

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04037

研究課題名（和文）全球・局所電離圏モデルの階層的結合による電離圏擾乱現象の解明と発生予測

研究課題名（英文）Study of ionospheric disturbances by coupling of global and local ionospheric numerical models

研究代表者

横山 竜宏（Yokoyama, Tatsuhiro）

京都大学・生存圏研究所・准教授

研究者番号：30397525

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）：地球上空の電離圏（高度100-1000km）において、プラズマバブルと呼ばれる現象が発生すると、電波伝搬に影響を及ぼし、通信や即位に深刻な障害を及ぼすことが知られている。本研究では、不均衡のグリッドを採用した数値モデルを開発し、数100kmスケールの大規模な電場を自己無撞着に再現しつつ、数kmスケールの微細なプラズマバブルを同時に再現することに成功した。また、プラズマ不安定の線形成長率の僅かな差であっても、プラズマバブルのその後の成長過程が大きく異なることも明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プラズマバブルは電波伝搬に影響を及ぼし、短波通信やGNSS即位に深刻な障害をもたらすため、プラズマバブルの発生を予測することは安定かつ正確な通信・即位を実現する上で非常に重要な課題である。本研究によって、数値モデルのみによるプラズマバブルの発生予測が非常に困難であるという点が改めて認識された点と、様々な観点から観測とシミュレーションを実施する必要がある点を示した点に意義があると言える。

研究成果の概要（英文）：Equatorial plasma bubbles (EPBs) are a well-known phenomenon in the equatorial ionosphere that causes severe scintillation in the amplitude and phase of radio signals. To forecast the occurrence of EPBs, a new simulation model has been developed to simulate the EPB generation and global plasma drift velocity in the whole longitude with a multi-scale grid system. In order to study the day-to-day variability of EPB occurrence, we have conducted a number of simulation runs under various conditions by changing background electric field and electron density. Suitable and unsuitable conditions for the generation of EPBs have been investigated by comparing with the linear growth rate of Rayleigh--Taylor instability. We have found that even a small difference of the linear growth rate could result in a significant difference of the EPB growth, which leads to the difficulty of the prediction of the day-to-day variability of EPB occurrence.

研究分野：電離圏物理学

キーワード：電離圏 プラズマバブル シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

宇宙開発が急速に進む中、衛星通信、航法の安定的な利用が強く求められている一方、宇宙環境そのものの理解は十分とは言い難い。地球の超高層大気(高度 100-1000km)は、太陽からの強力な紫外線の影響を受けて、大気の一部が電離した状態(プラズマ)で存在しており、電離圏と呼ばれている。電離圏は、下層大気と宇宙空間を繋ぐ遷移領域であり、多くの人工衛星が周回する領域であると同時に、衛星電波が遅延等の影響を受ける伝搬経路でもある。GPS 等を利用した高精度、高信頼度の測位、航法が実用化されつつあり、電離圏による電波の伝搬遅延の影響は、要求される精度に対して相対的に大きくなっている。その補正のために、電離圏の物理過程の理解、現状把握、そしてその予測が強く求められている。

