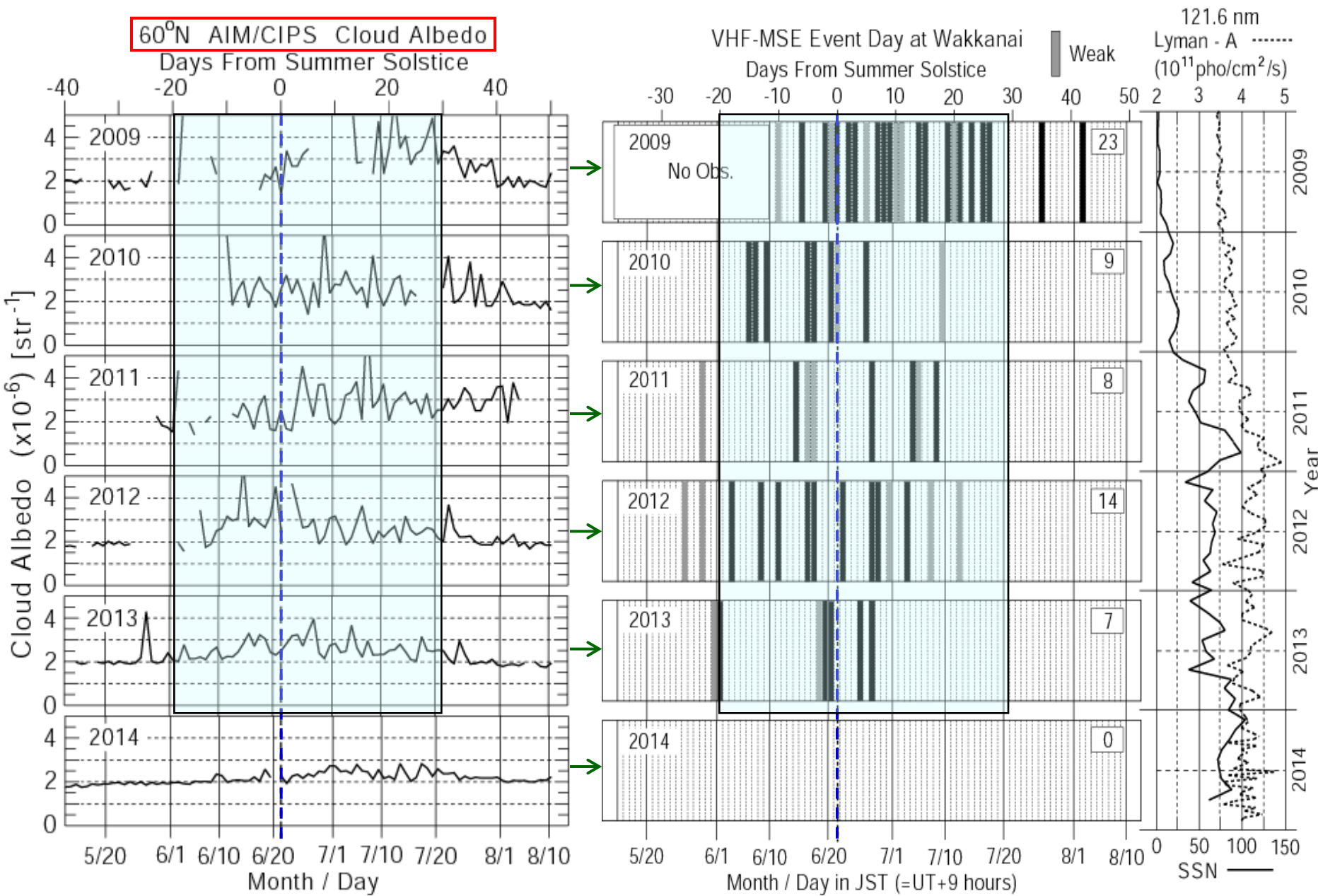
・年毎の出現日数は太陽活動の変化と関係なさそう。長期観測が必要

・出現日は不規則  
→ 惑星波、一日 & 半日潮汐が影響

南半球初の大SSWを誘発した惑星波活動の影響が北半球に及び、北極域の中間圏界面付近の温度が例年よりも約10K上昇

2002年と同じく MSE なし。現段階では詳しい原因不明だが、60°N での極中間圏雲(PMC) の発生は大きく減少。2015年には回復か？





強い MSE は夏至の -20 ~ +30 日以内に発生し、この期間の 60° N の PMC アルベドは高い。しかし、2014年にはアルベドは非常に低く、MSE は観測されず

