

SLATSおよび大気大循環モデルを用いた 熱圏大気密度の研究

1. SLATSを用いた共同研究
2. 大気大循環モデル(数値モデル)について
2. 静穏時での大気密度解析結果
3. 擾乱時での大気密度解析結果
3. 今後の課題

三好 勉信 (九州大学)

SLATSおよび大気大循環モデルによる熱圏密度研究

SLATS衛星の位置データから高度180－300kmにおける中性大気密度について、**数値モデル**(大気大循環モデル)や経験モデル(NRLMSISE-00)で得られた中性大気密度と比較・検討を行う。大気密度に違いがある場合には、違いが発生する要因について検討を行い、**数値モデルの精度向上**を目指す。

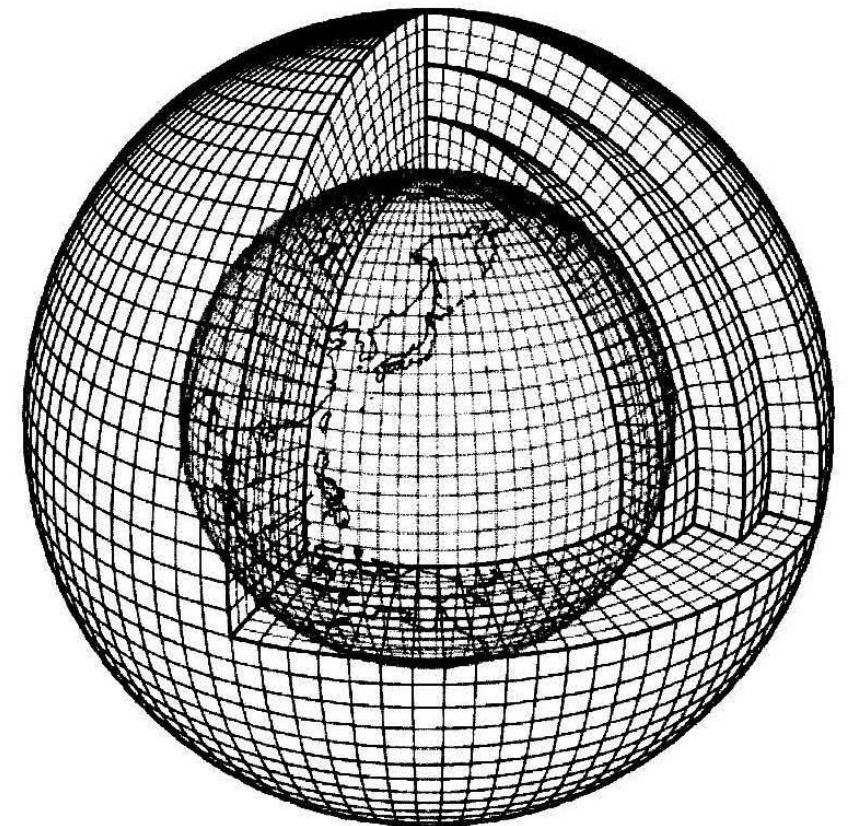
原子状酸素データを用いて酸素原子密度を推定し、酸素原子の時空間変動を明らかにする。また、温度センサーデータからの大気密度推定を試みる。

