

流星バースト通信による オホーツク海域環境情報収集システムの開発

高塚 徹¹、石川 正雄¹、白澤 邦男²、椋本 介士³、長澤 正氏⁴、若林 良二⁵

1. 技術部先端技術支援室
2. 低温科学研究所 環オホーツク観測研究センター
3. 静岡大学工学部
4. 沼津高等専門学校電子制御工学科
5. 東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科

はじめに

大気圏に突入する流星の経路に沿って、電離気体が発生する。この気体の発生は数秒という短い時間だが、電波の反射体となりうる。この反射体を利用した通信を流星バースト通信 (Meteor Burst Communication; MBC) と言い、通信距離が約 1,600 km 以内の二点間の無線通信を行うことが可能である。この通信は、リアルタイムのデータ通信を必要とせず、小容量の自然環境データの伝送等に有利である。これまで、ロッキー山脈中 600 地点の積雪データの収集、フィリピンの灯台監視システムなどが構築され、運用されている。さらに南極大陸での昭和基地と中山基地間、約 1,400 km でのデータ伝送実験が行われ、極域の厳寒な環境においても流星バースト通信が有力なデータ伝送・通信手段であることが示された (福田ら 2007)。

オホーツク海は、北緯 44 度から 60 度に跨り、カムチャッカ半島、シベリア、サハリン島、北海道、千島列島に囲まれた縁辺海である。環オホーツク海の観測研究を進める上で、オホーツク海を取り囲む多点観測網を構築することは急務であるが、環オホーツク観測網のデータ収集、伝送にとって流星バースト通信は特にその通信距離において最適と思われる。オホーツク海を取り囲む観測地にて収集される自然環境データは流星バースト通信のリモート局から無線送信機で発信され、マスター局の無線受信機で受信される。多点観測網を構築すれば、環オホーツクの観測データをマスター局に集約、統合することができる。その第一歩として、北海道オホーツク海沿岸サロマ湖のキムアネップ岬に設置している気象観測ステーションで収集した観測データを、流星バースト通信にて札幌の低温科学研究所に伝送する試験実験を始めた。概要を図 1 に示す。また、同時に低温科学研究所にて取得したデータをインターネット経由でやりとりするシステムの開発も始めた。そこで、サロ

