

2011 東北地震によって励起された低周波波動とイオノグラム上での可視化

丸山 隆 [1]; 品川 裕之 [1]
[1] 情報通信研究機構

Infrasonic sounds excited by the seismic waves of 2011 Tohoku earthquake as imaged by ionosonde

Takashi Maruyama[1]; Hiroyuki Shinagawa[1]
[1] NICT

After the 2011 Tohoku earthquake (M9.0) that occurred on 11 March 2011, various types of ionospheric disturbances were reported at remote distances from the epicenter. The disturbance dealt with in this paper is a multiple cusp signature (MCS) of the ionogram trace. The separation of the consecutive cusps corresponds to the wavelength of vertically propagating infrasonic waves. Combining the vertical density profile converted from the ionogram with the sound velocity calculated from the atmospheric model, the wave period was estimated to be 20-50 s. Further comparison between the density profile and broadband seismograms (NIED F-net censers) near the ionosonde exhibited that the vertical ground motion excited the infrasonic waves. Detailed analysis showed that the first ionograms with MCS observed at Wakkanai, Yamagawa, and Okinawa were caused by the P-wave before the arrival of the large amplitude Rayleigh wave. While distinct MCS ionograms observed after that were ascribed to the Rayleigh wave excited by the largest aftershock (M7.7). The dispersion of the Rayleigh wave was also seen in the separations of cusps.

For quantitative discussion on the amplitude of seismic waves and the density irregularities, we made one-dimensional numerical simulation of wave propagation from the ground to the ionospheric heights. The results showed that the P-wave ground motion as observed, i.e., amplitude of 2 mm/s and period of 50 s, was sufficient to modify the vertical electron density profile to cause MCS. Seismic waves with a period shorter than ~10 s were found to be decayed before reaching the F-region peak height, which is consistent with the observations.

An MCS ionogram was also observed at Wakkanai associated with a foreshock (M7.3) of the Tohoku earthquake occurred on 9 March 2011, which was the smallest magnitude of earthquake causing MCS ever analyzed for the earthquakes occurred near Japan after 1957. This was a coincidence of the infrasonic wave packet at the ionospheric heights emitted by the ground motion and the sounding volume by the frequency swept ionosonde. The MCSs might be observed more frequently if we have operated ionosondes with shorter intervals.

2011年3月11日の東北地震の後に震央から離れた地点で様々な電離圏の擾乱が報告されている。ここで取り上げる擾乱はイオノグラムトレースに多数のカスパ状の変形 (multiple cusp signature: MCS) が現れたものである。カスパの間隔は上方に伝搬する波の波長に対応している。イオノグラムを変換して得られる電子密度の高さプロファイルと大気モデルに基づき計算した音速を比較すると、波の周期は 20 - 50 秒と見積もられる。さらにイオノゾンデ近傍の地震計のデータとイオノグラムを直接比較すると、地震による地面の上下運動が低周波の粗密波を励起したことが分かった。詳しい解析では、各地で最初に観測された MCS は振幅の大きい Rayleigh 波ではなく、それより先に到達した P 波が励起したことが分かった。その後に明瞭に観測された MCS は M7.7 の余震による Rayleigh 波が励起したものと考えられ、Rayleigh 波の分散関係に対応する cusp 間隔の時間変化も現れている。

観測された P 波の振幅と周期が定量的に MCS の振幅を説明し得るがどうか確かめるため一次元の数値シミュレーションを実施した。その結果、振幅 2mm/s、周期 50s の地面の動きが引き起こす大気の圧力変動は粗密波として電離圏高度に達し、観測されたような MCS を引き起こすのに十分で有ることが分かった。また、周期 10s 以下の波動では F 層高度に達する前に減衰することも分かった。これも観測と良く一致する。

これまで、M8.0 以上の巨大地震について MCS 発生の統計的な解析を行ったが、2011 年の地震では M7.7 の余震以外にも 2 日前の 3 月 9 日に起こった前震 (M7.3) によって、稚内で明瞭な MCS が観測されていた。その後の調査で、これは 1957 年以降に日本周辺で起こった地震の中で MCS を引き起こすものとしては最も小さいものであり、電離圏に到達した Rayleigh 波起源の音波の波束とイオノゾンデの観測領域が完全に一致したためこのマグニチュードでも MCS が観測されたものである。イオノゾンデの観測周期を短くすれば、この種の現象はこれまで考えていた以上に頻繁に観測されたと予想される。