

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：33901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2023

課題番号：18K03728

研究課題名(和文) 大気光イメージング観測による大気重力波構造からの風速決定

研究課題名(英文) Determining wind speeds from atmospheric gravity wave structures using airglow imaging observations

研究代表者

鈴木 臣 (Suzuki, Shin)

愛知大学・地域政策学部・教授

研究者番号：60397479

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では高度の異なる大気光撮像観測から、大気重力波の鉛直構造を同定することで大気光発光層高度(中間圏界面高度付近)の風速の導出する方法を確立した。小スケール大気重力波(水平波長数十km)の構造から東向きの約55 m/sの風速が推定された。同時観測の風速観測からは30-40 m/s(東北東)の風が観測されており、推定精度向上の課題はあるものの開発したシステムの妥当性が確かめられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究による風速導出の手法は、世界各地で実施されている大気光観測においても応用可能であるため、需要の高い超高層大気風速の汎地球的マップ作成にも貢献できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we established a method to determine wind speeds in the airglow emission layer in the mesopause region by identifying the vertical structure of atmospheric gravity waves from airglow imaging observations at different altitudes. From the structure of small-scale atmospheric gravity waves (horizontal wavelengths of several tens of kilometers), an eastward wind speed of approximately 55 m/s was estimated. Concurrent wind speed observations indicated winds of 30-40 m/s (east-northeast). Although there is room for improvement in estimation accuracy, the validity of the developed system was confirmed.

研究分野：超高層物理学

キーワード：大気光 大気重力波 風速 画像処理

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

地球近傍宇宙と地球大気をつなぐを解明する太陽地球系物理学において、超高層大気の流れは利用範囲が広く要請の高いパラメータのひとつである。特に近年は、地球の気象と電離大気を含む地球近傍宇宙をつなぐ(大気上下結合)を理解する上で、中継点となる超高層大気のダイナミクスの詳細理解が重要となっており風速データの需要はますます高くなっている。近年の超高層大気波動観測に特化した光学観測網の世界的な拡充は、大気波動を介した大気の大気上下結合が地球大気の短期・長期的変動の理解において重要であることを物語っている。大気光カメラは、超高層大気で発光する大気光をトレーサとして、大気波動を画像として可視化するユニークな観測器であり、大気波動の水平2次元構造(波長、位相速度、伝播方向)を高い時間分解能(数分から数10分)で得ることができる(図1)。しかしながら、これらのパラメータから大気波動の運動量フラックスを評価する(つまり、気象が超高層大気環境をどれだけ変動させるかを定量的に理解する)には、超高層大気の流れの情報が不可欠である。超高層大気の流れ観測には、MFレーダー、流星レーダーや金属ライダーといった観測装置、あるいは超高感度分光装置などが用いられているが、高額で比較的大規模な装置の設置・運用の制約から時間的・空間的に限定されたデータしか得ることができない。また、近年ではグローバルな風系理解を目的として人工衛星による広域観測も積極的に実施されているが、風速を必要とする地上観測と同期したデータが得られる機会は少ない。したがって多くの大気光観測が実施され大気重力波の統計的描像の理解が進む一方で、ダイナミクスの定量理解においては、同時風速データが無いために、そのままデータが使われず埋もれていくケースが多々ある。このように、宇宙と地球大気をつなぐを定量的に理解する上で欠かせない風速情報はごく限られているため、精力的に実施される大気光観測のデータが活かされていっていないというのが現状である。

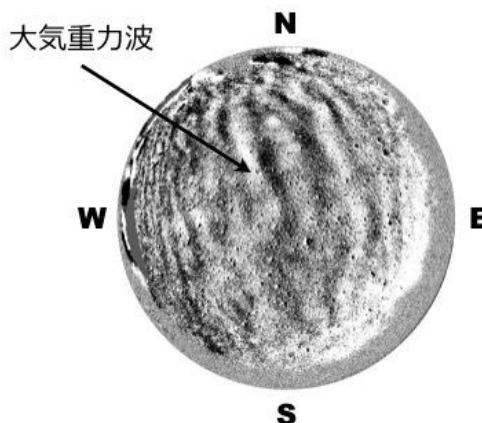


図1: 全天大気光画像(0H大気光:高度85 km)の例。画像中に大気重力波による明暗の縞模様が確認できる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、大気光撮像観測で得られる大気波動パラメータからの風速の導出である。これにより、大気光観測のみで大気重力波の運動量フラックスを算出することができる。従来のように他の大型測器による風速の同時観測を必要としないため、運動量フラックス算出の時間的・空間的制限は大きく緩和され、これまでになく長期的な変動を得ることも可能となる。さらに本研究による風速導出の手法は、世界各地で実施されている大気光観測においても応用可能であるため、需要の高い超高層大気風速の汎地球的マップ作成にも大きく貢献する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 波動構造からの風速の推定

