

氏 名 鈴木 秀彦

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1337 号

学位授与の日付 平成 22 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 the polar mesopause region by remote
sensing of OH airglow.

論文審査委員 主 査 准教授 堤 雅基
教授 中村 卓司
准教授 富川 喜弘
主任研究員 品川 裕之
(情報通信研究機構)
教授 田口 真 (立教大学)

論文内容の要旨

The OH Meinel band emissions are the brightest night airglow emissions in the near-infrared regions, and peak at mesopause altitudes. Since the intensity distribution in these vibration-rotation bands is quickly equalized to that determined by the local kinetic temperature, the OH rotational temperature can be derived from the spectrum of OH airglow. This technique has been widely used as a conventional and reliable method of temperature measurement in the mesopause region, especially in the middle- and low-latitude regions. However, it is known to be difficult to apply in the polar regions, because auroral emissions contaminate OH airglow spectra. There are a few examples of OH rotational temperature observations conducted in Antarctic for the purposes of studying the relationship between aurora activity and OH rotational temperature. However, highly energetic auroral electrons can reach altitudes just below the mesopause (~90 km) and can cause heating of the neutral atmosphere at that altitude. There are virtually no previous reports that show a quantitative relationship between auroral precipitations and OH rotational temperature.

A fast high-resolution spectrometer designed specifically to observe the spectrum of the OH vibrational-rotational band in the auroral zone has been developed. The OH 8-4 band around the 950-nm wavelength region in the nightglow spectrum was selected as the most suitable vibration-rotation band for observation in polar regions, based on Arctic survey observations. Its suitability lies in the fact that it is less susceptible to contamination from strong auroral emission. The new spectrometer comprises a fast optical system, a transmission grating and a CCD camera. The operating spectral region just encompasses the OH 8-4 band (900-990 nm) and a moderate spectral resolution of 0.27 nm is realized. A back-illuminated CCD with an infrared-enhanced quantum efficiency (QE) is used as the imaging device. The sensitivity and spectral resolution of the spectrometer were calibrated at the National Institute of Polar Research (NIPR). The instrument was installed in the Optical Building at Syowa Station in February, 2008 by the 49th Japanese Antarctic Research Expedition. The instrumental field-of-view of 4.5×0.007 deg is centered on the local magnetic zenith. The nominal exposure time is 1 min.

The total dataset consists of observations over 153 nights during the 2008 austral winter season at Syowa Station. The dataset shows both short-term (several minutes) and long-term (seasonal) variations. Typical temperature trends (high in winter and low in summer) in the polar mesopause region are also evident. These trends are very similar to those observed at the Davis Station which is located at nearly the same latitude as the Syowa Station. In addition to the seasonal trend, large-scale heating and cooling is seen over a period of several days.

Short-term variations which relate to auroral activity can also be observed. Only six nights of data was found to be suitable, in terms of weather conditions and auroral

activity, to study the relationship between auroral precipitations and OH airglow variations. In particular, a significant increase in the rotational temperature and a decrease in the airglow intensity related to auroral activity were identified on the night of March 27-28, 2008, but no such variations were seen on other nights. The horizontal magnetic-field disturbance on the night of March 27-28 was the largest observed during the entire winter, and cosmic radio noise absorption was also very strong. These facts indicate that a large flux of high-energy auroral particles precipitated during this night. It is suggested that the observed variations in the OH rotational temperature and airglow intensity were caused by a lowering of the average airglow altitude as a result of OH depletion in the upper part of the layer where high-energy auroral particles can reach.

Although in normal auroral activity there are no auroral effects, this study reveals the occurrence of rapid fluctuations related to very high auroral activity or hard particle precipitation in the polar mesopause region.

博士論文の審査結果の要旨

本論文は、極域の下部熱圏域で発光する OH 大気光層を観測し、それから得られる大気温度や発光強度を通して極域下部熱圏大気の振る舞いを研究したものである。その構成は、極域大気の特徴と過去の研究のレビュー、必要とされる観測装置のデザイン検討、装置の製作と極域における観測、そして観測結果からは、季節変動や大気循環変動に伴うと思われる下部熱圏温度変動の考察、さらに極域特有のオーロラ活動による大気への力学的・化学的影響の評価、となっている。

