

平成 22 年 6 月 9 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19560404

研究課題名（和文）南極域と中緯度地域における流星バースト通信路の特性比較

研究課題名（英文）

Comparison of Meteor Burst Channel properties in Antarctic and Middle latitude

研究代表者

長澤 正氏（NAGASAWA MASASHI）

沼津工業高等専門学校・電子制御工学科・教授

研究者番号：70228005

研究成果の概要（和文）：

流星バースト通信とは流星が大気突入する際に生成される電離気体に電波を反射させて見通し外通信を実現する通信方法である。南極での観測データの収集に流星バースト通信の応用が検討され 2002 年から約 3 年間、通信路の観測実験が行われた。観測結果には極域特有の興味深い性質が含まれているが、比較のための中緯度の長期観測データが不足していた。そこで全国高専を拠点に流星バースト通信路の観測網を構築した。これまで得られた 1 年弱の観測データにより南極観測データとの比較を行った。

研究成果の概要（英文）：

When meteors enter the earth's atmosphere, they provide ionized trails capable of reflecting VHF radio signal. Meteor Burst Communication (MBC) is one of beyond line of sight radio communication using this trail. Some experiment regarding MBC was performed in Antarctic for three years since 2002. It is guessed that the observation result contains peculiar properties of polar region. However, the observational data in mid latitude region for the comparison is insufficient. Then, the observation network of MBC channel is constructed based on Technical College (KOSEN), and the properties of MBC channel is compared between polar region and mid latitude.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	600,000	180,000	780,000
2008 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009 年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：通信工学

科研費の分科・細目：5104

キーワード：流星バースト通信，MBC，電波伝搬，通信プロトコル，南極，
スプラディック E 層，見通し外通信，データ収集

1. 研究開始当初の背景

(1) 流星バースト通信 (Meteor Burst Communication : MBC) とは、大気圏へ突入した宇宙の塵が燃える過程で発生する電離気体柱による VHF 帯電波の反射現象を利用した通信方式である。最大 2,000km の見通し外通信を可能とし、人工衛星通信システム等と比較し極めて安価に見通し外通信システムを実現することができる。リアルタイム性の求められる通信には適さないが、通信インフラが整っていない僻地や離島などにおける気象データ等の小容量の通信には非常に有効とされている。流星バースト通信を利用している実例として、アメリカのロッキー山脈における積雪量観測データ収集システム SNOTEL (SNOWTElemetry) が挙げられる。

(2) 国立極地研究所が目指している南極大陸無人多点観測では、観測されたデータを遠方の観測点から昭和基地まで無線伝達する必要がある。観測点のいくつかは昭和基地からの見通し外に位置する可能性があるため、流星バースト通信の利用が検討された。2002年から2004年にかけて行われた南極における流星バースト通信路観測実験の結果より通信路に極地特有の性質を示唆する興味深い結果が得られている。

(3) 極地特有の性質を明らかにするために中緯度においても長期の連続した観測が必要であるが、日本国内において1年を通じて連続した実験は行われたことがなかった。静岡大学の実験システムは担当教授の退職とともに2007年より休止している。

2. 研究の目的

全国高専、大学の協力を得て、流星バースト通信路の実験および観測網を構築し、通信路の長期観測を行い、南極域と中緯度における流星バースト通信路の性質を明らかにすることである。また、南極域で発生するオーロラ現象と関連が示唆される流星以外の伝搬現象および中緯度でのスプラディック E 層伝搬の流星バースト通信路への影響を明らかにする。最終的にはそれら観測データをもとに効率の良い通信プロトコルを提案するための基礎データを得ることにある。

3. 研究の方法

北海道大学の送信局から VHF 帯の無線信号 (単一正弦波) を送信し、国内各地で受信し記録する。各地の受信信号から通信路の発生時刻と継続時間および信号強度を抽出し通信路の性質を解析する。

