

立教大学学術推進特別重点資金(立教SFR)

個人研究

2023年度研究成果報告書

| | | |
|-----------------------|--|-------|
| 研究代表者 | 所属部局・職名 | 氏名 |
| | 理学部・助教B | 石井 智士 |
| 研究課題 | 大気光地上イメージング観測による小スケール山岳で励起された山岳波の伝搬特性の解明 | |
| 研究期間 | 2023年度 | |
| 研究経費 (1円単位) | (支出金額) 999,564円 / (採択金額) 1,000,000円 | |

研究の概要 (200~300字で記入、図・グラフは使用しないこと。)

浮力と重力を復元力として大気中を伝搬する大気重力波は、励起源から水平・鉛直方向に運動量を輸送する働きがあり、この運動量が地球の高層(高度80-100km)に存在する南北方向の大気大循環を駆動すると考えられている。山岳などの地形が励起源となる地形性大気重力波(山岳波)は、励起源が地上に固定されているため、季節変動する下層風と相まって地球大気循環に一定の規則性を与える重要な因子と考えられている。本研究では、頻繁に山岳波が励起されると推定された北海道と東北地方で長期地上光学観測を実施し、その伝搬特性を明らかにする。そして、山岳波が地球大気大循環へ与える影響を定量的に評価する。

キーワード (研究内容をよく表しているものを3項目以内で記入。)

[山岳波] [OH大気光] [地上光学観測]

研究成果の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

浮力と重力を復元力として大気中を伝搬する大気重力波は、水平・鉛直方向に伝搬し、エネルギーや運動量を励起源から遠方へと輸送する働きがある。この運動量が地球規模の高層大気大循環を駆動していると考えられており、大気重力波の励起・伝搬過程を明らかにすることは地球大気ダイナミクスを理解するうえで重要である。地形が励起源となり発生する地形性大気重力波は特に山岳波と呼ばれる。山岳波は励起源が地上に固定されていることから季節変動する下層風と相まって高層大気循環に一定の規則性を与える重要な因子だと考えられている。大気重力波は、水平スケールが数 10 ~ 1000 km 程度の大気波動であり、地球規模のスケールと比較すると小規模な現象である。これまでに地球規模の気候変動予測で用いられていた大気大循環モデルでは、時空間分解能が粗く大気重力波を直接解像することが出来ないという問題があった。そのため大気重力波の効果は観測に基づいてパラメータ化されてモデルに組み込まれるという手法がとられてきたが、現実大気(観測結果)とは一致しない部分があった。最近では、時空間分解能が良いモデルの開発が行われており、大気重力波の励起・伝搬特性を数値実験により明らかにする試みもされているが、観測との比較・検証は十分に行われていない。

大規模な山脈であるアンデス山脈や南極半島では中層・高層大気に運動量を伝達するような山岳波が励起されていることが報告されており(Sato et al. 2009)、地上・航空・衛星観測によって、広大な地形で励起される山岳波が地球大気ダイナミクスに与える影響が調査されている(e.g. Pautet et al. 2021)。ただし、小規模な(水平スケール~100 km 程度の)山岳地形による山岳波について、山岳の形状、励起頻度、水平・鉛直伝搬方向、伝搬頻度などといった励起・伝搬特性を網羅的に調べた研究例は少ない。Ishii et al. (2022) では、日本域における下層風の風速度と地形の位置関係から小規模な地形による山岳波が励起されやすい条件を明らかにし、世界中の山岳地から同様の条件を満たす地域が抽出され、山岳波を頻繁に励起していると考えられる地域(山岳波ホットスポット)が推定された。この研究により小規模ながら頻繁に山岳波を励起している可能性がある山岳地が世界中に点在することが判明した。1つ1つは小規模であるが、それらの総量は地球大気ダイナミクスに無視できない影響を与えている可能性がある。そのため、山岳波ホットスポットで励起される山岳波がどの方角(方向)に、どのくらいの頻度で高層大気まで伝搬し、どの程度の運動量をどのくらいの時空間スケールで伝達しているのか明らかにすることが重要である。

