

修士論文要旨

「木星ヘクトメートル電波の放射起源に関する研究」

伊藤 智美

(指導教員：三澤 浩昭 准教授)

平成19年

木星は磁気圏内に衛星イオの火山活動に起因する巨大なプラズマ源を持ち、また強い磁場を持ちつつ約10時間という高速で自転をしているために、太陽風と磁気圏との相互作用によるエネルギーに加えて、大規模な内部エネルギーも発生している。これらのエネルギーの発露の一つとして、極域を通る磁力線上から強力な非熱的電波を放射すると考えられている。この電波の中で、周波数が数100kHz-数MHz帯にあり、Cyclotron-Maser instability (CMI)により放射されていると考えられる木星ヘクトメートル電波 (HOM) について、その放射起源の観測的実証はなされていない。HOMの放射特性は、電波放射メカニズムに関わるとともに、伝搬域のプラズマ環境、また、電波発生域へのエネルギー供給過程をも反映する。そのために、HOMの放射特性の解明は、電波発生過程、木星磁気圏環境およびそのダイナミクスを知る上で重要な手がかりになるといえる。この観点により、本研究では木星近傍を航行したGalileoおよびUlyssesの2機の探査機がそれぞれ観測した波動データの解析を行い、発生に関わる放射特性を探った。またRay tracingを用いて、観測結果を再現するような放射条件の絞り込みを行い、HOMの放射特性・起源の解明を試みた。

木星近傍300R_J以内で広範囲のLocal Timeをカバーして航行していたGalileoの電波観測からは、HOMの放射強度の南北差やLT依存性の情報が得られた。南北差については、規則性の乏しい年変動があるものの概して南半球で観測される成分が卓越する南北非対称性が認められた。一方LT依存性については、LTO時方向に特に出現頻度が増加する特性が検出された。このLT依存性は先行研究と比べてより広範なLTを対象としていたが、その他にもHOMのactivityの時間変化と分離できている点、Galileoと木星の距離が近い場合に生じるHOMの伝搬特性に起因した強度減少現象と分離できている点でアドバンテージがあり、広範なLTに対するより明瞭な結果となった。

一方、 $-20^{\circ} < \text{木理緯度} < 75^{\circ}$ の広範囲の木理緯度をカバーしていたUlyssesの電波観測からは緯度依存性の情報が得られた。Ulyssesの観測結果からは、HOMは中高緯度帯ではほとんど出現せず、赤道帯($-10^{\circ} < \text{木理緯度} < 10^{\circ}$)に集中することが示され、その強度比は100倍以上になることが示された。

本研究ではこれらの観測事実に基づいて、HOMの放射起源を明らかにするために、Ray

tracingを用いて考察を行った。Ray tracingの計算条件としては、周波数 $f=940\text{kHz}$ のHOMを想定し、放射条件に関する従来の研究を参考にして、電磁波モードとしてはR-Xモードとした。また、磁場モデルはVIP4モデル(Connerney *et al.*, [1998])、プラズマ密度モデルはDivine and Garrett [1983]を参照して用いた。一方、フリーパラメータとして、放射源の存在する磁力線を特定するためのL値、放射coneの開き角(cone half-angle)である β 、磁力線上の放射位置を特定するための周波数 f とR-Xモードのカットオフ周波数 f_{R-X} の比である f/f_{R-X} を設定した。これらのパラメータをそれぞれ $8 \leq L \leq 20$ 、 $40^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ 、 $1.000001 \leq f/f_{R-X} \leq 1.01$ の範囲で変化させて条件を設定し、放射源が経度方向に様に分布しているとする仮定の下で放射させて計算を行った。

Ulysses/URAPのデータ解析から緯度依存性に対してRay tracingを行った結果、放射源が経度方向に様に分布しているという単純な仮定では本研究で得られた観測結果は説明されないことが明らかになった。そこで本研究では、Galileoの観測結果の考察から得られた放射源のLT依存性に着目し、Ray tracingの計算で初期条件とした放射源を経度方向一様とした仮定に現実の放射とのずれがあると考え、放射源の非一様性に着目して解析を行った。

経度方向の放射源の非一様性について考えるにあたり、Grodent *et al.* [2003]により示された木星紫外線オーロラの発光強度のMLT依存性と、Galileoの観測から明らかにされたHOM放射源のLT依存性も考慮して、HOMの放射源に経度方向の非一様性を仮定しRay tracingの再解析を行った。その結果、LT3~9hとLT17~23h付近のHOM放射源について、それ以外の放射源との強度比を1/2にすると、Galileo/PWSで観測されたLT依存性、及び、Ulysses/URAPで観測された緯度依存性を定性的に満たす可能性が示された。しかし、この場合でも、赤道域と高緯度域で観測されたHOMの大きな強度比は説明できない。一つの解釈としては、Ray tracingの結果から、HOMは赤道から高緯度に亘って放射されていることが予想され、このためにUlyssesでは、HOMは背景雑音と分別されずに解析され、結果として赤道域と高緯度で大きな見掛けの強度比が生じたことが考えられる。

以上より、本研究では観測領域として緯度方向、経度方向を広くカバーしているUlyssesとGalileoの観測から、HOM強度の顕著な緯度依存性、LT依存性を明らかにした。さらに、Ray tracing解析からこの特性の成因は放射源にLT依存性があることによる可能性を示した。ただし、この解釈の成立条件として、UlyssesではHOMとして分別されなかった赤道から高緯度で広く分布する弱いHOMの存在が予想された。

HOMの放射起源に関するこれらの解釈の妥当性を検証するには、Ulysses/URAPでは成しえなかった、BGと自然電波の分別が将来の電波探査で行われることがまず期待される。また、Galileoでは十分には成しえなかった、HOM出現の距離依存性が生じないような距離($R > 20R_j$)でのより広範なLTでのHOM出現特性の導出も期待される。このように、より有用なデータを取得するさらなる観測がHOMの放射起源、さらにはHOMの放射そのものをコントロールする木星磁気圏ダイナミクスの解明につながるものと考えられる。