

特集

昼間でもできる天文教育普及

流星電波観測による電波環境モニター

大西 浩次（長野工業高等専門学校）

流星の電波観測時において、諸雑音は流星観測の邪魔になる。しかし、その雑音には、多くの情報が含まれている。例えば、遠方では、銀河電波からはじめて、太陽フレアにともなう磁気嵐、電離層の擾乱、雷、そして、もしかすると地震に伴う雑音などである。さらに、人間の活動に伴う諸雑音もある。

本報告では、これらの概要を見るとともに、2003年10月の太陽フレアに伴う影響について報告し、流星電波観測が、電波環境モニターとして諸方面に役立つことを紹介し、新しい天文教育・科学教育の教材になる可能性を示す。

1. はじめに

流星が流れると、その周辺の大気がイオン化し電離柱ができる。その電離柱に反射する電波を使って流星を観測する手法を流星電波観測という。この流星電波観測は昼夜や天候に関係なく常時観測できることから、現在では、多くの教育現場でも観測が行われている。

この流星電波観測の急速な普及には、いくつかの要因がある。ひとつは、1970年代に、鈴木和博氏によるFMラジオ電波観測による流星電波観測（FRO）の手法が開発され（Suzuki 1976）、長く観測が続けられてきたこと、1996年にHam-band帯の電波による流星電波観測（HRO）が始まり、現在に至るまで前川公男氏（前）の努力により継続的に安定な53.75MHzの電波を供給して頂いていること（Maegawa 1999）、そして、大川一彦氏による自動観測用のWindowsソフト（HROFFT）や安価な受信機（HRO-RX1a）が開発されたこと、また、中村卓司氏監修、RMG編集委員による「流星観測ガイドブック」（2002）の出版、さらに、しし座流星群の社会現象とも言える注目の時に、小川宏氏による流星観測ネットワーク（AMRO-net）

が作られ、多くの層の人々を巻き込む国際的な観測ネットワークを作ってきたことなどである（Ogawa et al. 2002a, 2002c）。

これらの結果、現在では、流星電波観測は国内外の中学生・高校生などの学生から、一般社会人まで幅広く普及している。その普及はめざましく、2000年時は十数地点であった観測局は、2003年現在、120地点にも達し、従来から使用されていたHam-bandの53MHzに加え、2002年からは矢口徳之氏による28MHzの観測用電波が加わるなど、その多様化には目を見張るものがある。

観測ネットワークの詳細については、小川宏氏の記事を参照していただきたいが、AMROネットの活動は、インターネットを最大限に活用した市民参加型の科学研究が進めるひとつの具体例であり、さらに、インターネットを通じた世界市民の共有科学文化創造における成功例のひとつである。

本文では、上記のような状況を踏まえて、通常の流星電波観測以外に、流星電波観測における諸雑音から、地球電波環境のいろいろな情報を引き出せることを示したい。

流星電波観測の応用の可能性として次のことを考えよう。

- (1) 環境電波雑音（電磁波 [光] 害）のモニター
- (2) 飛行機のモニター
- (3) 雷モニター
- (4) 地震に伴う電波異常伝搬モニター
- (5) 電離層モニター
- (6) 銀河電波
- (7) 太陽活動のモニターの可能性

特に(7)に関連して、2003年10月に起きた巨大な太陽フレアによる磁気嵐がどのように捕えられているか紹介したい。

2. HRO観測

HRO (Ham-band Radio Observation) 流星電波観測とは、アマチュア無線電波による先方散乱を利用した流星電波観測法のひとつである。HROの利点は、観測システムが大変シンプルで、比較的安価に組めること、観測用電波の素性がわかっているので科学的なデータが得られることなどである。現在では、福井高専から打ち上げられている53.75MHzの電波と長野県北安曇野郡池田町より打ち上げられている28.208MHzの電波を利用した流星電波観測が行なわれている。