⇒SLATSで得られた熱圏大気密度の空間構造や時間変化についての物理機構の解明を目指す。

大気大循環モデルによる超高層大気の研究

①中性大気を記述する大気大循環モデル

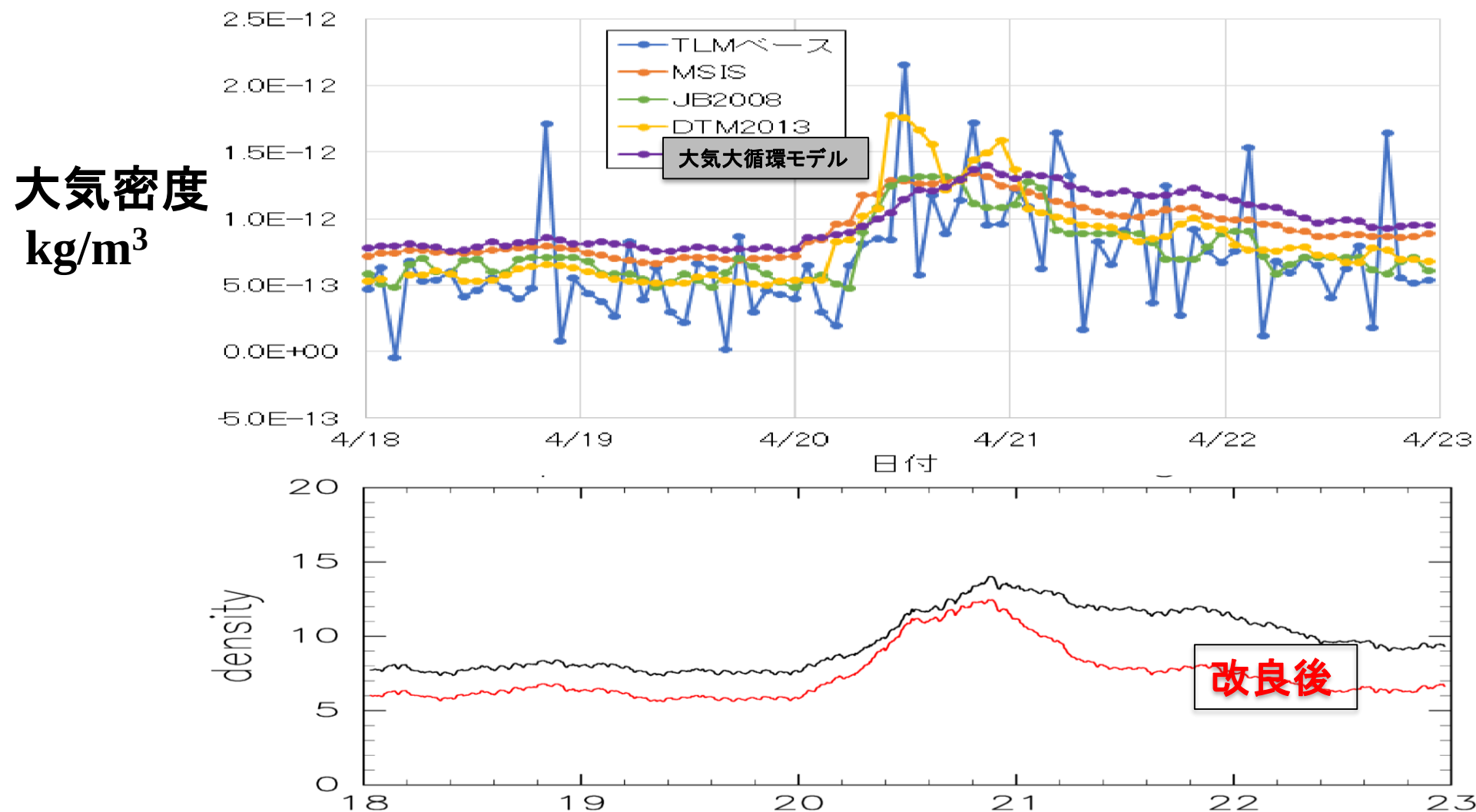
- ・気象の数値予報モデルを鉛直上方(熱圏上端まで)に拡張
- ・**全球**をいくつかの格子点に分割し、各格子点上で、物理法則(運動方程式、連続の式、熱力学の式、放射伝達の方程式など)を解き、**大気全層における風速、密度、温度、大気組成**などの3次元分布を計算・予測
- ・下層大気の観測値(海面水温、氷床、対流圏循環の状態)および太陽活動度や磁気圏からのエネルギー降り込み量を基に、全大気の状態を物理的に計算



②電離大気を記述する電離圏モデル

③電気力学過程を記述するダイナモモデル

SLATSで得られた大気密度(2018年4月、高度400km付近)



