

流星と電波⁽³⁾

—— MS流星通信 ——

JH8BGA
柴田健一,

岡崎工業高校
鈴木和博,

名古屋大学空電研究所
岡田敏美

はじめに

今までに、流星の物理、流星によるVLF電波の発生、FM流星通信について述べてきた。シリーズ最後の今回は50MHzと144MHzのアマチュア無線帯域の電波を利用したMS流星通信並びに、流星電波レーダーを紹介する。

MS流星通信

1. 144MHzか50MHzか

HAMバンドとして、50~54MHz、144~146MHzが割り当てられているが、このうちどちらの周波数が流星通信にとって有利だろうか？これが第一の問題である。低い周波数ほど反射特性がよいということは、従来のレーダー観測によって知られているところではあるが、それを確かめることとアンテナがコンパクトになることから、とりあえず144MHzの世界にはっていくことにした。

筆者の一人(柴田)が住む札幌を送信点とし、受信点は南方50kmの倶知安とした。送受信点の間には高度1000mを超える山々があり、直接波は届かないような伝搬の幾何学的配置になっている。

送信アンテナは11エレ・4パラ・2段、受信アンテナは11エレ・スタックである。送信出力を10ワットにして、流星群の降るとき送信エコーがどの程度受かるかを調べた。しかし、期待に反してエコーはほとんど受からなかった。

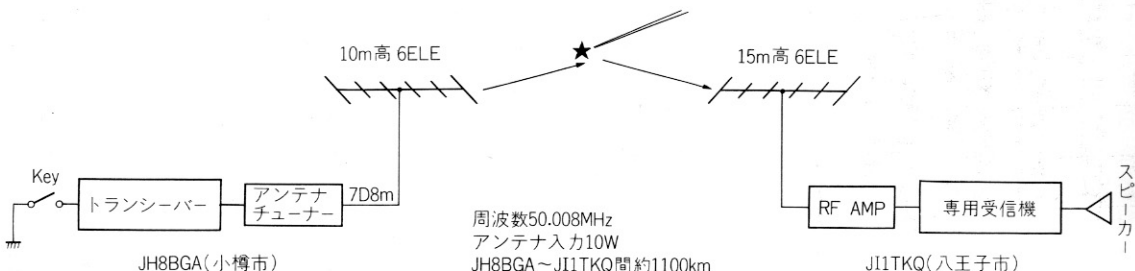
送信出力を50ワットに上げ、アンテナの仰角を電離層反射方向にむけたり、アンテナの構造を散乱波に強いと考えられる、ダブルダイバシティ型にするなど試みたが、たまにピュッと短いエコーが聞こえるだけであった。

実際、1977年の延べ40時間の観測で $H/R=0.61$ 、1978年では $H/R=3.2$ とたいへん低く、情報伝送に使えるものとはいえなかった。その後、1979年の札幌~東京八王子間の水瓶流星群による流星エコーでは、 $H/R=10\sim 20$ とかなり効率が良くなったが、エコーの継続時間がほとんどの場合1秒以下であった。

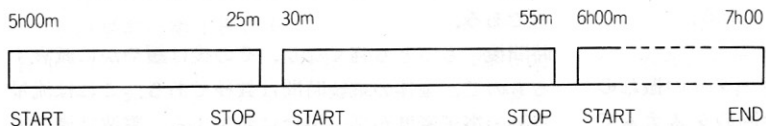
伝送できる情報量を増やすにはもっとエコーの頻度が高い周波数を捜す必要がある。電離層反射を利用した通信では、低い周波数のほうが有利であることはよく知られている。

流星飛跡も小さな電離層であるから、低周波のほうが多くの流星エコーが受信されるはずであると考えて、50MHz帯の観測に移ることにした。

第1図 流星観測ブロック図



第2図 送信パターン f=50.008MHz, Pi=10W



50MHz帯観測

小樽から電波を発射し、主として八王子 (J11TKQ) で受信した。受信はこのほかに、筑波 (JK1PZZ), 新潟 (JHφDJB), 札幌 (JA8SFY) でも行った。給電電力6Wで、H/R=60 (八王子), H/R=130 (札幌) が観測され、確かに周波数をこの帯域に下げると流星エコーの受信頻度の上がるのが確認された。

