

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K17814

研究課題名(和文) 電離圏擾乱の赤道 - 中緯度間結合と日本上空の電離圏への影響の解明

研究課題名(英文) Ionospheric irregularities in low-mid latitudes and effects over Japanese ionosphere

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) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：地球電離圏で発生する赤道プラズマバブルは、局所的なプラズマ密度の不規則構造を伴い、電波の振幅・位相に急激な変動を生じさせるため、GPS等による電子航法に深刻な障害を及ぼす。本研究では、3次元数値シミュレーションを用いて、この赤道プラズマバブルの内部の微細構造を再現することに成功した。また、プラズマバブルの「種」となる初期変動が、中性大気の鉛直風の変動により作られることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

GPS等を用いた精密航法、測位のためには、電離圏の影響による誤差を正しく推定することが必要である。その誤差の最大の要因の一つである赤道プラズマバブルに関して、数値モデルを用いた研究を行った。従来は衛星・ロケット観測に頼らざるを得なかった微細な構造がモデルにより再現され、実際の電波伝搬に及ぼす影響の評価が可能となった。今後、電波伝搬モデルと組み合わせることで、GPSの精度向上や自動運転の実用化に向けた研究へと発展することが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Equatorial plasma bubble (EPB) is a well-known phenomenon in the equatorial ionosphere. As it causes severe scintillation in the amplitude and phase of radio signals, it is important to understand and forecast the occurrence of EPB from a space weather point of view. In order to simulate the instability in the equatorial ionosphere, a 3D high-resolution bubble (HIRB) model with a grid spacing of as small as 200 m has been developed. It provides a unique opportunity to characterize intermediate-scale EPB structure, which was not well resolved until very recently. Achievements of the HIRB model are as follows: (1) Vertical wind perturbation with an amplitude of a few meters per second can work as a seeding of EPBs. (2) Developed structure is characterized by a two-component power law spectral density which fully supports the reported EPB diagnostics from previous in situ measurements.

研究分野：超高層物理学

キーワード：電離圏 プラズマバブル MSTID シミュレーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球大気を覆う電離圏(高度 90-1000km)は中性大気の一部が電離した状態で存在している領域であり、下層大気と宇宙空間を繋ぐ遷移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、高信頼度の航法、測位がすでに実用化されており、電離圏による電波遅延の影響は大きな誤差の要因となる。特に、局所的なプラズマ密度の不規則構造を伴う電離圏擾乱が発生した場合には、電波の振幅、位相の急激な変動(シンチレーション)が生じるため、GPS 等による電子航法に深刻な障害を及ぼす。また、電離圏高度は国際宇宙ステーションや多くの人工衛星が飛翔する領域であり、宇宙の最近傍領域とも言える電離圏の物理過程自体を理解することは、人類の将来的な宇宙進出計画に欠かすことはできない。応募者は研究開始当初までに、中緯度域と赤道域における高精度数値モデルを開発し、電離圏擾乱内部の微細な構造の再現に成功した。中規模伝搬性電離圏擾乱(Medium-Scale Traveling Ionospheric Disturbance;以下 MSTID)は、北西 - 南東方向の波面を持ち、赤道方向に伝搬する中緯度特有の現象であり、赤道プラズマバブル(Equatorial Plasma Bubble;以下 EPB)は、密度の減少領域が泡状に高高度まで到達する現象である。しかし、これらの現象の発生条件については未解明な点が多く残されていた。

