

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26610156

研究課題名(和文)国際宇宙ステーションから広視野・超高解像度撮像の試験観測及び解析手法の開発

研究課題名(英文)Development of the imaging observational technique from the International Space Station with wide field-of-view and high resolution

研究代表者

齊藤 昭則 (Saito, Akinori)

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号：10311739

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では国際宇宙ステーション船内からのデジタルカメラによる超高層大気の大視野・超高解像度撮影について、試験的観測を実施するとともに、科学目的でない画像の科学的な利用のための解析手法の開発を行った。これらの開発によって、大気光とオーロラについて、他の観測では得られない広い視野と高い解像度を持つ観測手法の確立とデータ利用環境の整備が行われた。

研究成果の概要(英文)：Imaging observations of the upper atmosphere with wide field-of-view and high resolution was carried out from the International Space Station using digital single lens reflex camera. The observational and analysis techniques was developed to utilize the non-scientific imaging data for the scientific researches of the airglow and the aurora.

研究分野：超高層大気物理学

キーワード：大気光 オーロラ 国際宇宙ステーション 電離圏 熱圏 中間圏 撮像観測

1. 研究開始当初の背景

高度80kmから300kmの超高層大気領域では、大気重力波や、オーロラなどのように、空間スケール1,000km以下の構造の果たす役割が重要かつ未解明であり、これらの構造の時間変化と空間変化を捉えるために、イメージャによる撮像観測が行われている。しかし、地上からの観測では、天候、月齢、陸地分布の制限が大きく、海上を含む広範囲な観測は不可能であり、衛星による宇宙空間からの観測が不可欠である。しかし、超高層大気撮像を目的として運用されている機器は、現在、国際宇宙ステーション(International Space Station: ISS)搭載ISS-IMAやDMSP衛星搭載SSUSIなど、限られたもののみとなっており、新しい撮像観測手法の開発が重要であった。

2. 研究の目的

国際宇宙ステーションからのデジタルカメラによる超高層大気の広視野・超高解像度撮影について、試験的観測を実施するとともに、科学目的でない画像の科学的な利用のための解析手法の開発を行った。これらの開発によって、大気光とオーロラについて、他の観測では得られない広い視野と高い解像度を持つ観測手法の確立とデータ利用環境の整備を目的とした。また、宇宙ステーションというプラットフォームの長所を生かした将来の観測提案を作成する事も目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、国際宇宙ステーションからのデジタルカメラによる超高層大気の広視野・超高解像度撮影に関する観測手法と解析手法の開発のために、次の4項目の研究を実施した：観測手法の開発・試験撮像観測の実施、解析手法の開発・データベースの作成、地上校正実験・地上からの観測の実施、将来観測計画の立案。

4. 研究成果

本研究では、図1に示したようなISSからの宇宙飛行士による撮影画像に注目し、この撮影画像を科学目的に活用するための、観測手法と解析手法の開発を行

った。宇宙飛行士によるデジタルカメラを用いた撮影は、広い視野と高い空間分解能、という長所を持つが、科学目的の観測ではないため、(1)姿勢と視野の情報の不備、(2)輝度情報の不備、(3)分光がされていない、という問題点がある。



図1. 国際宇宙ステーションからのデジタルカメラによる超高層大気の広視野・超高解像度撮影の例 [Hozumi et al., 2016]

2014年5月28日、7月3日、7月25日、8月26日、10月24日、2015年2月16日、8月8日の7回に渡り、国際宇宙ステーションからの超高層大気の広視野・超高解像度での試験撮像観測を実施した。これはAstronaut-Ionosphere, Mesosphere, upper Atmosphere and Plasmasphere mapping (A-IMAP) キャンペーンとして宇宙航空研究開発機構の協力を得て行われた。この観測では、地上からの大気光観測データ、デジタルカメラの特性、国際宇宙ステーションでの運用の制限などを考慮し、超高層大気撮像に最適な露出時間、感度、視野方向、運用方法、月齢などの外部条件などを検討して、実施された。国際宇宙ステーションが夜部分に入った時に観測が実施され、条件によって1パスあるいは2パス連続での撮影が行われた。図1に示したのは2014年8月26日13:47:00UTの撮影画像である。この時はデジタルカメラとしてはNikon D3s、レンズはAI AF-s Zoom-Nikkor 17-35 mm f/2.8D IF-EDを用い、2.5秒の露出時間で、11秒間に4枚の撮像を行った。露出時間以上の時間間隔が開いているのはメモリへの書き込み時間などのためである。ISO速度は102,400で、解像度は4256ピクセル×2382ピクセルであった。2015年2月以降の観測ではカメラとしてはNikon D4が使用された。

