

令和元年6月19日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06347

研究課題名(和文) 低緯度地域における流星バースト通信の実証実験

研究課題名(英文) Demonstration Experiment of Meteor Burst Communications in Equatorial Region

研究代表者

和田 忠浩 (WADA, TADAHIRO)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：00303529

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：流星バースト通信は、宇宙塵が地球に突入する際に発生する流星バーストによる低VHF帯電波の反射現象を利用した見通し外通信である。本研究では、低緯度地域での流星バースト通信の通信性能を検証するため、インドネシア、ガジヤマダ大学・ウダヤナ大学との共同研究として本通信方式の実証実験を行った。実証実験では、特に雑音電力特性、パケット伝送特性、および通信路性能に関して検証を行った。パケット伝送特性については、現地時間の明け方に多くの通信が達成できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで低緯度地域の流星バースト実験は行われておらず、本研究において低緯度地域において流星バースト通信が実現できることを実証できたことは、その意義が大きい。また、低緯度地域での流星バースト通信路の特徴についても検証できたことも意義が高い。流星バースト通信では、そのリモート局は電力を多く必要とせず太陽電池でも稼働できるため、電力インフラや通信インフラが未発達な地域で利用できる通信手法である。そのため、インドネシアのようなインフラが未発達な地域が多い国での応用が期待でき、社会的意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：When meteors enter into the Earth's atmosphere, ionized gas columns, which are called meteor bursts, are generated by friction with the atmosphere. Meteor Burst Communications (MBCs) are beyond Line-of-Site communication methods using reflection phenomena of low VHF band waves by the meteor bursts. In collaboration with Gadjah Mada University and Udayana University in Indonesia, we have conducted MBC experiments at Indonesia to obtain communication performance in equatorial regions. We have investigated noise characteristic, packet transmission performance, nature of the meteor burst communication channel, and so on. In this experiment, we have confirmed that most of successful packet transmissions could be found at dawn.

研究分野：情報通信工学

キーワード：流星バースト通信 低緯度地域 インドネシア

### 1. 研究開始当初の背景

地球には一日に約 1 兆個の宇宙塵が降り注いでいる。この宇宙塵が地球に突入する際、高度 80km から 120km において長さ数 10km の細長い電離気体柱(流星バースト)が生成される。流星バースト通信(MBC)は、この流星バーストによる低 VHF 帯電波の反射現象を利用した見通し外通信である。流星バースト通信の実験や応用は主に高緯度地域や中緯度地域で行われている。低 VHF 帯の電波を利用する MBC は、極冠吸収などの影響を受けやすい HF 通信に比べて高緯度地域において有利である言われている。また南極で行われた実験では、流星バースト以外の伝搬モードであるオーロラの影響が指摘されている。さらに、中緯度地域での MBC 実験においてはスプラディック E 層の影響が報告されている。その一方、これまで低緯度地域での流星バースト通信の実験例はこれまで報告されていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、低緯度地域での MBC の通信性能を検証するためにインドネシアにおいて MBC 実験を実施する。はじめに、インドネシアにおける実験を円滑に進めるため、共同実験先であるインドネシアの大学と十分な打ち合わせを行い実験箇所を選定するとともに、雑音特性を測定する。そして、実験に支障が無いことを確認するための予備実験を行う。その結果を検証した後、本格的に MBC 実験を実施する。

### 3. 研究の方法

本研究で構築する実験局の形態をデータ収集通信局とし、図 1 に示すようにデータを収集する局をマスタ局、データをマスタ局に送信する局をリモート局と呼ぶ。本実験はインドネシアの Yogyakarta にあるガジャマダ大学と、Jimbaran, Bali にあるウダヤナ大学との共同研究として実施し、ガジャマダ大学にマスタ局を、ウダヤナ大学にリモート局を設置した(図 2)。

利用した MBC 用の無線モデムは MRC565 (Maidem Rock Communications 社) である。実験で用いた搬送波周波数は 48.375 [MHz] であり、ビット速度を 4 [kbps]、変調方式を DEPSK、送信電力を 100 [W] に設定した。両通信局で用いるアンテナを 3 素子八木アンテナとし、方位角を互いに対向、仰角を 18 度になるよう設置した(図 3)。