ここで、HROの標準的な観測システムは次の通りである(図1)。

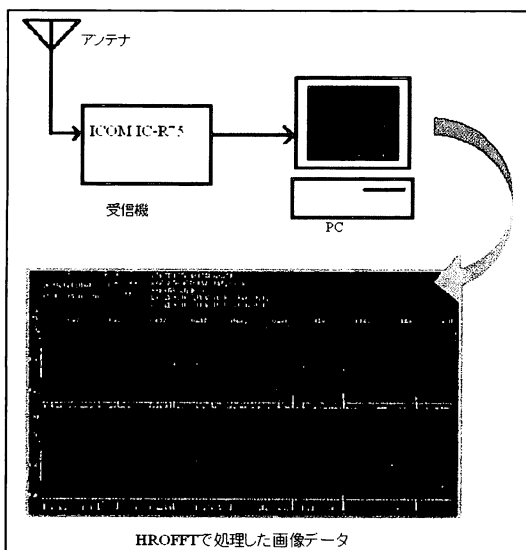


図1 HRO観測システム

HROFFTの画面は、東西に向けた自作2素子ループアンテナによる出力をPCにステレオ入力し2ch表示させているものである。アンテナのFB比(前方と後方の入力差)が10dBあり、エコーの受信強度差より大まかなエコー入射方向を決めることができる。

- (1) 2素子 Yagi アンテナを使用
- (2) 受信機で 900Hz 変調して受信、音声で出力
- (3) 音声出力を PC のサウンドボードで取り込

み、流星電波観測用ソフトウェア (HROFFT) で FFT 処理し、そのダイナミックスペクトルとパワースペクトルを 10 分おきに画像データとして保存する

これらの自動観測により、1 日あたり 144 枚の HROFFT 画像が蓄積される。

この画像を後処理で解析することで流星数の変動モニター観測を行っている。現在では、100ヶ所以上の観測局があることから、それらのデータと相互比較することで、流星電波反射メカニズムの確認などの、「流星科学」の研究も始まりつつある (Ohnishi et al. 2001, Ogawa et al. 2002b)。

3. 飛行機モニター

図2は、飛行機による流星観測用電波の反射エコーの HROFFT 画像を示している。送信局から比較的近い (400km 以内) 受信局では、頻りに飛行機による反射エコーが観測される。

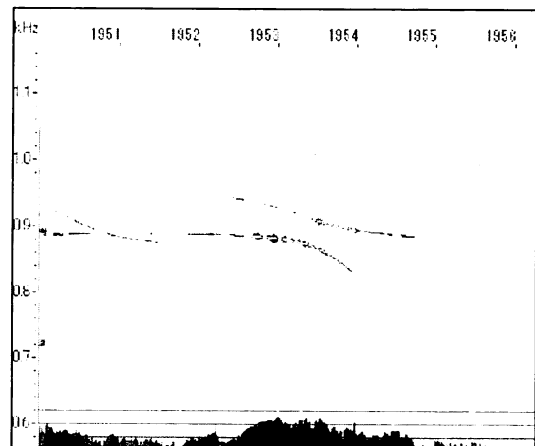


図2 飛行機による電波反射エコー

送受信局の視線上の飛行機は大変強い電波反射面である。なお、図の横軸は時刻、縦軸は周波数を表している。また、図下部の山状のもようはある特定の周波数範囲内の電波強度を表す。以下、HROFFT の画像についてはすべて同じである。

この飛行機による画面上の軌跡は流星観測にとって非常に大きい雑音源である。飛行機による反射エコーの周波数の変化は、飛行機の移動に伴う横ドップラー効果によるものである。

日中には頻繁に入る最大の雑音源であるが、ドップラー効果の学習などには、良い対象でもある。反射エコーの受かり始めにおける周波数の減少は、観測者の視線方向に向かってくることによる効果であり、途中の周波数一定の領域は、送信局、飛行機、受信局がほぼ

一直線方向になるときである。その後の周波数の減少は、飛行機が観測者の視線方向から遠ざかってゆくことによる。

図3上は、2003年11月1日から26日までの日々の電波エコーの10分当たりの継続時間(最大600秒)を、下はそのうち11月1日から12日までの平均電波エコー継続時間を表している。