第1図はこのとき用いた送・受信局のシステム構成を示す。送信部はアンテナ・チューナーを介して6エレ八木に10W給電する。受信部はRFアンプをいれた程度で、いずれも一般的なリグ構成の前方散乱による観測である。

送受信点はほぼ南北方向に並んでいるので、小樽の送信アンテナは真南に、八王子の受信アンテナは真北にセットした。アンテナの仰角は0度とした。その理由としては、送受信点間の距離が1100kmで、流星エコーの発生高度約100kmに比べて十分大きいこと、地球の曲率や大気屈折効果により、自然に5度程度の仰角を与えたのと同等であるためである。

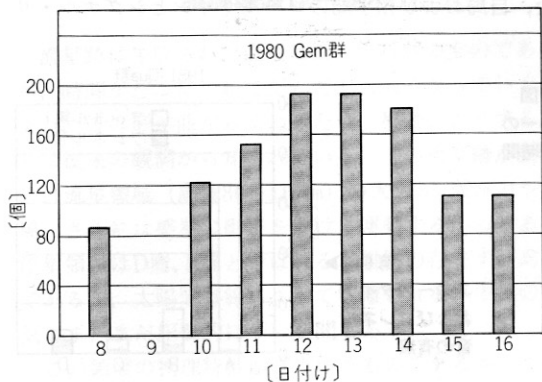
モードは50.008MHzのCWで、観測用の信号はピーコンとした。送信パターンは第2図のように、毎時0分から25分、または30分から55分の25分間、各局のコールサインをモールス信号で送信した。なお、先に述べた144MHzにおける観測モードなども50MHzの場合と同様であった。

2. 流星エコーの特性

(a) H/R

夏の晴れた夜、空をじっとながめていると1時間に

第3図 エコーの発生率(H/R)



第1表 主要流星群における1時間当たりのエコー発生率(H/R)

流星群名	H/R
四分儀 (Qua)	130
水瓶 (Aqu)	110
ペルセウス(Per)	120
獅 (Leo)	90
双子 (Gem)	110~220

1980~1987(5⁰⁰~7⁰⁰)
(J11TKQ, JK1PZZ, JHφDJB de JH8BGA)

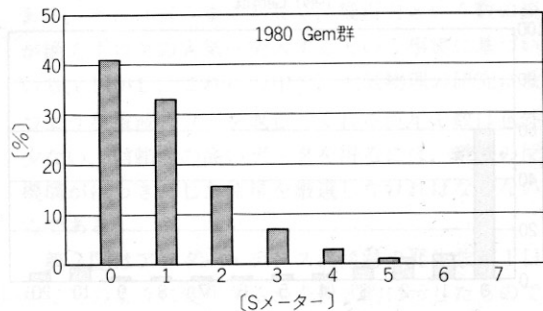
2~3個の流れ星を見ることができ、毎年、8月12日の頃の夜半過ぎには、30個ぐらいも見ることができて、ちょっとした天体ショーになる。このように特定の日だけに現れる多くの流星のことを、流星群と呼ぶが、そのおもなものはすでに本シリーズの第1回 (No.54, 1988年3・4月号) に紹介されているので省略し、ここでは各流星群のH/Rについての観測結果を紹介する。

第1表は筆者らが1980年から2年間にわたって収集したデータをまとめたものである。流星エコーのカウントは受信機のモニター・スピーカーの音を聞いて行った。流星エコーがないときはバックグラウンド・ノイズ音のみが聞こえてくる。流星の出現にともなって突然ピーコンによるキャリア音が聞こえる。その強度、継続時間は様々であるが、とにかくキャリア音の聞こえた回数を計数した。ただし、25分単位で観測を行ったので、その計数値を60分当りに換算した。

第1表からわかることは、主要流星群のH/Rは肉眼による流星の数より4~5倍多いということである。流星の目でみる華やかさはないが、音で聞く流星はとてにぎやかという感じである。とくに、1981年12月14日の双子座流星群のときは15秒に1個という高率で入感した。

第3図は1980年の双子座流星群によるエコーの日変化を示す。12月12~13日をピークとする流星エコーは、星間物質が地球の大気に捕らえられていく様子を如実に示している。このような観測は早朝が適している。