これらのA-IMAP観測画像を用いて解析手法の開発を行った。上記のように国際宇宙ステーションからのデジタルカメラによる撮像画像は科学目的の観測ではないため、その科学的な利用のためには、(1)姿勢と視野の情報、(2)輝度情報、(3)分光情報を推定することが必要である。

(1) 姿勢と視野の情報を推定するために、撮影画像中の街明かりの位置を用いた姿勢・視野・時刻の推定手法を開発した。撮影時のみにデジタルカメラを国際宇宙ステーションのキューポラの窓部に設置されるため、その画像の姿勢・視野は不確かである。また、カメラ内の時計により時刻が記録されているがその時計の精度は高くないため、時刻の推定も必要である。国際宇宙ステーションの軌道は正確に測定されているため、その情報を用いて撮影画像に写っている街明かりの位置を求めることで、姿勢・視野・時刻の推定が可能である。

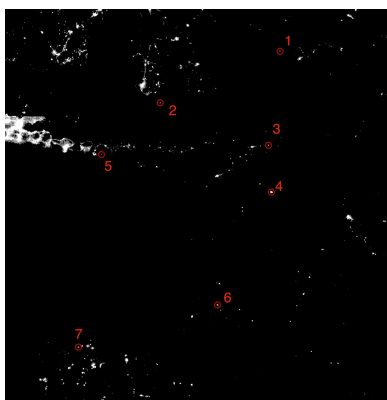


図 2. DMSP 衛星による観測によって求められた街明かりの分布画像 [Hozumi et al., 2016]

図 1 に示した撮影画像から、緑丸で示した 7 点の街明かりを選び、それらと図 2 で示した DMSP 衛星による街明かりの分布画像との比較を行い、両者の位置の差が最小となるように撮影パラメータの推定を行うことで、図 1 の画像を撮影した姿勢・視野・時刻が決定される。時刻パラメータについての結果を図 3 に示した。この時刻パラメータはデジタルカメラの時刻の正しい時刻との差を示す。-16.5 秒付近で比

較的急峻な極小を取っており、街明かりの位置の比較から正確に撮影パラメータが推定できることが明らかになった。多くの撮影画像において 7 点程度の街明かりを用いることによって、高い精度での推定が可能となることがわかった。また、カメラ位置の変更がない 1 パス内の連続した撮影においては、姿勢・視野・時刻ずれの変化は少なく、安定していることが明らかになった。

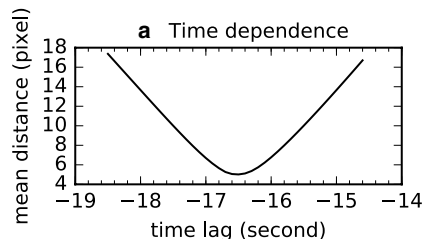


図 3. 時刻パラメータに対する画像位置の差の変化 [Hozumi et al., 2016]

輝度情報と分光情報を得るために、室内実験においてデジタルカメラの感度の測定を行った。デジタルカメラにおいては赤 (R)、緑 (G)、青 (B) の 3 チャンネルの出力が記録されている。それらの各波長の入力光に対する感度を測定することで、特定の波長に輝線を持つ大気光・オーロラの強度を推定することができる。

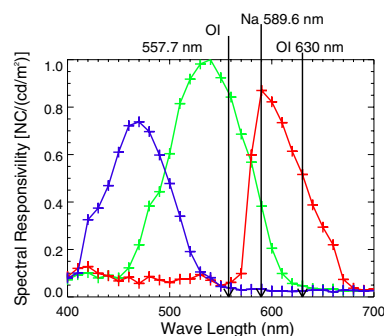


図 4. 光の波長に対する RGB チャンネルの感度 [Hozumi et al., 2016]

図 4 に国際宇宙ステーションで用いられているものと同型のデジタルカメラ、レンズを用いて行われた室内実験による結果を示した。大気光・オーロラで光量が多い輝線である酸素原子による波長

557.7nm に対してはGチャンネルのみに出力が見られること、酸素原子による波長630nm に対してはRチャンネルのみに出力が見られること、大気光で光量が多いナトリウム原子による波長589.6nm に対しては、GチャンネルとRチャンネルに出力が見られることが確認された。

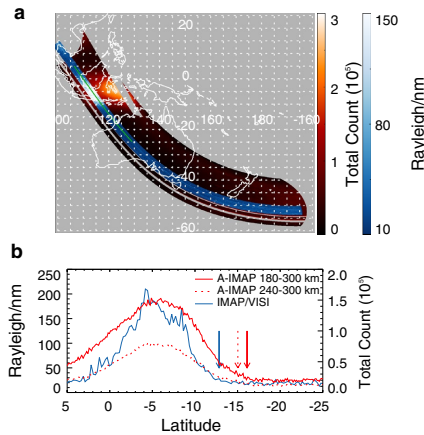


図 5. A-IMAP による観測と ISS-IMAP/VISI による観測の比較 [Hozumi et al., 2016]

