

氏 名 松田 貴嗣

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1925 号

学位授与の日付 平成29年3月24日

学位授与の要件 複合科学研究科 極域科学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Study of Mesospheric Gravity Waves in the Antarctic
Observed by Airglow Imaging Network, Using Phase Velocity
Spectrum

論文審査委員 主 査 教授 中村 卓司
准教授 堤 雅基
准教授 富川 喜弘
教授 藤原 均 成蹊大学
研究統括 村山 泰啓 情報通信研究機構

論文の要旨

Summary (Abstract) of doctoral thesis contents

Atmospheric gravity waves (AGW), generated in the lower atmosphere, can propagate to the mesosphere and lower thermosphere. They transport great amounts of energy and momentum and release them at various altitudes. Among many parameters to characterize gravity waves, the horizontal phase velocity is important to discuss the vertical propagation and where the momentum is released. Near the mesopause region, OH and other airglow imagings have been used to investigate horizontal structures of gravity waves for more than two decades. Traditionally, the statistics of these observations are based on the wave characteristics of individual AGW events, which are detected by visual inspection of outstanding wave-like structures in airglow image data. However, such methods are not suitable for the analysis of large amounts of data for a few reasons: (1) the analysis procedure is time-consuming, (2) differences in criteria for determination of wave events, and (3) the extraction of the AGW parameters depends on the work of the people processing the data differences and criteria for the determination of wave events. The latter two might induce biases in the sampling of wave events. These problems cause difficulties in obtaining a global map of gravity wave characteristics in the mesopause region. Another important fact with respect to mesospheric gravity wave studies is that the observations over the Antarctic are few, although a significant amount of AGWs is generated in this region. In this thesis, we aim to reveal the characteristics of horizontal phase velocity distributions of mesospheric small-scale and short-period AGWs in the Antarctic and to investigate the propagation process and source of the AGWs.

First, we developed a new analysis method obtaining the power spectrum in the horizontal phase velocity domain from airglow intensity image data to study AGWs. This method can deal with extensive amounts of imaging data obtained in different years and at various observation sites independent of the work of the people processing the data for the determination of AGW events and extraction of AGW characteristics. The new method was applied to sodium airglow data obtained in 2011 at the Syowa Station (69°S, 40°E) in the Antarctic. The results were compared with those obtained from conventional event analysis in which the phase fronts were traced manually to estimate the horizontal characteristics such as wavelengths, phase velocities, and wave periods. The horizontal phase velocity of each wave event in the airglow images corresponded closely to a peak in the spectrum. The statistical results of both analyses show the eastward offset of the horizontal phase velocity distribution of AGWs. Both spectral and event analyses showed (1) a cluster of westward-propagating slow (< 50–60 m/s) waves and (2) the dominance of eastward-propagating waves with high speeds (no complete absence of slower waves in this direction), which could be interpreted as the existence of a stratospheric source in the polar night jet. The galactic contamination of the spectrum was examined by calculating the apparent velocity of the stars and found to be limited for phase speeds lower than 30 m/s.

Subsequently, we obtained horizontal phase velocity distributions of the gravity waves at an altitude of ~90 km from four airglow imagers in the Antarctic, which belong to the Antarctic

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

Gravity Wave Imaging/Instrument Network (ANGWIN), an international airglow imager/instrument network in the Antarctic. Results from the airglow imagers at four stations, Syowa, Halley (76°S, 27°W), Davis (69°S, 78°E), and McMurdo (78°S, 167°E), were compared using the new statistical analysis method based on a 3-D Fourier transform developed in this study for the observation period between April and May 2013. Significant day-to-day and site-to-site variations were observed. The two-monthly average of the phase velocity spectrum showed a preferential westward direction at Syowa, McMurdo, and Halley but no preferential direction at Davis. The AGW energy estimated from I'/I was ~5 times larger at Davis and Syowa than at McMurdo and Halley. We also compared the phase velocity spectrum at Syowa and Davis with the background wind and found that only the directionality over Syowa could be explain with critical level filtering. The gravity waves over Davis, which propagated into all azimuth directions, could be generated above the polar night jet by a mechanism such as secondary wave generation. The comparison of the nighttime variation of phase velocity spectra with background wind measurements suggested that the effect of critical level filtering could not explain the temporal variation of the gravity wave directionality well; however, for the same cases, other reasons such as the variation of wave sources should be taken into account. We also found that the directionality is dependent on gravity wave periods.