ここで、上の図には飛行機と共にしし座流星群に伴うロングエコーなどが混じっているのに対し、下の図は、流星エコーの日周変化

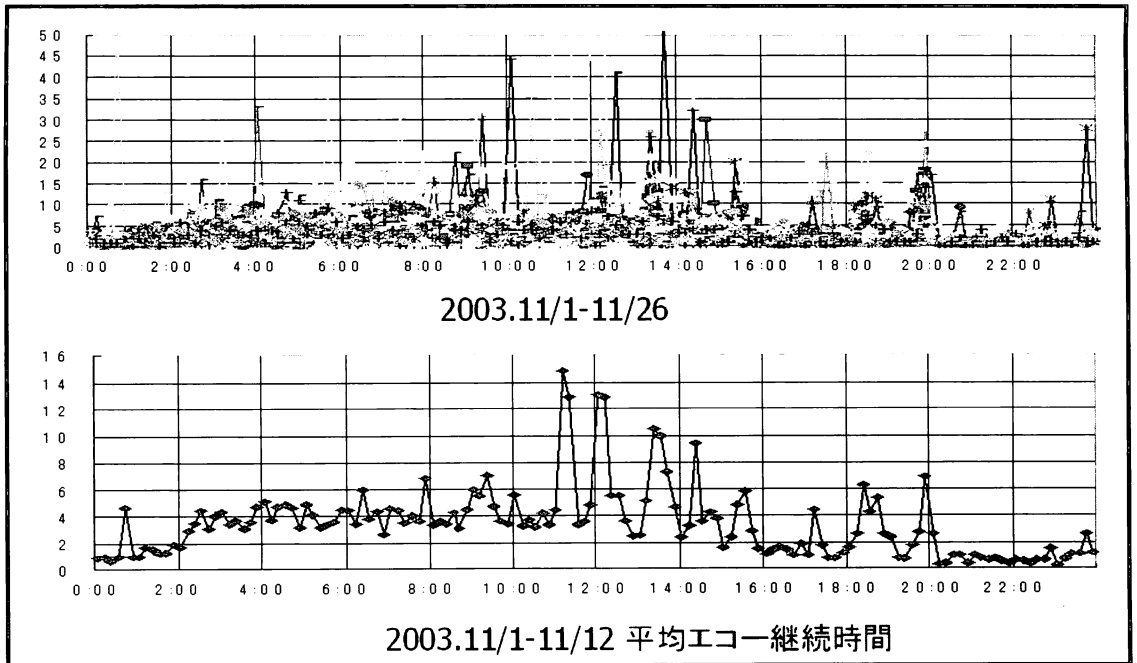


図3 飛行機によるエコー継続時間分布

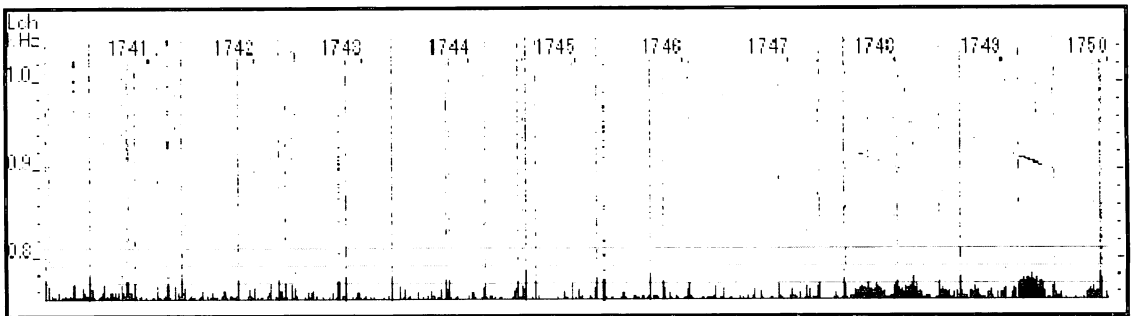


図4 雷の雑音

雷は瞬時の広帯域の雑音（縦筋）として受信される。

+飛行機によるエコーである。この図より、飛行機の運行状況が読み取れる。

4. 雷モニター

雷は瞬時の広帯域の雑音として受信される（図4）。雷は、100km程度まで観測可能である。

長野高専では、東西南北4本のアンテナによる流星モニターを行っている。それぞれのアンテナでの受信強度の差から雷の雑音の到来方向や移動の様子を追うことができる。

複数の地点でのデータを合わせると雷の発生から消滅に至る過程を研究することができるだろう。

5. 地震に伴う電波異常伝播

2000年10月6日の鳥取地震の際、前後数日間、非常に強い海外からの電波混信が起きた。また、地震発生と同時に広帯域の雑音も拾っている。しかし、観測局の周辺には多くの雑音源があり受信した雑音を地震に伴う電波と考えることは難しい。