本実験の予備実験を 2016 年 5 月に行い、その結果を検証した上、2017 年 8 月から本格的なデータ伝送実験を開始した。

本実験でのパケット伝送手順は以下の通りとした(図 4)。

- (1) マスタ局は一定間隔でプローブパケット(Probe Packet: PP)を送信する。
- (2) リモート局が PP を受信できた場合、リモート局は流星バースト通信路が確立されたと判断し、マスタ局に向けデータパケット(Data Packet: DP)を送信する。
- (3) マスタ局がリモート局からの DP を受信した場合、マスタ局はリモート局に対して確認応答パケット(Acknowledgement Packet: AP)を送信する。
- (4) リモート局がマスタ局からの AP を受信できた場合、リモート局は DP 送信が成功できたと判断し、そして次の DP を送信する。

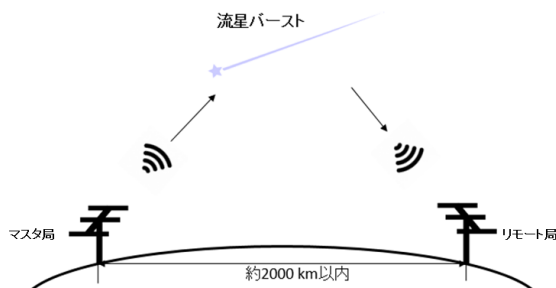


図 1 : 流星バースト通信実験の概念

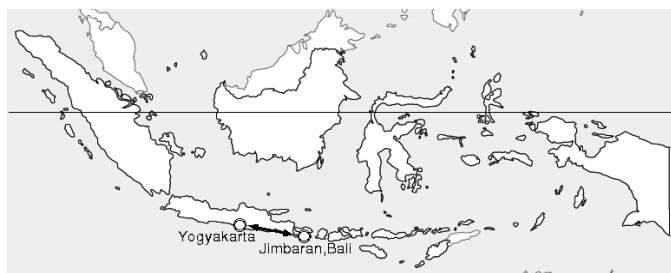


図 2 : 実験場所



図 3 : 設置アンテナ

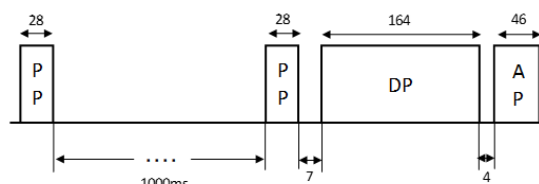


図 4 : 通信プロトコル

#### 4. 研究成果

##### (1)雑音測定結果

両通信局における雑音電力について継続的に観測した結果を図5に示す。また雑音電力の日変動の様子を図6に示す(図6中のWIBはインドネシア西部時間を表す)。観測結果より、マスタ局側の雑音電力は安定した値を示しており、月や時刻に関わらず雑音電力が比較的一定の値を示している様子が分かる。その一方、リモート局の雑音電力は値の振れ幅が大きく不安定であり、5月から9月に雑音電力が増加していることや夜間に雑音電力が増加していることが分かる。モデムの仕様から、良好に動作する望ましい雑音電力は-115[dBm]以下とされており、マスタ局側の雑音電力は、望ましい雑音電力値に対して若干大きい、雑音電力の変動が性能に与える影響は小さいと考えられる。一方リモート局側は、日時によって雑音が通信性能に大きく影響する場合があると考えられる。なお、この雑音の要因として、宇宙雑音や落雷などによる自然雑音、自動車やバイクによるイグニッション雑音、アンテナ近傍に設置されている太陽電池などが今後の詳細な検証が必要である。

