

令和元年6月27日現在

機関番号：32503

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K13604

研究課題名(和文)国際宇宙ステーションからの長期流星観測による流星群母天体の物理化学特性の解明

研究課題名(英文) Study of physicochemical nature of meteor-shower parent bodies by long-term meteor shower observation on the ISS

研究代表者

荒井 朋子 (ARAI, Tomoko)

千葉工業大学・惑星探査研究センター・主席研究員

研究者番号：10413923

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)：2016年7月7日から2019年3月5日まで、国際宇宙ステーション(ISS)から超高感度ハイビジョンカメラにより、主要流星群の測光観測及び分光観測を行った。約2年半の観測により、約30テラバイト、約3000時間分の夜間の動画データを取得した。ふたご座流星群やペルセウス座流星群を含む12個の流星群の測光観測及び11個の流星群の分光観測に成功した。観測装置及び観測データを記録したHDDは2019年6月4日に輸送船により地球に帰還した。機械学習により動画から流星が映る部分を自動抽出するアルゴリズム開発を行い、現在、そのアルゴリズムにより抽出した流星データの解析と論文作成作業を進めている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、天候や大気の影響を受けない高度約400kmを周回するISSから夜間の動画撮像を行い、偶発的に出現する流星をできるだけ多く観測する世界初の試みである。同一の観測条件で同一の観測装置により、毎年同じ時期に出現する主要流星群の測光および分光観測で得られた、流星群の流星塵のサイズや化学組成のデータに基づき、各流星群やその母天体の実態と成り立ちについて、統計的な議論と理解を可能にする画期的な研究である。本研究で得られた観測データはインターネットを通じて公開されている。<http://www.perc.it-chiba.ac.jp/project/meteor/>

研究成果の概要(英文)：METEOR is two-year meteor observation project onboard the International Space Station (ISS) with a HDTV color camera, with photometric observation for the first year and spectroscopic observation for the second year. The ISS is an ideal platform for meteor observation without weather disturbance. After two launch failures in 2014 and 2015, METEOR instrument was delivered to the ISS in March 26, 2016. Nominal operation started on July 7, 2016. All the observation was complete on March 5, 2019. In total, 30 TB, 3000 hours' video data were obtained. METEOR instrument was de-installed on March 31, 2019 and returned to the ground on June 4, 2019. An algorithm to detect meteors in the recorded video data was successfully developed with machine learning technique in 2018. Data analyses are working in progress to study physical and chemical properties of dust for meteor showers. METEOR data are available at the METEOR project website: <http://www.perc.it-chiba.ac.jp/project/meteor/>.

研究分野：惑星物質科学

キーワード：国際宇宙ステーション 流星観測 流星群 流星群母天体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球には毎年 4 万トンを超える塵が飛来する。塵は炭素や有機物を多く含むため、地球生命の種を地球外からもたらした可能性がある物質と考えられている。流星とは、地球に飛来する塵が大気との摩擦により高温高压状態になり発光する現象である。毎年決まった時期に現れる流星群は、塵の元となる彗星や小惑星(母天体と呼ぶ)がわかっているため、地球に炭素や有機物を供給する天体として、その実態理解は惑星科学、天文学における普遍的課題である。地上からの流星群観測は、流星群母天体の実態解明の手掛かりを得るため貴重かつ重要な研究手段である。地上からの流星群観測は、個々の研究者が自身の観測機器で、各々が選んだ観測環境下で観測を行い、個々の観測結果を論文として発表するものである。この地上観測手法には大きな課題が二点ある。一つ目は、流星の出現は時間的にも空間的にも偶発的に起こるため、流星群の極大日であっても、個々の観測者が得られるデータ数には限りがある。また、地上からの観測は天候に左右されるため、天候が悪いと観測はできない。二つ目は、個々の研究者が報告する流星データは、観測機器も観測条件も解析手法も違うため、データ間の比較や統計的な議論が難しいことである。この課題を解決するため、本研究では、天候の影響を受けない 400 km の高度を飛び国際宇宙ステーションから超高感度ハイビジョンカメラを用い、約 2 年間流星群観測を行った。