- 各年において 60° N のPMC アルベドが高いときにMSEが出現

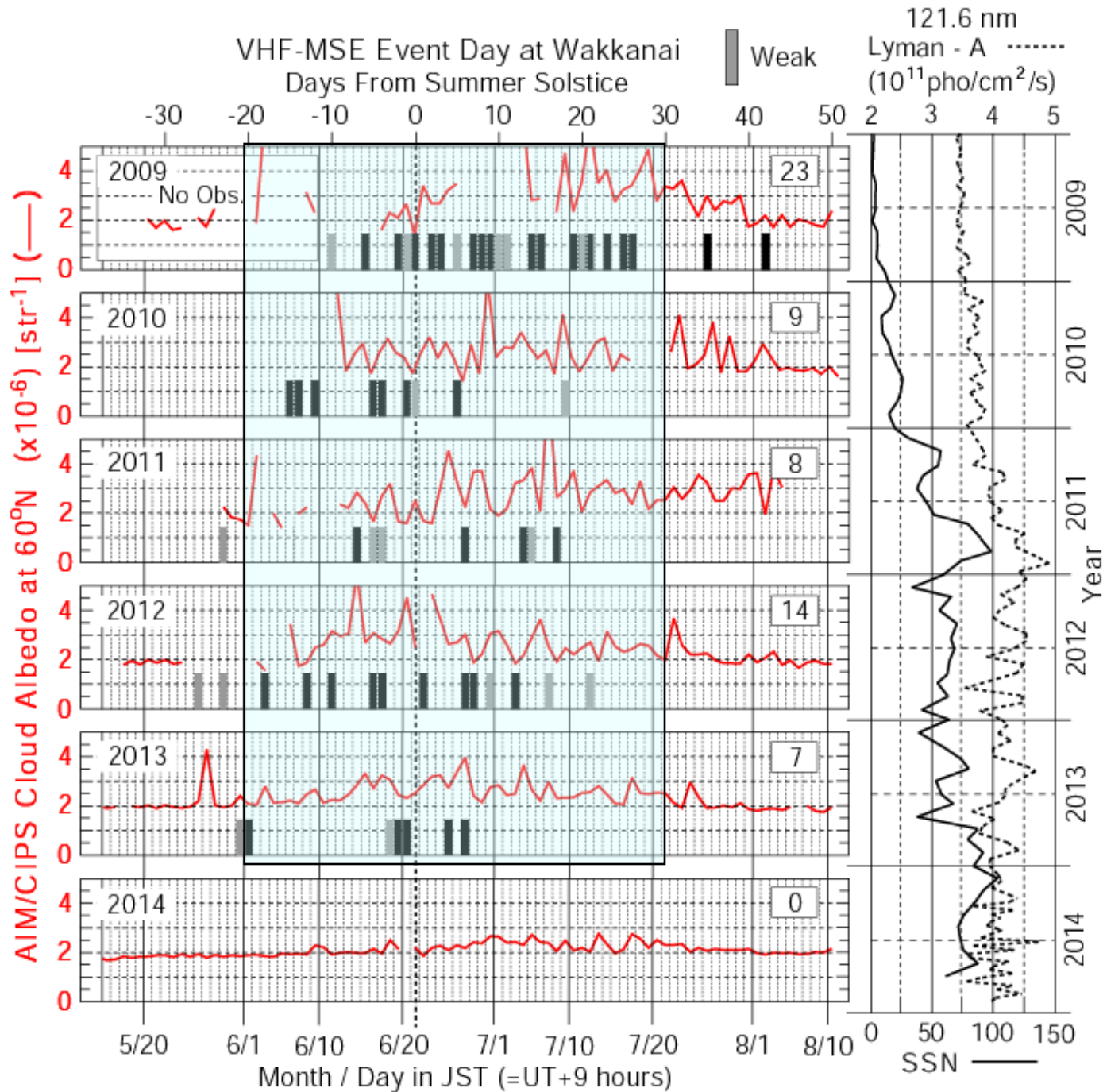
- アルベドは年と共に減少傾向。**太陽活動上昇と関係か？**

- 欧州と米国の中緯度でNLCが頻発した2009年7月にはアルベドが非常に高く、MSE出現日も増加

