

流星電波観測システムの低価格化および小型化への取り組み

小山 幸伸*, 宮成 祐輔**, 上地 海斗*, 菊山 幸裕*

Efforts to reduce the price and size of meteor radio observation system

Yukinobu KOYAMA, Yusuke MIYANARI, Kaito UEJI, Yukihiro KIKUYAMA

We are working on the construction of meteor radio observation system that has the potential to help in estimating ionospheric conductivity. Prior to the future high density of the meteor radio observation network, we aim to reduce the price and size of the system. We confirmed that the conventional observation system by using a Windows PC and a general-purpose wide band receiver can be replaced with a Raspberry Pi 4 and a demodulator that supports a USB 2.0 interface. As a result, the prospect of lowering the price was established. In addition, the large Yagi antenna was replaced with a handmade small magnetic loop antenna, and the prospect of miniaturization was established.

Keyword ionospheric conductivity, radio meteor observation, observation network

1. 背景と目的

基幹通信網を有線としたインターネット通信が現在隆盛である。しかしながら、GNSS、衛星通信、短波通信などの現代社会を支える長距離無線通信は、電離圏の影響下にあるため、電離圏電流を見積もるための電離圏電気伝導度の研究は重要である。ノルウェーのスヴァールバルに代表されるレーダー施設の上空は、電子密度の能動観測によって電気伝導度を見積もることができるものの、全球に広がるそれを直接見積もることが出来ない。流星電波の多点観測がこの助けになる可能性を秘めている。そこで本研究は、将来的な流星電波観測網の稠密化に先駆けて、流星電波観測システムの低価格化および小型化を目的とする。

2. 流星による電離圏電気伝導度の上昇

流星とは、太陽の周りを定期的に周っている彗星が残した塵の中を地球が通った時に、地球の大気圏に突入した塵が、大気中の原子や分子と衝突することによってプラズマ発光する現象である。流星の運動エネルギーの一部は周辺の大気を加熱、大気分子を励起し、流星物質の破碎も伴う結果、一時的に非常に高温高密度の電離ガス状態、すなわ

ちプラズマを生む。このプラズマは流星の飛跡上に現れ、細長い円柱状となることから電離柱と呼ばれている。電離柱による電波の散乱は、方向依存性があり、電離柱に直交して入射した電波は、入射方向に反射される。また、斜めから入射した電波は、前方散乱される。この電離柱は、流星の経路を中心とする円筒状と考えることができ、それは流星の出現から数秒で電子がイオンと再結合したり、中性分子と付着して陰イオンとなったり、風によって拡散するなど、出現当初濃密であった電子密度は減衰する。比較的電気伝導度が高い電離圏は、上述のプロセスを経て電気伝導度がより高まる。

3. 流星電波観測

図1の通り、福井県永平寺町の地理緯度+36.109°、地理経度+136.277°、標高20mに位置する福井県立大学(JH9YYA)から、53.755MHzのCW方式の電波が出力50Wで送信されている。そこから南におよそ200km離れた三重県名張市の地理緯度+34.615°、地理経度+136.121°、標高270mに位置する近畿大学工業高等専門学校においては、標高1,000mを超える伊吹山地などに代表される様々な遮蔽物によって、その地表波は受信できない。

*近畿大学工業高等専門学校

総合システム工学科 電気電子コース

**大分工業高等専門学校 専攻科 電気電子工学専攻

図 2 に、超高層大気の温度と電子密度の高度プロファイルを示す。高度とともに気温が下がる Mesosphere(中間圏)、高度とともに気温が上がる Thermosphere(熱圏)がある。また、大気分子・原子が EUV Radiation(極紫外線)によって電離するなどして Ionosphere(電離圏)が形成される。VHF 帯より低い周波数帯の電波は、定常時には電離圏を突き抜けるが、流星が大気を電離することによって局所的に電子密度が高くなった際に、電波を反射する。この反射された電波の受信が流星電波観測であり、多点同時観測することによって、その反射点を見積もることができる。さらには、その反射点における電離圏電気伝導度の下限を類推可能となる。

