

「あかつき」の太陽コロナ電波掩蔽観測による電子密度変動スペクトルの解析

○宮本麻由 [1]mayu@ac.jaxa.jp、今村剛[2]、安藤紘基[1]

東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻[1]、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所[2]

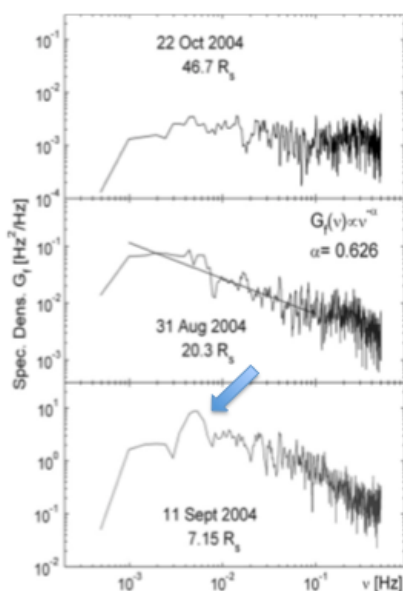
① 目的・背景

太陽コロナの加熱や太陽風加速に関するメカニズムのプロセスの一端を解明すべく、電波掩蔽観測によって太陽コロナの密度変動の周波数特性を調べるのが本研究の目的である。

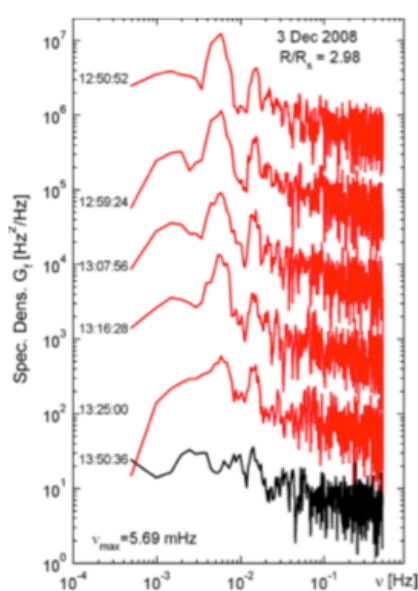
コロナ加熱のメカニズムに関しては、光球から伝播するアルフベン波の散逸によってコロナが加熱されるという波動加熱説という説がある。

また近年では、バックグラウンドにあるべき乗則のレベルに対して約3倍のスペクトル密度を持ち、周波数4mHz(およそ4分の変動間隔に相当)前後に現れるquasi-periodic component (QPC)と呼ばれる現象が3-40Rs(太陽半径)で報告されている(Efimov et al., 2011)。QPCは磁気音波に関係している準周期的な電子密度擾乱が源であり、磁気音波はコロナから生じる5分帯のAlfven波の非線形相互作用によって局所的に生じるという説がある。

今回の観測では先行研究よりも太陽近傍を見ているため、下部コロナの変動を見ることができる。



Efimov et al., (2011)

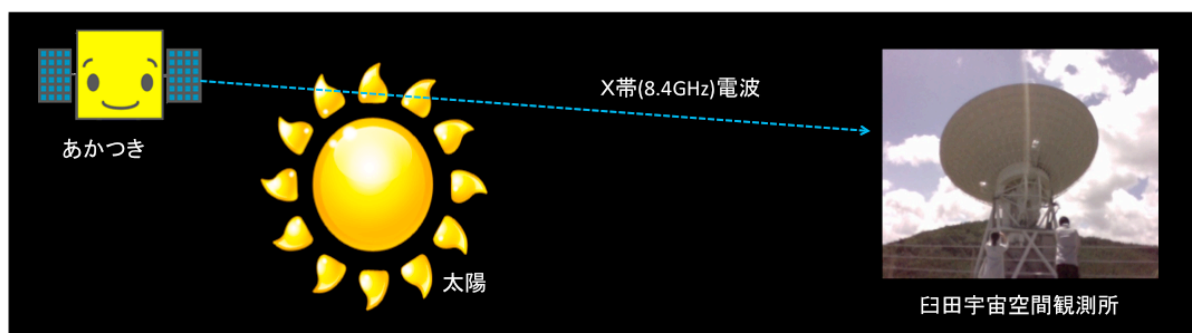


Efimov et al., (2011)