赤道域においては、下層大気(対流圏)における活発な対流活動が、様々な時間・空間スケールの大気波動を引き起こし、赤道域特有の電離圏現象を生み出している。特に深刻な電波障害の原因となる現象として、プラズマバブルと呼ばれる現象が古くから知られている。プラズマバブルは、電離圏下部の密度成層が不安定化して低密度領域が泡のように上昇する現象であり、その泡の内部は非常に不安定な不規則構造で満たされているため、電波伝搬に大きな影響を及ぼす。しかしながら、日々変化するプラズマバブルの発生を事前に予測する手段は現時点においては皆無である。赤道付近を航行する航空機・船舶にとって、衛星航法を阻害するプラズマバブルの影響は深刻であるため、プラズマバブルの発生を事前に予測し、その方向にある衛星を利用しない等の回避策を取る必要がある。つまり、(1)プラズマバブルが、いつ、どこで発生するのか、(2)発生の有無を決定する要因は何か、という点が学術と実用の両面において重要な研究課題である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、現在までに研究代表者が開発を進めてきた局所電離圏数値モデルと、研究分担者らが開発を進めてきた全球電離圏数値モデルを階層的に結合させ、プラズマバブルの発生を自己無撞着に予測できる数値モデルを開発し、発生の条件を解明することである。下層大気の変動と地磁気活動の影響を含めた数値モデルを構築し、定性的な季節・経度・地方時依存性による予測モデルから脱却することで、実利用に資するプラズマバブル予報モデルへの発展を視野に含めた研究を実施する。本研究で利用する GAIA(Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy)モデルは、大気圏モデル、電離圏モデル、電気力学モデルを相互結合させたモデルの総称であり、地表から電離圏上部までをシームレスに結合することで、地表付近における気象変動や、太陽活動の変化に伴う地磁気活動が超高層大気及び電離圏に及ぼす影響を再現可能なモデルである。しかし、グリッド間隔は数百 km 程度であり、プラズマバブルのような局所的な構造は再現することできない。一方、研究代表者が開発した局所電離圏モデル(High Resolution Bubble: HIRB)は、プラズマバブルとその微細な内部構造を 1km 以下の解像度で再現できるモデルであり、背景の条件を変化させることでプラズマバブル発生の有無を再現することが可能である。しかし、計算領域は狭い範囲に限られており、東西方向には疑似的な周期境界条件を課しているため、大規模な電離圏変動とプラズマバブルの関連については検討することができなかった。そこで、全球電離圏モデルと局所電離圏モデルを階層的に結合させることで、それぞれの長所を生かしつつ短所を解消し、プラズマバブルの発生を自己無撞着に再現させることを目的とする。異なる数値モデルを階層的に結合させ、様々な空間スケールの現象とプラズマバブル発生の関連を明らかにする点が特徴である。

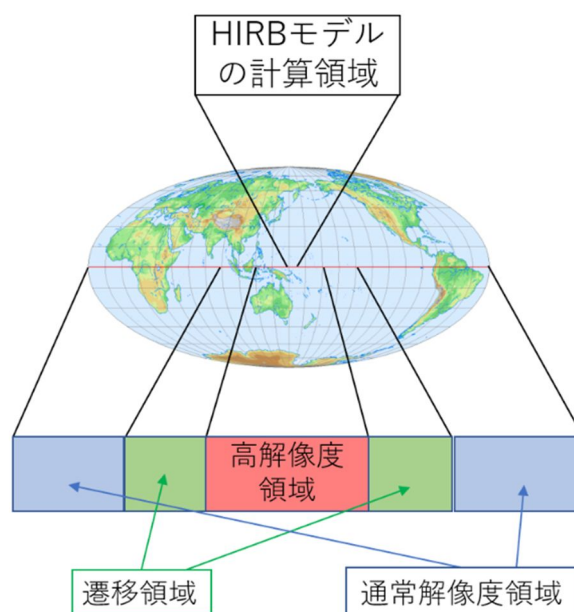
3. 研究の方法

全球電離圏モデルと局所電離圏モデルは、開発の経緯が異なるため、それぞれ異なる座標系と数値スキームで構成されている。まず、局所電離圏モデルの計算領域を全経度域に拡張し、周期境界条件を適用せずに計算できるモデルに改良する。次に、プラズマバブルが頻繁に発生する日没時刻付近を集中的に高解像度化し、電離圏電場の全球構造と局所構造を同時に計算する手法を開発する。従来の局所モデルでは、東西方向に疑似的な周期境界条件を課しており、経度変化や地方時変化の影響は原理的に再現が不可能であった。しかし実際には、日没時刻付近の日照領域の差による電気伝導度の勾配が強い東向き電場を作る要因であり、その東向き電場とプラズマバブル発生には強い因果関係があるとされている。そこで、東西方向に疑似的な周期境界を課すことなく電場を計算することで、電離圏の大規模構造から決定される電離圏電場とプラズマバブル発生の関係を明らかにする。要求される時間ステップは解像度に応じて異なるため、全球部分で 1 ステップ進む間に局所高解像度部分では数百の刻み幅を取る等して、計算時間全体の効率化を計る。

