

私たちの研究室では、高度およそ 500km くらいまでの大気の大規模な循環に関わる力学について調べています。高度およそ 500 km までの大気は、気温の高度方向の変化傾向により、地表から高度 10 km くらいまでの対流圏、そこから高度 50 km くらいまでの成層圏、さらに高度 90 km くらいまでの中間圏、さらにそれより上の熱圏という 4 つの大気領域に分かれています。その中で、高度およそ 10 km 以上の大気領域では、水蒸気が極めて少なく、対流圏のような降雨・降雪を伴う現象はほとんど存在しません。その代わりに、気象現象の影響により励起された大気波動が鉛直上方に伝播することで、興味深い現象が数多く生じています。さらに、熱圏では大気成分の一部が電離した電離圏が存在し、電離していない中性大気成分との相互作用や様々な時間スケールで変動する太陽活動の影響により激しく変動する現象が数多く存在します。以下では、私たちの研究の中から、成層圏突然昇温現象と中間圏・熱圏への影響、中間圏・熱圏の流れのシミュレーション、宇宙天気との関連について説明します。

### (1) 成層圏突然昇温と中間圏熱圏への影響

冬季成層圏では「成層圏突然昇温」と呼ばれる、北極域の温度が数日のうちに急激に上昇する現象が起こります(図 1 上図)。成層圏突然昇温は、対流圏で励起された地球規模の大気波動が原因であることが明らかとなっていますが、成層圏突然昇温は、成層圏北極域のみならず、南極域やはるか上空の熱圏での温度や循環にも影響を及ぼすことが明らかになってきています。図 1 下図は、数値シミュレーションにより明らかとなった、成層圏突然昇温発生時の中間圏南極域での温度変化を示しています。成層圏突然昇温が発生すると同時に、中間圏南極域の温度が低下しています。さらに、熱圏でも温度低下が発生することが明らかとなっています。成層圏北極域の現象がどのようにして反対半球やはるか上空の熱圏での温度や循環に影響しているのかについて、全大気大循環モデルと呼ばれる数値モデルを用いて研究しています。成層圏突然昇温は 1 例ですが、成層圏での大気循環の変化は他の大気領域での大気循環に影響を及ぼすことが明らかになりつつあります。

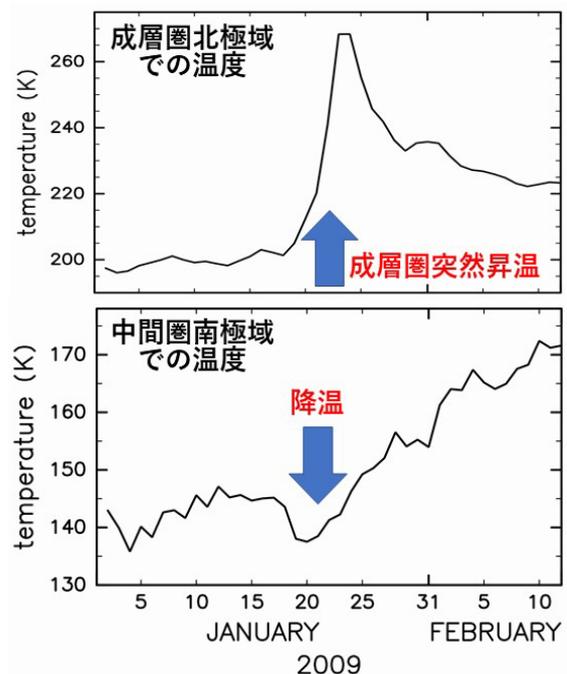


図 1 (上図) 成層圏高度 30 km の北極域での 2009 年 1 月 1 日から 2 月 12 日までの温度変化。1 月下旬に急激な温度上昇 (数日で約 60K 以上の温度上昇) が発生している。(下図) 同じ時期における中間圏高度 80 km の南極域での温度変化。成層圏突然昇温発生時には、約 10K の温度低下が発生している。

## (2) 中間圏・熱圏のシミュレーション

私たちの研究室では、独自に開発してきた地球大気全ての領域を含む全大気大循環モデルを用いて、中間圏や熱圏領域特有の流れの特徴を明らかにするため、さまざまな条件の下での数値シミュレーションを行っています。