② 観測

電波掩蔽観測

- 地上局から見て探査機が太陽の背後へ入出する際、探査機から送信された電波が太陽コロナを通過し地上局に届くことを利用した観測。
- 電波の受信周波数(位相)や強度の時間変化を解析することで、太陽からの距離に応じた太陽風中の電子密度擾乱や太陽風速度の情報を得ることができる。



観測概要

- 2011年6月6日～7月8日で全16回、各6～7時間、最接近日は6月25日
- 6月24～27日は太陽衛星「ひので」と共同観測
- 太陽中心から 1.5～20.7 $R_{\odot}$ (太陽半径)というこれまであまり観測されていない太陽近傍まで観測 ($1R_{\odot} = 6.960 \times 10^8 \text{ m} = 0.004649 \dots \text{AU}$)
- 電波経路は太陽の北極域を通過
- 搭載USO(超高安定発振器)出力のX帯(8.4GHz)信号を地上局でオープンループ記録
- 500kHzサンプリング周波数

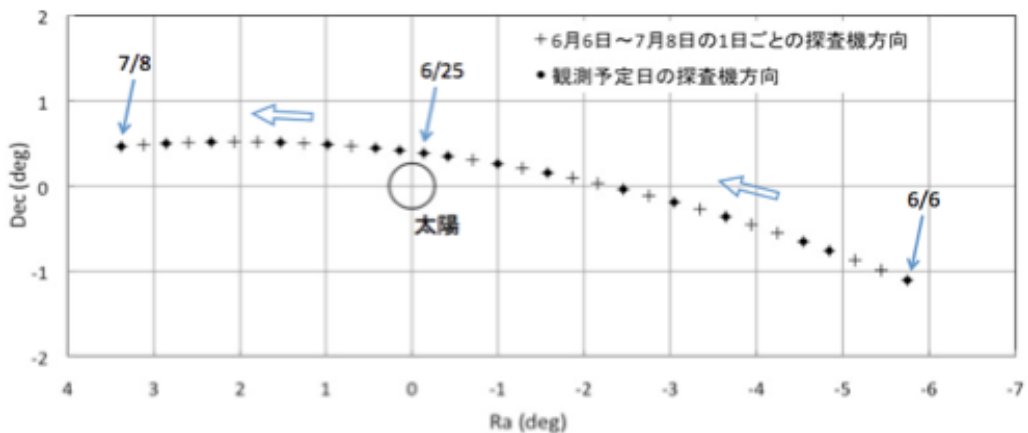
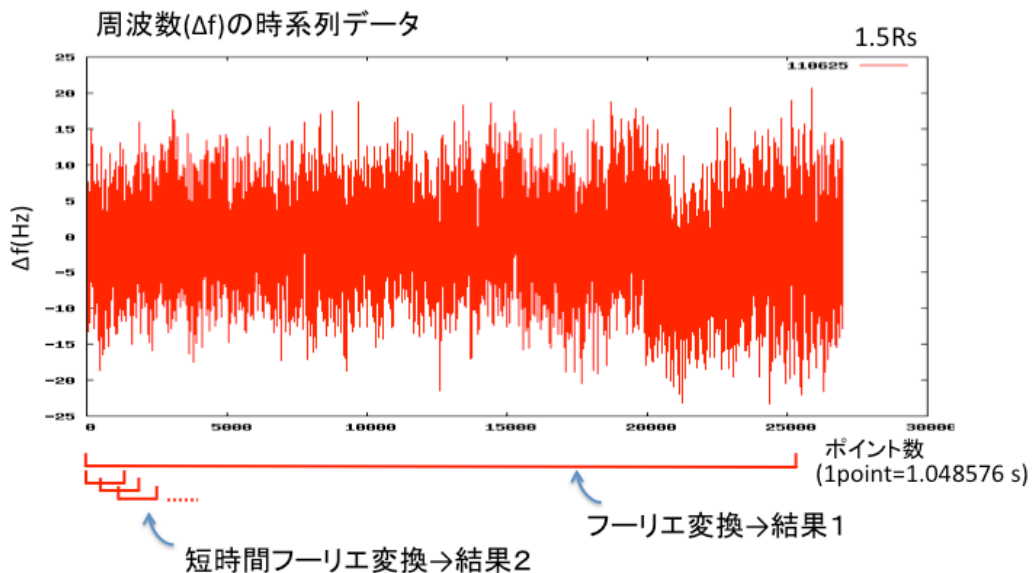