2. 研究の目的

無線通信、衛星測位等の需要は増加傾向にあり、電離圏における現象の理解の必要性は、今後さらに高まることが予想される。特に EPB は電子密度の局所的な勾配が非常に大きく、電子航法等に及ぼす影響は非常に深刻である。従って、気象予報と同様に、電離圏擾乱現象の発生機構を解明し、発生を事前に予測すること(いわゆる宇宙天気予報)が、科学・実用の両面から求められている。EPB 発生の経度/季節依存性については、既にある程度の知見が得られており、例えば日本の経度域では、春と秋に発生頻度が高くなることが知られている。しかしながら、発生の日々変化が非常に大きく、発生を事前に予測することは現状では非常に困難である。EPB 発生の日々変化の解明は、現在国内外で最も盛んに研究されているテーマであり、特に、下層の対流圏、成層圏との結合に着目した研究が多い。下層から上方伝搬する大気波動が EPB を発生させるという説が多方面から検討されているが、未だ決定的な成果は得られておらず、直接的な観測的証拠も皆無である。一方、応募者が開発した中緯度電離圏モデルにより、スプラディック E(Es)層と呼ばれる高度 100km 付近で発生する非常に薄い電子密度の層が、MSTID の発生に重要な役割を果たしていることが示された。Es 層の発生も、その名の通り sporadic(突発的)であり、発生の日々変化が非常に大きい現象として知られている。また、日本上空で観測される MSTID は常に赤道方向に伝搬し、赤道域にまで到達している可能性もある。以上より、(1)Es 層が EPB の発生原因となり得るか?(2)緯度間の結合を考慮に入れることで、EPB 発生の日々変化は説明できるか?という点について明らかにする必要がある。次に、日本は磁気的には緯度 20-30 度の範囲に位置しており、EPB の影響を受ける赤道域や、オーロラ等の影響を受ける極域と比較すると、日本上空の電離圏は通常は安定している。しかし、急速に発達した EPB は赤道上空で数千 km にも達することがあり、そのような場合には地球磁場に沿って日本上空の電離圏にまで影響を及ぼす。宇宙天気予報の観点から、日本上空の電離圏情報を正しく提供するためには、EPB の発生に伴う影響を考慮に入れる必要があるが、現状ではそのような影響を定量的に取り入れた研究はなされていない。従って、(3)赤道で発生した EPB は日本上空にどの程度影響を及ぼすか?という点は重要な課題である。上記(1)-(3)を解明することが、研究開始当初の目的であった。

3. 研究の方法

地球電離圏は弱電離プラズマ気体であり、地球磁場と中性大気との衝突の影響によりイオンと電子は異なった運動を示し、導電率に異方性を持つ。従って、イオンと電子の 2 流体を考慮する必要がある。イオンと電子の速度差から得られる電流密度の発散が 0 となる条件から電離圏内で発生する電場を求めることができる。その電場を用いてイオン速度を求め、プラズマ密度の連続の式から 1 時間ステップ後のプラズマ密度分布を更新する。正イオンとして $\text{N}^+(\text{E 領域})$ と $\text{O}^+(\text{F 領域})$ の 2 種類を与える。磁気赤道を中心とするダイポール座標系を用い、磁気赤道上で高度 88-1270km、緯度方向に約 20 度の計算領域を確保する。経度方向については、約 3 度の狭い範囲のみを設定し、周期境界条件を与える。プラズマバブルの壁面では密度勾配が非常に急峻となるため、その密度勾配を離散グリッド状で再現するためには、精度の高い数値スキームが必要である。本研究で開発した数値モデルでは、水平方向のグリッド間隔を約 1km 以下とし、移流スキームに時間、空間共に 3 次精度を持つ CIP 法を用いた。様々な初期条件を与え、プラズマバブルの生成やその他のパラメータの変化について検討を行った。また、従来は経度方向に人工的な変動を与えていたが、局所的な鉛直風を電離圏下部に与えることで、プラズマバブルのシーディング効果が得られるかどうかを確認した。

4. 研究成果

赤道プラズマバブルの内部構造

研究開始当初の目的として、電離圏擾乱が衛星通信・測位に及ぼす影響の定量的評価を挙げているが、そのためには、電波に直接影響を及ぼす 300-400m スケールの電子密度の不規則構造をシミュレーションで再現する必要があることが判明した。そこで、シミュレーションモデルの空間分解能を計算機性能が許す限り向上させ、磁力線直交方向に 200m の分解能で計算を実施することに成功した。図 1 に成長したプラズマバブルの東西--鉛直断面と、赤道面上、高度 460km におけるプラズマ密度の東西方向の変動を示す。従来の結果と比較して、より微細な内部構造が形成されている。図 2 に、枝分かれ(bifurcation)するプラズマバブルの様子と、成長したプラズマバブル内部のスペクトル構造を示す。枝分かれしたプラズマバブルは、徐々に複雑な構造を持ち始め、成熟したバブルの内部は乱流のカスケード構造に類似したスペクトルを持ち始める。プラズマバブルの高度によってスペクトルの構造が異なっており、C/NOFS、ROCSAT-1 等の低軌道衛星観測で得られた特徴とよく一致している。以上の結果から、実際のプラズマバブル内部の複雑な構造を再現することに成功したと考えられる。