確かに、経験的には、大地震の前後に電波異常伝播が観測されるように見える。しかし、異常伝播が観測されても、地震が発生しない場合ははるかに多い。これらの中には、太陽活動による影響も多数含まれている。現状では、太陽活動による影響や、局所的な雑音源の特定など、諸問題をクリアしないと地震との関連は言えそうにない。いずれにしても、流星観測システムでの地震の影響は、今後も継続して研究すべきテーマと考えられる。

6. 電離層モニター

流星電波観測で、電離層のモニターができる。スプラディックE層とは、上空約100kmのE層付近に突然発生する局所的電離層で、VHFまでの電波を反射する。

図5は、東向き（上）と西向き（下）のアンテナで受信したスプラディックE層による反射波の様子である。このように受信強度差からスプラディックE層の方向が特定できる。日本付近は世界的に見てもスプラディックE層の発生しやすい地域である。現在、100ヶ所以上あるHROサイトのデータを使えば、

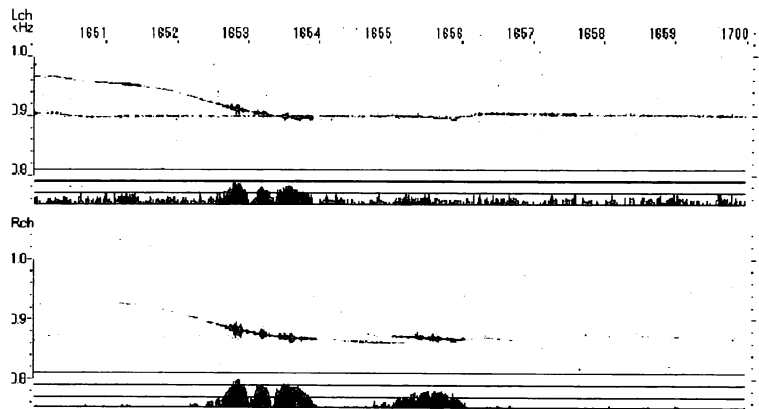


図5 スプラディックE層

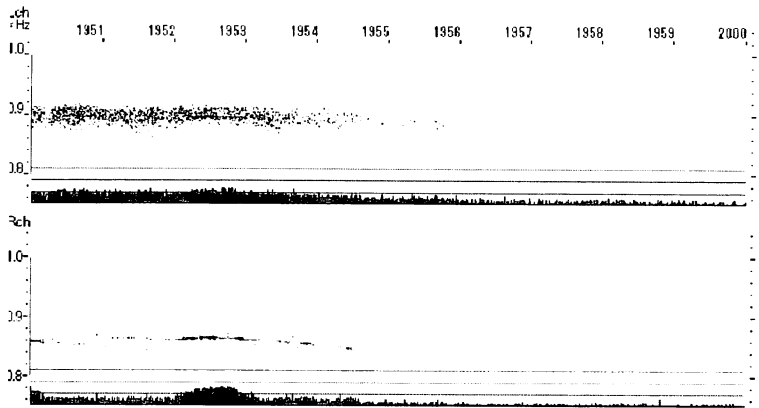


図6 FAI

スプラディックE層の発生から消失にいたる様子などが研究できるだろう。

また、図6は電離圏イレギュラリティ(Field-Aligned Irregularity;FAI)と呼ばれる地磁気の磁力線に沿って垂直方向に電子密度の強い濃淡のできる現象による反射波である。これらも、スプラディックE層の観測同様に、全国規模の観測データから出現位置や発生から消失にいたる様子などが研究できるだろう。

7. 銀河雑音マップ

長野高専では流星流量測定用に、5素子Yagiアンテナをスタックしたビームアンテナ(図7)を使用した観測も行っている。このアンテナのビーム幅は半値幅20度と大変狭い。現在、アンテナは天頂に向けて観測している。