(1) 観測網の構築

日本全国の観測観点に観測装置を設置する。観測網の構築は以下の順で実施する。

- 観測点の候補地の検討
- 候補地での予備実験
- 実験機器の開発
- 無線試験実験局の免許取得
- 観測機器の設置
- 観測開始

(2) 観測方法

送信局から 1050Hz のトーン信号を搬送波周波数 48.37115MHz で USB 変調した無線電波を図1のように10分間隔で3分間送信する。観測地では信号の受信を以下の図のように行い、PCのサウンドボードでA/D変換を行い、通信路の発生時間、継続時間、信号強度を記録する。受信局では送信時間外にも、周囲ノイズを測定するために3分受信の後1分間周囲ノイズの録音を行う。

各地の観測データは随時インターネット



を介して沼津高専のサーバに送られ蓄積される。

図1 送受信のタイミング

(3) 通信路特性の解析

無線機からの AF 信号を解析 PC で録音 (16bit サンプリング周波数: 8kHz) する。録音は10分間隔で、信号送信時間の3分間 (録音1) とノイズ測定のための1分間 (録音2) の2つを行う。次に2つの録音ファイルを、通過帯域 950Hz ~ 1150Hz のバンドパスフィルタ (BPF) に通し 8msec 毎に2乗平均する (BPF には次数 256、阻止域減衰量 50dB の FIR フィルタを用いる。)。このときのそれぞれの受信電力を信号電力として保存する。次に録音2の信号電力から求めた平均ノイズ電力を録音1の信号電力から減ずる。この減じたデータを受信信号電力とする。次にあらかじめ設定した基準レベルを元に設定したスレッシュホールド (3dB ~ 10dB) と受信信号電力を比較し、受信信号の有無を 8msec 毎に判定する。そして判定が 32msec 以上スレッシュホールドを超えた場合、超え始めたところから通信路発生とする。一方判定が 32msec 以上スレッシュホールドを下回った場合は、下回り始めたところから通信路消滅としている。最後に各スレッシュホールドに対する発生時刻、継続時間、スレッシュホールド 3dB において通信路発生と判定された区間の前後 100msec を含む受信信号波形を保存する。

以上で得られた通信路の発生時刻と継続時間から、通信路発生の時刻変動、季節変動、発生間隔や継続時間の分布を求め、既取得の南極観測データと比較する。

4. 研究の成果

(1) 観測網の構築

2008年から2009年にかけて北海道大学、一関高専、都立産技高専、阿南高専、都城高専および沼津高専が観測場所として適するか調査を行った。最終的に観測地点として、ノイズ環境や協力の得られる機関という観点から、送信は北海道大学、受信は阿南高専を除く前述の4高専に決定した。さらに、2009年から静岡大学が観測を再開し、また2010年からは防衛大学校が加わるようになった。各観測地の位置と距離を下図に示す。

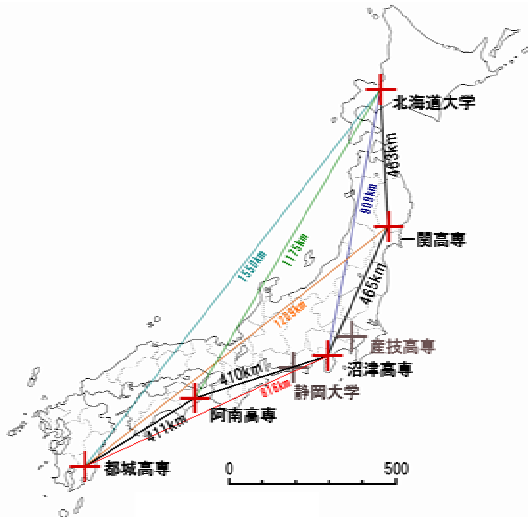


図2 流星バースト通信路観測網

(2) 無線機器の開発

無線機器の仕様書を作成、株式会社インターテックに発注し、3台の実験装置を製作した。この装置にはシングルボードコンピュータが内蔵され、インターネットを介して遠隔からの装置の操作およびデータ収集が可能となった。開発した装置の外観を図3に、無線局の仕様を表1に示す。2008年10月に既存の旧型1台とともに合計3台の機器について、無線試験実験局としての審査を受け、総務大臣名の免許を取得した。



