

氏 名 木暮 優

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 2075 号

学位授与の日付 平成 31年 3 月 22 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 on Propagation of Atmospheric Gravity Waves in the
Antarctic with Lidar Observation

論文審査委員 主 査 教授 中村 卓司
准教授 富川 喜弘
助教 江尻 省
准教授 三好 勉信
九州大学大学院 理学研究院
助教 津田 卓雄 電気通信大学大学院
情報理工学研究科

博士論文の要旨

氏 名 木暮 優

論文題目: Study on Propagation of Atmospheric Gravity Waves in the Antarctic with Lidar Observation

Atmospheric gravity waves (AGWs) are generated in the lower atmosphere and they transport their energy and momentum vertically, which derive the circulation in the middle atmosphere. This effect of AGWs is usually described by parameterizations in practical general circulation models (GCMs), because AGWs are smaller than the grids of the GCMs. However, AGWs drag parameterization schemes do not well represent their effects, especially in the Antarctic, which causes a cold bias in winter and spring stratosphere in the Antarctic. This cold bias leads to an underestimation of ozone depletion forecast. Observations to quantify the actual AGW characteristics are required in order to physically constrain the AGW drag parameterization scheme. In particular, the AGW drag over the Antarctic is underestimated even though the Antarctic region is well known as one of hot spots of the AGW. This study has investigated AGW activity with a Rayleigh/Raman lidar observation at Syowa (69°S, 40°E), which can observe temperature profile in a wider range of altitude than a typical lidar, i.e., Rayleigh lidar, in order to reveal the physical characteristics of the Antarctic AGWs.

First, we derived the potential energy of AGWs per unit mass (E_p) in a range of 15-70 km altitude, which indicates the AGW activity, from the observed temperature profiles from May 2011 to October 2013, except for the summer periods. Four features of E_p over Syowa were revealed: (1) The AGW activity was larger in winter than in spring and fall, except for below an altitude of 30 km in 2012. This seasonal variation above 30 km is in good agreement with previous studies using the Rayleigh lidars at other Antarctic stations. (2) The E_p values above 30 km altitude increased with a mean scale height of 11.3 km. This scale height is larger than the scale height in Davis station (69°S, 78°E) (~6.8 km), although both stations are located close to each other (~1500 km). (3) The E_p profiles had local maxima around 20 km altitude and local minima around 25 km in almost all months, which was not reported by the previous studies yet. (4) The E_p values in October 2012 are smaller in the range of 35-60 km altitude and larger in the range of 20-35 km than those in 2011 and 2013, which could be caused by the critical level at which the zonal wind weakens (~35 km altitude). This result suggests that the critical level filtering due to the weak zonal wind significantly influences the vertical and seasonal variation of E_p .

Subsequently, we derived the E_p in further two years, i.e., 2014 and 2015, and then we found that E_p values between 50 and 60 km altitude for 8-21 August 2014, except on 12, were larger than the winter mean by more than one standard deviation. A ray-tracing analysis indicated the possibility that large-scale AGWs with the south-westward wavenumbers, emitted from various latitudes, converged near ~55 km altitude over Syowa. This result suggests that the AGWs were refracted

toward Syowa by the poleward tilting of the polar night jet (PNJ) with altitude. The AGW activity in the Antarctic middle atmosphere can be enhanced by horizontal propagation of the AGWs, which is not taken into account for the practical GCMs. The PNJ condition on 12 August was similar to those during the enhancement, but the meridional wind values at 0.5 hPa (~47 km altitude) changed drastically from +56 to -70 m/s during observation time due to a passage of a synoptic-scale disturbance over Syowa. The depression of the E_p on 12 August could be caused by the critical level filtering of AGWs due to the synoptic-scale disturbance. These results suggest that both the horizontal propagation and the critical level filtering strongly influence day-to-day variations of the AGW activity over Syowa.

This thesis implies that the local wind field controls the Antarctic AGW activity in the middle atmosphere with the critical level filtering. Additionally, the latitudinal structure of zonal wind influences a propagation path of AGW, which is one of the causes of intermittency.