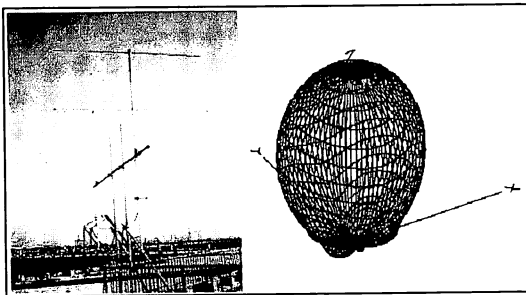


図7 ビーム幅

このアンテナによる観測画像の一部を取りだし、自作解析ソフトで雑音の大きさ(15dB以上の継続時間)を測った結果を図8に示す。観測時期における、天の川が天頂を横切る時間は15時30分ごろであり、その前後1時間程度(計2時間程度)の雑音が急激に上昇している。すなわち、ビーム内に天の川(ここでは、はくちょう座付近)が入ると雑音が増加している。このことより、アンテナ方向を変えて観測を行えば、銀河電波のマッピングができると考える。

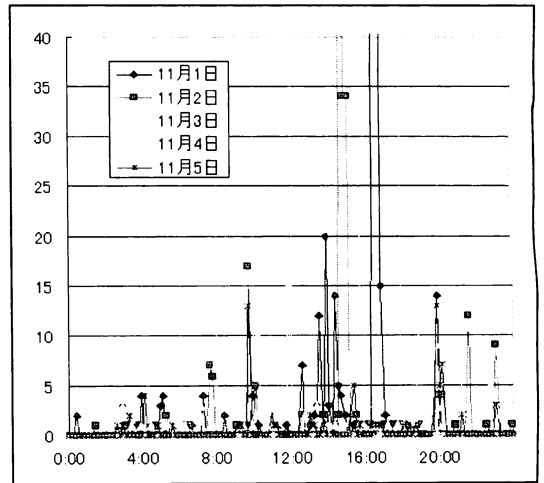


図8 銀河雑音の時間変化

HROFFT 画像の流星のない部分を切り出し、15dB以上の雑音の10分あたりの継続時間[秒]を示す。

8. 太陽活動モニター

8-1 28MHz電波による太陽活動モニター

28MHzのHam-band帯電波は、矢口徳之氏より2002年10月より定常的に打ち上げられている電波である。送信局は、長野県池田町(安曇野)と、受信局から極めて近い。そのため、日中は常に直接波が強く受信される。

図9は、自作解析ソフトで解析した、10分間内の受信電波の継続時間[秒単位]を示す。夜間は、直接波も収まり、流星エコーが多数受信されるが、日の出とともに直接波が受かり始め、日の入りとともに直接波が急激に減少する。すなわち、28MHzのHam-band電波は、日の出、日の入りの大変良いモニターになっている。

ただし、このような定常的な変動に対して、太陽活動が激しいときは、直接波の受信開始時刻が日の出時刻より早くなったり、停止時刻が日の入り後になったりすることが経験的に分かっている。なお、53.75MHzでも太陽活動による電離層の擾乱でF層の形成などが起き

ると、非常に遠方のテレビ音声電波(インドネシア)の混信が起きる。しかし、放送電波が無い時間帯等もあり、太陽活動に伴う地球の電波環境のモニターには注意が必要である。

がまさにその時刻より捕えられていることがわかる。

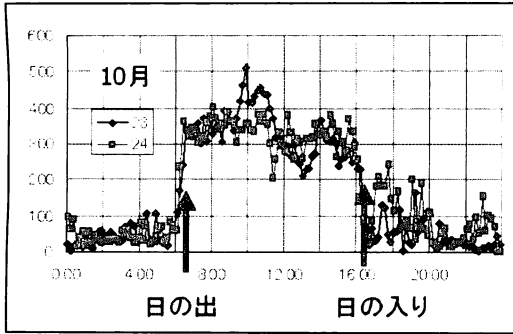


図9 28MHz 電波の受信継続時間
縦軸は10分間内の受信電波(10dB以上)の継続時間[秒単位]を表す。毎日規則正しい変動をしている。

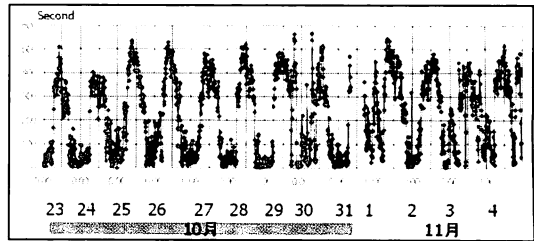


図10 28MHz 直接波の継続時間(10dB以上)
通常、日の出とともに直接波が入り、日の入りとともに直接波が止まる。しかし、磁気嵐が起きた29日頃に大きな変動が生じている。

