

惑星リング中に発生するダストプラズマ波動についての研究

Study on dusty plasma waves in planetary rings

鶴飼 千亜妃[1]; 小野 高幸[2]; 飯島 雅英[3]

Chiaki Ukai[1]; Takayuki Ono[2]; Masahide Iizima[3]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理; [3] 東北大・理・地物

[1] Geophysics of Tohoku Univ; [2] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.; [3] Geophysical Inst., Tohoku Univ.

宇宙空間に存在する物質の 99%以上はプラズマ状態にあるが、残りの約 1%は氷、塵などのダストで占められている。これらのダストは、惑星リングや彗星など宇宙空間のいたる所に存在しており、周囲のプラズマや放射環境にさらされて帯電している。このような帯電したダストを含むプラズマをダストプラズマといい、次の 2 つに分類される。まず、ダストの粒子間距離がデバイ長よりも離れている場合、力学だけで扱うことができ、dust-in-plasma という。一方、粒子間距離がデバイ長よりも近い場合、帯電ダストの集合的な振る舞いが重要となり、dusty plasma という。また、プラズマ粒子の場合は、重力が無視できるほど質量が軽いいため電磁力だけを考慮すればよいが、太陽系内で卓越しているようなサブミクロンサイズのダストの場合、重力と電磁力が同程度の強さを持ってお互いに影響し合うことになる。そのため、プラズマ同様、電磁力の効果による集合的な運動やそれに伴う波動によるエネルギー輸送などに対するダストの振る舞いの寄与が重要になってくると共に、重力の効果が入ってくる為にこの体系を記述する物理過程が複雑になり、電子とイオンから成る一般的なプラズマとは特性が大きく異なってくる。

ダストプラズマ研究は、1980 年代初期の Voyager 探査機による土星 B リング spoke 現象の発見を機に注目され始めた新しい研究領域である。ダストは宇宙空間のいたる所に存在して、プラズマの特性を大きく変貌させているにも関わらず、ダストの取扱いの困難さも加わって、未だ十分な体系化に至っていないのが現状である。

Li and Havnes(2000)は初めてダストの重力を考慮して、惑星リング中で発生するダストプラズマ波動の伝搬特性などを記述する分散関係の導出を行い、ダストプラズマ特有のモードである「重力ドリフト波」と「ダスト磁気音波」を見出している。さらに重力ドリフト波不安定については、spoke 現象への応用を提唱している。しかし、土星リングの現象である spoke との関係性を議論しているにも関わらず、木星リングのダストプラズマの物理パラメーターを応用している点や、解析的に解くための近似から、極めて限定された条件の場合のみの議論しか行われていない点で課題が残っている。

本研究では、Li and Havnes(2000)で始められた研究を完成させるため、重力ドリフト波不安定について土星リングの条件に応用し、spoke への影響を調べた。さらに、条件を限定したり、近似を用いたりせずに議論できるよう、任意の角度に伝搬する場合の分散関係式を数値的に解き、その伝搬特性について調べた。

本研究の結論として、ダストプラズマ波として次の 3 つのモードが同定され、それぞれの分散特性並びに、伝搬特性を明らかにすることとなった。すなわち、

(1)重力ドリフト波

横波、右・左回り、成長率：リング一周あたり 10^{-2} 、 k 、 $V_g = -V_d$

(2)ダスト磁気音波

垂直伝搬は縦波、平行伝搬は縦波と横波のハイブリッドモード、

右回り、成長率：リング一周あたり 10^{-4} 、 k 、 $V_g = -V_d$

(3)新しいダストモード

横波、左回り、成長率：負、 k^2

なるダストプラズマ波である。

以上の、重力ドリフト波、ダスト磁気音波、新しいダストモードの波全てにおいて、群速度がダストのドリフトと逆方向であるので、これらの波動はダストのドリフトを抑える働きをしていると考えられるが、いずれも成長率が小さいため、土星 B リングにおけるダストプラズマのパラメーターを用いた議論が定量的に行われ、これらは spoke 形成に対して重要な寄与はしないとの結論が得られた。

本研究で見出されたこれらのダストプラズマ波の成長率は、原始太陽系における惑星形成や惑星リングの形成・維持などのような長い時間スケールの現象に対する影響が期待されるため、今後の研究においては、これらの現象への適用をしていく必要がある。