図3 装置の外観

(3) 設置および観測実験

下記に示す順で機器の設置と観測を開始

した。

- 2008/12 北海道大学に送信局を設置
- 2008/12 沼津高専、産技高専受信開始
- 2009/1 都城高専受信開始
- 2009/4 静岡大学観測再開
- 2009/7 一関高専受信開始
- 2009/7~10 防衛大学校予備実験実施
- 2010/2 都城高専撤回

2008年末に観測を開始するが時刻同期等の問題があり4月より本格的なデータが得られるようになった。

表1 無線試験実験局の仕様

設置場所	北海道大学, 一関高専 産技高専, 沼津高専 静岡大学, 都城高専
機器名称	IT5000N (インターテック)
送信電力	100[W]
送信周波数	48.375[MHz]
空中線	5素子八木
電波の形式	G1D
周波数範囲	15KHz
内蔵PC	CPU: Geode LX800 500MHz メモリ: 500Mb HDD: IDE3.5" 入出力ポート: Audio In/Out, LAN x 2, RS232C, USB x 4, VGA OS: Linux Debian etch

(4) 観測結果

観測は現在も継続中であり解析も進行中であるが、現在までの解析結果について以下に述べる。

札幌・沼津間観測結果

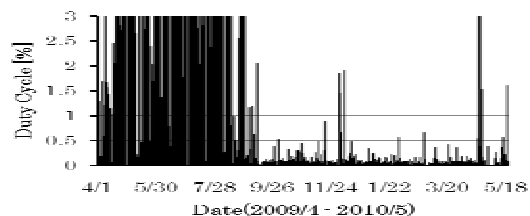
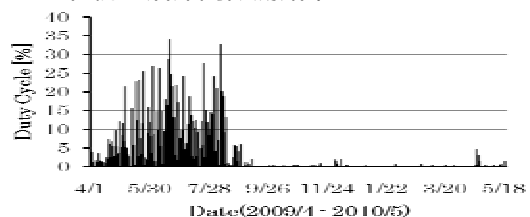


図4 1年間のDuty比の変動 札幌・沼津

本稿では札幌・沼津間の観測結果について述べる。図4に毎日のDuty比(Duty cycle)の変動を示す。ここでのDuty比とは、トーン送信時間に対する通信路の発生している

割合である。過去の実験から流星バースト通信路の Duty 比は 0.5%程度であることが知られているが、2009 年の 5 月から 8 月にかけては Duty 比の大きな日が頻繁に現れている。

日本の夏季には突発的にスプラディック E 層 (Es 層) が出現し VHF 帯の電波が遠くに伝搬することが知られている。Duty 比の大きな日は、Es 層伝搬が発生している。Es 層は流星バーストと同じ高度に発生するため、流星バースト通信路は Es 層反射通信路の陰に隠れることになる。国内の流星バースト通信路は予想以上に Es 層反射の影響を受けていることが判った。

図 5 は 1 日の時刻変動を月ごとに示したものである。図に示されるように Es 層伝搬はほとんどが昼間に発生し、1 日 2 回のピークが現れている。

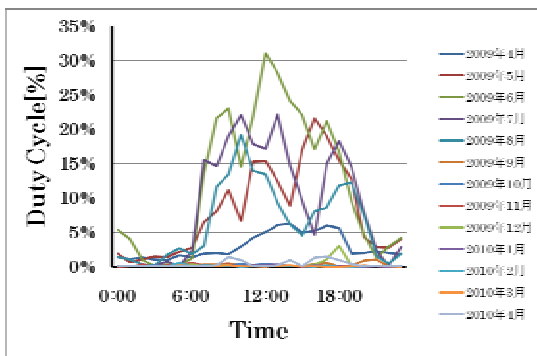


図 5 Duty 比の日変動 札幌・沼津

流星バースト通信路のみの性質を明らかにするために、観測データから Es 層伝搬を除去する。図 6 は Es 層反射が無かった日のみを抽出して 1 日の時刻変動を示したものである。