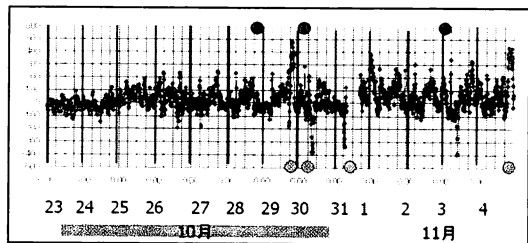


図11 補正した28MHz 直接波の継続時間(10dB以上)

1週間分の変動をテンプレートとして、それを差し引いた継続時間変動を示している。10月28日18時51分(日本時間)にX17.2のフレア、10月30日5時49分(日本時間)にX10のフレア、11月3日2時(日本時間)にX8.3、3日10時にX2.7、3日19時にX3.9と、Xクラスのフレアが連続で発生。図の上の丸印は大きなフレアの発生した時刻、下の丸印は磁気嵐の発生した時刻を表している。巨大フレア発生から1日弱で磁気嵐が起きている。

8-2 2003年10月の太陽フレアの影響

太陽の磁極は太陽の活動周期と同じくほぼ11年周期でN極とS極が南北で入れ替わる。この入れ替え時期に巨大なフレアが発生しやすいと言われている。2003年10月は、まさに、上記のような磁気の入れ替えが起き、数々の巨大な太陽フレアが発生した。特に、10月28日に発生した巨大な太陽フレアの強度はX17であり、史上3(4)番目の巨大なフレア、かつ、ちょうど、地球方向に向いていたので、わずか半日後には強い磁気嵐が生じた。

図10は、長野高専でモニターしている28MHzの直接波の継続時間である。この前の1週間の毎日の平均変動をテンプレートとして、図10からテンプレートを引いた結果を図11に示す。

10月28日に発生した巨大な太陽フレアに伴うCMEによる磁気嵐が10月29日の夕刻より観測されたが、28MHzの直接波の異常伝播

ここで、図11の一部を、米国の気象衛星GOES(NOAA)のX線強度データと比較したのが、図12である。この図からわかるように、X線

強度と 28MHz 直接波の異常伝播が、強い相関を持っている様子が見える。

今回、HROによる観測によって、初めて磁気嵐の様子を検出することができた。今後、この詳細について調べると共に、HROによる電離層のモニターの可能性を検討する予定である。

気象の分野としては、雷現象のモニターができる。天文学の分野としては、多周波数を使えば銀河電波のスペクトルが、ビームアンテナによるスイッチング観測をおこなえば銀河電波のマッピングができると考えられる。

地球電磁気学の分野としては、超高層の電離層のモニター、特に、スポラディック E 層や FAI の観測が興味深い。流星観測のネット

ワークのデータを使えば、それらの発生から消滅に至る変動のモニターが可能になると考えられる。

ところで、流星観測用電波 53.75MHz は、海外のテレビ放送の音声信号の周波数と一致している。

送信の始まった 1996 年ごろは、スポラディック E 層や F 層の発生に伴う、海外テレビ局の混信がほとんど起きなかったが、太陽活動の激しかったここ数年、たびたび、混信を起こし、流星観測のモニターに支障を起こすことがあった。しかし、太陽活動に直接結びつくデータは得られていなかった。今回、28MHz の電波で初めて磁気嵐に伴う異常伝播の直接的な証拠を得ることができた。すなわち、流星電波観測で太陽活動のモニターが

