

平成22年5月20日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19540464

研究課題名（和文） 中間圏・下部熱圏における物質循環に関する研究

研究課題名（英文） A study of tracer transport in the mesosphere and lower thermosphere

研究代表者

三好 勉信 (MIYOSHI YASUNOBU)

九州大学・大学院理学研究院・准教授

研究者番号：20243884

研究成果の概要（和文）：

中間圏から下部熱圏領域における大気微量成分（酸素原子や一酸化窒素など）変動のシミュレーションが可能な大気モデルを用いて、大気循環による大気成分変動について調べた。その結果、大気中に存在する様々な大気波動による輸送の効果により、大気微量成分濃度に顕著な変動がみられることが分かった。これらの大気波動は、対流圏で励起されたものが中間圏・下部熱圏まで伝播したものであるから、中間圏・下部熱圏での大気成分についても、対流圏循環変動の影響を受けることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

By using a numerical model, effects of the general circulation of the atmosphere on variation of the minor constituents of the atmosphere in the mesosphere and lower thermosphere (MLT), such as atomic oxygen and nitric oxide, were examined. Our results showed that transport processes associated with atmospheric waves played an important role on determining spatial and temporal variations of minor constituent of the atmosphere in the MLT region. These atmospheric waves were generated in the troposphere and propagated into the MLT region, so that it was shown that variations of minor constituents in the MLT region were closely related with variations of the general circulation in the troposphere.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：中層大気科学、大気大循環、物質輸送、大気波動

1. 研究開始当初の背景

(1) 中間圏・下部熱圏領域の大気微量成分（酸素原子、一酸化窒素、オゾン、水蒸気など）分布は、大気循環による輸送の効果と光

化学反応過程による生成・消滅の効果により決まる。特に、酸素原子や一酸化窒素のように光化学反応の時定数が大きい場合や極夜のような日射がない場合には、大気循環によ

る輸送の効果が重要となる。これらの大気微量成分は、放射過程などを通じて、中間圏・下部熱圏領域の熱収支に重要な役割を演じているにもかかわらず、観測が技術的に非常に困難だったため、限られた空間・時間分布しか得られていなかった。したがって、広範囲な領域における酸素原子や一酸化窒素濃度分布変動を、観測結果のみを用いて求める事は困難である。このような状況下において、中間圏から下部熱圏領域における物質循環や大気微量成分分布を正確に見積もるためには、数値シミュレーションモデル(大気大循環モデル)による数値実験が唯一有力な研究手段である。そこで、本研究課題では、大気大循環モデルを用いて、中間圏・下部熱圏領域における物質循環の描像を示すことにした。特に、大気微量成分の広範囲な領域における空間・時間分布変動について定量的に明らかにすることが可能であると考えた。

(2)数値モデルを用いての中間圏一熱圏における大気現象の研究の推進は、世界的な流れでもある。例えば、米国 NCAR においても、気候モデルと熱圏・電離圏・磁気圏モデルを結合し、全大気領域モデル(Whole Atmosphere Community Climate Model)の開発が進められている。本研究代表者を含む研究グループは、地表面から熱圏上端までを含む大気大循環モデルの開発に、NCAR に先駆けて成功した。開発した大気大循環モデルは、中間圏から熱圏領域における酸素原子や一酸化窒素に関連する光化学過程や力学による輸送過程を含んでいるため、大気大循環モデルによる大気微量成分・物質輸送に関する定量的な見積もりを行うことにした。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、酸素原子や一酸化窒素の光化学過程および力学による輸送過程を組み込んだ大気大循環モデルを用いて、中間圏・下部熱圏領域における物質循環の描像を示すことにある。対象とする大気微量成分は、光化学反応の時定数が大きい酸素原子や一酸化窒素とし、これらの大気微量成分の空間・時間分布変動について定量的に明らかにする。特に、大気波動が物質循環に及ぼす影響に焦点をあてて、定量的議論を行う。酸素原子や一酸化窒素は、熱圏領域での太陽紫外線・極端紫外線吸収過程や極域でのオーロラ粒子のふりこみ過程により生成され、大気循環による輸送の効果で中間圏界面を通過し中間圏まで輸送される。この熱圏と中間圏との間の物質循環・物質交換に、大気波動がどの程度影響を及ぼしているのかを定量的に明らかにする。さらに、中間圏・下部熱圏領域における大気波動のほとんどは対流圏で励起されたものである。そこで、中間圏・下