南極域の中でも昭和基地付近はオーロラオーバルと呼ばれるオーロラがとりわけ出現する領域に位置するためオーロラ研究が盛んに行われ、プラズマ物理学、磁気圏物理学などの領域において多くの成果が得られてきた。一方、オーロラがもたらす大量のエネルギーによる大気への力学的、化学的影響の定量評価は従来より極域大気研究にとっての関心事であるが、観測手法が限られ研究が進んでいなかった。数少ない下部熱圏域温度観測手法の1つである大気光を用いた手法は、ほぼ同じ波長で光るオーロラそのものの影響によって大気からのシグナル抽出が困難となるため、昭和基地ではこれまで観測を試みられたことがなかった。本論文はこの問題に正面から取り組み、オーロラ光のもとでの OH 温度観測の実用化にめどをつけたものであり、その意義は大変大きい。

その成功の鍵となったのは、従来の OH 大気光観測波長域の見直しを行った点にある。OH 大気光観測は中低緯度を中心に行われ、使用される波長域はほぼ固定しているが、それにとられる事なく、幅広い波長域にわたる試験観測を国内および北極域において行ってオーロラ光の影響の少ない波長域の調査を行った。選出された OH8-4 バンドと呼ばれる 950nm 付近の赤外線波長域は、中低緯度では水蒸気による吸収の影響が大きく使用されないが、水蒸気が少なく乾燥した極域においては有力な波長領域であることを見出した点が高く評価できる。北極域での実験結果をもとに、出願者が中心となり観測装置の開発、製作を行い、選定した波長域の観測に特化させることにより時間分解能 1 分という高い分解能の観測を実現した。後述するように、この高い分解能のおかげでオーロラの影響によると思われる短時間スケールの温度変動が検出できたと考えられ、その観測性能は特筆できる。国内および極域における検討の成果は、それぞれ国際学術誌に発表済みである。

出願者は製作した装置とともに昭和基地に越冬し、1 シーズンに亘る良好なデータを取得した。まず、下部熱圏域温度の季節変化結果について検証し、高緯度域における他地点の過去の観測結果と良い対応が得られていることを確認した。さらに連続データの得られた 2008 年 5 月の観測データにおいて、5 日ほどの間に温度が 20K ほど上下動するイベントに着目し詳しく解析を行った。同時観測された昭和 MF レーダー風速データおよび人工衛星観測データと比較を行った結果、大気循環に伴う極域での上昇下降流の影響により OH 大気層が断熱膨張・圧縮を受けて大きな温度変動を引き起こしたと解釈された。現在、この結果をまとめて国際学術誌への投稿を準備しているところである (H22 年 4 月現在では投稿中)。

さらに本論文では、最大の目標であったオーロラ光のもとでの大気光観測とそこからの温度推定を行った。観測の行われた 2008 年は太陽活動が極小期であったため、オーロラ活動は低

調ではあったが、活発なオーロラの見られた6晩のデータを選んで詳細解析を行った。このうち、オーロラ光の影響によるのではないかと思われる大きな温度上下動が短時間のうちに見られたのは3月27日のイベントのみで、数分間に10K以上という急峻な変動であった。大気温度変動は大気波動によっても引き起こされるが、大気波動によるものとしては変動の時間スケールがかなり短く、また温度上昇に伴って大気光強度が減少するという大気波動に伴う温度変動とは異なる振る舞いを示したことから、オーロラの影響であることが強く示唆された。さらに、各種オーロラ観測、地磁気観測、イメージングリオメーター観測との比較を行った結果、このイベント時には、2008年において地磁気活動が最も活発であり、またオーロラ多波長観測から推定されるオーロラ降下粒子のエネルギーも最も高かったことが示され、このことからオーロラエネルギーが下部熱圏中性大気へ与えた影響であったと考えられる。一方、具体的な温度上昇メカニズムについて、オーロラ降下粒子による直接の大気加熱とジュール加熱を検討したが、考えられるオーロラエネルギーでは加熱量は十分とは言えない。過去の理論研究をもとに検討し、オーロラ粒子により引き起こされる化学反応に伴ってOH発光領域の高さそのものが変化し、背景大気温度の鉛直変化に対応した見かけ上の温度変動をもたらした可能性があるとの結論を得た。オーロラによる下部熱圏中性大気への影響を探る上で、今後の研究の方向性を示せた意義は大きく、以上の結果は国際学術誌に投稿中（H22年4月現在では印刷決定となっている）である。

以上から極域科学専攻の博士論文として十分に価値を有するものと認められた。