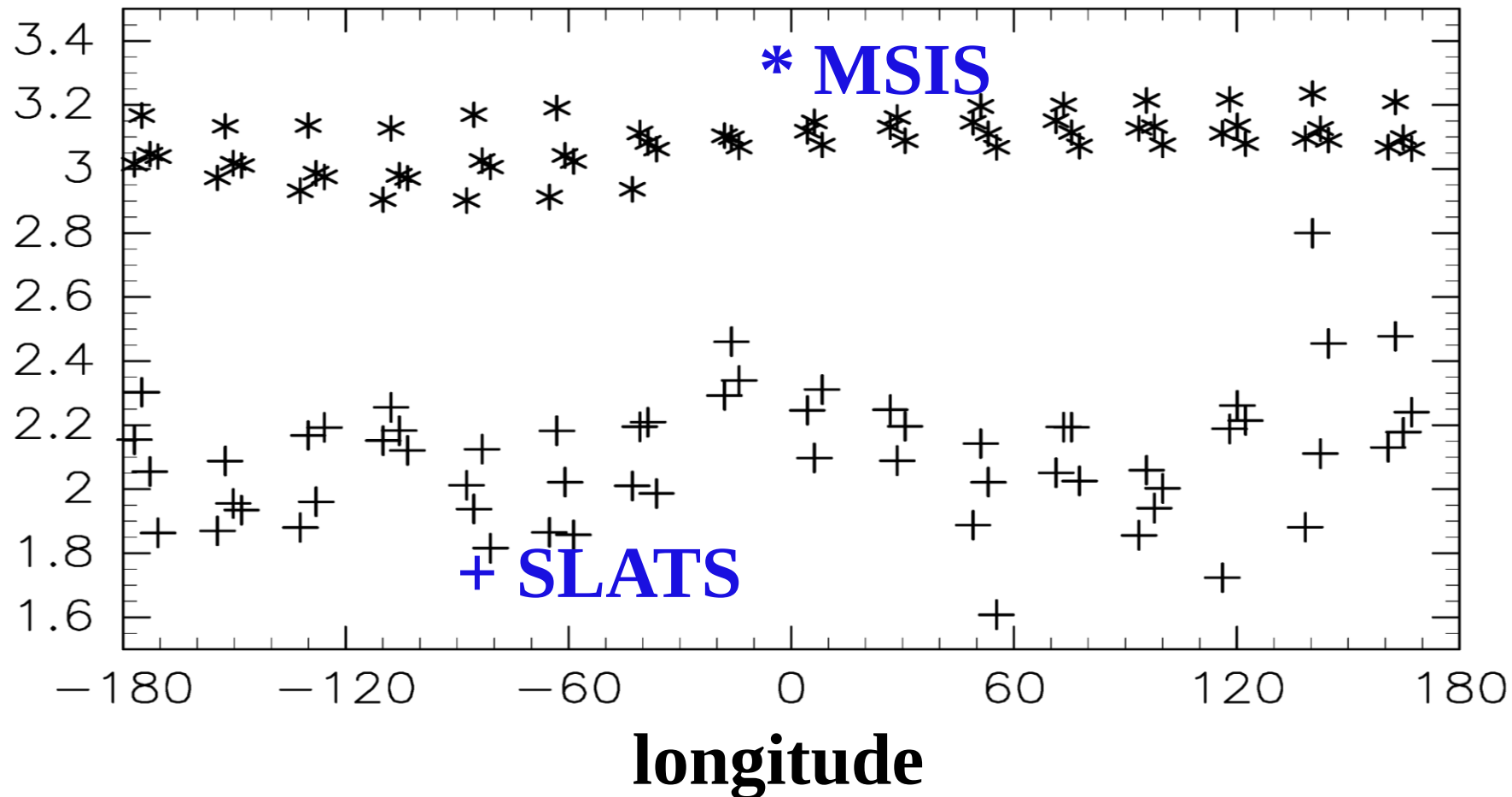
改良後: 太陽放射吸収量を5%減らし、地磁気擾乱時の一酸化窒素(NO)濃度をKpに応じて変化
↓
大気大循環モデルで得られる大気密度は、SLATSで得られる大気密度に似た変化を示す。

MSISは、大気密度以外にも、組成・温度などの情報が得られるため、大気科学分野では広く利用されている。したがって、超高層大気分野では、MSISがどの程度の誤差を含んでいるかについての関心は、きわめて高い。

SLATSで観測された静穏時における大気密度

2019年6月12-15日, 18LT, 45N~45S, 高度250km付近

大気密度
 10^{-11} kg/m^3



1. SLATSで測定した密度が、MSISに比べて30%程度小さい。
(高度250km以下の領域で確認できた。)
 - ・もともと、MSISの大気密度の精度は良くない
 - ・2008/2009年以降の太陽極小期における**太陽活動の異常な低下**
 - ・近年のCO₂増加に伴う**寒冷化の影響**