できる可能性がある。これらの研究を積み重ねることで、地震に伴う電波異常伝搬モニターなども、現実味を帯びてくるものと期待する。

さらに、我々が使用しているアンテナや観測システムのほとんどが、学生の設計による

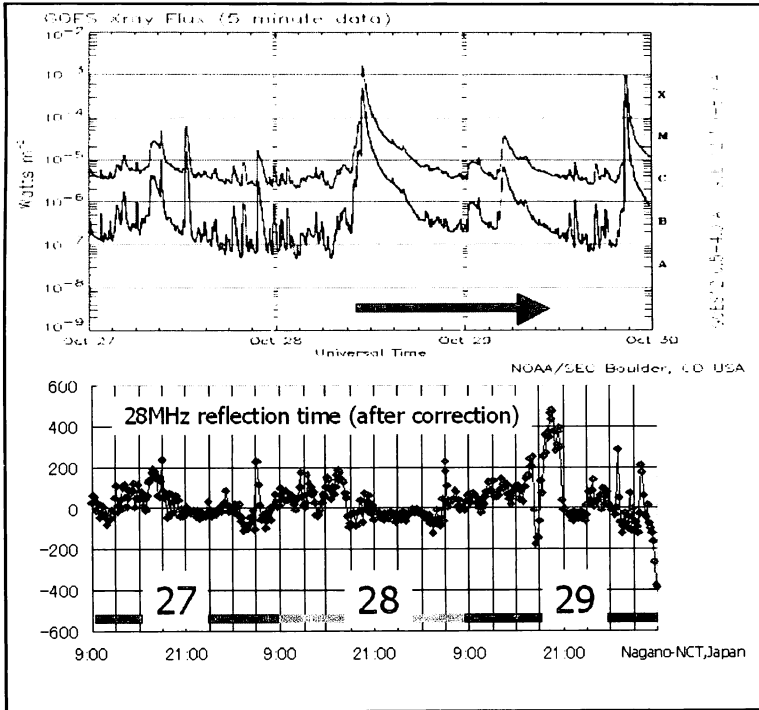


図12 太陽フレアと磁気嵐の発生相関

上の図は米国の気象衛星GOESの太陽X線強度図 NOAA/SEC、下の図は時刻を合わせた28MHz直接波の継続時間の通常変動からのずれを表している。上の時刻はUTであり、下の図の時刻はJSTである。ここでは、日付はUTで書いてある。磁気嵐が起きると、異常電波により、深夜に直接波が受信されたり (29日の夕方以降の状態)、昼間に直接波が受信されない (30日の午前中) ような現象が観測されている。

9. まとめ

流星電波観測は、通常の流星の観測と同時に、観測画像データから、地球電波環境のいろいろな情報を引き出せる可能性があることを示した。

学生の製作したものである。すなわち、流星電波観測は、流星のサイエンス的な面だけでなく、アンテナ工学、電気・電子回路、電磁気学、プログラミングなどの科学・工学の複合科学的な要素が大変強いテーマであると考えられる。

そして、これら、一つ一つは、学生でも十分に対応可能な難度であることより、科学教育、総合科学の教材に最適なテーマと考えられる。

本特集号の宮尾佳代さんによる流星電波観測への招待の記事と小川宏氏による流星観測ネットワークの記事は、本原稿と相補的な意味合いがある。

最後に、本記事を書くことを薦めていただいた篠原秀雄氏に感謝します。

10. References

中村卓司監修 RMG編集委員「流星電波観測ガイドブック」CQ出版社 (2002)

Maegawa, K., WGN, the Journal of the IMO, 27, 1 (1999)

Ogawa, H., Toyomasu, S., Ohnishi, K., Maegawa, K., WGN, the Journal of the IMO, 30, 105 (2002a)

Ogawa, H., Toyomasu, S., Ohnishi, K., Maegawa, K., Amikura, S., Asahina, T., Miyao, K.

WGN, the Journal of the IMO, 30, 120 (2002b)

Ogawa, H., Toyomasu, S., Ohnishi, K., Amikura, S., Maegawa, K., Jenniskens, P.

WGN, Journal of the International Meteor Organization.

WGN, the Journal of the IMO, 30, 225 (2002c)

Ohnishi, K., Ishikawa, T., Hattori, S.,

Nishimura, O., Miyazawa, A., Yanagisawa, M.,

Endo, M., Kawamura, M., Maruyama, T.,

Hosayama, K., Tokunaga, M., Aoki, Y., Iijima, Y.,

Kobayashi, A., Maegawa, K. and Abe, S.,

Proceedings of the Meteoroids 2001, Kiruna,

Sweden. Ed.: Barbara Warmbein. ESA SP-495,

Noordwijk: ESA Publications Division, 429 (2001)

Suzuki, K., Sky and Telescope, 51, 359 (1976)