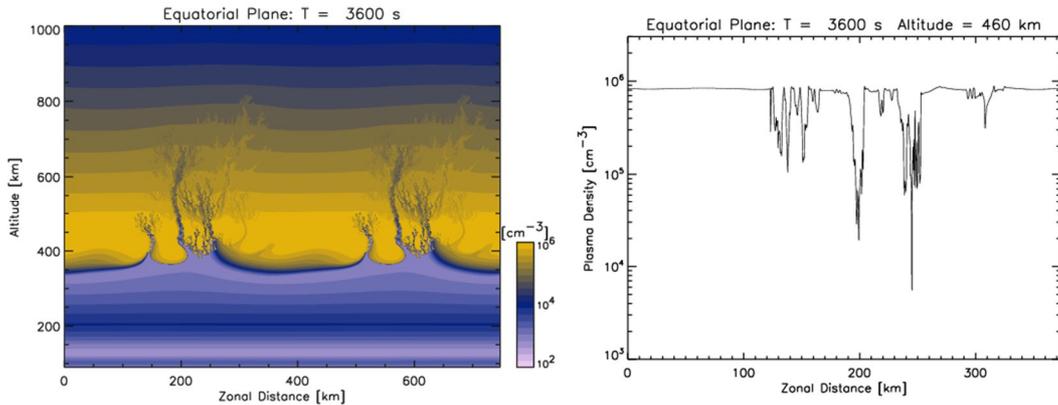


図 1: 赤道面におけるプラズマ密度分布と、高度 460km における東西方向の電子密度変動。

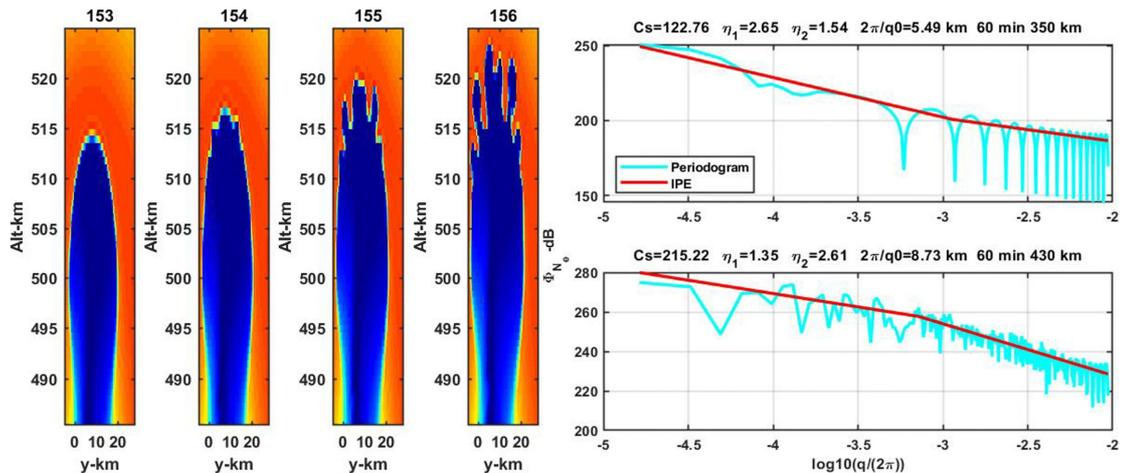


図 2: 枝分かれするプラズマバブルの様子と、プラズマバブル内部のスペクトル構造。

赤道プラズマバブルのシーディング

赤道プラズマバブルは発生の日々変化が非常に大きく、発生の「種」となる初期密度変動の要因が、現象発生メカニズムの理解のためには欠かせない。従来は経度方向に人工的な変動を与えてシミュレーションを実施していたが、局所的な鉛直風を電離圏下部に与えることで、人為的な密度変動を与えずにプラズマバブルのシーディング効果が得られるかどうかを確認した。大気重力波による風速変動の鉛直風成分に着目し、単純化した条件の下で、鉛直風による電離圏 F 領域下部の変動生成、すなわちプラズマバブルのシーディングについて検討を行った。鉛直風変動の振幅、波長、変動を与える緯度範囲に応じて、プラズマバブルの成長速度に差が見られたが、概ね数 m/s の鉛直風変動であっても、プラズマバブルのシーディングとして十分に役割を果たせることが明らかとなった(図 3)。大気重力波に伴う鉛直風成分が、プラズマバブル発生の日々変動において重要な役割を担っていると考えられる。