これらで開発された手法を用いて、国際宇宙ステーションからのデジタルカメラによる超高層大気の大視野・超高解像度撮影画像の解析が行われた。図 5 上図で赤色で示されたものが A-IMAP で得られた R チャンネルの光強度分布であり、酸素原子による波長 630nm の大気光の分布に対応すると解釈されている。青色で示されているものは同時に観測された ISS-IMAP/VISI による波長 630nm の大気光輝度分布である。低緯度付近での高い輝度を持つ赤道異常の領域が両者に共通して観測されており、十分に高い感度の測定ができてることが示されている。両者の観測領域の比較から 90 度の視野をもつ ISS-IMAP/VISI に対して A-IMAP の視野が広いことが明らかであり、広視野観測としてのデジタルカメラ撮影の長所を示している。

図 5 下図は両者の輝度の緯度分布の比較である。A-IMAP の観測は地球リム方向の観測であるため水平方向に積分されるため VISI による下方向の測定よりも空間構造が広がっているが、地理緯度-5 度付近で輝度が高くなる赤道異常の構造を十分に高い感度で観測できていることが明

らかである。

以上のように本研究では国際宇宙ステーション船内からのデジタルカメラによる撮影画像が、超高層大気の研究に活用できる手法の開発に成功し、これは今後の新たな観測につながるものである。この結果を受け国際宇宙ステーション及び超小型衛星による新しいの観測の検討を行った。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

① Hozumi Y., A. Saito, M. K. Ejiri, Calibration of imaging parameters for space-borne airglow photography using city light positions, *Earth, Planets and Space*, 査読有, 68:155, 2016, doi: 10.1186/s40623-016-0532-z.

② Perwitasari, S., T. Sakanoi, T. Nakamura, M. K. Ejiri, M. Tsutsumi, Y. Tomikawa, Y. Otsuka, A. Yamazaki, and A. Saito, Three years of concentric gravity wave variability in the mesopause as observed by IMAP/VISI, *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 43, 2016, 11, 528-11, 535, doi:10.1002/2016GL071511.

③ Perwitasari, S., T. Sakanoi, A. Yamazaki, Y. Otsuka, Y. Hozumi, Y. Akiya, A. Saito, K. Shiokawa, S. Kawamura, Coordinated airglow observations between IMAP/VISI and a ground-based all-sky imager on concentric gravity wave in the lower thermosphere, *J. Geophysical Research*, 査読有, 2015, doi: 10.1002/2015JA021424.

④ Akiya, Y., A. Saito, T. Sakanoi, Y. Hozumi, A. Yamazaki, Y. Otsuka, M. Nishioka, and T. Tsugawa, First space-borne observation of the entire concentric airglow structure caused by tropospheric disturbance, *Geophysical Research Letters*, 査読有, 41, 2014, 6943-6948, doi: 10.1002/2014GL061403.

[学会発表] (計 2 1 件)

① Saito, A., Space-borne observation of equatorial plasma bubbles by ISS-IMAP/VISI, Workshop on Ionospheric Plasma Bubble Seeding and Development, 名古屋大学 宇宙地球環境研究所, 名古屋, 2016/11/29-12/02.

② 北村 佑輔, 齊藤 昭則, 坂野井 健, 大塚 雄一, 山崎 敦, 穂積 裕太, 国際宇宙ステーションからの観測による大気光の大規模構造の推定, 地球電磁気・地球惑星圏学会

第 140 回講演会, 九州大学, 福岡, 2016/11/19-23.

③ 齊藤昭則, 坂野井 健, 吉川 一朗, 山崎 敦, 穂積 裕太, S. Perwitasari, ISS-IMAP によって観測された中性大気・電離大気結合と大気上下結合, 大気圏シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, 相模原, 2016/12/05-06.

④ Saito, A., T. Sakanoi, A. Yamasaki, Y. Otsuka, S. Perwitasari, Y. Hozumi and IMAP working group

⑤ ISS-IMAP observation of the airglow structures in the MLT region, International Symposium on the Whole Atmosphere, 東京大学, Tokyo, Japan, 2016/09/14-16.

⑥ 齊藤昭則, 宇宙空間からの中間圏・熱圏・電離圏観測に向けて, 宇宙空間からの地球超高層大気観測に関する研究会, 情報通信研究機構 小金井本部, 小金井, 2016/08/29-31.