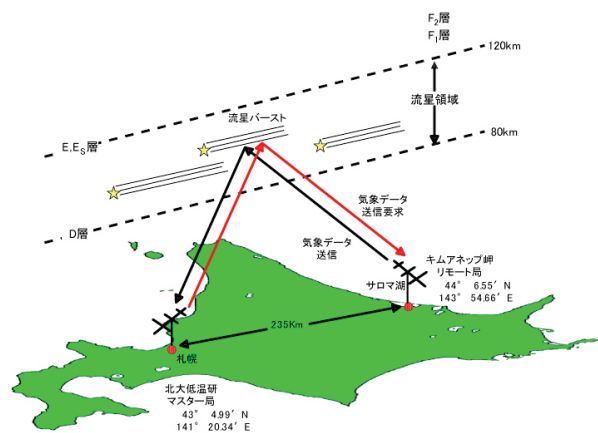


図 1 流星バースト通信システムの概観。

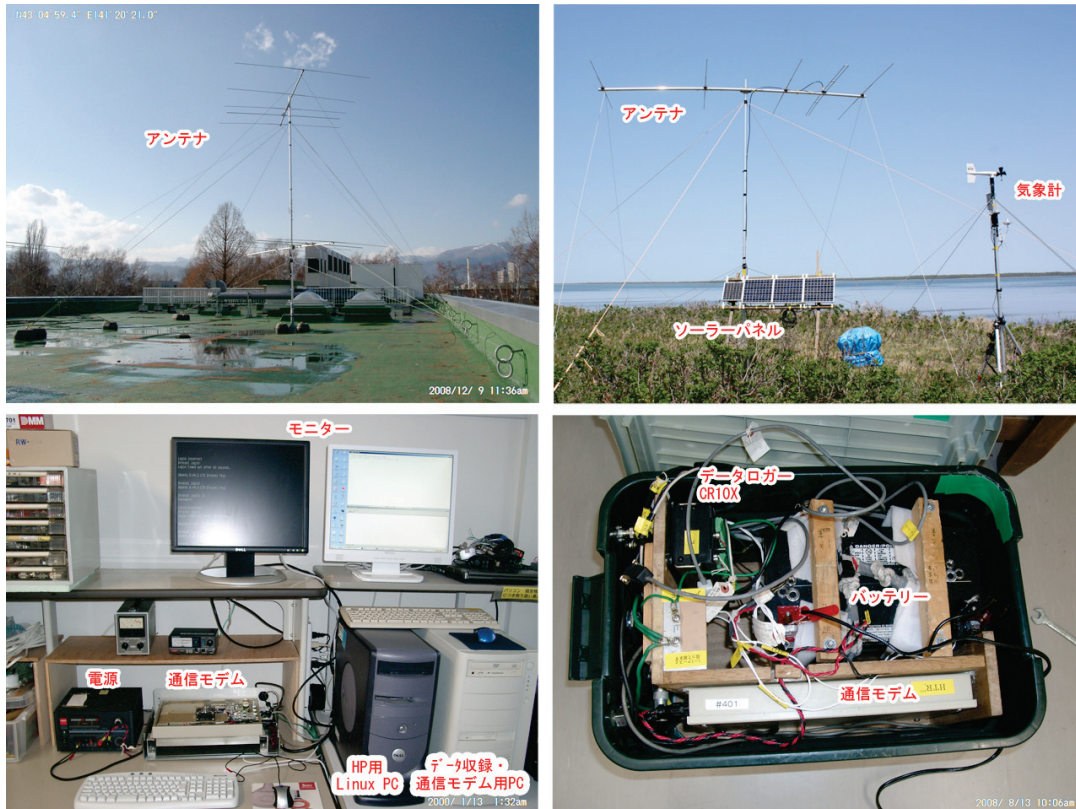


図 2 北大低温研マスター局のアンテナ（左上）とサロマ湖キムアネップ岬リモート局のアンテナとその周辺（右上）の写真。なお、マスター局の作業環境（左下）とリモート局のデータロガーも併せて載せた（右下）。

マ湖キムアネップ岬-札幌間（直線距離約 235 km）の流星バースト通信システム試験実験の結果の一部を報告する。北大低温研マスター局（札幌）とサロマ湖キムアネップ岬リモート局の写真を図 2 に示す。

流星バースト通信システムの構成

流星バースト通信は主に以下の特徴がある（Web サイトから抜粋*1）。

- ・ 通信システムが比較的安価に構築でき、運用も安上がり
- ・ デジタル通信による伝送データの信頼性が高い
- ・ 流星バーストの反射体は永久に発生、消滅を繰り返している
- ・ 傍受が殆ど不可能で通信内容の秘守性が確実
- ・ 反射効率の良い VHF 帯 40-50 MHz の電波が選ばれる
- ・ 瞬時的（0.1 秒以内）に、比較的大きい送信パワー（約 100 W）を必要とする

流星バーストは高度 80-120 km に発生するため、通信距離が約 1,600 km 以内に制限されるが、中継点を置いて連続利用することで 2,000 km 以上に延長することも可能である。