本研究で観測する大気光は、酸素原子大気光(波長:557.7 nm, 発光高度:約95 km, 以下O大気光)と水酸基大気光のマイネルバンド(波長:700-900 nm, 発光高度:約85 km, 以下OH大気光)である。大気光観測では大気重力波を発光輝度変動の鉛直積算量として捉えるため波動の水平方向の情報のみが得られるが、異なる高度の大気光を同時観測することで、波動の鉛直構造も推定でき、そこから風速の算出が可能である。

大気重力波の線形理論によれば、鉛直波長  $z$  は分散関係式から計算することができる。通常、大気光観測による波動のパラメータ(水平波長  $h$ , 水平位相速度  $c$ )とレーダーの同時観測から得られる波動の伝播方向に沿った水平風速  $u$ , およびモデルで与えられるプラントパイサラ振動数  $N$  から、鉛直波長を計算する。

$$z^2 = N^2 / (c-u)^2 - h^2$$

一方、本研究では水平パラメータと鉛直波長から風速を逆算した。異なる高度(高度差  $\Delta H$ )において同一の大気重力波を観測することで、両大気光画像で観測される波面には位相差  $\Delta D$ (縞模様のズレ)が生じる(図2)。鉛直波長と水平波長の比、および  $\Delta H$  と  $\Delta D$  の比はともに鉛直方

向の波面の傾き を表すため、水平波長、高度差、位相差がわかれば鉛直波長が得られることになる [Ejiri et al., JGR, 2001]:

$$z / \lambda_h = \Delta H / \Delta D = \tan \theta$$

すなわち、水平波長  $\lambda_h$ 、位相速度  $c$ 、高度差  $\Delta H$ 、位相差  $\Delta D$  を観測から決めることで、未知数である風速  $u$  を得ることができる。

(2) 画像処理とスペクトル解析  
本研究では、風速導出までの画像処理を以下の操作で自動処理した。

メジアンフィルタにより星を除去し、地理座標(東西・南北 300×300 km)に変換した。

3次元FFTにより、波数・周波数空間におけるスペクトルに変換した。それぞれの大気光画像に共通する有意なパワーを持つ

ピークを検出し、波動の水平波長  $\lambda_h$  と位相速度  $c$  を計算した。

逆FFTにより、注目する波動構造のみを抽出した画像を作成した。それぞれの画像に現れる波面の位相差から波面の鉛直方向の傾きを計算し、波の伝搬方向に沿った風速を計算できる。さらに複数のピークから得られる風速から東西・南北風速を推定できる。

上記のスペクトル解析には、申請者の先行基礎研究“大気光画像のスペクトルから波構造を自動検出する手法” [Suzuki et al., EPS, 2007] を応用することができる。

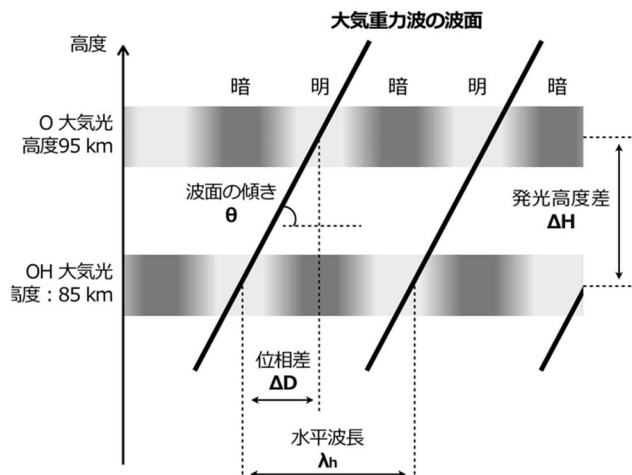


図 2: O 大気光と OH 大気光画像現れる明暗と大気重力波の鉛直構造の概念図。

#### 4. 研究成果

はじめに、大気光カメラシステムの開発をおこなった。特に自律的に観測を調整(太陽と月の高度を判断して各晩の観測時間を制限)することで、計算サーバへ転送するデータ量を削減した(1晩の観測のデータ総量はおよそ 500 MB)。また処理の負荷が軽減したため画像処理効率も向上した。