第4図 エコーの強度分布



というのは流星の活動は早朝に活発であり、一方、QRMや人工雑音が比較的少ないからである。

(b) 信号強度

第4図は入感したエコー信号のSメーターの振れの統計である。RFアンプを使用した今回のシステムでは、システム・ノイズによるSメーターの振れは2程度であったが、第3図に示す振れは、そのノイズ分を差し引いた正味のエコー強度を現している。このSメーター表示をあえて3段階に分けるとすると、0は弱、1～2は中、3以上は強となる。

0というのはSメーターの時定数が大きいために振れないが、耳では聞こえるようなエコーを意味している。このような便宜的分類によれば、中・強エコーが半数程度あり、よく聞こえるといえる。しかし、もっと客観的に強度を測定・記録できる方法を考察する必要がある。

(c) 継続時間

第5図にエコーの継続時間を示す。継続時間の測定には特別な測定器は使わず、キャリア音を聞きながら1秒の分解能で測定した。第5図より、通信符号の確認に必要な1秒を超えるエコーが40%、コールサインが確認できる10秒以上のエコーが10%程度あることがわかる。これらの特性はMS通信にとって明るい材料である。

(d) エコーの種類とフレネル音

エコーを“音ウオッチ”して気づくことは、エコーにはいろんなタイプがあることである。これを大ざっぱに分類すると4つのタイプに分けられる。

第1のタイプ(Aタイプ)は、1秒以下の短い時間のうちに発生・消滅していくもので、聞こえ始めがもっとも強く、その後は急激に減衰するものである。大半のエコーはこのタイプに属し、“ピッ”、とか“ポッ”というように聞こえる。

これは流星飛跡の電子密度が低い(アンダーデンス流星跡)場合に生ずる。つまり電子密度が低いと電波は飛跡の中へ進入する。そのため飛跡の半径が時間とともに大きくなると、飛跡の前面と後面から反射され

る電波が干渉し、相殺されるために強度が減衰するからである。

時間後にもっとも強くなり、その後は緩やかに減衰するもので、全体の継続時間は数秒である。これは流星飛跡の電子密度が高い場合に発生する。電波は濃い電子密度の電離柱に進入できず、電離層反射と似たような状況にある。

CタイプはBタイプに近いが時間変化の複雑なもの、Dタイプは、立ち上がり複雑だが10秒以上継続し強度の強いものである。

以上のような分類において、B、C、Dのタイプに属するエコーの中には、キャリアの強度が変調を受けたように、時間的に増減を繰り返すものがある。この場合、最初は強度が強く、増減の周期も早い、次第に弱くなるにつれて周期も遅くなる傾向がみられる。

これは、流星のつくる電離飛跡の柱が時間とともに長く伸びて行くために、電波の反射が最初は1点であったのが、やがて反射点の数が増えていき、受信信号に干渉が生ずるためである。この複数個の反射点は上層大気中を吹く風によって飛跡が曲げられ、複雑に変化する。さらに、反射点が近づく(遠ざかる)ような流星ではドップラー効果も伴う。

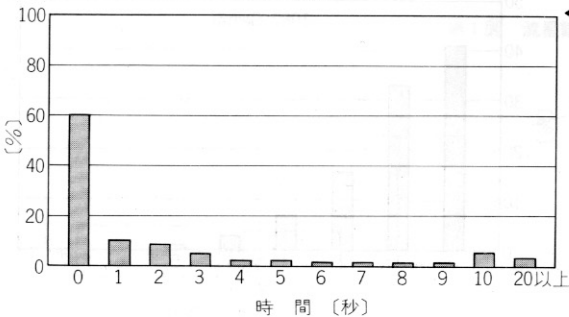
干渉現象の周期をフレネル周期と呼ぶが、フレネル周期やドップラー偏移を測定すると流星の速度がわかる。ここで分類したA～Dの流星タイプにおいて、フレネル音の有無について調べた統計を第6図に示す。フレネル音の有無は各流星群によって多少変わるが、一般的にいうとB、C、Dの順に大きくなる。

