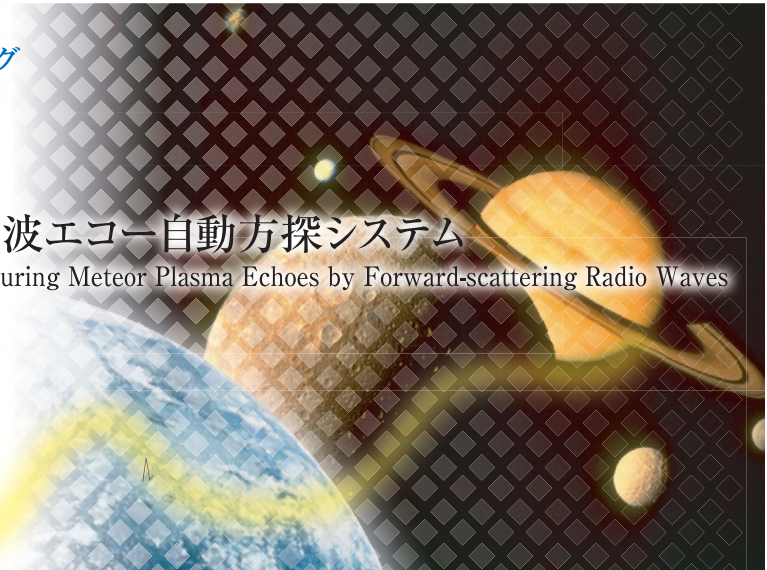
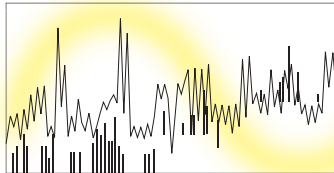


3-2

前方散乱法を用いた流星電波エコー自動方探システム

Automatic Direction-finding System of Measuring Meteor Plasma Echoes by Forward-scattering Radio Waves

山本真行 埜口和弥



1. ま え が き

地球大気上層,主に高度 100 km 以上の領域は,希薄大気であり,分子が太陽紫外線等により電離され一旦プラズマ状態となれば,正イオンと電子が簡単には再結合できず一定割合の電離状態が保たれる.超高层(中間圏・熱圏)大気では,昼夜の密度差はあるものの常に電離層が形成され,旧来の電波通信路として活用されてきた.

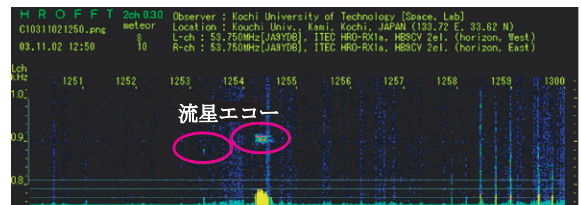
この領域に宇宙から微小な星間塵が飛来し発光する現象が流星で,電離層プラズマ密度が局所増大し直径数 km,長さ数十 km の「流星電離柱」が生じる.流星プラズマを用いたバースト的通信が短期間成立するため<sup>(1)</sup>,FM局など定常発信される電波源を用いれば,見通し距離外で流星プラズマによる通信路のオンオフが確認でき,流星出現数をモニタリングするシステムが構築できる.近年では VHF 帯アマチュア無線波を用いた流星電波観測(HRO:Ham-band Radio meteor Observation)<sup>(2)</sup>が行われており,例えば流星群の時期における衛星軌道上ハザード事象の定量的見積り等に指標を与え得る.本稿では,HROの発展課題として,電波干渉技術を用い構築した流星電波エコー自動方探システムを紹介する.

2. 流星電波観測の概要

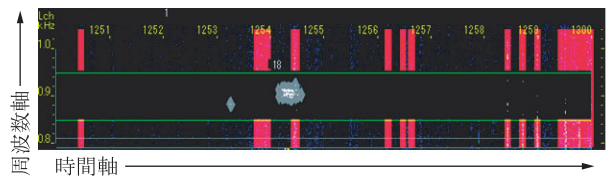
HRO 観測では送信波周波数に同調させた受信機の音

声出力を PC のサウンドボードに入力し,専用のソフトウェア HROFFT を用い 10 分ごとのドップラースペクトル解析画像を得ている<sup>(3)</sup>.同画像の例を図 1 に示す.通常は画像上の流星エコーを人が判読し 10 分ごとの流星出現数を取得グラフ化するが,我々は HROFFT 画像自動読み取りソフトを開発し自動計数を実現した<sup>(4)</sup>.電波観測のメリットはその連続性にある.流星物質の流入は光学観測による検知が困難な昼間も続いているが,電波観測では気象条件や昼夜を問わず定量計測が可能となる.

