

## 発見された二重ドップラー現象の継続的観測と超高層大気効果の確認

# 奥野 真衣 [1]; 大家 寛 [2]  
[1] 福井工大・大学院; [2] 福井工大・宇宙通信

### Confirmation of Newly Discovered Double Doppler Shift Phenomena of L-band Telemetry Radio Waves due to Continuous Observations

# Mai Okuno[1]; Hiroshi Oya[2]  
[1] Electrical Engineering, FUT.; [2] Space Commu. Fukui Univ. Tech.

#### 1. Introduction

The discovery of the double Doppler phenomena for the telemetry signals at L-band of Noaa satellite has been reported (Oya and Okuno, at JGU, in the spring 2008 meeting : the first report) relating to telemetry signals observations at Awara space communication center of Fukui University of Technology. The double Doppler phenomena consist of two kinds of Doppler shift frequencies; one is the component called main Doppler shift (MDPS) which coincides with the predicted Doppler shift frequency and the other is subsidiary Doppler shift frequency (SDPS) which deviates from MDPS with deviation frequency gap depending on the observation directions of satellites.

#### 2. Maser Phenomena under the Zeeman Effects—A short review

The occurrence probability of the double Doppler phenomena is about 10% and the phenomena are investigated not to be caused by technical or artificial causes. It is also clarified that the mechanism is neither related to the instrumentation nor related to the reflection from any obstacle on the ground. The ionospheric plasma effect on the double Doppler phenomena is also can not be considered because of the frequency range of Noaa satellite such as 1698MHz and 1707MHz. Then the mechanism of the maser phenomena associated with Zeeman Effect has been proposed as origin of the double Doppler phenomena. In the case of the Noaa 12 and 18 satellites whose telemetry wave frequency is 1698MHz, the resonance line frequency 1699.1882MHz of NO neutral particles is able to match to the maser effect in the region between 130km to 280km in the lower to middle thermosphere when there exists Zeeman effects due to the geomagnetic fields whose intensity varies with height. The same mechanism can be considered for the cases of Noaa 14 and 17 satellites whose telemetry radio wave frequency is 1707MHz. In these cases, the resonance line frequency 1709.2877MHz of N<sub>2</sub>O neutral particles becomes origin of maser phenomena also associated with Zeeman effects.

#### 3. Possibility of Wind Shear Effects

In the first report it has also been stated that the two different winds at different height in the NO atmosphere is essential to experience different Doppler shifts of radio wave frequency at the satellite to interpret the observed frequency gap between MDPS and SDPS frequencies; the maximum gap frequencies are in the range from 20kHz to 80kHz depending on the observation cases. Through present work, it has also been confirmed that the wind shears hypothesis is essential to interpret the frequency gaps of the double Doppler phenomena; it is then confirmed that the wind shears are dominated in the north-south, or vice versa, directions and also dominated in the horizontal direction, with the shear velocities ranging from 250m/sec to 2km/sec.

#### 4. Relation to F<sub>1</sub> Layer Irregularity and Enhanced Es Layer

The occurrence of the double Doppler phenomena has been investigated with relation to F<sub>1</sub> layer irregularity appeared in the ionogram and enhancement of Es layer. The results show that with a few exception the occurrence of the double Doppler phenomena are associated with enhancement of Es layer with foEs higher than 5MHz. frequently the occurrence of the double Doppler phenomena are associated with occurrence of F1 layer irregularities . It is suggested that the wind shear in the region in upper E and lower F regions of thermosphere is well correlated to the possible wind shears in the low thermosphere which is related to the formation of the sporadic E layer.