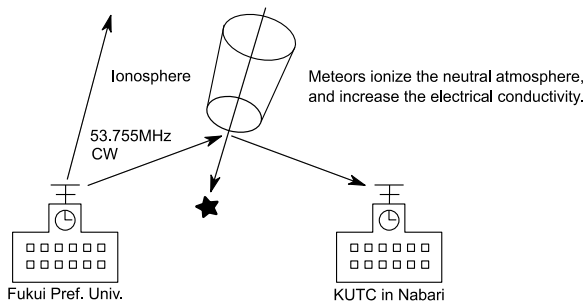


図 1. 流星電波観測の概要図

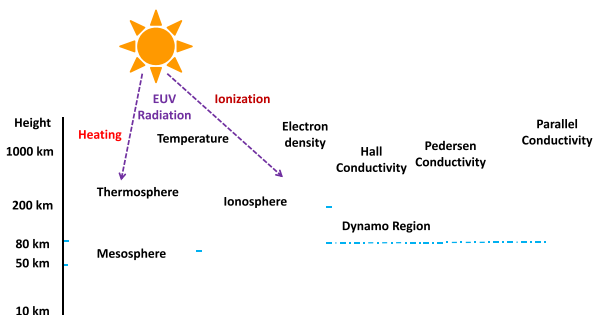


図 2. 超高層大気の温度と電子密度の高度プロファイル

4. 流星電波観測システム

先行する多くの日本の流星電波観測においては、1.八木アンテナを用い、2.流星電波専用受信機もしくは汎用広帯域受信機を用いて、3.受信機の音声出力を PC のマイク入力から入力し、4.Windows PC 上で動作する観測ソフトウェア MROFFT を用いて即時フーリエ解析を行い、10 分毎に画像形式の周波数スペクトル図を出力している。

流星電波観測のための専用受信機であり、日本における流星電波観測によく用いられており、9,800 円と安価なアイテック電子社製の、HR0-RX1a の利用を検討していたが、アイテック電子の業務終了によって、安価な完成品の流星電波観測用受信機の入手が困難となった。そこで我々は、

CAMNIS 社製の汎用ハンディ型広帯域受信機である、HSC-350 を使用した。HSC-350 の受信帯域は、100k-2.149GHz であり、AM、NFM、WFM、AUTO、LSB、USB、CW 方式に対応している。福井県立大学から CW 方式の 53.755MHz の電波が送信されているため、受信機を CW モードの 53.749MHz に設定して受信する。この結果、送信周波数と受信周波数の差の 1kHz の音声信号が受信機の音声出力から出力され、PC の音声入力に入力される。これを Windows PC にて動作する流星電波観測ソフトウェア MROFFT を用いて即時フーリエ解析を行うことによって、図 3 の様な画像形式のスペクトル図を得た。

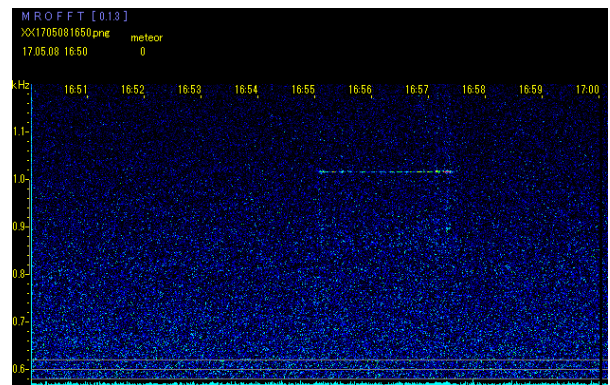


図 3. MROFFT の例を示す。流星エコーが、1kHz のところに現れている。

5. 観測システムの低価格化および小型化

前述の観測システムによって観測可能であるものの、各々数万円する Windows PC と汎用広帯域受信機の価格が、新規参入の足枷となる。そこで観測者の負担を減らすための流星電波観測システムの低価格化および小型化を検討する。

数万円程度の Windows PC を 1 万円以下の Raspberry Pi に、さらには同じく数万円程度の汎用広帯域受信機を USB チューナーに置き換えることを検討した。図 4 は、Raspberry Pi 2 および USB チューナー RTL2832U による観測システムである。この RTL2832U の受信帯域は 24-1,766MHz である。Raspberry Pi 2 には公式オペレーティングシステムの Raspbian をインストールし、RTL2832U に対応したソフトウェア無線ツールである RTL-SDR を利用して受信テストを大分市内にて行った。なお今回は、テストのため、大分市内の FM 大分からの FM 波の地表波を受信した。

Raspberry Pi 2 では受信ソフトの動作が快適でなかったため、図 5 のとおり Raspberry Pi 4 および USB チューナー RTL2832U による観測システムに変更した。Raspberry Pi 4 には Raspbian をインストールし、受信ソフトは GQRX-

SDR を利用した。上記と同様に FM ラジオ局による FM 波を名張市内において受信することによって、その動作確認を行った。さらには、図 6 の通りプログラマブル発振器である SG8002DB を用いて 53.755MHz のごく微弱な矩形波の発振器を作成し、研究室において送受信テストを行った。図 7 に示すとおり、即時フーリエ解析が行われること、さらには入力信号の保存機能も確認した。以上によって、PC および受信機の低価格化の目処が立った。