ここで流星物質の流束(フラックス)の経時変化について簡単に説明すると,地球の自転に伴う日周変化と公転に伴う年周変化がある.図 2 のように,太陽系(黄道)面を北から俯瞰した場合,地球は太陽の周りを反時計方向に約 30 km/s で公転しつつ毎日 1 自転しており,地球上のある経度面は,明け方に公転進行方向を,夕方に公転進行逆方向を向く.このため,惑星間塵の流入フ



(a) 流星エコーのスペクトル表示例



(b) 流星エコー自動検出結果の例

図 1 流星電波観測専用ソフトウェア HROFFT 画像上における (a) 流星エコーのスペクトル表示例と, (b) 画像処理による流星エコー自動検出結果の例

山本真行 正員 高知工科大学システム工学群  
E-mail yamamoto.masa-yuki@kochi-tech.ac.jp  
埜口和弥 日本アルゴリズム株式会社  
E-mail noguchi.kazuya@nalgo.co.jp  
Masa-yuki YAMAMOTO, Member (School of Systems Engineering, Kochi University of Technology, Kami-shi, 782-8502 Japan) and Kazuya NOGUCHI, Nonmember (Nippon Algorithm Company LTD., Tokyo, 154-0004 Japan).  
電子情報通信学会誌 Vol.94 No.10 pp.868-870 2011年10月  
©電子情報通信学会 2011

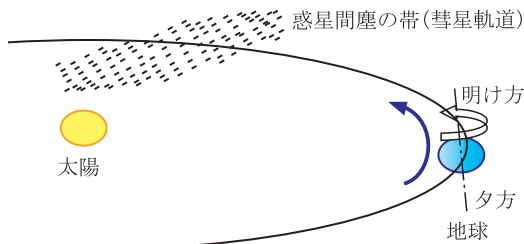


図2 地球の自転・公転方向と流星群（惑星間塵）遭遇位置

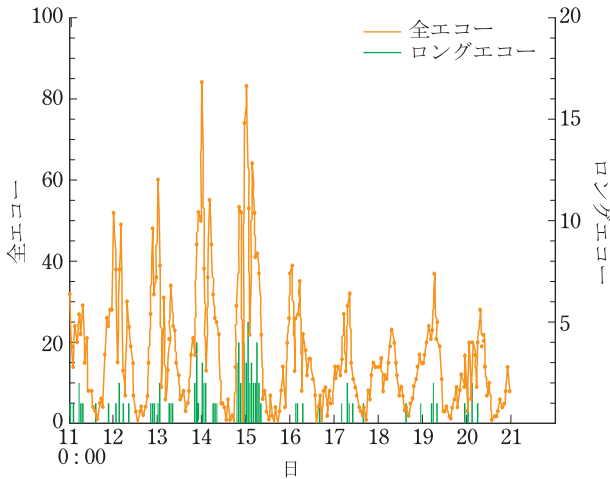


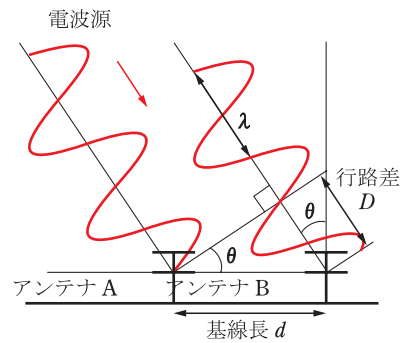
図3 流星電波観測による計数結果(2010年12月11日から10日間)

ラックスは明け方に極大、夕方に極小となる。一方、太陽系内には惑星間塵が局所的に多い場所があり、その場所を地球が通過する際に流星数は急激に増大し流星群と呼ばれる。例えば8月12日頃のペルセウス座流星群や12月13日頃のふたご座流星群は毎年観察できる流星群として有名である。