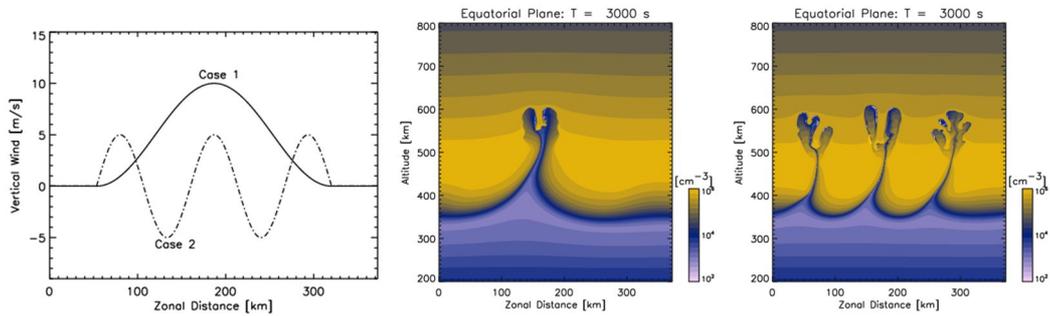


図 3: 印加した鉛直風の東西構造と発生したプラズマバブルの構造

全球モデルとの結合に向けた改良

全球大気圏電離圏結合モデル (GAIA モデル) との結合に向けた準備として、計算領域を全経度範囲として、プラズマ密度の日変化を考慮した自然な周期境界条件の下で電場の計算を行えるように改良を行った。計算領域を全経度域に拡張したモデルでは、静電ポテンシャルの上端の境界条件を、日変化を考慮したものに修正する必要がある。将来的には、GAIA モデルから計算される結果を参照して境界条件に取り込むことを想定しているが、まずは正弦波的に日変化をする東西電場を仮定し、境界条件として与えることとした。日変化する初期プラズマ密度分布を与えたところ、もっともらしい電場分布が得られることを確認した。今後は、GAIA モデルとの結合に向けて、両モデルの改良を継続する予定である。

上記の研究成果は、従来衛星・ロケット観測に頼らざるを得なかった EPB 内部の微細構造の理解を助け、数値シミュレーションモデルにより 3 次元で精度良く再現可能としたものであり、大きなインパクトを与えた。シミュレーション結果を電波伝搬レイトレイシングモデルに適用し、電波伝搬に及ぼす影響の定量的な評価に関する研究が発展してきている。本研究で開発を進めてきた数値モデルと全球電離圏モデルとの結合を行う研究課題が 2020 年度から採択され、今後の研究の発展がさらに期待されている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Yokoyama Tatsuhiro, Jin Hidekatsu, Shinagawa Hiroyuki, Liu Huixin	4. 巻 46
2. 論文標題 Seeding of Equatorial Plasma Bubbles by Vertical Neutral Wind	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 7088 ~ 7095
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GL083629	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 Joshi L.M., Tsai L. C., Su S. Y., Otsuka Y., Yokoyama T., Yamamoto M., Sarkhel S., Hozumi K., Lu C. H.	4. 巻 124
2. 論文標題 Investigation of Spatiotemporal Morphology of Plasma Bubbles Based on EAR Observations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 10549 ~ 10563
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JA026839	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 Martinis C., Yokoyama T., Nishioka M.	4. 巻 124
2. 論文標題 All Sky Imaging Observations and Modeling of Bright 630 nm Airglow Structures Associated With MSTIDs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 7332 ~ 7340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JA026935	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 Afolayan Abimbola O., Jit Singh Mandeep, Abdullah Mardina, Buhari Suhaila M., Yokoyama Tatsuhiro, Supnithi Pornchai	4. 巻 37
2. 論文標題 Observation of seasonal asymmetry in the range spread F?occurrence at different longitudes during low and moderate solar activity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Annales Geophysicae	6. 最初と最後の頁 733 ~ 745
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/angeo-37-733-2019	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 Rino Charles, Yokoyama Tatsuhiro, Carrano Charles	4. 巻 5
2. 論文標題 Dynamic spectral characteristics of high-resolution simulated equatorial plasma bubbles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-018-0243-0	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 Rino Charles, Carrano Charles, Groves Keith, Yokoyama Tatsuhiro	4. 巻 53
2. 論文標題 A Configuration Space Model for Intermediate-Scale Ionospheric Structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Radio Science	6. 最初と最後の頁 1472 ~ 1480
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018RS006678	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 Shinagawa Hiroyuki, Jin Hidekatsu, Miyoshi Yasunobu, Fujiwara Hitoshi, Yokoyama Tatsuhiro, Otsuka Yuichi	4. 巻 5
2. 論文標題 Daily and seasonal variations in the linear growth rate of the Rayleigh-Taylor instability in the ionosphere obtained with GAIA	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-018-0175-8	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 Yokoyama Tatsuhiro	4. 巻 4
2. 論文標題 A review on the numerical simulation of equatorial plasma bubbles toward scintillation evaluation and forecasting	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-017-0153-6	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 Shinagawa Hiroyuki, Jin Hidekatsu, Miyoshi Yasunobu, Fujiwara Hitoshi, Yokoyama Tatsuhiro, Otsuka Yuichi	4. 巻 5
2. 論文標題 Daily and seasonal variations in the linear growth rate of the Rayleigh-Taylor instability in the ionosphere obtained with GAIA	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-018-0175-8	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., Niranjan K.	4. 巻 122
2. 論文標題 Vertical rise velocity of equatorial plasma bubbles estimated from Equatorial Atmosphere Radar (EAR) observations and HIRB model simulations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research Space Physics	6. 最初と最後の頁 6584 ~ 6594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2017JA024260	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 Yokoyama, T., and C. Stolle	4. 巻 206
2. 論文標題 Low and midlatitude ionospheric plasma density irregularities and their effects on geomagnetic field	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Space Science Reviews	6. 最初と最後の頁 495-519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11214-016-0295-7	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