##### (2)受信パケット数

図7に本実験で観測した各パケットの受信数を示す。図中の「PP」はリモート局で受信できたPPの数、「DP」はマスター局で受信できたDPの数、「AP」はリモート局で受信できたAPの数を意味し、図の縦軸は各時間帯の1時間以内に観測されたパケット数を観測期間で平均したものである。本図より受信パケット数は時間帯に大きく依存することがわかる。PP受信数は特に午前6時から午前9時までの時間帯に多く、その数は一時間あたり15を超える様子が読み取れる。DPやAPについても午前7時から午前9時までの時間帯に多く、他の時間の倍以上のパケットが受信できていることが分かる。このように流星バースト通信は明け方に通信成功する傾向にあることが分かる。

図8は各時間帯におけるPPに対するDP受信率を示したものである。図よりPPに対するDP受信率は大きくても25%程度であり、つまりリモート局がPPを受信しDPを送信しても、半分以上のDPがマスター局で受信できていないことが分かる。またDPの受信率は夜間よりも昼間の方が高い傾向があることが分かる。これはリモート局側の雑音電力の変動に起因すると予想されるが、詳細な検証が必要である。

図9はDPに対するAP受信率を示したものである。本図よりPP受信率はおよそ90%を超えており、マスター局がDPを受信しAPを送信した際、そのAPは極めて高い確率でリモート局で受信できていることが分かる。

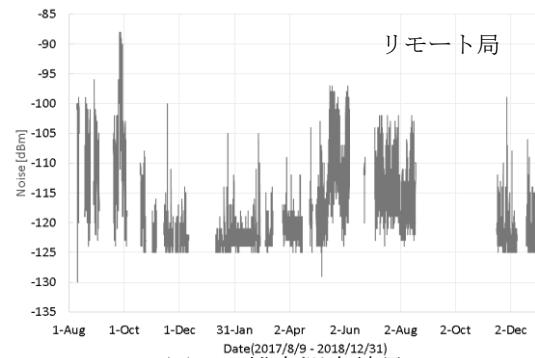
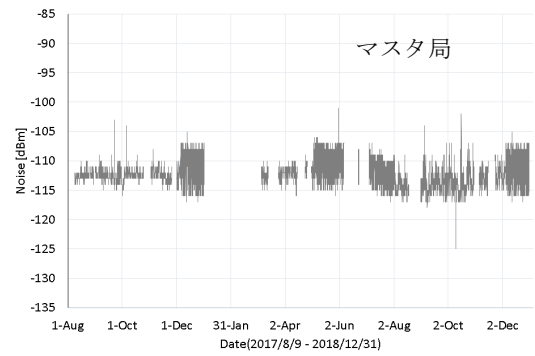