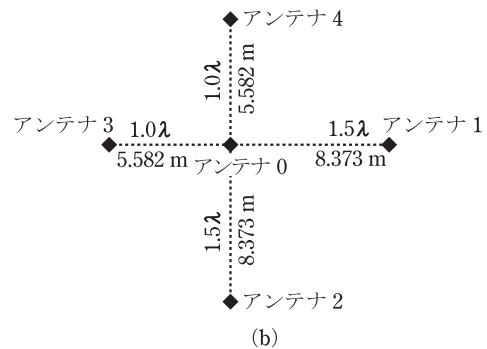
図3は、高知工科大学において2010年12月中旬に得た流星出現数観測結果であるが、上述の日周変化に加えて、12月13日を中心に「ふたご座流星群」の活動が明瞭に認められる。グラフでは、流星プラズマの出現に応じ得られる通信路の1回のオンオフを1流星として自動計数される。この継続時間は規模に依存し、大規模な場合は10分以上継続する例もある。ここでは30秒以上の場合にロングエコー（緑の棒グラフ）として計数する。

### 3. 流星電波干渉計の開発

高知工科大学では、2004年から流星電波干渉計の開発に着手した<sup>(5),(6)</sup>。隣接する2基のアンテナの電波到来時間差を位相差として検出し到来方向を算出する(図4)。初期の2005年には間隔 $0.5\lambda$  ( $\lambda$ は観測電波の波長)のクロス八木アンテナ3基による干渉計を開発し、東西・南北面それぞれに対し位相差を1組得て電波到来方



(a)



(b)

図4 電波干渉計の模式図(a)及び5基のアンテナによる電波干渉計アンテナ配置の例(b) 位相差から行路差を算出し、到来角を得る。

向を得た。2009年にはアンテナ5基を偏芯した十字形に配置しバージョンアップ(5ch-HRO-IF)、中央アンテナに対し $1.0\lambda$ 及び $1.5\lambda$ となるよう配置し2組の位相差を同時に得ることで、干渉法で問題となる $2\pi$ の任意性を回避し精密解を求める方式を採用した<sup>(3),(7)</sup>。計算上の探知精度はアンテナ5基を用いた場合、数度以内である。光学観測との比較による精度検証<sup>(7),(8)</sup>では、近年大幅な進展を遂げた高感度CCDビデオと動体自動検出ソフトウェアUFOCapture<sup>(9)</sup>による観測と比較した。5ch-HRO-IFでは、受信強度が十分で継続時間が4秒以上の流星エコーに関し、誤差10度以内に80%の一致率を得た<sup>(7)</sup>。

流星プラズマは経路沿い数十kmの広範囲に分布し、また一般的に流星電離柱は流星発光域より高高度に分布する困難もある中、一致度80%は良好である。本装置は前方散乱方式レーダといえ、その特長は低電力での方向探知実現にある。送信局一流星プラズマ受受信局が幾何学条件を満たす必要があり、全ての流星を検知できるわけではないという問題もあり、相対値としての変動であるという事情を考慮し解釈する必要がある。

### 4. 自動中継システムとデータ利用

流星電波干渉計によるデータは2009年1月からWeb上に準リアルタイム中継を実施している<sup>(10)</sup>。干渉計処理専用開発したソフトウェアHRO-IF\_V2により方