次に、複数の背景条件の下でのシミュレーションを多数実行し、プラズマバブル発生の有無を左右する条件について検討を行う。

4. 研究成果

まず、局所電離圏モデルの改良を中心に行った。局所モデルの計算領域は、従来は経度方向に非常に狭い領域に限られていたが、これを全経度域にまで拡張し、プラズマバブル発生に重要であると考えられている大規模な電場を再現することに成功した。局所モデルの計算領域を単純に拡大させると、メモリ使用量と計算時間が非現実的になってしまうため、プラズマバブルが発生する日没時刻付近を高解像度領域とし、その他の大半の領域を全球モデル程度の粗い解像度とするマルチスケールモデルを構築した。また、領域間の結合部分には遷移領域を設け、不等間隔グリッドを導入して滑らかにグリッド間隔が推移するようにした（下図）。改良したモデルに経験モデルから取り込んだ電子密度と中性風速分布を与えることで、数 100km スケールの大規模な電場を自己無撞着に再現しつつ、数 km スケールの微細なプラズマバブルを同時に再現することに成功した。不等間隔グリッドによる電場計算ルーチンを、全球大気圏電離圏モデルに導入することで、全球モデルと局所モデルを階層的に結合させることが可能になったと考えられる。



改良の結果、計算領域の増加により計算量・時間ともに大幅な増大が見込まれるため、計算の高速化も重要な開発課題であることが明らかとなったため、計算アルゴリズム、特にポアソン方程式を解いて分極電場を求める部分の連立方程式の解法アルゴリズムについて検討を行った。その後、全球大気圏電離圏結合モデル GAIA との結合に向けて、GAIA モデルのダイナモ電場計算部分と電離圏電子密度計算部分の高解像度化に着手した。必要な空間解像度の見積もるために、局所モデルの空間解像度を粗くする方向に変化させて、最低限必要な空間解像度の検討を行った。その結果、東西方向に 50km 程度の分解能であれば、再現される擾乱現象の内部構造は単純化されるものの、大規模な構造については通常の解像度の場合と同様に成長し、その成長速度もほぼ同等であることが示された。GAIA モデルは実際の観測データを下層大気に取り込んでいるため、現実に近い中性大気風速と電子密度分布を再現可能であり、電子密度の擾乱現象の発生の日々変化を GAIA モデルを用いて直接解明できることが期待される。

さらに、プラズマバブル発生の日々変動の原因を明らかにするために、背景の条件を少しずつ変化させたシミュレーションを多数実行し、プラズマバブル発生への寄与が大きいパラメータの調査を行った。それぞれの条件の下で、プラズマバブルの要因と考えられている Rayleigh-Taylor 不安定の線形成長率を計算し、プラズマバブル発生の有無と成長率の値との比較を行った。その結果、電離圏高度が上昇している場合には成長率が高くなり、活発なプラズマバブルが成長することが示された。磁力線に沿って積分した線形成長率は、 $F/(E+F)$ のファクターが掛かるため、E 領域の密度が増加すると成長率は減少する。E 領域の密度を 3 倍とした場合の結果と比較すると、プラズマバブルは短時間で高高度まで成長する様子は見られなかった。一方、線形成長率の値の差は $0.001s^{-1}$ 程度であり、僅かな成長率の差が大きな違いをもたらすことが明らかとなった。プラズマバブル発生の日々変動の差はわずかな成長率の差によってもたらされている可能性があることが示された。言い換えると、理論から予測される線形成長率のみでは発生予測を行うことは困難であり、他の要因を探る必要があることが本研究から明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Yokoyama Tatsuhiro, Takagi Rieko, Yamamoto Mamoru	4. 巻 74
2. 論文標題 Solar and geomagnetic activity dependence of 150-km echoes observed by the Equatorial Atmosphere Radar in Indonesia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-022-01675-6	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 -
1. 著者名 Afolayan AO, Mandeep JS, Abdullah M, S A Hamid N, Yokoyama T	4. 巻 71
2. 論文標題 Effect of the seed perturbation amplitude on the equatorial spread F initiation during solar minimum	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	6. 最初と最後の頁 255 ~ 267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asr.2022.09.035	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 該当する
1. 著者名 Hu Lianhuan, Li Guozhu, Ding Zonghua, Sun Wenjie, Zhao Xiukuan, Xie Haiyong, Zhu Zhengping, Yokoyama Tatsuhiro, Lan Jiaping, Huang Zhaoguo, Ning Baiqi	4. 巻 14
2. 論文標題 Fast Ionogram Observations of Ascending Thin Layers Locally Transported from the E to F Region at Equatorial and Low Latitudes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs14225811	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 該当する
1. 著者名 Liu Peng, Yokoyama Tatsuhiro, Fu Weizheng, Yamamoto Mamoru	4. 巻 20
2. 論文標題 Statistical Analysis of Medium Scale Traveling Ionospheric Disturbances Over Japan Based on Deep Learning Instance Segmentation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Space Weather	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022SW003151	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 -