2. 研究の目的

国際宇宙ステーションから二年間流星群の長期観測を行う。1 年目には測光観測により流星発光の輝度や飛跡から流星塵のサイズやフラックスを調べる。2 年目は回折格子をレンズの前に取付けて流星発光の輝線の分光観測を行い、流星塵の化学組成を調べる。観測から得られる流星群の塵の物理化学特性を調べると共に、それらのデータに基づき各流星群母天体の実態と起源の理解を目指す。

3. 研究の方法

国際宇宙ステーション (ISS) の米国与圧実験棟内に超高感度ハイビジョンカメラ (図 1) を設置し、地球側を向いている窓越しに地球に落ちていく流星を観測する。流星は時間的・空間的に偶発的に出現するため、夜間の動画撮像を行い、観測後の動画から流星データを抽出する。観測システムは、ハイビジョンカメラ、エンコーダ、電源通信ボックス、ラップトップ PC で構成され、これらの機器は全て、観測窓の前に設置されている専用の実験ラック (WORF: Window Observation Research Facility) 内に据え付け、撮像時は暗室状態にして観測を行う (図 2)。ISS は 90 分で地球を一周し、そのうち 35 分が太陽の光が入らない夜間となる。我々は ISS 軌道予測情報に基づき、ISS が夜側に入る日時のみ観測を行うよう、事前に観測スケジュールコマンドをメテオカメラに接続する ISS 上のラップトップ PC にアップリンクし、夜間のみ流星の自動観測を行った。カメラ設定の変更やエンコードのビットレート変更などカメラの制御及び観測データのダウンリンクは、惑星探査研究センター内の運用管制室から NASA のネットワークを介してリアルタイムで行った。ISS と地上の通信データ容量の制限から、20Mbps の観測データを 2Mbps にダウンコンバートして、タイムリーに地上に降ろし、流星の有無を確認した。20Mbps の高解像度データを記録した HDD は観測完了後にまとめて輸送船により地球に持ち帰られた。



図 1. 観測に使用されたメテオカメラ、レンズ、回折格子

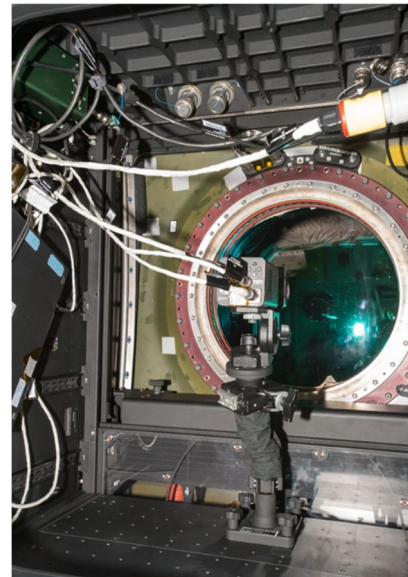


図 2. ISS 米国実験棟に設置されたメテオカメラ(2016年7月7日撮影)

4. 研究成果

2016年7月7日から2019年3月5日まで、国際宇宙ステーション (ISS) から超高感度ハイビジョンカメラにより、主要流星群の測光観測 (図 3) 及び分光観測 (図 4) を行った。約 2 年半の観測により、約 30 テラバイト、約 3000 時間分の夜間の動画データを取得した。全観測

結果を表 1 にまとめる。ふたご座流星群やペルセウス座流星群を含む 12 個の流星群の測光観測及び 11 個の流星群の分光観測に成功した。観測装置及び観測データを記録した HDD は 2019 年 6 月 4 日に輸送船により地球に帰還した。当初の予定では、打ち上げ前に開発した流星自動

検出アルゴリズムを用いて、ISS 上で流星を含むデータを切り出し、地上に降るす計画であったが、実際の動画には頻繁に放射線による光や雷が映り込み、自動流星検出は成功しなかった。そのため、2018 年に千葉工業大学人工知能・ソフトウェア技術研究センターと共同で、観測動画を元に機械学習によりアルゴリズムを新たに開発し、99.5%の確度での流星自動検出に成功した。現在、そのアルゴリズムにより抽出した流星データの解析と論文作成作業を進めている。

