

惑星間空間シンチレーションによる太陽風速度測定：スペクトルフィッティング法と相互相関法の比較

徳丸 宗利 [1]
[1] 名大・STE研

Solar wind speed measurements with interplanetary scintillation: Comparison between spectral fitting and cross correlation methods

Munetoshi Tokumaru[1]
[1] STE Lab., Nagoya Univ.

<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/~tokumaru/>

The cross correlation analysis has been employed at the Solar-Terrestrial Environment Laboratory (STEL) of Nagoya University to determine the solar wind speed from interplanetary scintillation (IPS) observations. This method provides speed estimates as reliable as in situ measurements. However, it requires simultaneous data collection at multi stations with high precision time synchronization. There is another method to determine the solar wind speed from IPS observations without such a multi-station system; i.e. the power spectrum of IPS allow determination of the solar wind speed from IPS by fitting a theoretical model to observations. This method is useful since single-station IPS measurements at a given frequency are sufficient for it. Although it was demonstrated from a past study that solar wind speeds derived with the spectral fitting method are in good agreement with those with the cross correlation method, it is necessary to compare between them repeatedly and extensively in order to confirm the reliability of the spectral fitting method. In this study, IPS observations collected at Toyokawa (one of the STEL IPS stations) are analyzed with the spectral fitting method, and obtained speed estimates are compared with those from the cross correlation analysis. Here, I use IPS data collected for a strong source 3C273 in 2012, and two kinds of the theoretical model; thin-screen model and spherically symmetric distribution model, where weak scattering condition is assumed. I examine dependence of discrepancies between spectral fitting and cross correlation methods on various factors such as models, free parameters, solar elongation, and scintillation level. As result, it is found that speeds from the spectral fitting method generally agree with those from the cross correlation method, and the best correlation is obtained when the thin screen model with free parameters including the axial ratio and spectral index is used. However, it should be noted that a large scatter exists in the correlation plot between spectral fitting and cross correlation data, and the correlation coefficient is 0.47 even for the best case. Therefore, further examination is needed to identify a cause of the large scatter.

1. はじめに

惑星間空間シンチレーション (IPS) 観測から太陽風速度を求めるには、多地点で同時に取得した IPS データの相互相関解析によるもの (相互相関法、e.g. Kakinuma et al., 1973)、IPS データのパワースペクトルに理論モデルをフィットするもの (スペクトルフィッティング法、e.g. Ananthkrishnan and Manoharan, 1990)、複数の周波数間の相関スペクトル解析によるもの (コスペクトル法、e.g. Scott et al., 1983)、などがある。最も信頼性が高いとされ、名大 STE 研ではこの方法で太陽風速度を測定している。しかし、多地点観測は技術的に困難であり、現在、この方法で定常的に太陽風速度の測定をしているのは STE 研を置いて他にない。一方、1 地点における観測で可能なため、この方法を用いている研究グループは多い。例えば、インドでは大口径の電波望遠鏡の感度を活かしてこの方法で 1 日に数多くの太陽風速度データを求めている。この方法で得られた太陽風速度の比較は過去に実施され、両者は概ね一致することは示された (Ananthkrishnan and Manoharan, 1990)。しかし、定量的な評価は行われず、その後も系統的な比較調査は行われていない。そこで本研究では、STE 研で取得している IPS データからスペクトルフィット法により太陽風速度を求め、得られた結果を相互相関法と比較を行った。従来の比較は観測点・観測時刻が異なっていたが、今回は同一地点で同時に得られたデータの比較なので手法による違いを議論する正確に議論することができる。

2. スペクトルフィット法

IPS のパワースペクトルは、散乱が弱い場合、理論モデルでよく説明できる。そのモデルにおけるパラメータは、太陽風速度 V 、擾乱のべき指数 β 、異方性の軸比 AR 、インナースケール周波数 k_i 、擾乱の強度 C_n である。このモデルを観測されたスペクトルに最もよく一致するようなパラメータを探すことで、 V を求めることができる。本研究では、2 種類の弱散乱 IPS モデルを用いた。1 つは地球から距離 Z の場所に厚さの無視できる散乱層があることを仮定したもの (Thin Screen モデル) で、鹿島の IPS 観測データの解析 (Tokumaru et al., 1991) で用いられている。もう一つは、太陽風の分布が球対称であると仮定し、視線に沿ってパワースペクトルの積分を行うもの (球対称分布モデル) で、インドの IPS データ解析で用いられている (Manoharan, 2010)。また、これらのモデルにおける自由パラメータは、 V (thin Screen モデルの場合、フレネル周波数 f_F と等価)、 AR 、 C_n の最大 4 つとし、 k_i は固定 (6Hz) とした。観測値とモデル計算値の比較は対数をとって比較することとし、周波数軸方向にも対数で圧縮する効果を得るため $1/f$ の重みをつけた。

3. 解析

本研究では、2012 年における電波源 3C273 について解析を行った。3C273 は、IPS 電波源の中で最も強度が強く、良好な S/N のデータが得られる。また、9 月下旬に太陽半径の約 16 倍まで接近するので、327MHz が強散乱となる 40Rs

以内の領域のデータも含まれる。2012年の3C273の観測から、相互相関法により太陽風速度が決定できたのは、8月4日から12月1日の間の70例、そのうち11例は強散乱領域に対応する。太陽からの見かけの距離は180~16Rsの範囲であり、この間シンチレーション強度は一桁以上変化する。本研究では、70例について様々な条件でスペクトルフィッティング解析を行い、得られた太陽風速度を相互相関法の速度と比較した。比較結果から、次の項目について調査した。

前述の2つのモデルの違い、自由パラメータ数に対する依存性、太陽からの見かけの距離に対する依存性（強散乱の影響）、シンチレーション強度に対する依存性（観測データのS/Nの影響）など。ここで、 V_{AR} において自由パラメータ数4の他、自由パラメータ数3（ V, AR, C_n ）または（ V, σ, C_n ）、自由パラメータ数2（ V, C_n ）にしてスペクトルフィットを行っている。

4. 結果のまとめ

これまでの調査から、自由パラメータ4のThin Screenモデルを用いた場合に相互相関法と最もよく一致する結果が得られることがわかった。しかし、その相関値は0.47と低く、大きなばらつきが生じている。また、強散乱の領域になると、スペクトルフィット法は高めの速度を示すこと、シンチレーション強度の弱いときにばらつきが大きくなることも判った。今後、さらに調査をすすめ、相互相関法との食い違いを生じている原因を明らかにしてゆきたい。