部熱圏領域における物質循環と対流圏大循環変動という離れた領域間における変動の関連性について新たな描像を示す試みを実施する。

3. 研究の方法

(1)中間圏上部から熱圏領域での光化学反応による酸素原子や一酸化窒素の生成・消滅過程を組み込んだ大気大循環モデルによる数値シミュレーションにより研究を行う。大気大循環モデルの数値積分を実行し、中間圏・熱圏下部における物質循環に関する解析を行う。まず、水平スケールの大きな大気波動(潮汐波、惑星波、ケルビン波)による輸送の効果に焦点を当てて研究を行う。そのために水平分解能の低い大気大循環モデル(水平格子点間隔が約 500km 程度のモデル)を用いて、長期間の数値積分を実施し、季節変動や年々変動の影響も考慮して解析を行う。

(2)次に、水平スケールの小さな大気波動(重力波)が物質輸送に及ぼす影響についても研究を行う。そのため、重力波を再現できる水平分解能の高い大気大循環モデル(水平格子点間隔が約 100 km 程度のモデル)を用いた数値シミュレーションを行う。重力波に伴う大気循環変動と酸素原子や一酸化窒素の変動について解析を行う。

4. 研究成果

(1)大気微量成分の光化学過程・力学による輸送過程を含んだ大気大循環モデルを用いて、中間圏・下部熱圏領域における物質循環について研究を行った。本年度は、大気微量成分の中で、一酸化窒素に注目し、下部熱圏領域での生成と中間圏への輸送に注目し解析した。まず、水平分解能の低い(水平格子点間隔約 500km)を用いて、長期間積分を行い、大気微量成分の季節変化や数十日周期の変動を調べた(図 1 参照)。その結果、例えば、下部熱圏における一酸化窒素濃度は、太陽活動やオーロラ活動に伴う高エネルギー粒子の降り込みにより強く影響される。一方、中間圏においては、輸送の効果が重要となり、特に、日射がほとんどない冬季高緯度域では、子午面循環による下部熱圏からの物質輸送(高濃度の一酸化窒素大気の輸送)が支配的となることがわかった。この変動は、惑星波に伴って生じる中間圏極域での鉛直流の強さと関連していることが分かった。冬季高緯度域における下部熱圏から中間圏への一酸化窒素輸送量は、中間圏での惑星波の振幅と密接に関連している。惑星波の活動が活発な北半球冬季では、惑星波の振幅の数十日周期の変動に伴い、数%から 10%程度の NO 濃度の変動が引き起こされることが分かった。特に、成層圏突然昇温の発生前後には、中間圏でも

子午面循環が大きく変化し、それに伴い、一酸化窒素などの大気微量成分の変動も顕著に表れることが明らかとなった。また、中間圏における惑星波変動の影響は極域下部熱圏領域でも、僅かではあるが現れ、NO 濃度が数%程度変動することも明らかとなった。一方、南半球冬季においても、冬季高緯度域では、下降流が卓越し、それに伴い、酸素原子や一酸化窒素濃度の高い空気塊が下部熱圏から輸送されてくるため、濃度が高くなる。しかし、惑星波に伴う日々変動が北半球に比べて小さいため、酸素原子や一酸化窒素濃度の日々変動は比較的小さいことが明らかとなった。

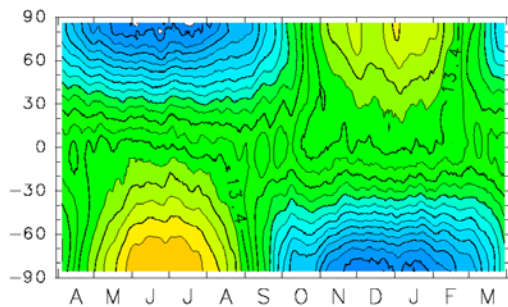


図1： 高度 83 km における一酸化窒素の数密度(単位は $\log_{10}[\text{NO}] (\text{m}^{-3})$)の時間-緯度分布図。横軸は月を表し、4月から翌年の3月までの時間変化を示す。縦軸は緯度を示し、プラス(マイナス)が北(南)半球を示す。

(2) 下部熱圏の低緯度で卓越する潮汐波が物質輸送・循環に及ぼす影響について解析を行った。低緯度下部熱圏領域では、東進東西波数3の一日潮汐波(DE3)と太陽同期一日潮汐波(DW1)の相互作用により、同じ地方時であっても、風速・温度分布が経度方向に波数4構造を持つことが知られている(図2参照)。解析の結果、一酸化窒素や酸素原子濃度などの大気微量成分も、これらの一日潮汐波に伴う子午面循環による輸送の効果により、同様の波数4構造を持つことが分かった。特に、下部熱圏領域では、一酸化窒素や酸素原子濃度分布が高度とともに急激に変動する(高度とともに濃度が増加)ため、鉛直流の変動に極めて敏感に応答することが分かった。上昇流の領域では、より低高度の領域に存在する低濃度の空気塊が上昇することに伴い、一酸化窒素や酸素原子濃度は急速に減少する。一方、下降流の強い領域では、逆に、高濃度の空気塊が下降することになり、濃度は急激に上昇する。