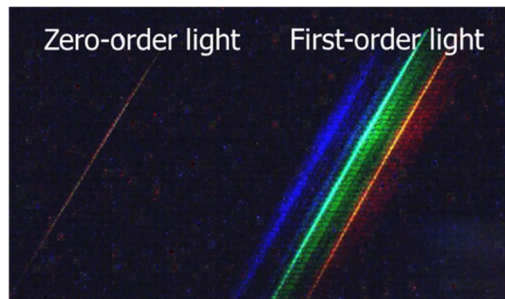


図3.2016年8月13日に北アフリカ上空で観測されたペルセウス座流星群の火球のコンポジット画像.背景に雲海が白く見える。

図4.2017年12月13日に観測されたふたご座流星群のスペクトルのコンポジット画像。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 9 件)

- (1) Arai T., Kobayashi, M., Yamada, M., Senshu, H., Maeda, K., Wada, K., Ohno, S., Ishibashi, K., Ishimaru, R., Matsui, T., and Fortenberry, M. (2018) On-Going Status of METEOR Project Onboard the International Space Station. Lunar and Planetary Science XXXXVIII, abstract #2525. (査読無)
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018LPI...49.2525A/abstract>
- (2) 荒井朋子、小林正規、山田学、千秋博紀、松井孝典(2018)国際宇宙ステーションからの流星観測プロジェクト「メテオ」の最新ステータス、第62回宇宙科学技術連合講演会プロシーディングス(査読無)<https://www.jsass.jp/conference/sstc62.php>
- (3) 荒井朋子、小林正規、石橋高、吉田二美、他10名(2018)Destiny+が目指す小惑星 Phaethon のフライバイ観測と惑星間ダストのその場観測、第62回宇宙科学技術連合講演会プロシーディングス(査読無)<https://www.jsass.jp/conference/sstc62.php>
- (4) Kareta T., Reddy V., Hergenrother C. Laurretta D. S., Arai T., Takir D., Sanchez J., Hanuš J. (2018) Rotationally Resolved Spectroscopic Characterization of Near-Earth Object (3200) Phaethon. Astrophysical Journal, 156:287. (査読有)DOI:10.3847/1538-3881/aaeb8a
- (5) Ito T., Ishiguro M., Arai T., Imai, M., Sekiguchi, T., Bach, Y. P., Kwon, Y. G., Kobayashi, M., Ishimaru, R., Naito, H., Watanabe, M., Kuramoto, K. (2018) Extremely strong polarization of an active asteroid (3200) Phaethon. Nature Communications 9, id. 2486. (査読有)DOI: 10.1038/s41467-018-04727-2
- (6) Arai T., Kobayashi M., Yamada M., Senshu H., Wada K., Ohno S., Ishibashi K., Ishimaru R., Maeda K. Matsui T. (2017) International Space Station-based meteor observation project: Initial Results. Lunar and Planetary Science XXXVIII, abstract #3034. (査読無)
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017LPI...48.3034A/abstract>
- (7) 荒井朋子(2016)国際宇宙ステーションからの長期流星観測プロジェクト「メテオ」、映像情報メディア学会誌 Vol. 70, No. 4, pp. 639~643(2016)(査読有)
DOI:https://doi.org/10.3169/itej.70.639
- (8) 荒井朋子、小林正規、山田学、千秋博紀、春日敏側、松井孝典(2015)国際宇宙ステーションからの流星観測プロジェクト「メテオ」第59回宇宙科学技術連合講演会プロシーディングス(査読無)<https://www.jsass.jp/conference/sstc59.php>

[学会発表](計 16 件)

- (1) Arai T., METEOR, Space-based meteor observation project, Meteoroids 2019, 2019年(招待講演)
- (2) Arai T., Overview and status of ISS METEOR project. PERC International Symposium on Dust and Parent Bodies (IDP) 2019, 2019年.
- (3) Arai T., DESTINY+ target asteroid (3200) Phaethon: Recent understandings from 2017 observation campaign & the mission science overview, Lunar and Planetary Science Conference XXXVX, 2019年.