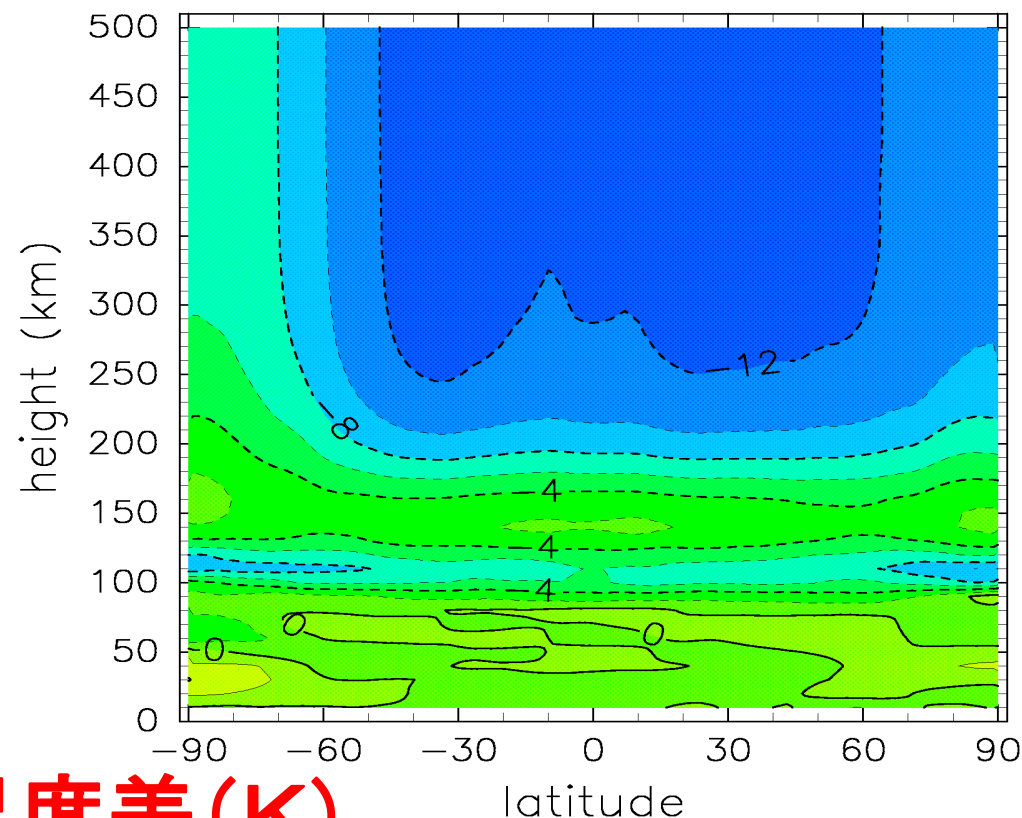
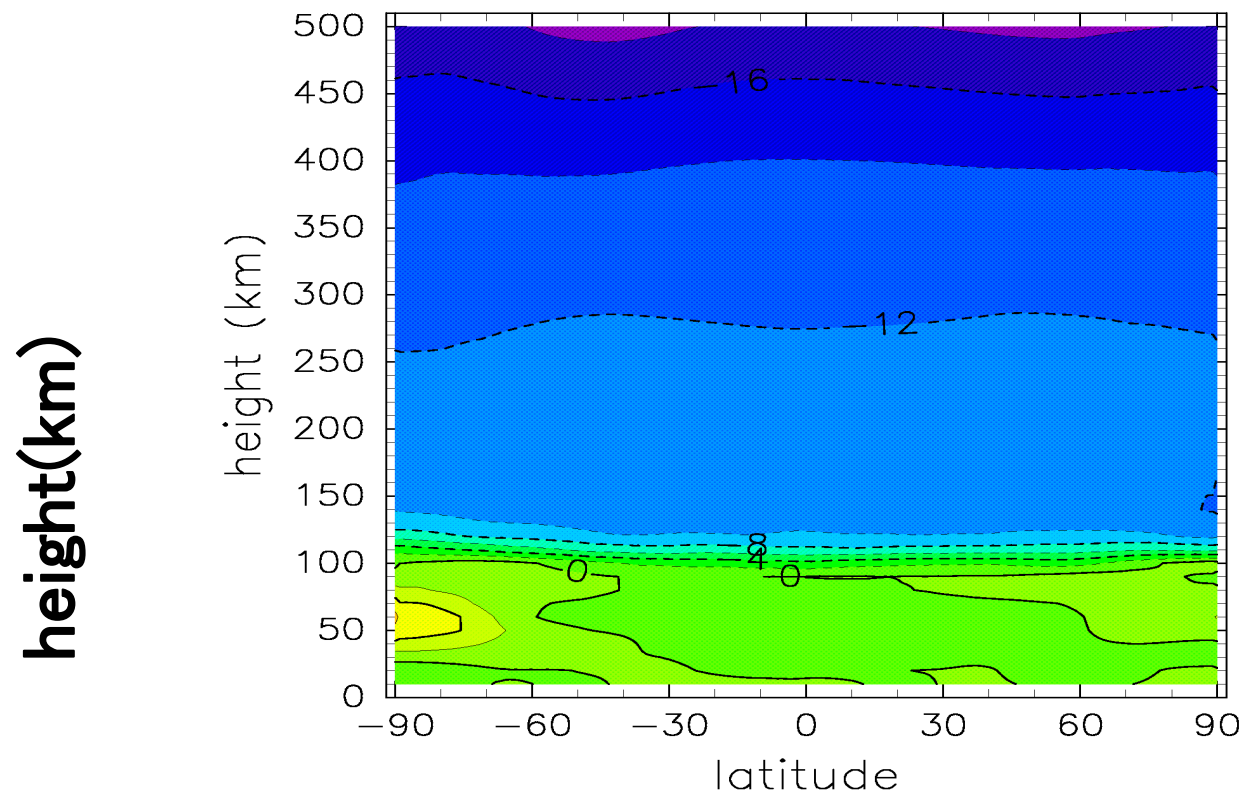
近年の異常な密度低下(高度400km, 静穏時)