1. 著者名 Fu Weizheng, Yokoyama Tatsuhiro, Ssessanga Nicholas, Yamamoto Mamoru, Liu Peng	4. 巻 74
2. 論文標題 On using a double-thin-shell approach and TEC perturbation component to sound night-time mid-latitude E-F coupling	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-022-01639-w	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 該当する

1. 著者名 Kogure Masaru, Liu Huixin, Jin Hidekatsu	4. 巻 50
2. 論文標題 Impact of Tropospheric Ozone Modulation Due To El Nino on Tides in the MLT	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2023GL102790	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 -

1. 著者名 Rajesh P. K., Lin C. C. H., Lin J. T., Lin C. Y., Liu J. Y., Matsuo T., Huang C. Y., Chou M. Y., Yue J., Nishioka M., Jin H., Choi J. M., Chen S. P., Chou Marty, Tsai H. F.	4. 巻 49
2. 論文標題 Extreme Poleward Expanding Super Plasma Bubbles Over Asia Pacific Region Triggered by Tonga Volcano Eruption During the Recovery Phase of Geomagnetic Storm	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022GL099798	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 該当する

1. 著者名 Sobhkhiz-Miandehi Sahar, Yamazaki Yosuke, Arras Christina, Miyoshi Yasunobu, Shinagawa Hiroyuki	4. 巻 74
2. 論文標題 Comparison of the tidal signatures in sporadic E and vertical ion convergence rate, using FORMOSAT-3/COSMIC radio occultation observations and GAIA model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-022-01637-y	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 該当する

1. 著者名 横山 竜宏	4. 巻 67
2. 論文標題 電離圏局所シミュレーション	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報通信研究機構研究報告	6. 最初と最後の頁 39-45
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 -

1. 著者名 Meenakshi S., Sridharan S., Solomon Ivan J., Hozumi K., Yatini C. Y., Yokoyama T., Hashiguchi H.	4. 巻 126
2. 論文標題 Anomalous Increase in the Occurrence of Post Midnight FAI Radar Echoes in September 2019 and Its Relation With the Austral Sudden Stratospheric Warming	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA028902	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 該当する

1. 著者名 Jiang Chunhua, Yokoyama Tatsuhiro, Wei Lehui, Yang Guobin, Zhao Zhengyu	4. 巻 909
2. 論文標題 Nonlinear Simulation of Ionospheric Irregularities at Mars	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abdc1d	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 該当する

1. 著者名 Fu Weizheng, Ssessanga Nicholas, Yokoyama Tatsuhiro, Yamamoto Mamoru	4. 巻 19
2. 論文標題 High Resolution 3 D Imaging of Daytime Sporadic E Over Japan by Using GNSS TEC and Ionosondes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Space Weather	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021SW002878	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 該当する

1. 著者名 Jiang Chunhua, Wei Lehui, Yokoyama Tatsuhiro, Xu Jiyao, Wu Kun, Yuan Wei, Liu Jing, Liu Tongxin, Yang Guobin, Zhao Zhengyu	4. 巻 12
2. 論文標題 Upwelling Coherent Backscatter Plumes Observed with Ionosondes in Low-Latitude Region	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Space Weather and Space Climate	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/swsc/2022010	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 該当する

1. 著者名 Andoh Satoshi, Saito Akinori, Shinagawa Hiroyuki	4. 巻 126
2. 論文標題 Temporal Evolution of Three Dimensional Structures of Metal Ion Layer Around Japan Simulated by a Midlatitude Ionospheric Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JA029267	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 Yamazaki Y., Arras C., Andoh S., Miyoshi Y., Shinagawa H., Harding B. J., Englert C. R., Immel T. J., Sobkhhiz Miandehi S., Stolle C.	4. 巻 49
2. 論文標題 Examining the Wind Shear Theory of Sporadic E With ICON/MIGHTI Winds and COSMIC 2 Radio Occultation Data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL096202	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 該当する