3. 流星観測からみたMS通信の可能性

以上に述べてきた、流星による電波の反射条件のもとでMS通信を行うとき、何分後にQSOが成立するだろうか? このことを検討するために、本稿で取り上げた10Wのピーコンと6エレ八木アンテナ、通信距離1100kmを1つのサンプルとして具体的に考えてみよう。

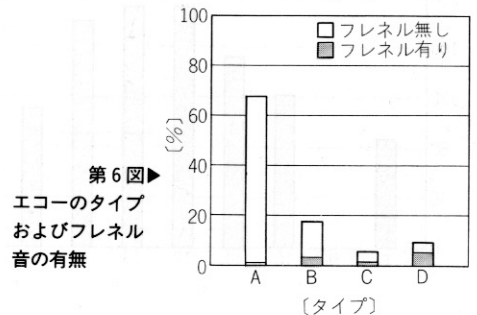
送信と受信を1分ごとに交代すると仮定しよう。また、自局および相手局のコールサインとシグナル・リ

1980 Gem群



第5図
エコーの
継続時間

1981 Qua群



第6図▶
エコーのタイプ
およびフレネル
音の有無

ポートを送るために、CWで10秒を要するとする。対象となる流星群は第1表にあげたペルセウス座流星群(H/R=120)とすると、10秒を超えるエコーは第5図より10%である。そうすると、30秒後に1回目の弱くて短い信号音が聞こえ、5分後には相手局の全送信内容が受信されることになる。しかし、電波は交互に出すため2倍の10分かかる。この繰り返し1往復半でQSOが成立したとすると、30分あればMS通信が十分成立する。SSBモードを使用して時間を短縮すればなおさらである。

水瓶座流星群やペルセウス座流星群の季節にはスプラディックE層が発生して、流星エコーとの区別が難しいことがある。これを判別するには、先に述べたフレネル特性の応用が効果的である。フレネル音があれば反射点で高速度で広がっている証拠であり、流星エコーとみて間違いないだろう。また、ドップラー効果によって判別も可能である(SSBの場合はわかりにくい)。

4. MS通信のポイント

筆者らの経験から、MS通信を効率よく行ううえで参考になると思われる点を挙げて次のようである。

- ① MS通信は送受信を交互に繰り返すものであるが、その間隔は50MHz帯では1分が適当である。
- ② 送信は東の局が奇数分、西の局が偶数分とする。
- ③ 時計は秒まで正確に合わせる。
- ④ モードはSSB、周波数は50.130MHz~50.150MHzが一般的である。
- ⑤ 通信手順やリポートは通常のQSOと同じである。

MS通信においても、受信機の性能、送信機のパワー、アンテナ、ロケーションの占めるウェイトは他の通信方法と変わらない。最近の rigs 構成はRFアンプを含む受信機と、50Wのパワーと6エレのアンテナが標準的なシステムである。

流星電波レーダー

流星跡は生成された直後は細い円柱状のものであるが、時間がたつにつれてだんだんと太くなっていく。また、その形が曲がりくねったり、移動したりすることは従来の観測から知られている。この流星跡が動くのは流星領域(高度80~110km)の大気が、潮汐力や台風、さらには惑星の影響を受けて運動するからである。流星領域はD層、E層と呼ばれる電離層の存在する高度であるが、太陽紫外線によって電離されない中性の大気がまだまだ圧倒的に多い空間である。

この領域の物理特性がどのようなものであるか、上部電離層や下層大気とどのような相互関係にあるかなど

未知なことが多いのもこの領域の特徴といえる。実際、水平方向の大気の運動ばかりでなく、鉛直方向の運動や、波動、乱流の存在が重要な問題として最近クローズ・アップされている。

それではこの領域を調べるにはどうすればよいか? 飛行機やバルーンでは到達できない高度である。人工衛星で調べるには低すぎる。ロケットならばちょうどこの高度範囲を通過する。しかし、一回のロケットの飛翔では数10分しか観測できない。そこで考え出されたのが、流星電波レーダー、すなわち電波によるリモート・センシングである。

流星レーダーでは、流星による電波の反射がもっとも大きくなるような周波数を用いるのは当然である。これは前節で述べた流星通信に関する実験でもわかるように、VHF帯でも低い周波数のほうが有利である。だいたい30~40MHzがよく使われている。このような周波数の電波をパルスとして流星跡に向けて発射する。レーダー・エコーを受信すると次のようなことがわかる。