- 2014年ではアルベドは非常に低くなり、MSEは出現せず



稚内上空のMSE出現と高緯度側のPMC / NLC出現は密接に関連している

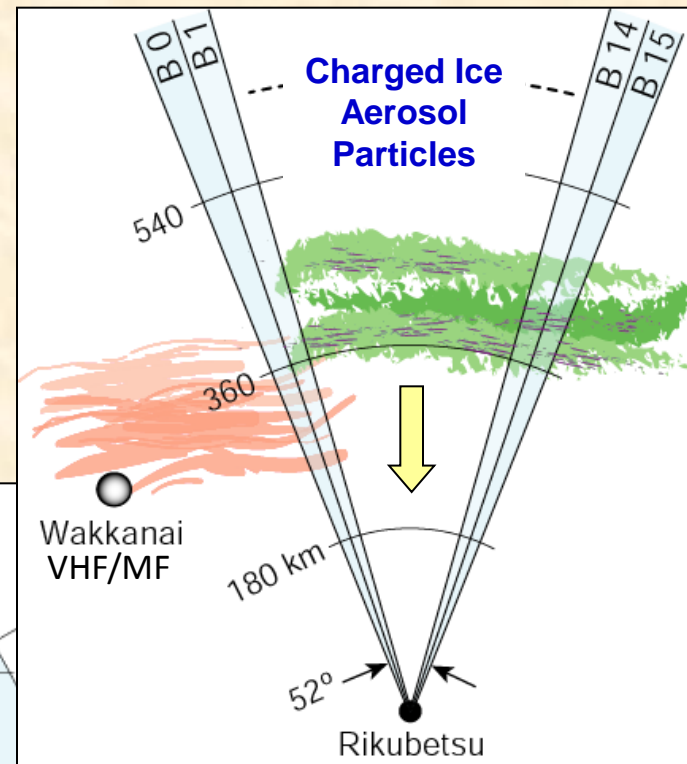
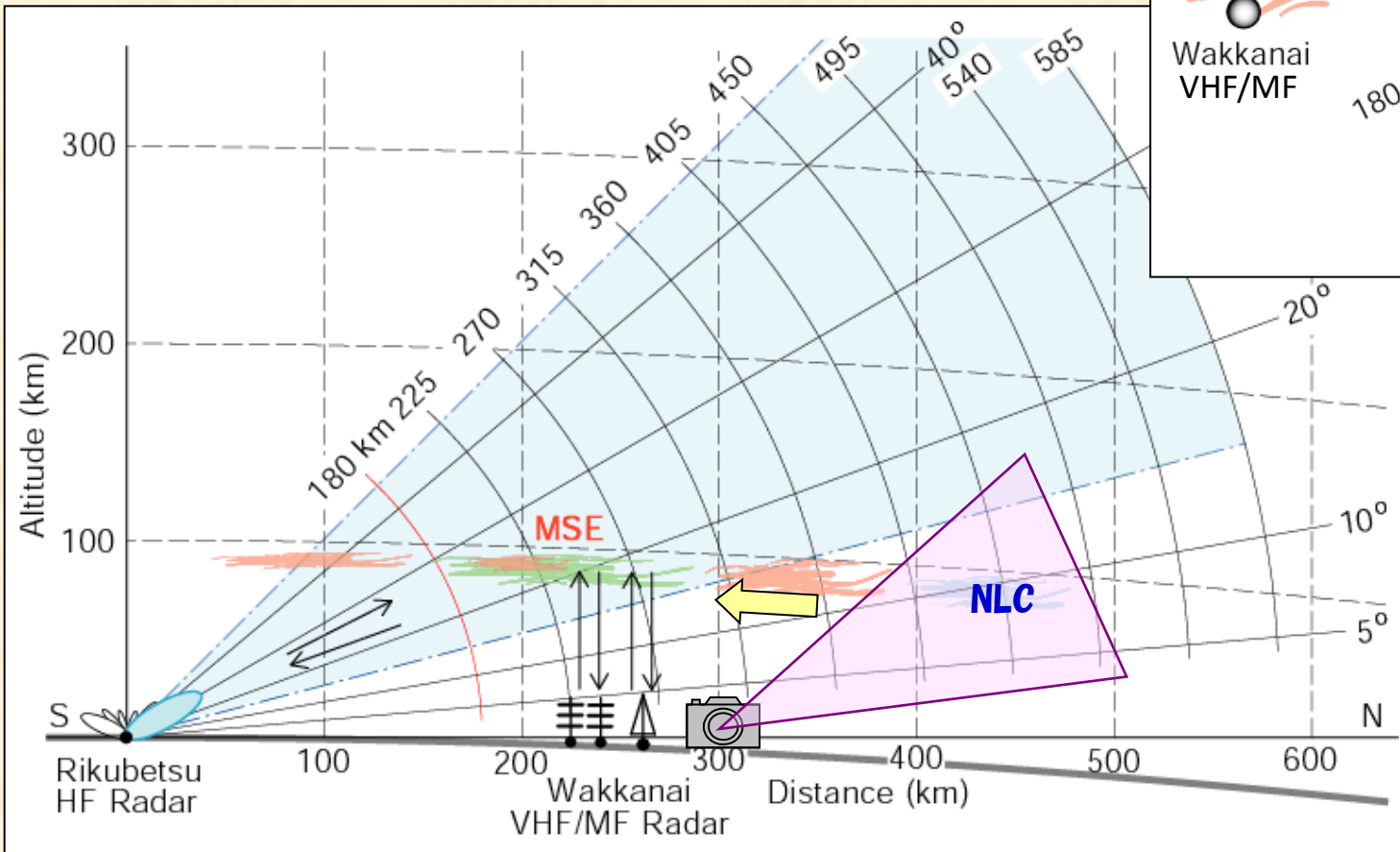