*1 (株)ハイテクリサーチ http://homepage1.nifty.com/htr/meteor_tech.html

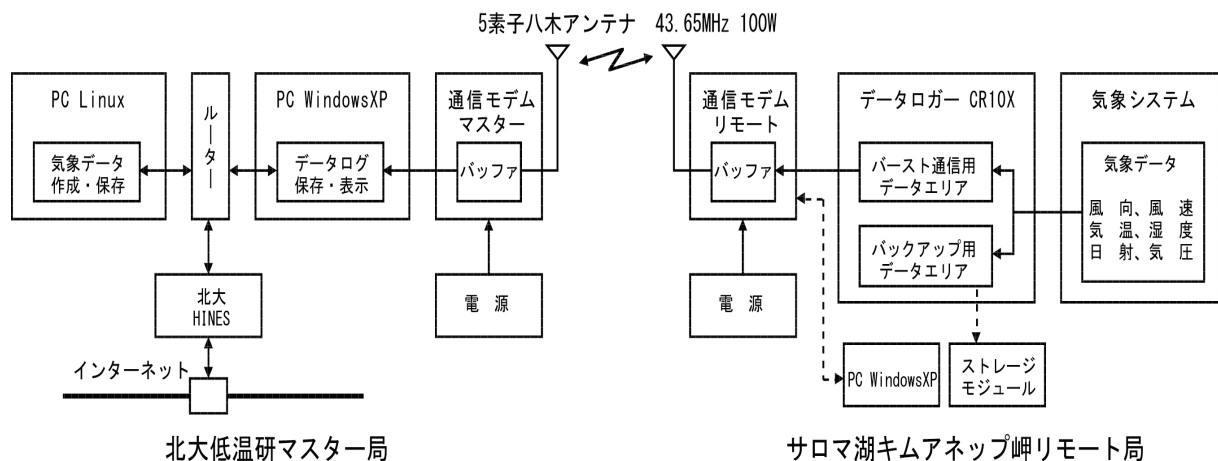


図3 流星バースト通信システムの構成。

2008年12月に北大低温科学研究所にマスター局、サロマ湖キムアネツプ岬にリモート局を設置した(図2)。二局間の直線距離は約235kmである(図1)。流星バースト通信システムの構成を図3に示す。マスター局は、5素子八木アンテナ、43.65MHzで出力する100Wの通信モデムと電源を含む無線装置、通信モデムの監視・コマンド制御・データ収録用PCとサーバから構成されている。サーバはルータを介してPCと結ばれており、北大HINES経由でインターネットに接続できるよう試験実験中である。リモート局は、マスター局と同じ無線装置、自動気象観測ステーションとデータロガーから構成されている。リモート局では通信モデムのコマンド制御やデータ収録用PCを接続して、データロガーに保存されてあるデータをダウンロードすることもできる。

データ伝送プロトコル

データ伝送のプロトコルを図4に示す。マスター局は、流星バースト通信路の有無を探索して、リモート局からデータを送信するように要求するための「プローブパケット」を常に一定間隔で送信する。リモート局は常にこの「プローブパケット」の受信待ち状態である。また、リモート局の通信モデムは、正時から5分後にデータロガーから気象データをアップロードし、バッファに気象データを含む「データパケット」を作成する。流星バーストが発生するとプローブパケットは、最初に流星バーストに当たり反射する。リモート局がこのプローブパケットを受信すると、このプローブパケットの指示に従いバッファで伝送待ち状態にあるデータパケット群の先頭のデータパケットをマスター局へ伝送する。マスター局は、データパケットを受信すると、データパケットの受信を確認したことを示す「ACKパケット (ACKnowledgement signal)」(次のデータを催促する役割も兼ね備えている)を返送する。このパケットを受信したリモート局は、伝送したデータパケットをバッファから消去する。流星バーストが消滅するかバッファにあるデータパケットが無くなるまで、これら一連のデータ伝送が行われる。データ伝送が終了するとマスター局は再びプローブパケットを送信し始め、同時にリモート局はプ

ローブパケットの受信待ち状態になる。リモート局からデータパケットの伝送中に流星バーストが消滅するとマスター局はデータパケットを受信することができない。このような場合、マスター局はプローブパケットを再送信し始め、同時にリモート局は伝送されなかったデータパケットを消去せずに再伝送待ち状態にあるが、バッファで伝送待ち状態にあるデータパケットは、作成されてから一定時間経過すると自動的にバッファから消去される。この消去時間はあらかじめ設定する必要があるので、本実験では 24 時間に設定した。