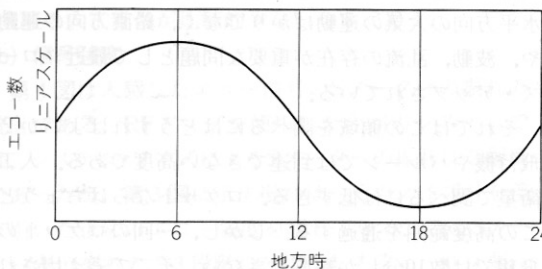
- ① 流星跡の運動: 流星跡が運動すれば、送信電波の周波数がドップラー偏移する。受信電波の周波数偏移を測ればよい。
- ② 流星跡の距離: パルス電波の反射時間からわかる。
- ③ 流星跡の拡散係数: 反射エコー強度の時間変化から推定できる。

京都大学超高層電波研究センターや情報通信総合研究所(旧電波研)で運用されているレーダーを見ると、送信波の位相を基準にして、反射波の位相を検出することによりドップラー偏移や遅延時間が計測されている。パルス・エコーがどの方向から反射されてくるかは、3点で同時観測を行いパルスの到来時間差(位相差)から算出できる。パルス電波の尖頭値は10kW程度、パルス幅は100マイクロ秒前後である。送信アンテナは主ビームの半値角30度の八木アレイである。このように位相の揃った電波を送受信するレーダーはコヒーレント・レーダーと呼ばれている。

流星レーダーの特長は24時間連続観測できることである。それは言うまでもなく、幾百万という数の流星が絶えず我々の大気へ突入するという事実に基づいている。しかし、これらの中で、大気物理の研究に役立つような電波エコーを返してくれる流星の数は意外と少ない。信頼性の高いデータを得るには、電波の反射機構がはっきりした流星を厳選しなければならないからである。

第7図はアンダー・デンス流星跡の発生数が1日の中でどのように変化するかを模式的に示したもので、朝方に最大、夕方に最小となる規則的なパターンが存

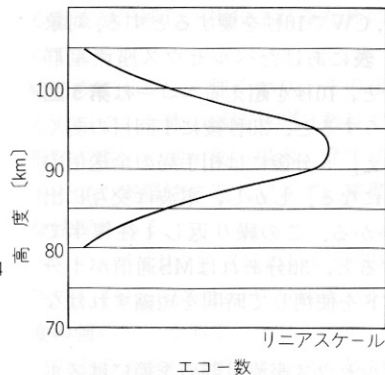
第7図 エコー数の地方時依存性



在する。このような流星跡の1日の総数は1000~2000個と推定される。このような流星跡がいったいどの高度で発生するのであろうか。第8図はこれまで流星レーダーで測られた流星跡の発生数の高度分布である。これを見ると、95kmに顕著なピークがあり、105km以上や85km以下ではたいへん少ないことがわかる。むしろ、これはある年、月、日における統計であり、観測日によって変わるものであろうが、長い時間の平均をとるとやはり第8図のような結果になる。

第7図で示した流星跡の発生数は何日にもわたる観測の平均的な姿であるため、正弦波状のなめらかなカーブとなっている。実際の発生数をもう少し詳しく調べると、24時間の周期で変化する周期成分のほかに、数時間で急激に増えたり、半日、2日の周期で規則的に増減する現象も存在する。これらの現象は、太陽、月、惑星等の影響によるものと考えられ、その関係が解明されつつある。

第8図
エコーの
高度分布



終わりにあたって

流れ星は美しい光条を発すると同時に、電波もよく反射する。このため、毎年現れる流星群によってMS通信を楽しむことができるわけである。流星は燃えつき最後の瞬間まで私たちの情報の担い手である。その能力を十分生かすためには、まだまだ流星の物理や電波反射特性など未知の部分が多いように思われる。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、JA8MF局、JH8IOJ局にアドバイスをいただいた。厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- JA9BOH 前川 公男 『M.S.通信のノウ・ハウ』、「CQ ham radio」1978 May, p.259
- Aso et al., Observation of lower ionospheric wind by the Kyoto Meteor Radar, Journal of Geophysical Research, 85, A1, 177.