

## 1. 序論

・1年次に地学の授業内で宇宙天気と流星電波観測について知り地球周辺の現象についてとても興味が湧きこの研究に至った。それ以降類似した内容について理解を深めてきた。  
 ・流星は発光する際に周囲の大気を一時的に電子とイオンに分ける「電離」という状態を引き起こす。その時、周囲の電子密度が変化し超短波(30MHz~300MHz)を反射するようになる。そこで地上から電波を発信し流星を「電波の目」で観測するのが流星電波観測。

## 2. 目的

・流星電波観測を利用して太陽活動が電離層に影響を与えているか調査・観察する。

## 3. 仮説

・流星電波観測では流星の電波だけでなく様々なノイズをキャッチする。そのノイズの中に太陽の活動によるものがあると考えられる。また、通信障害の一つである「デリンジャー現象」も正確な理由は明らかでないものの太陽フレアが発生し、X線や紫外線が急増することにより電子密度が高くなって影響を受けていると考えられているため、ほかの太陽の影響もデータに現れると考えられる。

## 4. 実験・検証方法

## 【データについて】

・流星電波観測…観測地点:東京都八王子市 周波数:53.755MHz  
 観測者:杉本 弘文様  
 発信元:福井県立大学アマチュア流星電波観測研究会  
 本研究では、HRO (Ham-band Radio Observation) 方式の流星電波観測を使用した  
 ・NOAA (アメリカ海洋大気庁)…太陽X線強度  
 ・NICT (情報通信研究機構)…イオノグラム、サマリイオノグラム (@国分寺)

## ※イオノグラム

地上から電離層に向けてパルス波を発信し、反射した電波強度を測定してその電離層の見かけの高さやどの周波数の電波が反射されたかがわかるグラフ。横軸が周波数、縦軸が見かけの電離層高度、色相が反射波の相対的な強度を示す。サマリイオノグラムは4日間のイオノグラムを圧縮。縦軸が周波数。

## 【対象とする期間】

・対象とする機関は、宇宙天気予報センターが公表しているレポートをもとに、比較的短い期間で複数の太陽活動が見られた**2021/10/23~2021/11/12の21日間**を対象とした。

※実際の太陽活動の評価は宇宙天気予報センターの日報・週報・臨時情報を参考にした。

## 【電離層が電波を反射する条件】

電離層に向けて発信される電波の振動数:  $\omega$   
 ある高度の電離層のプラズマ振動数:  $\omega_0$  のとき、  
 $\omega \leq \omega_0$  : 反射する  
 $\omega > \omega_0$  : 透過する  
 また、プラズマ振動数  $\omega_p$  は以下のように表される。

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{n_0 e^2}{\epsilon_0 m}}$$

$n_0$ : 電子密度  $e$ : 素電荷  
 $\epsilon_0$ : 真空の誘導率  $m$ : 電子質量

$n_0$  以外は定数であるから、ある高度の電離層のプラズマ電子数  $\omega_p$  は電子密度によって決まる。

ここで、素電荷  $e = 1.602 \times 10^{-19}$

真空の誘導率  $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$

電子質量  $m = 9.109 \times 10^{-31}$

すなわち、 $n_0 \geq \frac{\epsilon_0 \omega^2 m}{e^2}$  また、地上からの電波の周波数(イオノグラム)は、 $\omega = 0.1 \sim 3 \times 10^7$  であるから、

$n_0 \geq 3 \times 10^8 \sim 3 \times 10^{11} (\text{m}^{-3})$  を満たすときに電離層は電波を反射する。

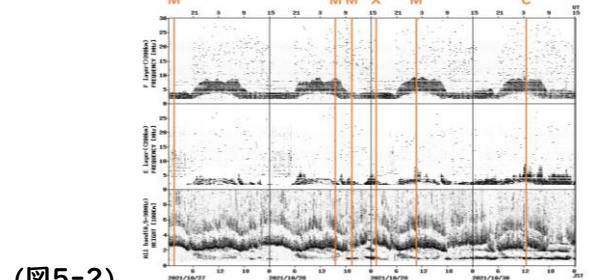
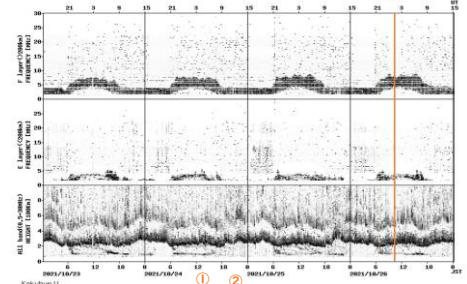
## 8. 参考文献

- [1] 流星電波観測国際プロジェクト <https://www.amro-net.jp/>  
 [2] 宇宙天気予報センター <https://swc.nict.go.jp/>  
 [3] 日本国内のイオノソフド観測データ <https://wdc.nict.go.jp/IONO/HP2009/ISDJ/index.html>

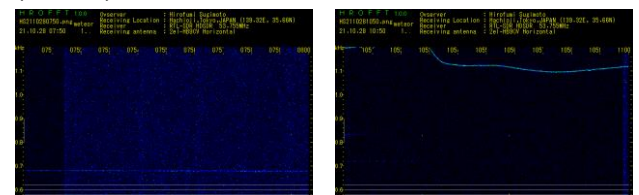
## 5. 結果

・以下は2021/10/23~2021/10/30のサマリイオノグラム。  
 ・オレンジ色の縦線はNICTの日報から情報を得た太陽フレアが発生した時間を示している。

(図5-1)



(図5-2)



①2021/10/28,07:40(UT)の太陽フレア後のHRO

②2021/10/28,10:28(UT)の太陽フレア後のHRO

## 6. 考察

・(図5-1)より、2021/10/28~2021/10/30の間で多くのMクラス以上のフレアが発生している。同時に、E層(高度100km周辺)の周波数がフレア発生時刻に近いときに比較的高い値を示している。  
 →電子密度が上がることで電波を反射する高度が高くなり、同時に反射される周波数も高くなるのではないかと。

以上のことを確かめるためにも、対象とする期間中のイオノグラムから周波数、時間をもとにプラズマ反射の式から一定時間ごとの電子密度グラフを作る必要がある。

・(図5-2)より、太陽フレアが発生した10~25分後のHROにノイズが現れた。→スプラディックE層が発生した時のようになっているため、電子密度が高くなっている可能性が考えられる。

## 7. まとめと今後の展望

・今回は圧倒的にデータ不足になってしまった。早急に電子密度グラフを作成する必要がある。  
 ・電離層に「制動放射」というものも影響している可能性があるという文献を目にしたので調べてみたい。

## 9. 以前の研究(地震発生前後の電離圏の変化)の考察

・以前私は、「地震発生前に電離層で起きる電子数の異常がどのような地震の時に起こるか」ということについて研究していた。しかし、先行研究や実際に研究を進めると難解な知識の理解や純粋なデータの抽出などが自分にとって難易度の高いものだと分かった。生半可な知識で論ずることは公に対し間違った理解を与えかねないほか、真剣に議論している研究者の方々に対し失礼だと感じた。ただし、現時点で研究が出来なくても大学やその先で必ず携わりたいと強く思えた。

・すべてが無駄だっただけでなく、今回の研究とも関りが深いので以前理解できなかった事柄が解るようになったこともある。

・電離層に影響を与える要因(太陽フレア、スプラディックE層、地磁気、プラズマバブル、紫外線など)が多くあることが分かった。もしも、地震発生前後の電子数の変化が地上あるいは地中の変化によるものかどうか検証するには、それ以外の要因を省いたデータが必要になると感じた。