図2 太陽方向基準の、地球から見たあかつきの方向。右から左へと移動する。

③解析方法

あかつきから得られた周波数のずれの時系列データをフーリエ変換する。1日分のデータ(それぞれ6時間または7時間半)をフーリエ変換したものを結果1に、512ポイント(約538秒)ずつ短時間フーリエ変換したものの一部を結果2に示す。



④ 解析結果・考察

結果(1): 太陽からの距離に応じたパワースペクトル

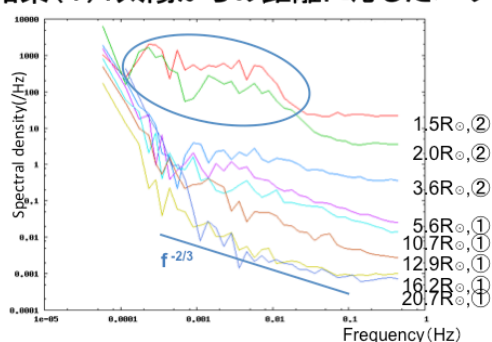


Fig.1 1.5~20.7R $\odot$ の周波数のパワースペクトル

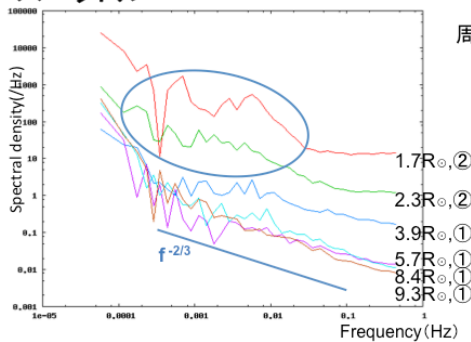


Fig2 1.7~9.3R $\odot$ の周波数のパワースペクトル

周波数推定法:
①スペクトルフィッティング
②重心を求める方法

パラメータ
帯域幅:977
FFT長:1024

5.6Rsより外側の周波数データからは、標準的な太陽風速度($10^2 \sim 10^3$ km/s)を仮定するとおよそ波長 $10^3 \sim 10^6$ kmの電子密度擾乱スペクトルが得られ、乱流のKolmogorov則に近い傾きが見られた。2.3Rsより内側では波長 $10^3 \sim 10^5$ kmのスペクトルが得られ、ここでは波長およそ 10^4 kmを境に短波長側では急峻、長波長側では平坦化という、遠方とは異なる特徴が見られた。また、ここから太陽近傍ではQPCが現れていることが予想できる。

結果(2): 短時間でのパワースペクトルの変動(1.5Rs)