図2は、そのようなシミュレーション結果に基づく、高度40kmと100kmでの温度(カラーの陰影)、水平風(ベクトル)分布(9月の例)を描いたものです。40kmでは、中緯度域で西風が卓越し、東西方向の流れが卓越しています。100kmでは、太陽放射に日変化に起因する潮汐波や、よりスケールの小さい重力波に伴う循環が見え、40km(成層圏)とは大きく異なる循環形態をしています。このように高度域によって、循環は大きく異なり、同じ地球大気でも高度領域により大きく異なる循環のメカニズムを理解することが重要です。

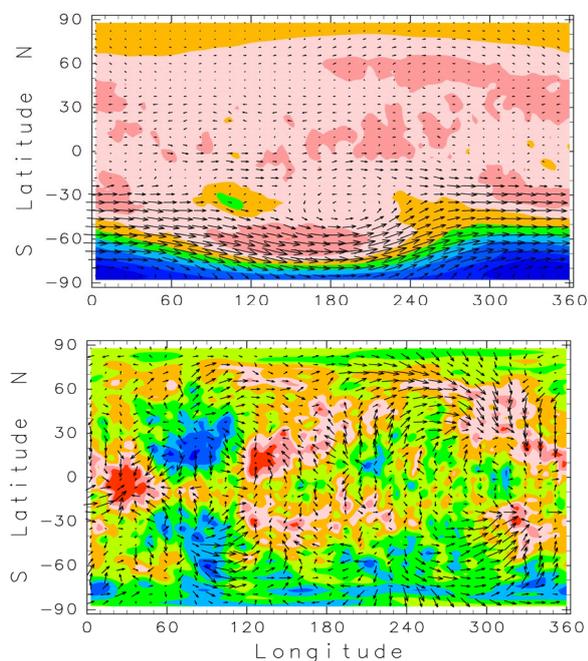


図1 私たちの研究室で開発した大気大循環モデルを用いたシミュレーション結果に基づく、高度40km(上)、100km(下)での温度(カラーの陰影)、水平風(ベクトル)分布図。暖色系が高温域、寒色系が低温域。縦軸が緯度、横軸が経度。9月の計算例。

## (3) 宇宙天気：太陽活動や磁気嵐が引き起こす熱圏変動

熱圏領域では、中性大気と電離大気(電離圏)が共存するため、通信・放送・測位、衛星運用、航空運用と密接な関係があります。特に、熱圏での大気密度は、低軌道衛星にとって大気抵抗として働くので、低軌道衛星の軌道変化・運用にとって重要です。例えば、2022年2月3日に発生した磁気嵐(オーロラ活動に伴う磁気圏から熱圏へエネルギーの流れ込み)による大気密度の急上昇により、大気抵抗が増加しStarlink衛星39機が落下したことが知られています。図3に、私たちの研究室で実施された数値シミュレーションにより明らかとなった、磁気嵐時の大気密度変化率を示します。Starlink衛星の軌道高度約200kmでは、2日間で大気密度が最大で1.5倍(150%)になったことがわかります。さらに上空の高度約400kmでは、大気密度が2~2.5倍になることが示されています。このように、熱圏は太陽活動やオーロラ活動の影響を強く受けて急激に変化します。私たちの研究室では、熱圏大気の変動の様子を数値シミュレーションによる研究を行っており、衛星運用などの宇宙天気予報の改善・高精度化に取り組んでいます。

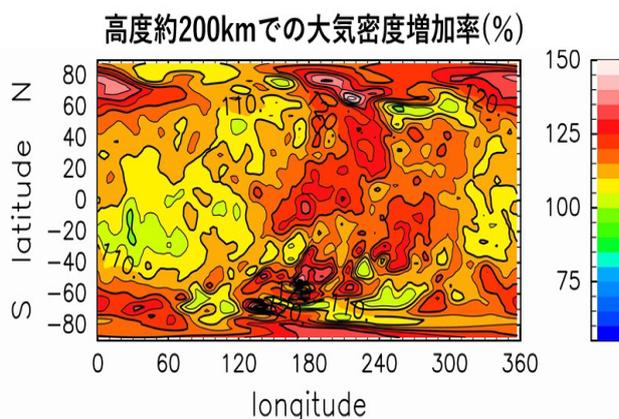


図3 2022年2月3日に発生した磁気嵐に伴う熱圏大気密度の増加率(%)の経度-緯度分布。2月1日の大気密度との差を示す。