Summary of the results of the doctoral thesis screening

(論文審査結果) [平成29年1月23日実施]

審査論文は、高感度全天カメラによる高度100 km付近の中間圏・下部熱圏領域の大気光のイメージング観測の画像データから、地球全体の大気の循環をコントロールする大気重力波のエネルギーの水平位相速度空間分布を3次元スペクトル解析で求める解析手法を開発し、その手法を南極域で米・英・豪・日・ブラジルが実施する大気光イメージングネットワーク観測 (ANGWIN) に適用して南極域4地点での大気重力波の水平伝搬特性を明らかにしたものである。多数の大気光イメージング観測による膨大なデータを、解析者の主観を挟まず、統一的な手法で計算して定量的な比較ができる応用範囲の広い手法を開発し、それにより観測的研究が遅れている南極域の大気重力波の伝搬と励起に関する知見を得た点は評価すべき成果である。

審査論文ではまず地球大気の構造と大循環および大気重力波についての講述を行い、大気大循環を駆動する運動量の輸送の働きをする大気重力波が、南極域上空では他地域より大きくその把握が重要であるにもかかわらず観測が不足していることを示した。次に高度100 km付近で発光する微弱な夜間大気光の性質とそのイメージング観測による大気重力波の計測法とその解析について講述し、イメージング観測の発展に比較しこれまでの解析法が十分でないことを示した。

次に審査論文では著者が開発した大気光データから大気重力波を解析する方法として、イメージング画像データの時系列の3次元フーリエ変換から大気光強度変動の水平位相速度空間での2次元スペクトルを求める新手法について述べた。さらに、2011年に昭和基地で観測したデータについて、従来の解析法である大気重力波イベント抽出による解析方法と新手法との比較を個々の事例と年間平均の統計の双方について示し、この論文で開発した手法の従来法との整合性を明らかにした。さらに1年間のデータ解析から昭和基地上空の大気重力波の水平位相速度分布の特徴を明らかにした。

また審査論文では、新手法のスペクトル解析を南極域4地点のANGWINネットワーク観測データに適用し、初めて多地点の大気光イメージャのデータを同じ解析手法で解析して大気重力波の特性を比較した。その結果、大きな日々変動及び地点間の伝搬方向の違いを明らかにした。また2ヶ月平均のスペクトルでは、東南極の豪・Davis基地上空では伝搬が等方的であるのに対し、他の3地点では西向き伝搬が主方向であることを発見し、3地点では下層から伝搬する大気重力波がクリティカルレベルフィルタリングされていると見られるがDavis上空では成層圏上部以上で二次波などのメカニズムが働いている可能性を指摘した。さらに、大気重力波のエネルギーの大きさを比較したところ、南極でも低緯度の地域では5倍ほど大きくなっていることが示唆され、励起源の情報に関する重要な緯度分布が得られた。また、晴天時夜間一晩における1時間ごとのスペクトルの時間変化をレーダー観測や客観解析データ (同化データ) による風速場の変化と比較することで、クリティカルレベルフィルタリングによる変動と同時に励起源の変動による変化も見出した。さらに、波動の周期の違いによる伝搬特性の変化も見出した。

以上、審査論文では近年の光学デバイスの発展で盛んになってきた大気光イメージング

(別紙様式 3)

(Separate Form 3)

の大量のデータを、大気重力波の水平位相速度特性について過去の研究では困難であった定量的な比較を行う新解析法を開発して、それにより大気重力波のホットスポットである南極上空での伝搬特性に関する重要な知見を得た。なお、論文の 3 章は、国際学術誌に出版 (Matsuda et al., JGR, 2014) されており、4 章も投稿査読中である。また、論文の内容は国際学会 (COSPAR, AGU, CEDAR) ・国際研究集会 (ANGWIN 研究集会 x2, SCOSTEP/VarSITI) で 3 度の口頭発表と 3 度のポスター発表を行ってきた。以上のことから、審査委員会では審査論文が博士学位論文に値するものと全員一致で判定した。