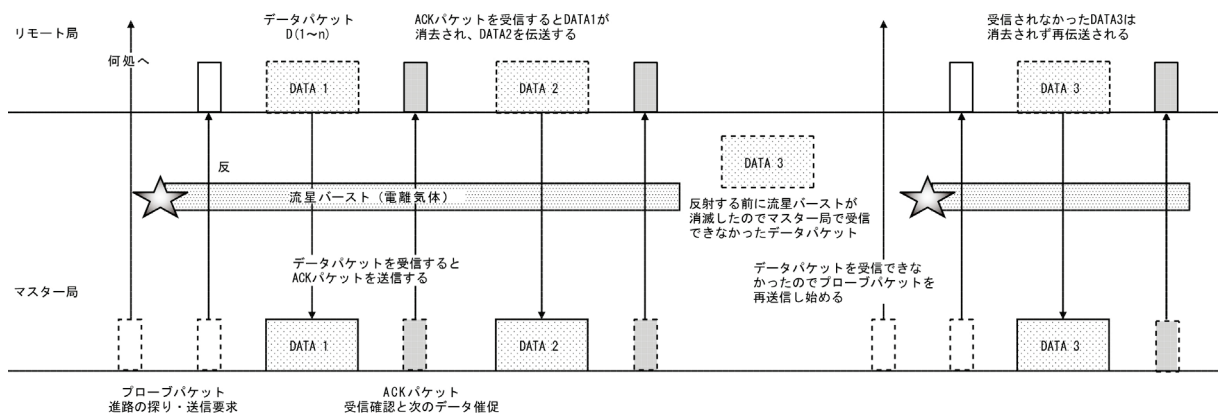


図 4 データ伝送のプロトコル。

データ収集

リモート局の自動気象観測ステーションは風向風速計、温湿度計、日射計、気圧計の計測器とデータロガー (CR10X, Campbell Scientific, Inc.) で構成されている (図 3、写真は図 2 右下を参照のこと)。CR10X のメモリ領域はバースト通信用データとバックアップ用データのエリアに分けられ、観測された気象データはプログラムによってそれぞれのエリアに振り分けられる。バースト通信用データは毎正時に観測、データロガーに記録され、正時から 5 分後に通信モデムのバッファにアップロードされる。バックアップ用データエリアには毎正時の値、10 分毎の平均値、統計値などが記録される。我々は設置した半年後にリモート局に行き、PC とストレージモジュールにデータをコピーした。データ収集は良好であり、データ振り分け、保存のプログラムも正常に機能した。マスター局では伝送されてきたデータパケットを通信モデムが受け取り、データ収録用 PC に随時転送する。データパケットを受け取った PC はその都度、データパケットをディスプレイに表示し、同時にログファイルに追記・保存を繰り返して 1 日分のログファイルを作成し保存する。サーバは PC から 1 時間ごとにログファイルを受け取り、それに書かれている最新のデータパケットから気象データを取り出して物理量の時系列ファイルを作成する。時系列データは 1 日ごとにまとめられ、サーバ内に保存される。

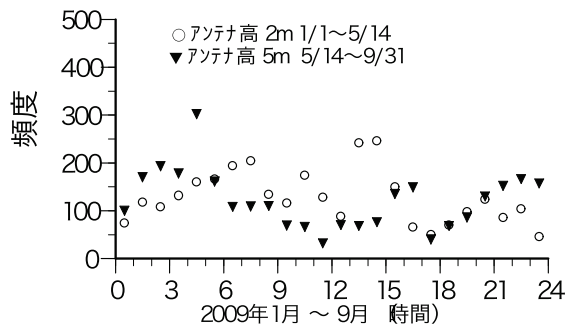


図 5 時刻別受信数。

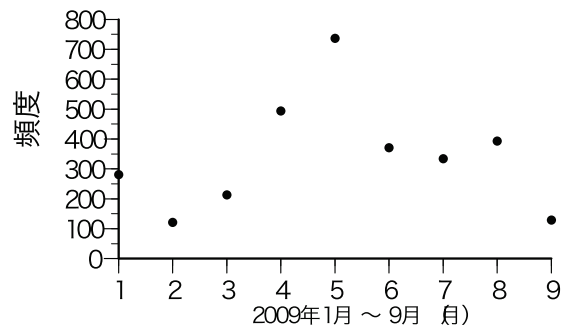


図 6 月別受信数。

データパケットの受信数

2009年1月初めから9月末までにリモート局から伝送されてきた1時間毎のデータパケット（欠落を含む）の受信時刻と、データパケットに含まれている気象データが作成された時刻を使って受信回数を調べた。5月14日にアンテナ高を2mから5mに上げたので、この前後でのデータパケット受信数の差異を調べた。図5に時刻別受信数の頻度分布を示す。アンテナ高の違いによる受信数に大きな変化は見られないが、時刻別に変動が見られた。1日毎の頻度分布では、1月から5月中旬（アンテナ高2m）では最も高い頻度が13-14時頃で250回程度、次に高いのは7時半頃で200回程度であった。5月中旬から9月末（アンテナ高5m）では最も高いのが4時半頃で300回程度、次に高いのが2時、14時、22時-23時半頃で200回程度であった。次に、図6に月別受信数の頻度分布を示す。頻度分布を見ると5月が最も多く、2月と9月が最も少なかったが、実験期間が1月初めから9月末までであり、季節変動を調べるために実験は現在も継続中である。