博士論文審査結果

Name in Full
氏 名 木暮 優

論文題目 Study on Propagation of Atmospheric Gravity Waves in The Antarctic with Lidar Observation

地球大気の高度 100 km までの中層大気では南極北極を含めた大規模な大気循環が存在するが、その正確な把握は気候変動予測や長期の気象予報に必要な不可欠である。これには大循環を駆動する大気重力波の効果を予測・予報モデルに正確に再現することが必須となる。

申請者は、審査論文において、南極域中層大気の大気重力波について、日本南極地域観測隊が重点研究観測として昭和基地で実施した 2011-2015 年の 360 晩のレイリー/ラマンライダー観測の詳細な解析を行い幾つかの新たな知見を得るとともに、観測された大気重力波の増大イベントの原因を南半球の客観解析データを用いてレイトレーシングを行い議論した。南半球高緯度域は、全地球上でも大気重力波が強い地域であると言われているが観測による研究が不足しており、申請者が見いだした知見は今後の数値モデルでの重力波の取り扱いの改良に大いに貢献するものと期待される。

第 1 章は導入として地球大気の温度構造・大循環と大気重力波についての概説があり、第 2 章は審査論文の対象である大気重力波の基礎と大気重力波のこれまでの観測やパラメタリゼーションについての先行研究について述べられている。第 3 章は、審査論文で用いた昭和基地でのレイリー/ラマンライダー観測と今回用いた解析手法について述べられている。

第 4 章では、Kogure 他, 2017 (J. Geophys. Res. 誌) に掲載された結果を中心に、昭和基地での 2011-2013 年の 3 年間のライダー観測から中層大気中の大気重力波のエネルギー (ポテンシャルエネルギー) の高度変化とその季節変化を示し、その特徴を議論するとともに伝搬特性を考察した。季節変化は先行する南極ライダー観測と同様に真冬にピークを持つ変化が示されたが、新たな知見としてほぼ全観測期間において高度 20-25 km に大気重力波エネルギーの極大が存在すること、また冬の終わりの時期 (10 月) の大気重力波の年々変動が中層大気の東西風の季節変化によるクリティカルレベルの変動と連動していることを示した。前者はこれまで観測で全く見いだされなかった新発見であり、レイリーライダーに低高度のラマンライダー観測結果を組みあわせたことではじめて示された。後者は観測された大気重力波の対地位相速度が小さいことを示唆するもので大気重力波のモデルへの取り込みの際に重要となる知見である。

第 5 章は Kogure 他, 2018 (Geophys. Res. Lett. 誌) に掲載された結果を中心に、2011-2015 年の 5 年間の観測データで特に重力波が通常より一桁ほど強く観測された 2014 年 8 月の例を取り上げ、客観解析データによる南半球の風速温度場を用いた大気重力波レイトレーシングによる検討からその原因が、南半球高緯度中層大気中で東向き風である「極夜

ジェット」の緯度高度分布が高度の上昇とともに高緯度（極）方向に傾いていたために、さまざまな緯度で発生する大気重力波が屈折により昭和基地上空の成層圏上部から中間圏に収束したために起こったものであることを明らかにした。得られた知見は、大気重力波の効果を考える上で大気重力波の水平方向への伝搬が無視できないことを示した意味で重要であり、また伝搬過程の屈折や収束が大気重力波のインターミッテンシーの原因となりうることを観測で示した意義も大きい。

第6章はまとめと結論であり、今後の展望としていくつかの課題が挙げられている。

以上、申請者は、地球大気の大循環を駆動する大気重力波のもっとも活発な領域の一つである南半球高緯度域において、昭和基地の5年間のレイリー/ラマンライダー観測のデータを新たな解析手法も導入して詳細に解析することにより、南極昭和基地上空の大気重力波の特性を明らかにし、さらにレイトレーシングで広域の重力波の振る舞いを明らかにして、数値モデルの改良に資する重要かつ興味深い知見をいくつか得た。また、審査論文の内容や関連する内容は、すでに査読付国際誌論文2編（JGR および GRL）に公表されており、国際学会でも9度の口頭発表を含めた17件の発表に到り、またその中で南極及び北極の10年に一度の国際会議 POLAR2018（スイスのダボスで開催）では優秀な若手研究者に与えられる Fellowship も獲得した。以上の理由から、博士の学位論文の内容としては十分であると認められる。よって、専攻審査委員会は、審査論文が博士（理学）の学位を授与するのにふさわしいと全員一致で認めた。