1. 著者名 Andoh Satoshi, Saito Akinori, Shinagawa Hiroyuki	4. 巻 49
2. 論文標題 Numerical Simulations on Day to Day Variations of Low Latitude Es Layers at Arecibo	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL097473	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 品川裕之	4. 巻 67
2. 論文標題 スプラディックE層の再現	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報通信研究機構研究報告	6. 最初と最後の頁 47-54
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 -

1. 著者名 陣英克、埜千尋	4. 巻 67
2. 論文標題 全球大気圏-電離圏シミュレーション	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 情報通信研究機構研究報告	6. 最初と最後の頁 29-37
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 -

1. 著者名 Tulasi Ram S., Ajith K. K., Yokoyama T., Yamamoto M., Hozumi K., Shiokawa K., Otsuka Y., Li G.	4. 巻 47
2. 論文標題 Dilatory and Downward Development of 3 m Scale Irregularities in the Funnel Like Region of a Rapidly Rising Equatorial Plasma Bubble	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GL087256	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 該当する

1. 著者名 Tao Chihiro, Jin Hidekatsu, Miyoshi Yasunobu, Shinagawa Hiroyuki, Fujiwara Hitoshi, Nishioka Michi, Ishii Mamoru	4. 巻 72
2. 論文標題 Numerical forecast of the upper atmosphere and ionosphere using GAIA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-020-01307-x	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 -