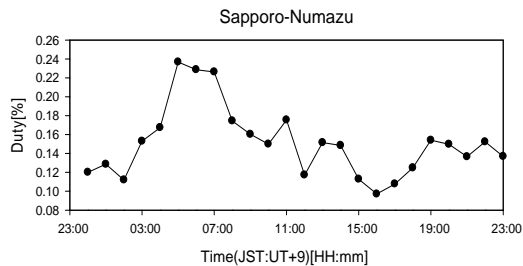


図 6 流星バースト通信路の時刻変動 札幌・沼津

流星は地球の軌道上に散在する塵が地球に落下することである。地球の面が公転方向にあるとき多く落下することは容易に推測できる。実際、過去の実験においても通信路の発生は、明け方多く夕方少ないという結果が報告されている。この観測においても同様の結果が得られた。

図 7 は流星バースト通信路の季節変動を示す。この図では流星バースト通信路を抽出するために、Es 層伝搬が極めて少ない朝 6 時台を抽出し、さらに Es 層伝搬を除くためにその時間帯で Duty 比が 8%を越える観測区間を検出した日を除いて季節変動を求めた。

図に見られるように夏季に多く冬に少ないという結果が得られた。他の研究において流星雨などの特殊な場合を除いた、散在流星の数は夏に多いという報告があるが、この図はこれを裏付けるものとなった。しかし、Es 層伝搬も夏季に多いことから、Es 層伝搬を除去しきれていない可能性も拭えず、今後、他の地点の観測を含めての検証が必要である。

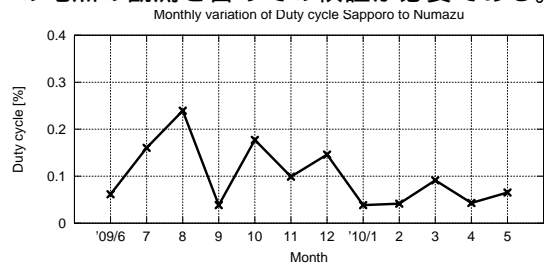


図 7 流星バースト通信路の季節変動 札幌・沼津

その他の観測点での観測結果

その他の地点での観測結果の解析を随時進めているが、以下に解析の一部を示す。

図 8 は札幌・都城間および沼津・都城間の季節変動である。図の破線 (下部に位置する線) に見られるように、札幌・都城間は長距離のせいか、ほとんど通信路が検出されていない。そこで、並行して沼津から送信し都城で受信する実験を行った。図の実線は沼津・都城間の季節変動である。この結果にも緩やかな季節変動があるが、札幌・沼津間と同じ様に変動していない。

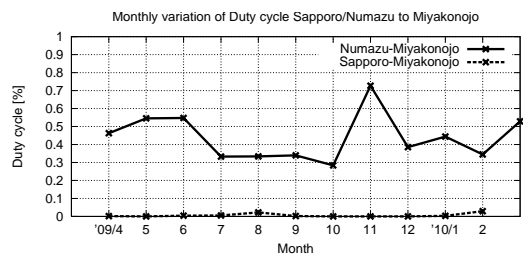


図 8 流星バースト通信路の季節変動 札幌/沼津・都城

2009 年 9 月から観測を開始した一関高専の観測結果を図 9 に示す。他の観測点に比べ距離が短いためか、比較的高い Duty 比が得られている。まだ、1 年経過していないが図では夏季に大きくなる傾向がみられる。

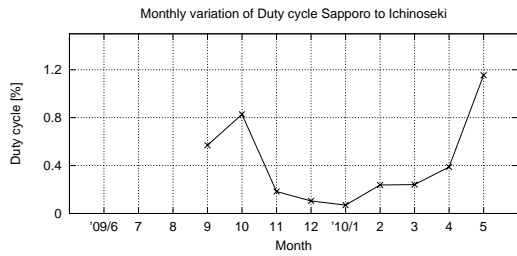


図9 流星バースト通信路の季節変動 札幌・一関

南極観測の結果

第43~45次南極観測隊により、流星バースト通信を用いた南極における無人観測網構築の可能性とその能力を検討するため、2002年4月から2004年12月にかけて南極大陸において流星バースト通信路の観測実験を行った。

運用した無線局の仕様および実験の内容は、前述の国内とほぼ同等で、送信は中山基地（中国所属）、受信は昭和基地である。昭和基地-中山基地の直線距離は約1,400kmである。図10に昭和基地と中山基地の位置関係を示す。