- (4) Arai T., Current status of ISS METEOR Project. ISS R&D conference 2018, 2018年.
- (5) Arai T., On-Going Status of METEOR Project Onboard the International Space Station. Lunar and Planetary Science Conference XXXVIII, 2018年.
- (6) 荒井朋子, 国際宇宙ステーションからの流星観測プロジェクト「メテオ」の最新ステータス、第62回宇宙科学技術連合講演会、2018年.
- (7) 荒井朋子, 国際宇宙ステーションからの長期流星観測プロジェクト「メテオ」の概要と観測状況、日本惑星科学会2018年秋季講演会、2018年.
- (8) 荒井朋子, ISS Destinyからの流星群観測とDESTINY+による流星群母天体探査、第11回スペースガード研究会、2018年.
- (9) Arai T., Current Status of METEOR Project onboard the International Space Station. PERC International Symposium on Dust and Parent Bodies (IDP) 2018, 2018年.
- (10) Arai T., An Overview of the DESTINY+ mission: Flyby of Geminids parent (3200) Phaethon and In-situ Dust Analyses. Committee on Space Research (COSPAR) 2018 42nd Assembly, 2018年 (招待講演).
- (11) Arai T., Overview of DESTINY+ Geminids parent (3200) Phaethon Flyby Mission. Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 15th Annual Meeting, 2018年 (招待講演)
- (12) Arai T., METEOR: International Space Station-based meteor observation Project. ISS R&D conference 2017, 2017年.
- (13) Arai T., International Space Station-based meteor observation project: Initial Results. Lunar and Planetary Science Conference XXXVIII, 2017年.
- (14) 荒井朋子, 国際宇宙ステーションからの流星観測プロジェクト「メテオ」の最新状況、第10回スペースガード研究会、2017年.
- (15) Arai T., International Space Station-based Meteor Observation Project, METEOR. Hayabusa2 Multiscale Science Workshop, 2017年.
- (16) 荒井朋子, 国際宇宙ステーションからの流星観測プロジェクト「メテオ」第59回宇宙科学技術連合講演会、2015年.

〔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〕

ホームページ等

■ 千葉工業大学 惑星探査研究センター ISS 流星観測プロジェクトページ

<http://www.perc.it-chiba.ac.jp/project/meteor/>

■ Enjoying the Geminids From Above and Below

<https://science.nasa.gov/science-news/sciencecasts/enjoying-the-geminids-from-above-and-below>

■ ISS Meteor Composition Determination (Meteor)

https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/1323.html

■ Monitoring Meteor Showers From Space

http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/meteors_from_space

A Space-Based View of Meteor Showers

6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者

[1] 研究協力者氏名: 小林 正規 (千葉工業大学 惑星探査研究センター)

ローマ字氏名: KOBAYASHI Masanori

[2] 研究協力者氏名: 山田 学 (千葉工業大学 惑星探査研究センター)

ローマ字氏名: YAMADA Manabu

[3] 研究協力者氏名: 千秋 博紀 (千葉工業大学 惑星探査研究センター)

ローマ字氏名: SENSU Hi roki

[4] 研究協力者氏名: 松井 孝典 (千葉工業大学 惑星探査研究センター)