気象データの取得数

1時間毎の気象データが作成され、リモート局通信モデムのバッファエリアでの待ち状態からマスター局に伝送されるまでの待ち時間の頻度分布を図7に示す。待ち時間が長くなるにつれて頻度が高くなるが、最大待ち時間24時間に最頻度が現れた。次に待ち時間が24時間を越えて消去されたデータ数がどのくらいあるのかを調べた。図7のそれぞれの待ち時間に対する頻度は気象データ数に等しく、その積算数は2035になる。今回の実験期間（1月初めから9月末までの内、8日間はマスター局のPCの不具合で気象データが保存できなかった）に得られる気象データの総数は5970（1時間毎）で、保存できなかった気象データ数192（8日分）を引くと気象データの総数は5778になる。実験期間中に取得できた気象データは2035データで全体の35.2%になり、伝送されずにバッファから消去（欠落）された気象データ数は3743データ（64.8%）であった。マスター局で受信した気象データの時系列から受信気象データが作成された時間間隔のデータ数を図8に示す。欠落時間間隔が1から25時間（つまり、図7で24時間経過後に欠落した時間が1から25時間に相当し、気象データが作成されてから25時間から49時間経過したことに対応する）の積算数は2713データで、消去されたデータ数の72.5%にな

る。仮に設定を「49 時間でバッファから消去」とした場合、得られる気象データは 4748 データ（82.2%）と推測される。

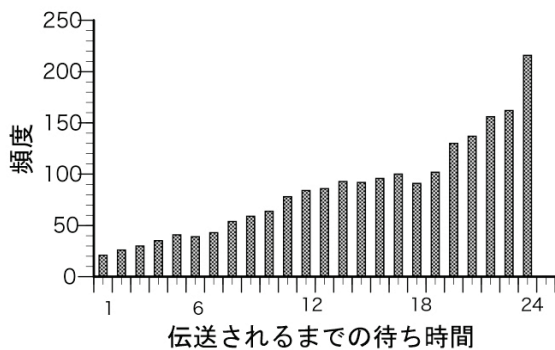


図 7 伝送されるまでの待ち時間。横軸は待ち時間で、リモート局で待ち時間が 24 時間を超えるとバッファから自動消去する設定なので、最大 24 時間である。縦軸は各時間帯に伝送された頻度（回数）を表している。

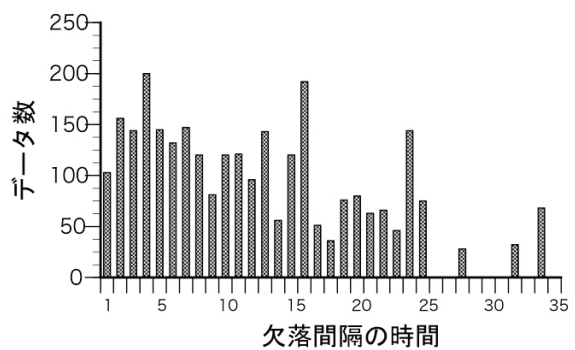


図 8 マスター局で受信したデータの欠落間隔。横軸は作成された気象データが欠落した時間間隔で、縦軸は各時間間隔で欠落したデータ数を表している。

問題点と今後の課題

流星バースト通信を確立するにあたり、設置場所が流星バーストの多発地域なのか、通信局の設置場所の地理的条件は良いのか、通信局間が比較的近い距離（札幌ーサロマ湖間）での通信が確立されているか、などを調べるには電波の受信数が指標となる。今回の 9 ヶ月の実験期間では、伝送されて来るデータパッケージが非常に少ないことがわかった。その原因として、今回の実験期間では通信が可能であった流星バーストの出現頻度が少なく、リモート局通信モデムのバッファの待ち時間設定（24 時間）が、短かったのではないかとと思われる。待ち時間を 49 時間（2 日間）にした場合、リモート局で作成された気象データのうち 82.2%はマスター局で受信できたと思われる。しかし、待ち時間の設定を長くすれば取得できるデータ数は多くなると思われるが、マスター局において連続したデータを得るのか、即時性に近いデータを得るのか双方の兼ね合いを考え、最適な待ち時間の設定値を検討していく必要がある。また、ホームページサーバを構築して気象データシートやグラフが閲覧できる方法も検討中である。

参考文献

福田 明、流星バースト通信、コロナ社、196 pp、1997。

福田 明、椋本 介士、大市 聡、中野 啓、吉廣 安昭、長澤 正氏、山岸 久雄、佐藤 夏雄、楊 恵根、何 国経、金 力軍、第 45 次南極地域観測隊における流星バースト通信によるデータ伝送実験、電子情報通信学会論文誌 B、Vol. J90-B、No.2、pp.199-207、2007。