〔学会発表〕 計35件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 18件)

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 Tatsuhiko Yokoyama
2. 発表標題 Toward forecasting equatorial plasma bubbles by numerical simulations
3. 学会等名 The 4th PSTEP International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yokoyama, T., H. Jin, H. Shinagawa, C. L. Rino, and C. S. Carrano
2. 発表標題 Seeding, structuring, and decaying of equatorial plasma bubbles simulated by high-resolution bubble (HIRB) model
3. 学会等名 2019 AGU Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuhiko Yokoyama
2. 発表標題 Nighttime MSTIDs and coupling with sporadic-E layers
3. 学会等名 2019 AGU Fall Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuhiko Yokoyama
2. 発表標題 Equatorial ionospheric disturbances and its social impact
3. 学会等名 The 9th International Symposium for Sustainable Humanosphere (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuhiko Yokoyama
2. 発表標題 Seeding, structuring, and decaying of equatorial plasma bubbles simulated by high-resolution bubble (HIRB) model
3. 学会等名 The 2nd EPB workshop: STERN Workshop on Scientific Challenges in Ionospheric Plasma Bubble Forecasting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tatsuhiko Yokoyama
2. 発表標題 High-Resolution Simulation Studies of Equatorial Plasma Bubbles
3. 学会等名 2019 URSI-Japan Radio Science Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山 竜宏
2. 発表標題 電離圏プラズマバブルモデルの今後の課題と展望
3. 学会等名 ISEE・PSTEP研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」第4回
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山 竜宏, 陣 英克, 品川 裕之, Charles L. Rino, Charles S. Carrano
2. 発表標題 高解像度シミュレーションによるプラズマバブル内部構造の発達と減衰過程
3. 学会等名 第146回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山 竜宏
2. 発表標題 赤道プラズマバブル数値シミュレーションの発展と今後
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 横山 竜宏, Charles L. Rino, Charles, S. Carrano
2. 発表標題 Dynamic Spectral Characteristics of Equatorial Plasma Bubbles
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yokoyama Tatsuhiro
2. 発表標題 Recent results of high resolution plasma bubble modeling
3. 学会等名 15th International Symposium on Equatorial Aeronomy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yokoyama Tatsuhiro, Jin Hidekatsu, Shinagawa Hiroyuki
2. 発表標題 Neutral wind effects on equatorial plasma bubbles simulated by High Resolution Bubble model
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yokoyama Tatsuhiro, Rino Charles, Carrano Charles
2. 発表標題 Spectral characteristics of equatorial plasma bubbles simulated by High Resolution Bubble model
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society 15th Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横山 竜宏, Rino Charles, Carrano Charles,
2. 発表標題 プラズマバブル内部のスペクトル解析
3. 学会等名 PSTEP研究集会 太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望 第3回
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山 竜宏, 陣 英克, 品川 裕之
2. 発表標題 熱圏鉛直風によるプラズマバブルシーディング
3. 学会等名 第144回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横山 竜宏
2. 発表標題 熱圏鉛直風によるプラズマバブルシーディング
3. 学会等名 第12回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横山 竜宏
2. 発表標題 熱圏鉛直風によるプラズマバブルシーディング
3. 学会等名 平成30年度 名古屋大学太陽地球環境研究所 研究集会 STEシミュレーション研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横山 竜宏, 陣 英克, 品川 裕之, Liu Huixin
2. 発表標題 Neutral wind effects on equatorial plasma bubbles simulated by High Resolution Bubble model
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 Yokoyama, T., S. Tulasi Ram, K. K. Ajith, M. Yamamoto, and K. Niranjana