図11は1日のDuty比の平均を毎日に1年間プロットしたものである。図に見られるように大きなDuty比を示す日が頻りに現れている。調査の結果、中緯度におけるEs層伝搬のように、流星以外の要因で長時間通信路（非流星伝搬）が発生していることが判った。この伝搬現象はオーロラ現象との関連が示唆されているが、原因や発生メカニズムなどは明らかになっていない。

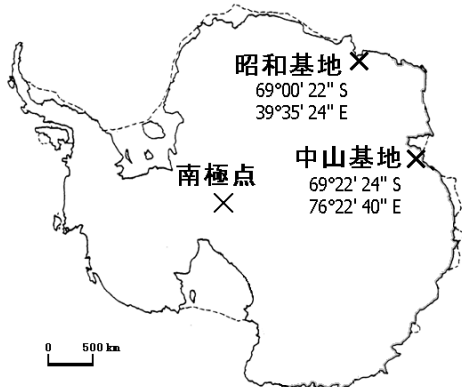


図10 流星バースト通信路南極観測

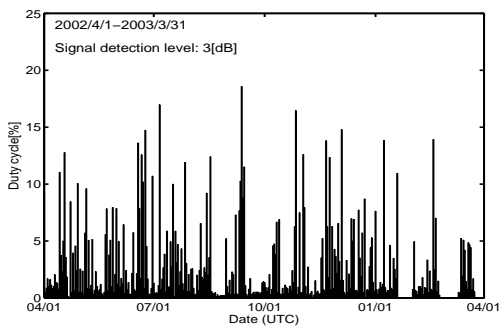


図11 1年間のDuty比の変動 中山・昭和

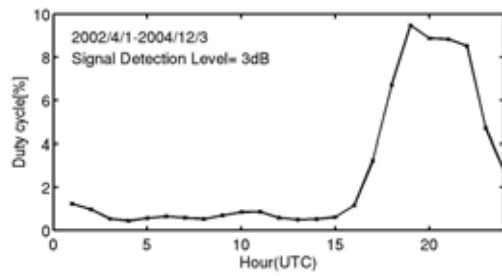


図12 Duty比の時刻変動 南極

図12は時刻変動である。この図から非流星伝搬は18時頃から24時頃にかけて発生し20時頃に最も多く発生していることが分かる。次項では流星バースト通信路のみを抽出して中緯度との比較を行う。

南極と中緯度の比較

図13は南極と国内（札幌・沼津間）のDuty比の時刻変動を示したものである。図は比較のために日本は地方時、南極は中山基地と昭和基地の中間の位置の地方時で示してある。

図の破線で示されるように南極では1時から3時にかけてピークが現れ、また5時および21時頃にDuty比は減少傾向にあることが分かる。

日本などの中緯度域では地表面が公転方向に位置するため、図にみられるように地方時で朝方午前6時頃にDuty比が極大を迎える。中山基地と昭和基地の中間点の明け方は地方時午前3時から5時にあたるが、3時のピークは中緯度域と比較して若干早い時間となっている。この変動が中緯度域に見られる現象と同様の原因によるものか、観測結果のゆらぎの範囲なのか判断するには、更なる長期の観測と季節等による差異を含めた詳細な研究が必要である。