#### 1 . 序

福井工業大学・あわら宇宙通信受信システムにて Noaa 衛星群の L バンドテレメータ電波に対する受信実験を行っている際、テレメータ電波の受信周波数に二種のドップラー周波数偏移が生ずることが明らかになった。この現象は L バンド周波数では電離圏プラズマ中の複屈折ではないことが容易に証明され、超高層大気による散乱、特に周波数選択性の高いゼーマン効果を伴ったメーザー現象との結論に至っている。この事実は二重ドップラー現象として発表（大家、奥野、地球惑星科学連合 2008 年大会・講演会）されたが、本研究では現象の確認とその出現条件をあきらかにするため継続観測を行っていて、その成果を報告する。

#### 2 . Review

観測： 観測はあわら宇宙通信受信システムにて実施されているここには 10 m パラボラアンテナを主体とする 70dB

のLNAを備えていて、Noaa 12、14、15、16、17及び18号衛星のLバンド・テレメータキャリアー信号をベクトルアナライザーで周波数分析を行っている。観測結果は約一年間を通じ185軌道の追跡を実施した結果、約10%の割合で、互いに独立の二種類のドップラー効果による周波数偏移を示す(二重ドップラー現象と命名)ことが明らかにされた。

二重ドップラー現象の様相：二重ドップラー現象は、軌道計算より予測される主ドップラー偏移(以降MDPSと呼ぶ)と、MDPSから離脱して起こる副ドップラー周波数偏移(以降SDPSと呼ぶ)を伴っている。このSDPSは20kHzから80kHz程度MDPSよりシフトするがその生ずる様相は、全観測時間帯をカバーするA型と、一部出現するB型に分類できる。典型的なA型はSDPSがMDPSより低い側にあるAd型、SDPSがMDPSより高い周波数側に出現するAu型。両者が中間点で交叉する、Am型がある。テレメータ電波観測時に一部の時間にSDPSの出現するB型では、入感時後にMDPSより低い周波数側に出現するBd型と、消感時前にMDPSより高い周波数側にSDPSの出現するBu型がある。

二重ドップラー現象の起源：二重ドップラーの出現の様相はこの現象が地上の異常反射やシステムの機器的特性ではないことが確認され、超高層大気に異なる速度で運動する二層の出現を仮定する場合、ゼーマン効果を伴ったメーザー現象として説明された。即ち、テレメータ電波の周波数1698MHzのNoaa 12及び18号の場合、高度130kmから280kmに至る領域に分布し、異なる速度をもって運動するNO分子の振動共鳴線1699.1882MHzに対しゼーマン効果を伴ったメーザー現象で説明される。また、テレメータ電波の周波数1707MHzのNoaa 14及び17号の場合、N<sub>2</sub>O分子の振動共鳴線1709.2877MHzと同じメカニズムでゼーマン効果のもとでのメーザー効果として説明される。

### 3. 観測データ解析 - E層上部からF<sub>1</sub>層における熱圏大気のwind shearの可能性

二重ドップラー現象を説明するモデルに基づいて高度130kmから280km領域におけるNOまたはN<sub>2</sub>O分子に二層の異なる運動に対し、MDPSとSDPSの周波数差がドップラー効果として生まれる二層の大気の相対速度ベクトルを確認計算した。第1の報告で述べた南から北または北から南向きで、水平方向に卓越し、数100m/sから時に2km/sにも達するとした結果はその後の観測でも支持されていることが確認された。また二重ドップラー現象の出現時と発達したES層の出現について詳細に調査した結果二重ドップラー現象が出現している時には3例を除いて、その他全て(15例)において国分寺のアイオノグラムには5MHz以上に発達したES層が出現している。また同時にF1領域からの散乱エコーが観測される例が多く、F<sub>1</sub>領域のWind-Shearの可能性とEs層領域のwind shearの相互関係が示唆される。

### 3. 結論

既に2008年春期地球惑星関連学会において発表した二重ドップラー現象について継続観測しその出現状況の確認をおこなった。観測に対する出現は、10%弱の割合で発生する点は変わらず、原因が、高度130kmから280kmに分布するNO及びN<sub>2</sub>O分子の振動準位とゼーマン効果を伴うメーザー効果が存在することに基ずく二重ドップラー現象の説明は唯一の可能性となる。この場合、E層上部からF1層にかけて中性大気に明確なwind shearが存在することが示唆される。本研究では二重ドップラー現象が電離層探査電波のF<sub>1</sub>層散乱エコーとも関連することが明確になるとともに、直接の原因領域130kmから260kmより低い領域におけるEs層の発達が密接に関連することが確認された。