2. 発表標題 Vertical rise velocity of equatorial plasma bubbles estimated from Equatorial Atmosphere Radar observations and High-Resolution Bubble model simulations
3. 学会等名 2017 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yokoyama, T., C. L. Rino, C. S. Carrano, K. M. Groves, and P. A. Roddy
2. 発表標題 Spectral analysis of equatorial plasma bubbles obtained by high-resolution bubble model and C/NOFS satellite
3. 学会等名 XXXIInd International Union of Radio Science General Assembly and Scientific Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yokoyama, T., S. Tulası Ram, K. K. Ajith, and M. Yamamoto
2. 発表標題 Plasma bubble rise velocity estimated from EAR observation and High-Resolution Bubble model
3. 学会等名 15th International Workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yokoyama, T., C. L. Rino, C. S. Carrano, K. M. Groves, and P. A. Roddy
2. 発表標題 Spectral analysis of equatorial plasma bubbles obtained by high-resolution bubble model and C/NOFS satellite
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横山 竜宏, S. Tulası Ram, K. K. Ajith, 山本 衛, K. Niranjana
2. 発表標題 数值シミュレーションと赤道大気レーダー観測による プラズマバブル上昇速度の推定
3. 学会等名 第142回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横山 竜宏, S. Tulası Ram, K. K. Ajith, 山本 衛, K. Niranjana
2. 発表標題 数值シミュレーションと赤道大気レーダー観測による プラズマバブル上昇速度の推定
3. 学会等名 第11回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横山 竜宏
2. 発表標題 プラズマバブルシミュレーションの高解像度化
3. 学会等名 STEシミュレーション研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yokoyama, T., R. F. Pfaff, C. Stolle, and S.-Y. Su
2. 発表標題 Sub-kilometer simulation of equatorial plasma bubble and comparision with satellite observations
3. 学会等名 2016 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yokoyama, T
2. 発表標題 High-resolution modeling of equatorial plasma bubble
3. 学会等名 ISEE Workshop on Ionospheric plasma bubble seeding and development (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yokoyama, T., H. Jin, and H. Shinagawa
2. 発表標題 Global and regional ionospheric modeling to understand equatorial plasma bubble
3. 学会等名 The 4th Asia Oceania Space Weather Alliance Workshop (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yokoyama, T., and C. Stolle
2. 発表標題 Numerical simulation of magnetic field variation associated with equatorial plasma bubble
3. 学会等名 2016 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 横山 竜宏
2. 発表標題 電離圏バブルモデルの課題と展望
3. 学会等名 PSTEP研究集会 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 2017年

1. 発表者名 横山 竜宏, Robert F. Pfaff, Claudia Stolle, Shin-Yi Su
2. 発表標題 高精度プラズマバブルシミュレーションと衛星観測との比較
3. 学会等名 第140回 地球電磁気・地球惑星圏学会講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 横山 竜宏, 陣 英克, 品川 裕之, Claudia Stolle
2. 発表標題 高精度プラズマバブルシミュレーションと地上・衛星観測との比較
3. 学会等名 第10回MUレーダー・赤道大気レーダーシンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 横山 竜宏, 陣 英克, 品川 裕之, Claudia Stolle
2. 発表標題 高精細プラズマバブルシミュレーションと地上・衛星観測との比較
3. 学会等名 平成28年度 名古屋大学太陽地球環境研究所 研究集会 STEシミュレーション研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 横山 竜宏, Claudia Stolle
2. 発表標題 赤道プラズマバブルに伴う磁場変動の数値シミュレーション
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2016年大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Editors: Claudia Stolle, Nils Olsen, Arthur D. Richmond, Hermann Opgenoorth	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer Netherlands	5. 総ページ数 626 (495-519担当)
3. 書名 Earth's Magnetic Field	

〔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
---------	---------------------------	-----------------------	----