Emmert et al., 2010, JGRによれば、太陽活動極小期の高度400kmの大気密度は減少傾向にある。しかし2008/2009の大気密度は、その前の太陽活動極小期に比べて28%もの減少がみられる。

1. 過去40年にわたり、極小期の大気密度が減少傾向→CO₂増加による寒冷化の影響？
 2. 2008/2009の極小期には、今までにない極端な密度減少が出現。
EUV・FUVが異常に減少(F10.7との相関が、良くない)？
それ以外に、熱圏領域の循環・組成に異常が発生した？
詳細は不明で、今後の研究が必要である。
- ⇒極小期の異常な大気密度減少が、SLTASにより高度300km以下の領域でも確認された。

数値モデルによるCO₂増加に伴う密度減少の見積もり

中性密度差(%)



中性温度差(K)

CO₂変化実験

320ppmv(1965) と400ppmv(2015) で計算し**50年間**での温度・密度の違いを数値モデルを用いて見積もる。(CO₂密度以外の条件は同じにして計算。

CO₂濃度1.25倍で

中性密度: 10-15% 減少

CO₂濃度1.25倍で中性温度:

高度300km以上 8-13K 減少

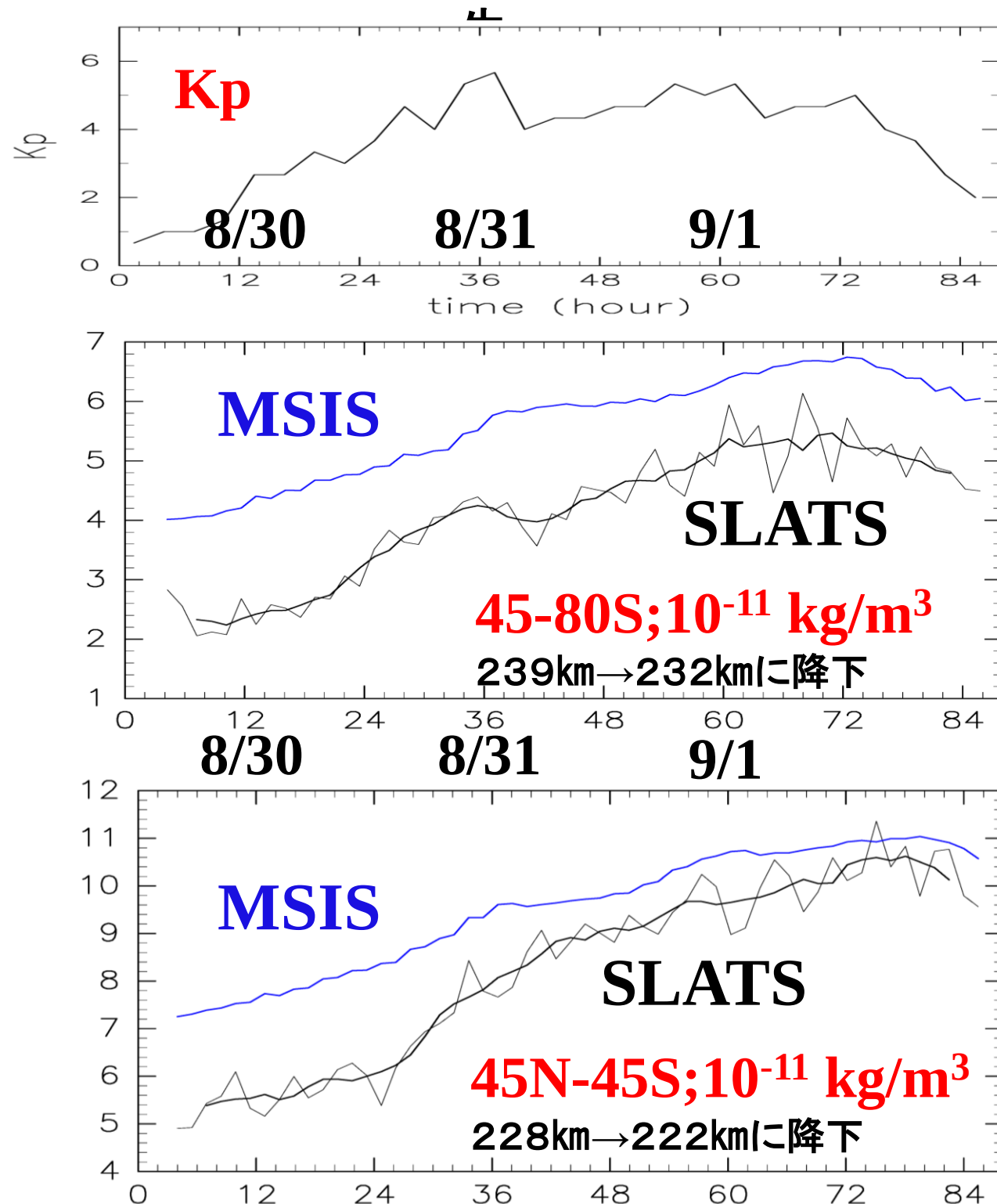
高度130-160km 1-3K 減少

高度90-110km 4-8K 減少

近年の熱圏密度低下に寄与しているといえる。

SLATSで観測された擾乱時での大気密度変化

2019年8月31日から9月1日にかけて、強い地磁気嵐が発



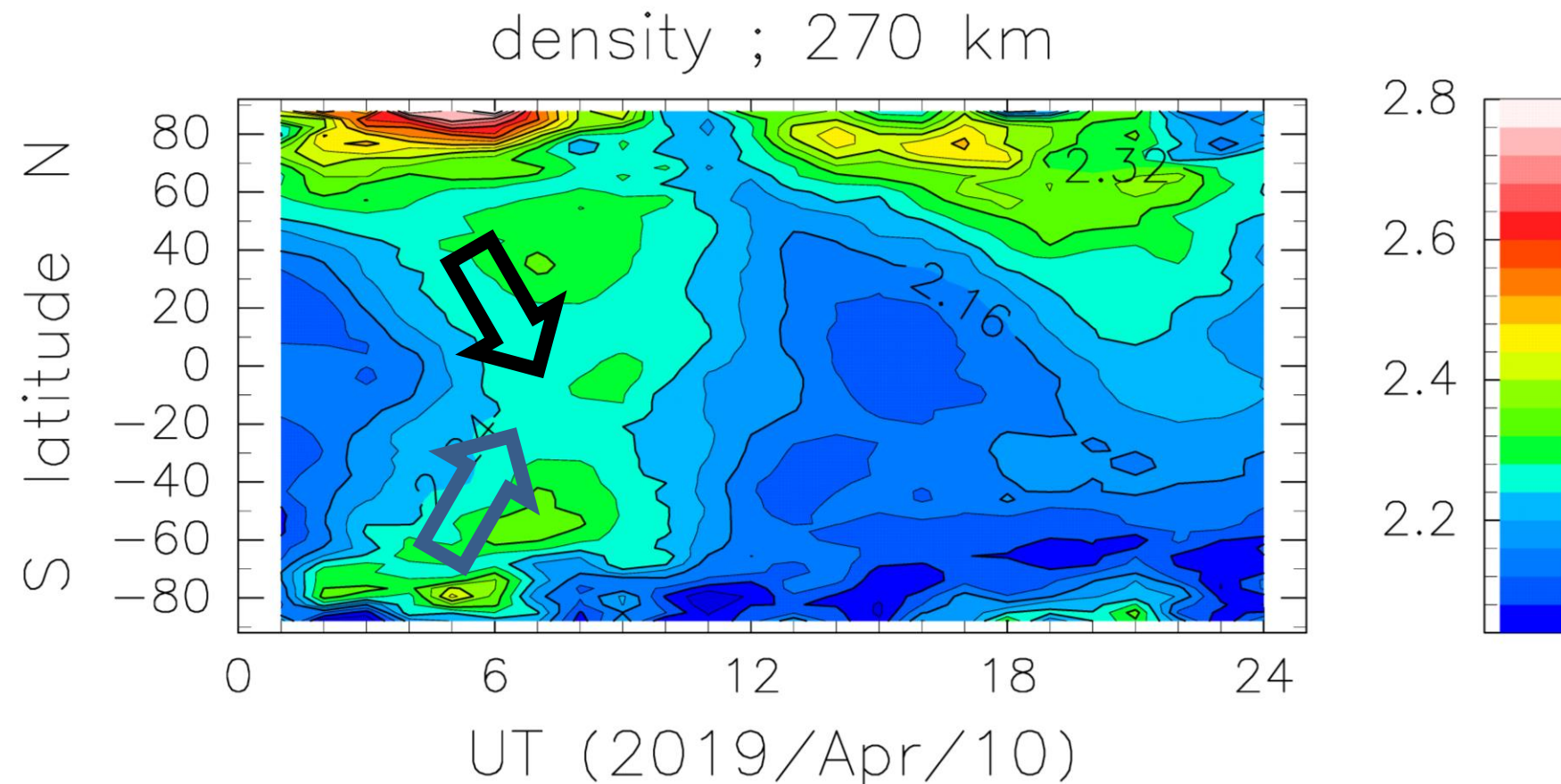
Hour from 8/31 00UT

高緯度域の大気密度：
Kpの増加に伴い、すぐに応答。
Kpが最大となる時刻で、大気密度も最大。

低緯度域の大気密度：
Kpの増加に伴い、すぐに応答。
Kp・高緯度域の大気密度が最大となる時刻より5－6時間遅れる。
高緯度域から低緯度域へ、TAD(traveling Atmospheric Disturbance)として伝播するため時間がかかる。

地磁気擾乱時での大気密度変化

数値モデルで得られた地磁気擾乱時(2019年4月10日)の大気密度変化



磁気圏からのエネルギー流入による極域大気加熱・膨張が、低緯度域にTADとして低緯度域に伝播する過程は、モデルにより確認できる。過去には、CHAMP衛星からも、TADの観測例が示されている。今後、他の地磁気擾乱時についても解析を行い、高度200km付近での大気密度増加の様子を検証したい。

まとめ

- SLATSで得られた大気密度と大気大循環モデルでの大気密度の比較を行い、モデル結果を検証するとともに、熱圏大気密度の空間構造・時間変化について調べた。
- 静穏時には、SLATSで得られた大気密度に対して、MSISの大気密度はかなり大きな値となっている。違いの原因について、数値モデルなどを用いた考察を行った。その結果、複数の原因が考えられることが分かった。
- 今後も比較を行うことで、数値モデルの検証・精度向上を図るとともに、熱圏大気密度の構造・時間変化に関する物理機構を明らかにしていきたい。