次に、風速算出プログラムの開発をおこなった。風速算出プログラムについては、最初に人工的な波動構造を含む画像を作成して、高度 85 km (OH 大気光を想定)、高度 95 km (酸素原子大気光を想定)の構造から風速を推定することに成功した。ただし、波動構造の抽出において画像から波動構造のスペクトルを汚染する星の除去処理の強度によって推定精度が大きくばらつくことがわかった。また、実際の大気光画像では構造が不鮮明であるためさらに精度が落ちる。

当初計画していたドイツでのライダーとの風速の同時観測および性能評価は、新型コロナウイルス感染症の拡大により見送らざるを得なかったが、別のカメラシステムの過去の実データを使い、本研究で開発した手法を用いた風速推定をおこなった。O 大気光および OH 大気光で観測された小スケール大気重力波(水平波長数十 km)の構造からは東向き(方位角:北から 47 度)の約 55 m/s の風速が推定された。FPI による風速の同時観測からは 30-40 m/s (東北東)の風速が観測されており、推定精度向上の課題はあるものの開発したシステムの妥当性が確かめられた。

現在は、過去の大気光データと FPI による同時観測の風速との比較にも着手できる状態になっているため、1 晩の風速の時間変化や長期データでの精度確認など進める予定である。本研究による風速導出の手法は、世界各地で実施されている大気光観測においても応用可能であるため、需要の高い超高層大気風速の汎地球的マップ作成にも貢献できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Moral, A. C., K. Shiokawa, S. Suzuki, H. Liu, Y. Otsuka, and C. Y. Yatini	4. 巻 124
2. 論文標題 Observations of low-latitude traveling ionospheric disturbances by a 630.0-nm airglow imager and the CHAMP satellite over Indonesia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2018JA025634	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki, S., K. Fukazawa, and T. Murai	4. 巻 48
2. 論文標題 Considering the privacy-protected detecting algorithm for periodic motions with visual IoT	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 COM: Journal of Aichi University Media Center	6. 最初と最後の頁 37-43
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Shin Suzuki
2. 発表標題 Observational evaluation of temperature/wind perturbations associated with small-scale AGWs : Horizontal propagation
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shin Suzuki
2. 発表標題 Airglow imaging observation of small-scale gravity waves in the upper atmosphere
3. 学会等名 Leibniz Institute of Atmospheric Physics Seminar (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Suzuki, S., S. Nozawa, S. Oyama, and K. Shiokawa
2. 発表標題 Observational evaluation of temperature/wind perturbations associated with small-scale AGWs : Momentum flux estimation
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Suzuki, S., K. Fukazawa, T. Murai, and K. Murata
2. 発表標題 Geoscientific application of IoT-based elderly person care system
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木臣, 野沢悟徳
2. 発表標題 小スケール大気重力波に伴う温度・風速変動の観測的評価：波動パラメータの検証
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2000 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Suzuki, S., J. Park, Y. Otsuka, K. Shiokawa, H. Liu, and H. Luehr
2. 発表標題 Neutral and plasma density perturbations in the top-/bottom-side ionosphere associated with MSTIDs
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki, S., J. Park, Y. Otsuka, K. Shiokawa, H. Liu, and H. Luehr
2. 発表標題 Neutral and plasma density perturbations in the top-/bottom-side ionosphere associated with MSTIDs
3. 学会等名 VarSITI Closing Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki, S., and S. Nozawa
2. 発表標題 Observational evaluation of temperature and wind perturbations associated with small-scale gravity waves
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会2019年秋講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木臣
2. 発表標題 超高層大気の縞模様で見る地球と宇宙のつながり
3. 学会等名 「高高度発光現象の同時観測」に関する研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Suzuki, T. Nakamura, M. K. Ejiri, K. Tsuno, T. Nishiyama, A. Mizuno, and J. Salvador
2. 発表標題 Airglow Imaging of Mesospheric Gravity waves Using Near-Infrared Camera
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Suzuki, J. Park, Y. Otsuka, K. Shiokawa, H. Liu, and H. Luehr
2. 発表標題 Neutral and plasma density perturbations in the top-/bottom-side ionosphere associated with MSTIDs
3. 学会等名 球電磁気・地球惑星圏学会秋学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
ドイツ	Leibniz-Institute of Atmospheric Physics		