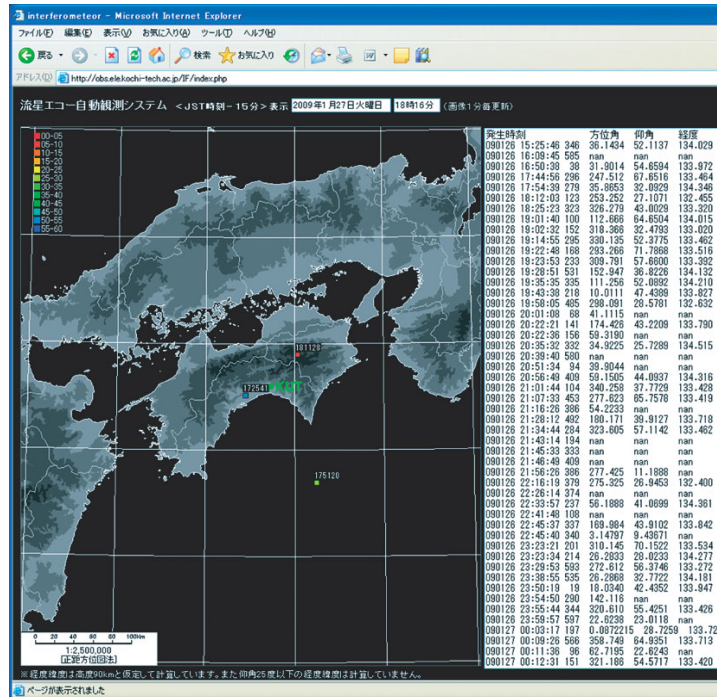


図5 流星エコー自動観測システムの表示画面の例 地図上に過去1時間分の流星位置と時刻を表示, 右欄にテキスト表示.

向探知できた流星エコーの方位角, 仰角, 高度 90 km 面に投影した流星位置経緯度を得る. HROFFT 画像を認識する専用ソフトウェア Meteor\_Echo\_Counter により画像上の各流星エコーの発生時刻, 継続時間, 強度を得る. これらの情報から, 図5に示す地図表示で過去1時間分及び12時間分の流星エコー出現位置をマッピングし, 1日分のテキストデータも表示する. HROFFT 画像は10分ごとに生成されるため, 画像処理と自動転送処理のタイミング制御の問題から, 15分後の表示とした.

## 5. む す び

流星観測を目的とした電波干渉計を製作し, 画像処理による自動認識技術を用いて流星群の出現を準リアルタイムで監視できる流星エコー自動方探システムを開発した. 流星フラックスの監視により, 衛星軌道上ハザード事象の検知や, 流星以外の電離層現象に関する方向探知にも応用できる可能性を有する.

## 文 献

- (1) 福田 明, 流星バースト通信, p. 208, コロナ社, 東京, 1997.
- (2) K, Maegawa, "HRO: A new forward-scatter observation method using Ham-band beacon," WGN, vol. 27, pp. 64-72, 1999.
- (3) 流星電波観測ハンドブック, 中村卓司(監修), p. 180, CQ 出版社, 2002.
- (4) K, Noguchi and M.-Y. Yamamoto, "Development of an automatic echo-counting program for HROFFT spectrograms," Earth Moon

Planets, vol. 102, no. 1-4, pp. 323-329, 2008.

- (5) 堀内洋孝, 流星電波観測における干渉計システムの基礎開発(1), 高知工科大学卒業研究報告, 2005.
- (6) 岡本悟郎, 流星電波観測における干渉計システムの基礎開発(2), 高知工科大学卒業研究報告, 2005.
- (7) 埜口和弥, 5ch 電波干渉計による流星出現位置の精密測定と自動観測システムの開発, 高知工科大学大学院特別研究報告, 2009.
- (8) 濱口美子, 流星電波干渉計の較正実験と流星位置表示ツールの開発, 高知工科大学卒業研究報告, 2006.
- (9) SonotaCo, "A meteor shower catalog based on video observations in 2007-2008," WGN, vol. 36, pp. 124-130, 2010.
- (10) 埜口和弥, 流星エコー自動観測システム, 2009, <http://obs.ele.kochi-tech.ac.jp/IF/index.php>

(平成 23 年 4 月 18 日受付 平成 23 年 5 月 23 日最終受付)



やまもと まさゆき  
山本 真行 (正員)

平 6 東北大・理・物理卒. 平 8 同大学院理学研究科地球物理学専攻博士前期課程了. 平 13 同後期課程了. 同年通信総合研究所専攻研究員. 平 15 高知工科大講師. 平 18 同助教授, 平 19 同准教授. 平 23 国立極地研究所客員准教授兼務. 博士 (理学). NASA Stardust, JAXA はやぶさ帰還観測・観測ロケット等に従事. 地球電磁気・地球惑星圏学会, 日本天文学会, 日本惑星科学会, 国際天文学連合 (IAU), 映像情報メディア学会各会員.



のぐち かずや  
埜口 和弥

平 19 高知工科大・工・電子・光システム卒. 平 21 同大学院修士課程了. 同年日本アルゴリズム株式会社入社. 大学院在学中に本流星電波干渉計及び自動中継システムを開発し, ハード・ソフト両面で主導的役割を果たす.