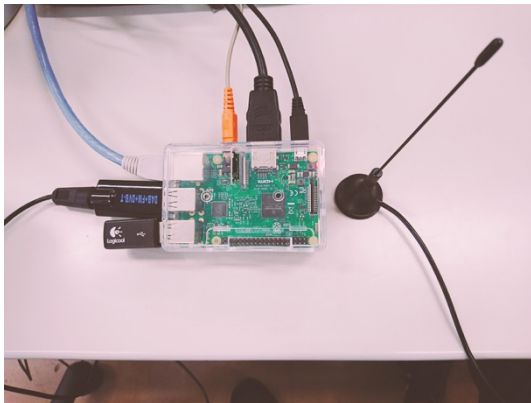


図 4. Raspberry Pi2 および RTL2832U を用いた低価格小型観測システムの外観

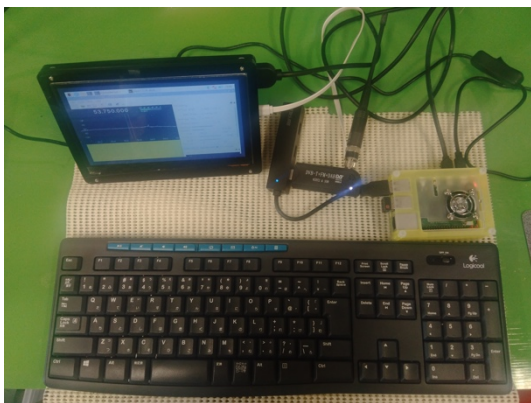


図 5. Raspberry Pi 4 および RTL2832U を用いた低価格小型観測システムの外観

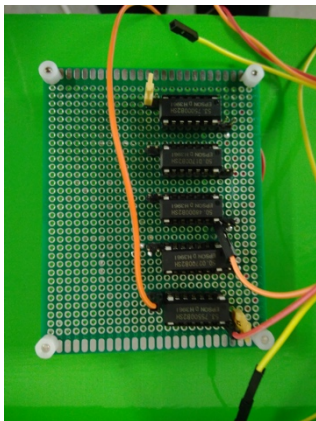


図 6. 研究室で送受信テストが出来る程度のごく微弱な 50.755MHz のテスト用発振器

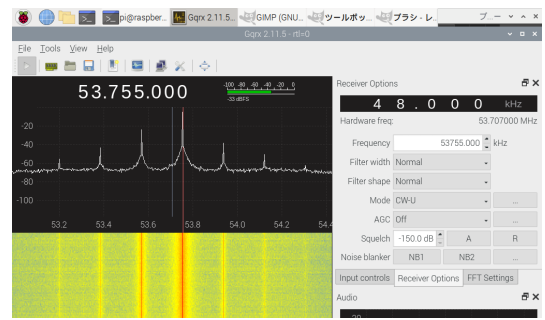


図 7 研究室から送信したごく微弱な電波を研究室にて受信した様子. GQRX-SDR を用いて、即時フーリエ解析を行った。詳細情報に欠ける MROFFT は窓関数も不明であったが、GQRX-SDR は窓関数を選択可能である。

次にアンテナの小型化について検討する。流星電波観測によく用いられる八木アンテナの素子の長さは、53.755MHz の電波の 1/2 波長の 2.79m と大きく、新規参入者にとって導入および運用の敷居が高い。そこで、大きさを抑えた安全な運用と、良好な受信が期待されるマグネチックループアンテナの利用を検討した。マグネチックループアンテナは、波長に対してループ長が十分小さなアンテナで、電磁波の磁界成分で動作するアンテナである。自作したマグネチックループアンテナを図 8 に示す。送信元から 400km 離れた大分市内において流星電波を受信できたほど受信は良好であり、円周は 2m ほどの大きさで取り扱いは容易で、かつ材料費が 1,000 円弱と低価格である。今後、このループアンテナと前述の小型観測システムを組み合わせた連続観測を名張市にて行う。



図 8. マグネチックループアンテナ

6. むすび

電離圏電気伝導度を見積もる上で助けになる可能性を秘めている流星電波観測のシステム構築に取り組んでいる。将来的な流星電波観測網の稠密化に先駆けて、流星電波観測システムの低価格化および小型化を目的とした。従来 Windows PC および汎用広帯域受信機による観測システムを、Raspberry Pi 4 および USB チューナーに置き換えれることを確認し、低価格化の目処がたった。さらには、八木アンテナから自作マグネチックループアンテナに置き換え、小型化の目処も立った。今後は、これらを統合し、名張市において連続観測を行う。

参考文献

- 1) 埜口和弥、 “HROFFT 出力画像における流星エコー自動計数プログラムの開発”、高知工科大学電子・光システム工学科、 2007。