本研究では、Ishii et al. (2022) で日本域における山岳波ホットスポットと推定された東北地方と北海道において、高度約 85 km で発光する OH 大気光を地上からイメージング観測することで、地上から高層大気(中間圏界面)まで伝搬する山岳波を検出し、その伝搬特性を明らかにすることを目的とした。本研究では、民生用のカラーデジタルカメラを OH 大気光の検出器として用いることを計画した。近赤外線領域より長い波長の光をカットするフィルターが備え付けられているが、このフィルターを除去して OH 大気光の撮像を可能にした。このカメラはシングルボードコンピュータである Raspberry Pi 4 を用いて制御し、毎晩夜間の自動スケジュール観測を実施した。広角レンズとカラーデジタルカメラで構成した検出器と Raspberry Pi 4、データ保存用の外付け SSD(観測システム)を屋外に設置する必要

研究成果の概要 (つづき)

があったため、ドーム型のアクリル窓をつけた金属製のハウジングを作成した。2023 年 10 月に北海道名寄市にある、なよろ市立天文台きたすばる(44.3 °N, 142.5 °E)に観測システムを設置し、2024 年 1 月から本観測を開始した。また、東北地方南部上空を観測する拠点とした茨城県城里町 (36.5 °N, 140.3 °E) には、2021 年 8 月に OH 大気光イメージャーを設置し、現在まで観測を継続して実施している。

今年度、城里町で検出された 4 例の波動イベントについて気象再解析データ MERRA-2 を用いて観測当時の背景大気場を推定し、山岳波の鉛直伝搬可能性を検証した。4 例のうち 2 例の (2023 年 11 月 13-14 日と 11 月 19-20 日の夜間に観測された) イベントについては、地上から高度約 60 km までの背景大気場が山岳波の鉛直伝搬条件を満たしており、地上で励起されて高層大気に伝搬した山岳波の可能性が高い。ただし、山岳波の伝搬シミュレーションはまだ実行できていない状態である。今後、検出された山岳波イベントについて伝搬シミュレーションを実行することで各イベントの励起源の特定、および伝搬特性を明らかにする予定である。また、今年度開始した北海道名寄市の観測については、山岳波であるかどうかの検証はまだできていないが、OH 大気光層を伝搬する大気重力波の検出には成功している。しかし、名寄市での観測は開始したばかりであり、統計的な解析ができるほどの十分な観測データが収集できていない。今後も城里町と名寄市で継続して観測を実施し、小規模地形による山岳波の励起・伝搬特性について季節・地域依存性も含め明らかにする。

本研究では、これまで OH 大気光観測で用いられてきた高感度な冷却 CCD よりも安価なカラーデジタルカメラで観測が可能であることが実証された。地球大気ダイナミクスをより詳細に理解し、長期的な気候予測の精度を向上させるためには、さらに観測拠点を増設し世界各地で観測を実施すること重要である。本研究で作成した観測システムを用いることで従来の観測装置よりも作成コストを抑えて観測拠点を増設できるため、今後の観測網の展開に貢献することが期待される。

※この(様式 2)に記入の、成果の公表を見合わせる必要がある場合は、その理由及び差控え期間等を記入した調書(A4 縦型横書き 1 枚・自由様式)を添付すること。

研究発表 (研究によって得られた研究経過・成果を発表した①～④について、該当するものを記入してください。該当するものが多い場合は主要なものを抜粋してください。)

- ① 雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)
- ② 図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)
- ③ シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)
- ④ その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

① 雑誌論文 (著者名、論文標題、雑誌名、巻号、発行年、ページ)

なし

② 図書 (著者名、出版社、書名、発行年、総ページ数)

なし

③ シンポジウム・公開講演会等の開催 (会名、開催日、開催場所)

なし

④ その他 (学会発表、研究報告書の印刷等)

[1] 城里における OH 大気光イメージング観測で検出された停滞性波動イベントの解析, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2023 年秋季年会, 2023 年 9 月 24-27 日, 東北大学

[2] カラーデジタルカメラ画像を用いた夜間の天候判定, 惑星科学若手研究会 2024, 2024 年 3 月 4-5 日, オンライン開催