また、下部熱圏領域における DE3 の振幅には、強い日々変動・季節変動が存在し、DE3 のこれらの変動に伴い、一酸化窒素や酸素原

子密度分布も激しく変動することが明らかとなった。これらの結果は、潮汐波に起因する風速変動が大気微量成分の経度依存性に強く結びついていることを示唆している。特に、さらに、DE3 の励起は、対流圏の積雲対流活動と関連していることを考慮に入れると、下部熱圏領域における酸素原子密度などの大気微量成分変動と下層大気変動(積雲対流活動変動)との関連性も示唆された。

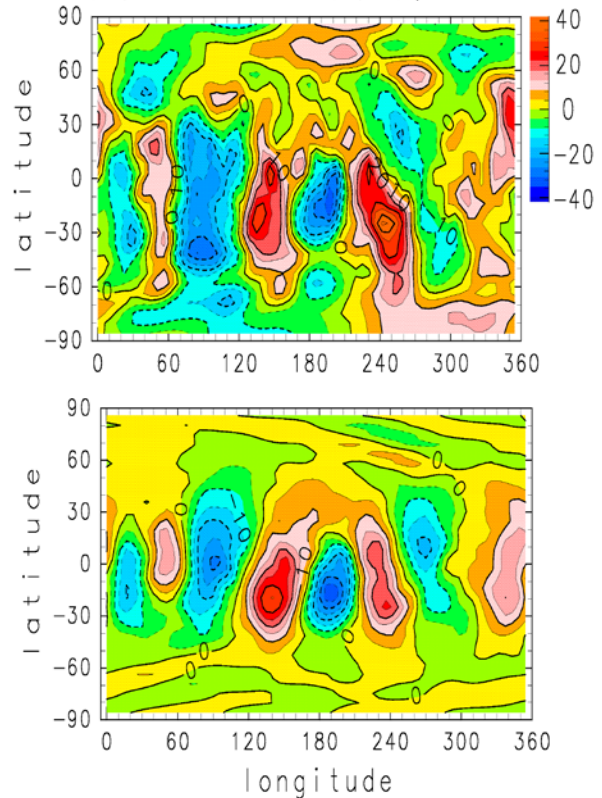


図2：(上図)高度 110 km の 12 地方時における東西風(単位は m/s)の経度-緯度分布図(9月の例)。横軸が経度、縦軸が緯度を示す。一日潮汐波に伴う風速変動が顕著であるが、主に二つの潮汐波(DE3 と DW1)の重ね合わせにより、同じ地方時でも経度により風速・温度が大きく異なり、それに伴い、大気微量成分も経度依存性を持つ。

(下図)高度 110 km の 12 地方時における、一日潮汐波に伴う東西風(単位は m/s)の経度-緯度分布図。緯度 30° より低緯度側では、上図とほぼ同じ分布となり、一日潮汐波の効果が卓越していることを示す。

(3) 図2に示したように、低緯度域における風速・温度分布や一酸化窒素や酸素原子濃度分布などの日変化については、一日潮汐波が重要な役割を演じていることが明らかとなったが、経度方向の非一様性は、中・高緯度

でも顕著に見られることが図2(上図)から明らかである。しかも、図2(下図)と比較することにより、この非一様性に、一日潮汐波の寄与は小さいことが明らかとなった。詳細な解析の結果、中・高緯度域における経度非一様性は、半日潮汐波の影響であることが明らかとなった。つまり、東進の東西波数2(SE2)成分の半日潮汐波や西進の東西波数1(SW1)成分の半日潮汐波が太陽同期の半日潮汐波(SW2)と相互作用することにより生成されることが明らかとなった。このように、中・高緯度域における経度方向の非一様性には、半日潮汐波が深く関与していることが示された。ここで明らかとなった半日潮汐波についても、DE3と同様に、下層大気において励起された波が鉛直上方に伝播し、下部熱圏に出現する。このことから、中・高緯度域における日変化に関しても、半日潮汐波の励起源である下層大気変動との関連性も示された。さらに、8時間潮汐や6時間潮汐成分についても解析を行ったが、熱圏上部においては無視できない程度の振幅となるが、下部熱圏領域ではそれほど重要でないことも明らかとなった。

