

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	穂積裕太
論文題目	Study on dynamics in the mesosphere, thermosphere and ionosphere with optical observations from the International Space Station (国際宇宙ステーションからの光学観測を用いた中間圏、熱圏、電離圏のダイナミクスの研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>国際宇宙ステーションからの光学観測データを用いて地球超高層大気の物理量を得る手法を開発し、地球超高層大気のダイナミクスに関連する知見を得た。使用したデータは京都大学が他の研究機関と共同で実施した国際宇宙ステーションからの超高層大気撮像観測ミッション ISS-IMAP と A-IMAP 観測キャンペーンによって得られたものである。可視光域と極端紫外光域の 2 つの波長域での光学観測を行っており、可視光を用いた観測では、大気光の測定により中間圏上部の波状構造の解明を行い、極端紫外光を用いた観測では、電離圏におけるヘリウム・イオンからの共鳴散乱光の測定により電離圏におけるヘリウム・イオンの分布とその輸送過程の解明を行った。</p> <p>第 1 章では、研究内容に関する先行研究及び超高層大気における物理過程の概説が行われ、最後に本論文の研究目的と構成が述べられている。</p> <p>第 2 章では、2014 年から 2015 年にかけて実施された A-IMAP キャンペーンにおいて得られたデータを用いて大気光の空間構造を同定する手法の開発について述べられている。国際宇宙ステーションから宇宙飛行士によって撮影された撮像データは波長 410nm から 680 nm の範囲の光に対して感度を持っており、酸素原子、酸素分子、ナトリウム原子、水酸基などからの大気光発光を捉えている。このデータの科学的な利用には時刻や観測方向などの観測パラメータを推定することが必要であり、そのために画像内の街明かりを用いたパラメータの推定手法を開発した。開発された手法による推定精度は、撮影時刻の精度は 0.3 秒、撮像方向の精度は 0.08°、視野角の精度は 0.12° であった。またこの手法によって推定されたパラメータを用いて得られた大気光の構造は ISS-IMAP による観測や過去の観測とよい一致を示した。</p> <p>第 3 章では、A-IMAP キャンペーンにおいて観測された撮像データを用いた長波長を持つ大気重力波構造の解析について述べられている。2014 年 8 月 26 日の観測では中間圏大気光中に大規模な波状構造がみられ、第 2 章で述べられた手法を用いてその構造の解析を行った結果、大気光の 2 つの発光層間に輝度の逆相関がみられることや、発光層に高度変化が見られることなどから、水平波長 820km、鉛直波長 8km、波面の長さ 2000km の空間構造を持つ大気重力波がこのような大気光構造を起こしていると推定された。</p> <p>第 4 章では、ISS-IMAP ミッションの極端紫外光撮像装置(EUVI)によって観測された電離圏ヘリウム・イオンの全球分布の季節変化について述べられている。太陽光のヘリウム・イオンによる共鳴散乱光(波長 83.4nm)を測定することにより、ヘリウム・イオンの積分量を得ることができる。およそ 1 年間の観測データをもとにその緯度・経度分布とその季節変化を解析した結果、ヘリウム・イオン量は冬半球に多く、夏半球のおよそ 2 倍に増大していること、この効果は経度によって大きく異なること、が明らかになった。この構造は、熱圏内の中性風によるヘリウム・イオンの輸送によって形成されると推定し、その輸送には中性風だけではなく、地磁気偏角が影響を与えているため、その輸送量が経度によって異なることを示した。</p> <p>最後に第 5 章では、全体的な結論が述べられている。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

申請者は、国際宇宙ステーション(International Space Station: ISS)からの中間圏、熱圏、電離圏の光学観測と、それを用いた超高層大気ダイナミクスの解明についての研究を行った。宇宙空間から行う超高層大気の観測には、広範囲の観測が可能な点と、地上からは測定できない光の測定ができる点との2つの特徴があるが、本論文の第2章、第3章の観測は前者、第4章の観測は後者の特徴を用いた観測であり、共に先行研究の少ない、新規性の高い観測に基づいた研究である。

申請者は、第2章で述べられているように、ISSからの撮像データを用いて超高層大気領域の大気光の構造を捉えるための解析手法の開発を行った。その結果得られた大気光データは地上からの観測や従来の衛星からの観測に比べて、格段に広い観測視野を持つものである。また科学観測用の機器によらない測定にもかかわらず、その空間構造の推定精度は十分に高精度であった。ISSの飛翔方向を指向した撮像観測データを用いることによって、鉛直方向の構造だけでなく、水平方向の構造も捉えられるこの手法は、宇宙空間からの前方リム撮像観測が超高層大気の3次元構造を観測する強力な観測手段となりうることを示しており、今後の観測計画にもつながる成果である。

申請者は、そのような広い視野の大気光観測データを用いて、これまでの地上からの観測では捉えることが困難であった長い波長を持つ中間圏大気重力波の観測に成功した。高度90km付近において500km以上の波長を持つ構造は、地上からの観測視野よりも大きいため、全体を同時に測定することはできず、時間変化を空間変化とみなすことでその存在が示唆されていたが、不明確な点が多かった。申請者によるISSからの広視野観測では、波長800km程度の構造の全体を初めて同時に観測することに成功し、その波面の広がりや2,000kmに及ぶことも確認された。またその鉛直構造を捉えることによって、このような長い波長の構造の3次元構造の測定も行い、この構造が大気重力波によって生成されていることを示した。

また、極端紫外光を用いた観測では、ヘリウム・イオン分布の変動を捉えることに成功した。ヘリウム・イオン密度が南北半球で異なることについては以前から人工衛星による直接計測によって報告されていたが、密度の高度分布が時間によって変化するために、緯度による変化と高度による変化が混在し、相反する結果が報告されていた。これに対して、申請者によるヘリウム・イオンからの共鳴散乱光を用いた光学観測では、ISSの飛翔高度がヘリウム・イオンの存在高度よりも低いため、ヘリウム・イオン密度を高度方向に積分した全量の計測が可能であり、高度分布の変化による影響を受けずに、ヘリウム・イオン量の緯度及び経度による変化を測定することができた。その結果、南北半球間の非対称性だけでなく、経度によってもヘリウム・イオン量が大きく異なることを発見し、この構造とその季節変化を中性風と地磁気の効果を考慮することで説明し、イオンの南北半球間の輸送機構についての理解を大きく進めた点が評価できる。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年1月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降