ローマ字氏名: MATSUI Takafumi

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、研究者個人に帰属されます。

表1 . 2016年7月7日から2019年3月5日までのメテオプロジェクトの観測実績

Dates of observation	Obs. target (peak day)	Constraints for observation	Moon condition
Photometric observation			
07/07 - 07/18/2016	Initial checkout		
07/28 - 7/31/2016	Southern δ -Aquarids (7/28)	Shorter orbital nights due to high beta.	Good. New Moon:8/2
08/10 - 08/16/2016	Perseids (8/12)		Not good. Full Moon:8/18
09/03 - 09/12/2016	Sporadic meteors	Orbital nights except command window	
09/15 - 09/21/2016	Daytime observation	Auto shutter speed and sensitivity setting.	
09/30 - 10/05/2016	Daytime observation	With wrong aperture setting, no night observation.	
10/05 - 10/11/2016	October Draconids (10/8)		Not bad. New Moon:10/1
10/12 - 10/26/2017	Orionids (10/21)	USL shutter closed on 10/14, 10/22-23. Upstream power loss on 10/24.	Not good. Full Moon:10/16
10/26 - 11/25/2016	Southern Taurids (11/5) Northern Taurids (11/12) Leonids (11/17)	Preliminary spectroscopic observation on 10/26-11/1. USL shutter closed on 10/30-11/2, 11/20-21. Connection failure with encoder on 11/17.	Good. New Moon:10/31 Bad. Full Moon: 11/15 Bad. Full Moon: 11/15
11/26 - 12/07/2016	Sporadic meteors		
12/07 - 12/17/2016	Geminids (12/14)		Bad. Full Moon: 12/14
01/01 - 01/08/2017	Quadrantids (1/3)	USL shutter closed on 1/6-7.	Not bad. New Moon:12/29
01/30 - 02/05/2017	Sporadic meteors		
02/12 - 02/22/2017	Sporadic meteors	USL shutter closed on 2/13-15. Robotic arm in FOV on 2/16-22.	
02/26 - 03/03/2017	Sporadic meteors	USL shutter closed on 3/2.	
03/27 - 04/05/2017	Sporadic meteors	USL shutter closed on 3/30-31.	
04/06 - 04/14/2017	Sporadic meteors		
04/17 - 04/25/2017	April Lyrids (4/22)	Robotic arm in FOV on 4/18. USL shutter closed on 4/19-21.	Not bad. New Moon:4/26
04/26 - 05/12/2017	η -Aquarids (5/5)		Not good. Full Moon:5/11
05/14 - 06/01/2017	Sporadic meteors	USL shutter closed on 5/18.	
07/03 - 07/08/2017	Sporadic meteors		
01/16 - 01/24/2018	Sporadic meteors		Good. New Moon:1/17
02/05 - 02/14, 21/2018	Sporadic meteors	H&S lost on 2/13	Good. New Moon:2/15
03/07 - 03/14/2018	Sporadic meteors		
03/15 - 03/26/2018	Sporadic meteors		Good. New Moon:3/18
01/11 - 01/18/2018	Sporadic meteors		Not good. Full Moon:1/21
01/27 - 02/08/2019	Alpha Centaurids (2/8)		Good. New Moon:1/9
02/09 - 02/16/2019	Alpha Centaurids (2/8)	Shorter orbital nights due to high beta.	
02/28 - 03/05/2019	Sporadic meteors		
Spectroscopic observation			
07/26 - 08/06/2017	Southern δ -Aquarids (7/28)	Shorter orbital night due to high beta on 7/26-30.	Good. New Moon:7/23
08/10 - 08/16/2017	Perseids (8/12)		Not good. Full Moon:8/8
08/21 - 08/23/2017	Sporadic meteors		
09/19 - 09/28/2017	Sporadic meteors		
09/28 - 10/06/2017	Sporadic meteors	USL shutter closed partly on 10/5-6.	
10/07 - 10/17/2017	October Draconids (10/8)	No data on 10/10-12 due to auto-updater of encoder	Bad. Full Moon:10/6
10/18 - 10/30/2017	Orionids (10/21)		Good. New Moon:10/20
10/31 - 11/07/2017	Southern Taurids (11/5)		Bad. Full Moon:11/4
11/11 - 11/29/2017	Northern Taurids (11/12) Leonids (11/17)	Robotic arm in FOV on 11/11-13. USL shutter closed partly on 11/14-16.	Not bad. New Moon:11/18 Good. New Moon:11/18
12/8 - 12/16/2017	Geminids (12/14)	Robotic arm in FOV on 12/08 - 12/16. USL shutter closed partly on 12/08.	Good. New Moon:12/17
01/03 - 01/07/2018	Quadrantids (1/3)		Bad. Full Moon:1/2
01/13 - 01/15/2018	Sporadic meteors		Good. New Moon:1/16
04/18 - 04/26/2018	April Lyrids (4/22)	H&S loss from 4/22-26, Stray lights, mis-focused	Good. New Moon:4/16
05/05 - 05/14/2018	Eta Aquarids (5/6)		Bad. Full Moon:5/2
07/30 - 10/28/2018	No observation	Replacement of laptop PC and 28VDC-120VAC inverter	
10/29 - 11/20/2018	Southern Taurids (11/5) Northern Taurids (11/12) Leonids (11/17)		Good. New Moon:11/8
11/21 - 12/13/2018	No observation	WORF power-off, SpX16 docked on 12/6	
12/13 - 12/16/2018	Geminids (12/14)	Shorter orbital nights due to high beta. Reflected light on the arm in FOV (12/13-16)	Not bad. New Moon:12/7
12/17 - 01/02/2019	No observation	SpX16 docked	
01/03 - 01/04/2019	Quadrantids (1/3)	Reflected light on the arm in FOV (1/3)	Good. New Moon:1/5