⑦ Saito, A., Y. Hozumi, T. Sakanoi, S. Perwitasari, I. Yoshikawa, A. Yamasaki, Y. Otsuka, H. Nakata and IMAP working group, Disturbances of the Mesosphere, Thermosphere and Ionosphere Detected by the Imaging Observation from International Space Station, The 13th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society, Beijing, China, 2016/07/31-08/05. (Invited)

⑧ Saito, A., A. Yamazaki, T. Sakanoi, I. Yoshikawa, Y. Otsuka, and Y. Hozumi, Coupling process among the mesosphere, thermosphere and ionosphere elucidated by the ISS-IMAP mission, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 2016/05/21-26.

⑨ 佐藤大仁, 齊藤昭則, 穂積裕太, 宇宙からの広視野撮像を用いた大気光帯状構造の観測, 第 29 回大気圏シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, 相模原, 2016/03/07-08.

⑩ 齊藤昭則, 国際宇宙ステーションからの超高層大気撮像観測: ISS-IMAP ミッション, 第 16 回宇宙科学シンポジウム, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, 相模原, 2016/01/06-07.

⑪ Hozumi, Yuta, Akinori Saito, Takeshi Sakanoi, Atsushi Yamazaki, Airglow image of atmospheric wave captured from the International Space Station, 第 138 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 東京大学, 東京, 2015/10/31-11/03.

⑫ 佐藤大仁, 齊藤昭則, 穂積裕太, 秋谷祐亮, 国際宇宙ステーションからの撮像観測を用いた大気光輝度の不連続の三次元構造の推定, 第 138 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 東京大学, 東京, 2015/10/31-11/03.

⑬ Saito, A., T. Sakanoi, Y. Otsuka,

T. Tsugawa, M. Nishioka, Chia-Hung Chen, and M. Yamamoto, Imaging observation of the low- and mid-latitude ionosphere from ground and space, 14th International Symposium on Equatorial Aeronomy, Bahir Dar, Ethiopia, 2015/10/19-23. (Invited)

⑭ Saito, A., Y. Akiya, T. Sakanoi, A. Yamazaki, I. Yoshikawa, Y. Otsuka, M. Yamamoto, Y. Hozumi, H. Yukino, IMAP working group, Space-borne imaging observation of the mesosphere, the thermosphere and the ionosphere by ISS-IMAP mission, The 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, 2015/6/22-7/2.

⑮ Hozumi, Y., A. Saito, T. Sakanoi, Y. Akiya, A. Yamazaki, Airglow structures of mesospheric mesoscale wave observed from the International Space Station, The 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, 2015/6/22-7/2.

⑯ 齊藤昭則, 坂野井 健, 吉川 一朗, 山崎 敦, 大塚 雄一, 山本 衛, 秋谷 祐亮, 穂積 裕太, 幸野 淑子, 超高層大気領域における ISS-IMAP による大気光と共鳴散乱光の観測, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 2015/05/24-28.

⑰ 佐藤 大仁, 齊藤昭則, 秋谷 祐亮, 穂積 裕太, 国際宇宙ステーションからの撮像観測を用いた大気光輝度の不連続の三次元構造の推定, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 2015/05/24-28.

⑱ 穂積 裕太, 齊藤昭則, 坂野井 健, 秋谷 祐亮, 山崎 敦, 国際宇宙ステーションからの撮像画像を用いた中間圏大気光メソスケール波動構造の研究, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張メッセ国際会議場, 千葉, 2015/05/24-28.

⑲ 佐藤大仁, 齊藤昭則, 秋谷祐亮, 穂積裕太, 大気光不連続の三次元空間構造推定, 第 136 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 長野県松本文化会館, 松本, 2014/10/31-11/03.

⑳ 穂積裕太, 齊藤昭則, 坂野井健, 秋谷祐亮, 山崎敦, 宇宙ステーションからの撮像画像を用いた中間圏大気光メソスケールパッチ構造の研究, 第 136 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 長野県松本文化会館, 松本, 2014/10/31-11/03.

21 穂積裕太, 齊藤昭則, 坂野井健, 秋谷祐亮, 山崎敦, 宇宙ステーションからの撮像画像を用いた中間圏大気光メソスケールパッチ構造の研究, ISS-IMAP 研究集会, 情報通信研究機構 小金井本部, 東京, 2014/09/23.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齊藤 昭則 (SAITO, Akinori)
京都大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：10311739

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

江尻 省 (EJIRI, Mitsumu)
国立極地研究所・研究教育系・助教
研究者番号：80391077

(4) 研究協力者

なし