1. 著者名 Liu Huixin, Tao Chihiro, Jin Hidekatsu, Abe Takamichi	4. 巻 126
2. 論文標題 Geomagnetic Activity Effects on CO ₂ Driven Trend in the Thermosphere and Ionosphere: Ideal Model Experiments With GAIA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JA028607	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 Shinagawa Hiroyuki, Tao Chihiro, Jin Hidekatsu, Miyoshi Yasunobu, Fujiwara Hitoshi	4. 巻 73
2. 論文標題 Numerical prediction of sporadic E layer occurrence using GAIA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-020-01330-y	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28件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Yokoyama, T., T. Ishii, T. Yutani, and M. Yamamoto
2. 発表標題 Long-term Statistical Analysis of Ionospheric Irregularities Observed by the MU Radar and Equatorial Atmosphere Radar
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 19th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tulasi Ram, S., K. K. Ajith, T. Yokoyama, M. Yamamoto, and K. Hozumi
2. 発表標題 Early development of shorter (3m) scale irregularities in the topside region of an Equatorial Plasma Bubble
3. 学会等名 16th International Symposium on Equatorial Aeronomy (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 Fu, W., N. Ssessanga, T. Yokoyama, P. Liu, and M. Yamamoto
2 . 発表標題 3-D Imaging of Nighttime E-F Coupling Over Japan by Using Groundbased GNSS-TEC and Ionosondes
3 . 学会等名 16th International Symposium on Equatorial Aeronomy (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Rino, C., C. Carrano, and T. Yokoyama
2 . 発表標題 Ionospheric Structure Modeling and Diagnostics
3 . 学会等名 16th International Symposium on Equatorial Aeronomy (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Pavan Chaitanya, P., A. K. Patra, Y. Otsuka, T. Yokoyama, and M. Yamamoto
2 . 発表標題 Ionospheric vertical plasma drift model for the Indian and Indonesian sectors: Validation and usefulness
3 . 学会等名 16th International Symposium on Equatorial Aeronomy (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Rino, C., C. Carrano, T. Yokoyama, L. Spogli, and A. Spogi
2 . 発表標題 A Stochastic Model for Scintillation and Total Electron Content
3 . 学会等名 21st International Beacon Satellite Symposium (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 Liu, P., and Yokoyama, T
2. 発表標題 Statistical Analysis of Medium-scale Traveling Ionospheric Disturbances Over Japan Based on Deep Learning Instance Segmentation
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 19th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横山 竜宏, 高木 理絵子, 山本 衛
2. 発表標題 赤道大気レーダーで観測された150kmエコーの太陽・地磁気活動依存性
3. 学会等名 第152回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横山 竜宏, 増田 秀人, 劉 鵬, 山本 衛
2. 発表標題 MUレーダー観測とイオノゾンデ自動読み取りシステムを用いた電子密度の長期統計解析
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 横山 竜宏, 石井 達也, 湯谷 樹生, 山本 衛
2. 発表標題 MUレーダーと赤道大気レーダーによる電離圏イレギュラリティ観測の長期統計解析
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 Yokoyama, T., and T. Komoto
2. 発表標題 Development of Multi-scale Numerical Simulation Model for the Study on Ionospheric Disturbances
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 18th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山 竜宏, 杉野 創, 高木 理絵子, 劉 鵬, 山本 衛
2. 発表標題 赤道大気レーダーで観測されたプラズマバブルと150kmエコーの長期統計解析
3. 学会等名 第15回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山 竜宏, 高木 理絵子, 山本 衛, 穂積 コンニヤナット, 埜 千尋, 品川 裕之
2. 発表標題 赤道大気レーダーを用いた金環日食時の電離圏E領域不規則構造の研究
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山 竜宏, 古元 泰地
2. 発表標題 電離圏擾乱の研究に資するマルチスケール数値シミュレーションの開発
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 品川 裕之, 埜 千尋, 陣 英克, 三好 勉信, 藤原 均
2. 発表標題 スボラディックE層発生予測システムの開発：現状と今後の展望
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 品川 裕之, 埜 千尋, 陣 英克, 三好 勉信, 藤原 均
2. 発表標題 太陽活動がスボラディックE層に与える影響
3. 学会等名 第150回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陣英克、三好勉信、埜千尋、品川裕之、藤原均
2. 発表標題 大気圏電離圏モデルGAIAによる地磁気静穏時の平均的熱圏・電離圏変動の再現性評価と課題
3. 学会等名 第150回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陣英克、三好勉信、埜千尋、品川裕之、藤原均
2. 発表標題 Validation of a revised version of whole atmosphere-ionosphere coupled model GAIA
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yokoyama, T., H. Shinagawa, and Y. Otsuka
2. 発表標題 Effect of equatorial plasma bubbles on midlatitude region
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山 竜宏, 品川 裕之, 陣 英克, 大塚 雄一
2. 発表標題 赤道プラズマバブルの急速な発達と中緯度帯への影響
3. 学会等名 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山 竜宏, 古元 泰地
2. 発表標題 高精細プラズマバブルモデルとGAIAモデルの結合に向けたマルチスケール数値モデルの開発
3. 学会等名 GAIA研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山 竜宏
2. 発表標題 高精細プラズマバブルモデルの現在と今後の展望
3. 学会等名 太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横山 竜宏, 古元 泰地
2. 発表標題 電離圏擾乱の研究に資するマルチスケール数値シミュレーションの開発
3. 学会等名 STEシミュレーション研究会・KDKシンポジウム合同研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古元 泰地, 横山 竜宏
2. 発表標題 GAIAモデルとの結合に向けた赤道プラズマバブルシミュレーションの改良
3. 学会等名 第14回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古元 泰地, 横山 竜宏
2. 発表標題 GAIAモデルとの結合に向けた赤道プラズマバブルシミュレーションの改良
3. 学会等名 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 陣英克、三好勉信、埜千尋、品川裕之、藤原均
2. 発表標題 大気圏・電離圏モデルのデータ同化初期結果
3. 学会等名 宇宙地球環境の理解に向けての統計数理的アプローチ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 陣英克、三好勉信、埜千尋、品川裕之、藤原均
2. 発表標題 太陽放射スペクトルの変動による熱圏・電離圏の応答
3. 学会等名 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 品川裕之、埜千尋、陣英克、三好勉信、藤原均
2. 発表標題 スボラディックE層発生の数値予測 - 現状と問題点
3. 学会等名 第148回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
4. 発表年 2020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
研究 分担者	品川 裕之 (Shinagawa Hiroyuki) (00262915)	九州大学・国際宇宙惑星環境研究センター・博士研究員 (17102)	
研究 分担者	陣 英克 (Jin Hidekatsu) (60466240)	国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所宇宙環境研究室・主任研究員 (82636)	

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
---------	---------