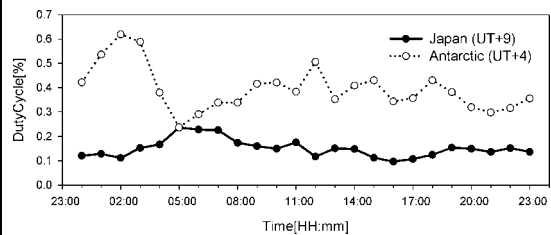


図13 Duty比の時刻変動

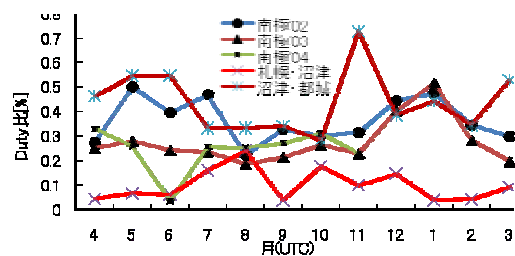


図14 Duty比の季節変動

図 14 は南極観測における 2002 年度から 2004 年度まで 1 年度ごとの南極と札幌・沼津間、沼津・都城間の Duty 比の季節変動を示している。南極の観測結果の各年度に共通な顕著な変動は見られなかったものの、12 月から 1 月にかけて Duty 比が大きくなるという兆候が見られた。夏に多い札幌・沼津間よりも沼津・都城間の変動に類似性が見られる。季節変動が公転軌道上の散在流星の密度の差異だとすれば、観測位置による影響はないはずである。非流星伝搬が十分に除去できていない可能性もあり、それらが除去されているか十分な検証が必要である。また、多点かつ数年にわたる長期の観測が必要である。

今後、流星バースト通信路の観測を続けその性質を明らかにし、効率のよい通信プロトコルの提案をしていく。

謝辞

観測機器の設置場所を提供いただいた北海道大学・低温研の白澤邦男教授、一関高専の管隆寿講師、阿南高専の松本高志准教授、都城高専の樋渡幸次准教授に深く感謝する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

善養寺薫、梅原直也、池田慶太、齋藤孝平、河野哲也、長澤正氏、若林良二、流星バースト通信路観測システムの構築、沼津高専研究報告 第 43 号、pp.97-102、2009、無

〔学会発表〕(計 8 件)

善養寺薫、梅原直也、長澤正氏、樋渡幸次、若林良二、高専を拠点とした流星バースト通信路観測網の構築、第 14 回高専シンポジウム in 高知、2009.1、高地
善養寺薫、梅原直也、椋本介士、若林良二、長澤正氏、国内における流星バースト通信網観測システムの概、2009 年電子情報通信学会大会講演論文集、Vol.2009、通信 1、Page.315、2009.3、松山
藤木雄大、若林良二、善養寺薫、梅原直也、長澤正氏、椋本介士、産技高専における流星バースト通信システムの構築、平成 20 年度電子情報通信学会東京支部学生会、2009.3、東京

梅原直也、善養寺薫、若林良二、椋本介士、長澤正氏、国内における VHF 帯伝搬路の性質、平成 20 年度電子情報通信学会東京支部学生会、2009.3、東京

善養寺薫、梅原直也、若林良二、椋本介士、長澤正氏、流星バースト通信路特性の南極と中緯度の比較、2010 年電子情報通信学会総合大会論文集、Vol.2010、通信 1、Page.260、2010.3、仙台

善養寺薫、梅原直也、若林良二、椋本介士、長澤正氏、流星バースト通信による

サロマ湖-札幌間気象データ伝送、2010 年電子情報通信学会総合大会論文集、Vol.2010 通信 1 Page.259、2010.3、仙台

藤木雄大、若林良二、善養寺薫、梅原直也、長澤正氏、亀井利久、椋本介士、トーン信号伝送による中緯度地域の流星バースト通信路比較、2010 年電子情報通信学会総合大会論文集、Vol.2010 通信 1 Page.258、2010.3、仙台

亀井利久、小野寺紀明、若林良二、椋本介士、長澤正氏、唐沢好男、トータルレコーダを用いた MBC ホットスポットの追跡、2010 年電子情報通信学会総合大会論文集、Vol.2010 通信 1 Page.257、2010.3、仙台

〔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

https://syunro.denshi.numazu-ct.ac.jp/MBC_top/index_html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長澤 正氏 (NAGASAWA MASASHI)

沼津高専・電子制御工学科・教授

研究者番号：70228005

(2) 研究分担者

若林 良二 (WAKABAYASHI RYOUJI)

都立産技高専・ものづくり工学科・教授

研究者番号：60220836

(3) 研究協力者

椋本 介士 (MUKUMOTO KAIJI)

静岡大・電気電子工学科・技術専門職員

研究者番号：00555419

白澤 邦男 (SHIRASAWA KUNIO)

北海道大学・低温科学研究所・准教授

研究者番号：50196622