(4) 高水平分解能モデル(格子点間隔約140km)を用いて、大気重力波が下部熱圏での物質循環に及ぼす影響についても、より詳細に解析した。熱圏領域では、中間圏に比べて短周期成分の重力波が卓越することがわかった。また、重力波の卓越周期は高度と共に短くなることも分かった。このことから、重力波による物質輸送には、高度が増すにつれてより短周期の重力波による輸送が重要であることが分かった。さらに、重力波の主な励起源は熱帯域の積雲対流活動であるので、熱帯域の対流活動と中間圏・熱圏の重力波活動度との関連を調べた。その結果、中間圏・熱圏低緯度域での重力波活動度は、対流活動の活発な経度帯で強いという相関が得られた。このことから、対流活動が活発な領域の上空の中間圏・熱圏では、重力波の活動も活発で、重力波に伴う物質輸送も顕著であるという結果が得られた。

(5) さらに、発展的な試みとして、現在開発中の大気圏と電離圏との相互作用を考慮にいた、大気圏—電離圏結合モデルを用いて、下部熱圏領域の中性大気変動と電離大気との相互作用について調べてみた。下部熱圏領域では、僅かではあるが電離大気も存在するため、中性大気と電離大気の間には、イオン抗力と呼ばれる力が働く。そこで、酸素原子や一酸化窒素などの中性大気微量成分が電離大気変動(電子密度変動など)によりどの程度影響を受けるかについての予備的計

算・見積もりを行った。その結果、電離大気変動が下部熱圏領域での中性大気微量成分変動に及ぼす影響は、非常に小さいことが分かった。むしろ、部熱圏領域における大気波動に伴う中性大気変動(温度、風速、酸素原子濃度など)が、ダイナモ過程を通じて熱圏上部や電離圏の変動に強く影響している可能性があることが分かった。これらについては、今後の研究への発展が期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5件)

- ① Miyoshi, Y., H. Fujiwara, J. M. Forbes, and S. L. Bruinsma, Solar terminator wave and its relation to the atmospheric tide, *J. Geophys. Res.*, Vol. 114, A07303, doi:10.1029/2009JA014110, 2009.
- ② Miyoshi, Y., and H. Fujiwara, Gravity waves in the equatorial thermosphere and their relation to the lower atmospheric variability, *Earth, Planets and Space*, Vol. 61(4), 471-478, 2008.
- ③ Miyoshi, Y., and H. Fujiwara, Gravity waves in the thermosphere simulated by a general circulation model, *J. Geophys. Res.*, Vol. 113, D01101, doi:10.1029/2007JD008874, 2008.

[学会発表](計 19件)

- ① 三好勉信, 中層大気・熱圏シミュレーション, MTI 研究会(地球電磁気・地球惑星圏学会分科会)、京都文化教育センター, 2009年11月30日-12月1日(招待講演).
- ② Miyoshi, Y., H. Fujiwara, J. M. Forbes, and S. L. Bruinsma, Solar terminator wave and its relation to the atmospheric tide, the Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), Singapore SUNTEC, 2009 August 11-15. (招待講演)
- ③ 志賀友哉, 三好勉信, 成層圏突然昇温に伴う中間圏界面付近での大気微量成分変動について, 日本気象学会秋季大会, 2008年11月19-21日, 仙台市国際センター.
- ④ 三好勉信, 藤原均, 大気大循環モデルによる熱圏極域重力波に関する研究, 第124回地球電磁気・地球惑星圏学会総会・講演会, 2008年10月9-12日, 仙台市戦災復興記念館(招待講演).
- ⑤ Miyoshi, Y., and H. Fujiwara: Upward Propagation of Atmospheric Waves from

the troposphere to the thermosphere and its Impact on the General Circulation in the Thermosphere, 37th COSPAR Scientific Assembly, Montreal, Canada, 2008 July 13- 23(招待講演).

- ⑥ Miyoshi, Y., and H. Fujiwara: Upward propagation of atmospheric waves and its impact on the general circulation in the thermosphere, CAWSES Symposium, Kyoto, Japan, 2007 October 23- 27, 2007.
- ⑦ 三好勉信, 藤原均: 大気大循環モデルによる中間圏・熱圏間の大気微量成分輸送の見積もり, 地球電磁気・地球惑星圏学会第122回総会・講演会, 名古屋大学, 2007年9月28日-10月1日.
- ⑧ 三好勉信, 藤原均, 大気大循環モデルによる中間圏-熱圏物質交換の研究, 第31回極域宙空圏シンポジウム, 国立極地研究所, 2007年7月23-24日(招待講演).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
該当なし
- 取得状況 (計0件)
該当なし
- [その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三好 勉信 (MIYOSHI YASUNOBU)
九州大学・大学院理学研究院・准教授
研究者番号: 20243884

(2) 研究分担者

該当者なし

(3) 連携研究者

該当者なし