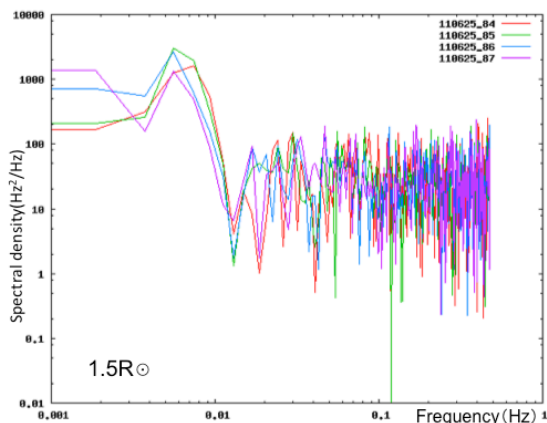


Fig.3 短時間フーリエ変換で得た周波数のパワースペクトル

1.5Rsでの周波数の時系列データを短時間フーリエ変換(512秒)するとQPCと似た現象が数多くみつかった。激しい時間変化を伴い、散在しているところがあれば、連続的に現れているところもあった。これらの一部をFig.3~5に示した。Fig.3は連続してQPCと似た現象が現れたものである。896秒間ほど続いていたことになる。およそ5mHz(約3分周期)にQPCと似た現象が見られる。Fig.4ではおよそ4mHzにQPCと似た現象が、10mHzにはその第二高調波が現れている。Fig.5ではおよそ2~10MHzにかけて大きな膨みがみられる。これはQPCと似た現象と第二高調波が混合したものと考えられ、フーリエ変換の時間を変えれば分離できる。

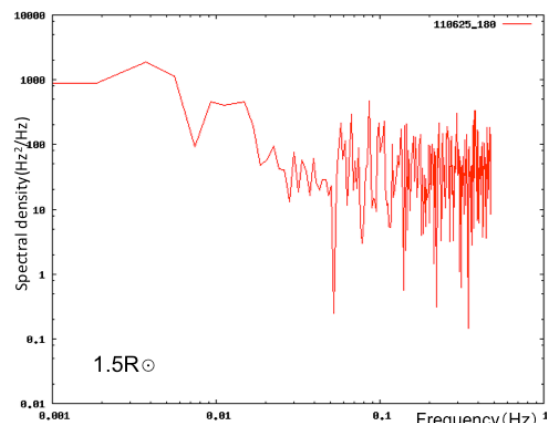


Fig.4 短時間フーリエ変換で得た周波数のパワースペクトル

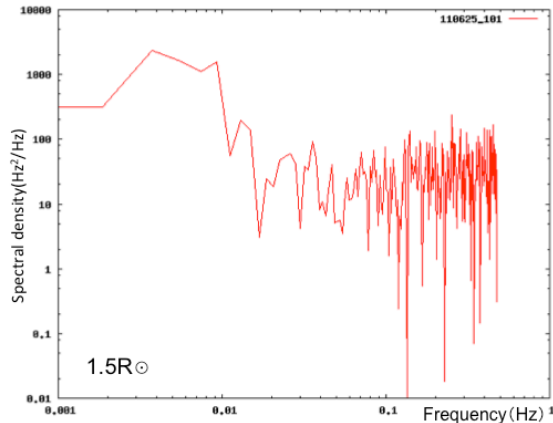


Fig.5 短時間フーリエ変換で得た周波数のパワースペクトル

⑤まとめ

- 周波数のパワースペクトルは太陽から遠い時、乱流のベキ乗則に従う。
- 今まで見られていない太陽近傍(1.5Rs～)でおおよそ3分周期の変動を初めて見つけた。
- この現象は先行研究でEfimovによって報告されているQPCとよばれる現象と似ている。
- この現象は激しい時間変化を伴っている。
- この現象は散在していたり、連続的に現れたりする。

⑥今後の課題

- 今回見つかった3分周期の変動の振幅や発生頻度、太陽からの距離依存性を調べる。
- ひのでの観測との比較を行う。

参考文献

Efimov, A.I., Lukanina, L.A., Samoznaev, L.N., Rudash, V.K., Chashei, I.V., Bird, M.K., Pa'tzold, M., Tellmann, S. Quasi-periodic fluctuations detected in MARS-EXPRESS coronal radio sounding observations. In: Maksimovich, M., et al. (Eds.), Solar Wind 12, AIP-CP 1216, pp.90-93, 2010.

A.I. Efimov, L.A. Lukanina, L.N. Samoznaev, V.K. Rudash, I.V. Chashei, M.K. Bird, M. Pa'tzold, The MEX, VEX, ROS Radio Science Team. Quasi-periodic frequency fluctuations observed during coronal radio sounding experiments 1991-2009. Advances in Space Research 49 (2012) 500-508.