図5：雑音測定結果

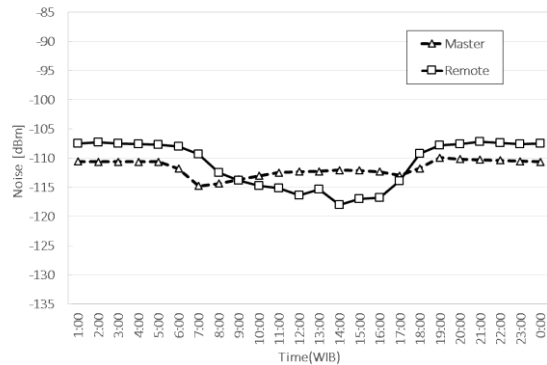


図6：雑音の日変動の様子

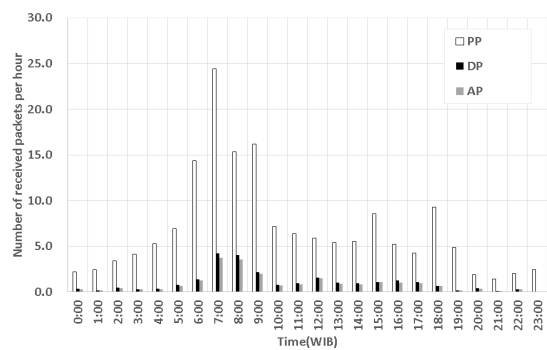


図7：受信パケット数

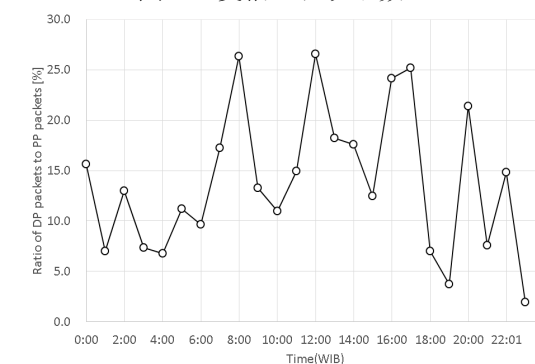


図8：PPに対するDPの割合

### (3) 雑音電力と PP 受信数の関係

図 10 はリモート局側の雑音電力に対する、リモート局での一時間あたりの PP 受信数を示している。本図より、雑音電力が大きくなると PP 受信数が減少し、リモート局側の雑音電力が $-113$ [dBm]を超えると、ほぼ PP が受信できないことが分かる。このことから、リモート局側の雑音電力は $-113$ [dBm]を超えないような状況にすることが望ましいことが分かる。

### (4) 通信路継続時間特性

流星バースト通信路は電離気体の拡散により数百[ms]程度で消滅し、その通信路の継続時間はほぼ指数分布をなすと言われている。利用したモデムは、流星バースト通信路のおおよその継続時間を推定する機能があり、その値を $100$ [ms]の分解能で出力する。

図 11 は流星バースト通信路の継続時間毎の発生頻度を示したものである。ここで、例えば継続時間 $50$ [ms]とは、通信路の継続時間が $0$ [ms]以上 $100$ [ms]未満であることを意味する。本図より、 $(50$ [ms]のデータを除いて)、グラフの値がほぼ直線上に乗っていることがわかる。このことから通信路の継続時間が指数分布と仮定することが妥当であるといえる。この結果を用い回帰分析を行うことで継続時間の平均値が求められ、その値は $152.9$ [ms]である。

図 12 は雑音電力と通信路継続時間の関係を示したものである。通信路継続時間は雑音電力にほとんど依存しないことが分かる。図 4 に示したプロトコルより、通信が完了するためには PP、DP、AP をすべて受信する必要がある、それに必要な時間はおよそ $250$ [ms]である。図 11 から通信路継続時間が $250$ [ms]以上の通信路の発生確率はおよそ $10\%$ であることが分かり、この結果は図 8, 9 で示した PP、DP、AP の受信率と大きな関係があることが推察できる。

### (5) 通信路のピーク電力

本実験で利用したモデムは、流星バースト通信路で得られる受信信号のピーク電力を観測する機能がある。観測できる最小のピーク電力は $-119$ [dBm]であり、その分解能は $5$ [dB]である。図 13 は PP 受信におけるピーク電力の統計量で相補累積分布で表示したものである。本図より、受信ピーク電力が $-100$ [dBm]を下回るものがほぼ $90\%$ であることがわかる。この結果と通信路継続時間の結果を比較すると、通信完了に必要なピーク電力は $-100$ [dBm]を超える必要があることが推察される。