# MSE 生成に関わる多くの物理過程

## 中間圏界面付近の極低温 (<150 K)

- + 荷電氷エアロゾル粒子 (半径 10 - 50 nm)
- + 中性・プラズマ乱流 (3-m スケールの Ne 不規則構造)
- + 惑星波 (周期 2, 5, 16 日)、潮汐波、大気重力波
- + 太陽活動 : 特に Lyman- $\alpha$  (121.6 nm) 放射
- + .....



## まとめ

- 稚内 VHF レーダーで2000-2002年、2009-2014年に上部中間圏観測を実施し、**MSE** を2000, 2001, 2009-2013年に検出。中緯度域でのMSE長期観測は**世界初**
- 稚内 **VHF-MSE** の基本的な出現特性は過去のドイツと英国での観測結果、また高緯度帯 **VHF-PMSE** の観測結果とほぼ一致。しかし、出現頻度は PMSE に比べてかなり低い
- **VHF-MSE** 出現は高い年々・日々変動を示す。**MSE** 出現頻度と太陽活動(特にライマン- $\alpha$  放射強度)とは明確な関係は無さそうだが、さらなる長期観測が必要。
- 2009-2014年について、AIM衛星で観測された  $60^{\circ}$  N のPMCアルベドと比較すると、アルベドが高い時に MSE が出現。アルベドが非常に低下すると MSEなし。これらの事実は、稚内 MSE と高緯度帯での PMC/NLC 出現との密接な関係を示唆
- 強い **VHF-MSE** 出現時にはしばしば MF 帯でも **MF-MSE** が共存。これは、**MSE** は強いプラズマ乱流や強い電子密度勾配が原因であることを示唆。2009 年には北海道HFレーダーでオホーツク海上の **HF-MSE** を初観測し、**MSE** 域の水平面内の広がりや動きが明らかに。稼働を開始した**第2HFレーダー**に期待
- 北海道でのNLCカメラ自動観測は**2010年6月**から継続しているが、出現報告はなし：夏季北海道の悪天が関係か？ あるいは、稚内上空の夏季中間圏界面付近の温度が年と共に上昇しており、氷粒子が大きく(> 40 nm)なりにくい？ **！ 今後に期待！**