

イオ関連木星デカメータ電波の起源 - 3D Ray Tracing解析に基づく一つの解釈 - Origin of Io-related Jovian decametric radiation: an interpretation based on 3-D ray tracing analyses

三澤 浩昭 [1], 大家 寛 [2]

Hiroaki Misawa [1], Hiroshi Oya [2]

[1] 東北大・理・惑星プラズマ大気, [2] 東北大・理・地球物理学

[1] Planet. Plasma and Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ., [2] Geophysical Ist. Tohoku Univ.

従来の観測により、イオ関連木星デカメータ電波(以下、Io-DAM)には顕著なCML-イオ位相角出現特性と楕円偏波特性があることが知られている。本研究では、数種の磁場及び電離層電子密度モデルを用いた3次元ray tracing解析により、それらの観測特性を同時に説明し得るIo-DAMの発生及び伝搬過程を探った。その結果、Io-DAMの起源として、北極域で磁力線にほぼ垂直に放射されたR-Xモード電波が有力であることが判明した。但し、その条件として、電波発生域とその近傍の電波伝搬域の電子密度が極めて低いこと(数個/cc程度)、及び、Io-DAM電波源となる北極域への経度選択的なエネルギー注入過程が存在することが必要となる。

[序] 衛星イオに関係して放射される木星デカメータ電波(以下、Io-DAM)には、明確なCML-イオ位相角出現特性と右旋性の卓越する楕円偏波特性があることが知られている。本研究は、それらの観測特性を同時に説明し得る電波の発生・伝搬過程、及び、発生域・伝搬域でのプラズマの物理特性を究明するため、3次元ray tracing法を用いて可能性のある電波源を同定した。3次元ray tracingでは、観測的に明らかにされていないIo-DAMの発生域と電波伝搬モードについて、発生域はIFT(Io flux tube)上の南北両極域、電波伝搬モードはR-XモードとL-Oモードの両者を仮定して計算を行い、地上で受信の可能性のある電波の条件と偏波特性を検討した。木星磁場モデルとしては、GSFC O6とJPL P11(3,2)の2種類を用いた。また、電離層から磁気圏へ至る領域に対する電子密度モデルは、電離層高度に対しては、最大電子密度として、通常の紫外電離を考えた 10^{15} オーダーのものと粒子降下による特異電離条件を想定した 10^{17} オーダーのものを用い、電離層から磁気圏へ至る高度に対しては、電離層のスケール・ハイトが約1000kmで単調に減少し磁気圏へ至るものと数千km高度でSentman and Goertz(JGR, 1978)により提唱された磁気圏電子密度モデルに接続してゆくものを用い、結局、各高度での2種類ずつのモデルを組合わせた4種類を用いた。

[CML-イオ位相角出現特性] 計算により得られたCML-イオ位相角出現特性と、観測されているIo-DAMの示すCML-イオ位相角出現特性とを対比し、観測結果に適合するIo-DAMの発生条件の絞り込みを行った。地上で観測可能性のある電波の条件を検討した結果、R-XとL-Oどちらのモードも磁場にほぼ垂直方向に放射される場合に観測される出現特性と良く対応することが示された。更に、2種の木星磁場モデルに対し、R-Xモードの場合はP11(3,2)モデル、L-Oモードの場合はO6モデルを用いた場合、夫々北極域、南極域より放射される電波が観測される出現特性と良い対応が得られた。しかし、何れの場合も同じ放射条件のもとでは、反対半球の電波源や、Io-DAMとして観測されるCMLとイオ位相角の組合せ以外の電波源を起源とする電波も地上で観測されることが示された。そこで、更にIo-DAMのみが観測されるための付加条件を夫々の電波伝搬モードに対して求めた。その結果、R-Xモードでは、電離層上層の電子密度が低く、且つ、Io-DAMとなる電波源に対応した選択的に限られた磁気経度上にイオが位置し、その場合の電波発生域に対してエネルギーが注入されると仮定すると、北半球起源のIo-DAMとして観測可能となることが示された。一方、L-Oモードでは、発生域のプラズマ周波数と電子サイクロトロン周波数の比 f_p/f_c について $f_p/f_c > 0.065$ 、且つ磁場の電離層に対する伏角が75度以上の条件のとき、南半球起源のIo-DAMとして観測可能となることが示された。しかし、L-Oモードについては、電波の周波数が f_p に近づいた場合には大きな屈折を受け地球で観測されにくいことも判明した。

[右旋楕円偏波特性] 本研究のIo-DAMの出現特性に対する考察から、Io-DAMは発生域の磁力線にほぼ直行して放射される可能性が示されたが、この場合Io-DAMは直線偏波で発生することになる。一方、観測されるIo-DAMの偏波は右旋楕円偏波性が卓越する。この発生時と観測時における偏波特性の違いの理解として、電波発生域付近ではプラズマの連続状態が保たれており、直線偏波で発生した電波は伝搬中に楕円偏波に変化し、プラズマの連続状態が終了した場所で偏波性が決まり、その偏波性を保存したまま伝搬し観測される、という過程を考え得る。本研究では、このプラズマの連続状態が終了する場所をCohen(Ap. J, 1960)のプラズマ連続条件で規定し、ray tracingを用いて、観測され得るIo-DAMに対して偏波状態を検討した。その結果、Io-DAMの示す右旋偏波特性を説明し得る電波は、北半球から発生するR-Xモード波である可能性が示された。また、その条件として、木星電離層上層の電波発生域及びその近傍の伝搬域において電子密度が極めて低い状態にあること(発生域で数個/cc、伝搬域で0.2個/cc程度)が示唆された。この場合に更に示唆されることとして、Io-AとIo-B DAMに対して知られる楕円偏波性の度合いの違いは、電離層電子密度の夕方側(Io-A)と朝方側(Io-B)の違いとして、また、Io-A、Io-B DAM

の示すCML-イオ位相角と楕円偏波性の度合いが明確な相関特性を示さないことは、木星電離層の電子密度の時間変動の影響として理解されることが示された。