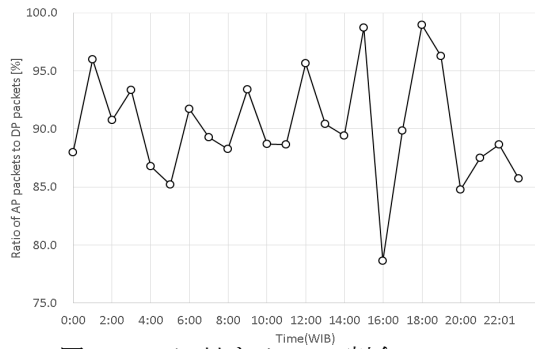


図 9 : DP に対する AP の割合

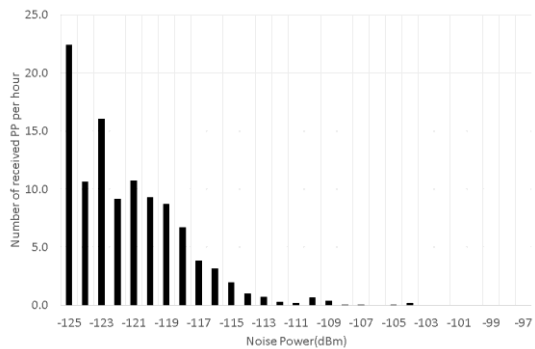


図 10 : 雑音電力による PP 受信数

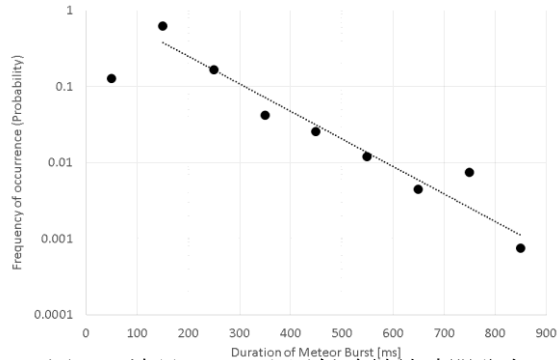


図 11 : 流星バースト通信路継続時間分布

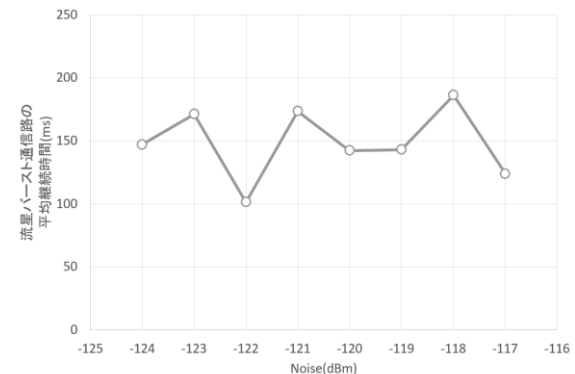


図 12 : 雑音電力と通信路継続時間の関係

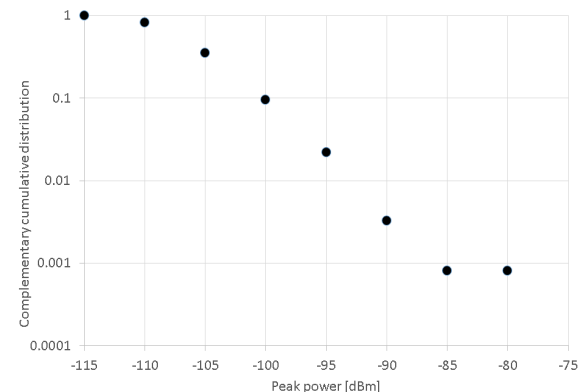


図 13 : 通信路ピーク電力分布

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① T. Wada, K. Mukumoto, H. Wadaguchi, I. W. Mustika, Linawati, Preliminary Experiment of Meteor Burst Communications in Equatorial Region, IEICE Communications Express, 査読有, Vol. 7, No. 2, pp. 43-47, 2018  
DOI: <https://doi.org/10.1587/comex.2017XBL0136>

[学会発表] (計 4 件)

- ① 和田忠浩 他、低緯度地域における流星バースト通信実験に関する一報告、電子情報通信学会ワイドバンドシステム研究会、WBS2019-5、2019  
② 石原康、椋本介士、和田忠浩、他、流星バースト通信用パケット検出法の性能評価に関する一検討、電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-8-11、2017  
③ 飛田駿、椋本介士、和田忠浩、流星バーストチャネルへのターボ符号の適用に関する一検討、電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-8-10、2017  
④ 和田口寛記、椋本介士、和田忠浩、インドネシアにおける予備的流星バースト通信実験の報告、電子情報通信学会ソサイエティ大会、B-8-9、2017

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名： I Wayan Mustika

ローマ字氏名： (I Wayan Mustika)

研究協力者氏名： Linawati

ローマ字氏名： (Linawati)

※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。