

Abstract

Coronal radio occultation experiments were carried out using the Akatsuki spacecraft from June 6, 2011 to July 8, 2011. The radio waves were transmitted from the spacecraft toward the Earth and probed the plasma in the solar corona on the way to the ground station. Due to the movement of small-scale density irregularities across the ray path, the frequency and intensity of the received signal undergo temporal variations. The frequency fluctuation is proportional to the rate of change of the electron column density along the ray path. Based on the substantial interest in the acoustic waves in the corona, we examined the radial dependence of the characteristics of the waves, such as the period, the density amplitude and the energy flux, by wavelet analysis of the electron density fluctuations in the region from 1.5 to 20.5 R_S (solar radii) obtained by radio occultation.

The overall spectral fluctuations at 3.5-20.5 R_S have near power-law dependences over the frequency interval $10^{-3} \text{ Hz} < \nu < 10^{-1} \text{ Hz}$ (periods of 10-1000 s) and those at closer heliocentric distances have prominent excess power above the background. By further investigation, quasi-periodic disturbances having periods of 100-3000 s were detected at 3.5-10.5 R_S , while periods exceeding 3000 s were also observed at 1.5-2.4 R_S . Our result suggests that quasi-periodic fluctuations occur also at closer distances than suggested by previous studies. It was also found that the coherence time of each event is typically comparable to its period. Amplitudes of the density fluctuations were estimated to be 0.2-40% of the background density in the maximum estimate and 0.02-1.0% in the minimum estimate depending on the assumption on the spatial scale of the density fluctuation. We also estimated the energy fluxes of these sporadic events on the assumption that the observed fluctuations are manifestations of acoustic waves. The maximum estimates of the energy fluxes are about $10 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, which does not satisfy the coronal heating requirement, although we cannot directly compare the present estimate with the requirement at the bottom of the corona. The estimates are also much smaller than the previous theoretical prediction of acoustic wave fluxes secondary generated from Alfvén waves.

要旨

現在太陽周回軌道を航行中の金星探査機「あかつき」は2011年に太陽コロナの電波掩蔽観測を行った。これは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で、電波の受信周波数変動や強度の時間変化を得る。受信周波数変動からはコロナ中の電子密度変動の電波経路上の積分値が求まる。今回「あかつき」は太陽中心から1.5-20.5 R_S (太陽半径) という太陽近傍の観測を行った。本研究ではコロナ中の音波の潜在的な重要性の認識のもと、この受信周波数変動データのスペクトル解析を行い、コロナ中の音波の性質(周期、密度振幅、エネルギーフラックス)の距離依存性やコロナ加熱への寄与を考察した。

フーリエ解析の結果から、太陽から遠いところ(3.5-20.5 R_S)では密度変動スペクトルが乱流のべき乗則に従う傾向が、太陽近傍(1.5-2.4 R_S)ではそれと異なる背景スペクトルから突き出るふくらみが見られるという全体的な特徴を捉えた。またウェーブレット解析の結果、3.5-10.5 R_S で周期100-3000 sの準周期的な密度変動が、1.5-2.4 R_S では周期100-3000 sと共に周期3000 sを超える準周期的な密度変動も見つかった。また、そのそれぞれの密度変動における周期と継続時間が同等ということもわかった。密度変動の空間スケールを仮定し電波経路上の積分値から見積もった密度変動の振幅は、背景密度に対し最大ケースで0.2-40%、最小ケースで0.02-1.0%であった。観測された変動が音波によると仮定し見積もったエネルギーフラックスは最大でおよそ $10 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であった。これはコロナの加熱に必要な量と比べ非常に小さい値だが、この加熱に必要な量はコロナ底部における値なので、直接比べることはできない。また、Alfvén波から二次的に生成される音波のエネルギーフラックスの理論的な推定値と比べても小さい値であった。