

かに星雲の問題と大振幅電磁波のパラメトリック不安定性によるエネルギー散逸 Sigma problem of the Crab Nebula & energy dissipation by parametric instability of large amplitude electromagnetic wave

二階 辰彦^{1*}, 天野 孝伸¹, 星野 真弘¹

Tatsuhiko Nikai^{1*}, Takanobu Amano¹, Masahiro Hoshino¹

¹ 東大・理・地惑

¹EPS, The University of Tokyo

かに星雲は古くから観測のなされてきた超新星残骸の代表例である。現在では Kennel&Coroniti(1983)らにより標準モデルが確立されており、中心星であるパルサーの斜め高速回転により電子対(電子-陽電子プラズマ、ペア・プラズマ)が生成され、これが波を伴いパルサー風として吹き出し、ある地点で衝撃波を形成して下流側に星雲領域を作るものとして理解される。しかしここで、パルサー風領域における電磁場からプラズマへの、極めて高効率のエネルギー散逸が必要であることが星雲領域からのシンクロトロン放射の観測から明らかになっているが、その機構に関する合意は得られておらず、未解決問題として残されている(問題)。

一方、宇宙プラズマ中、特に太陽風、衝撃波や磁気リコネクション領域近傍等においては、大振幅波の崩壊過程、いわゆるパラメトリック不安定がしばしば重要視される。具体的には、入射波(親波)が、周波数及び波数のマッチング条件(エネルギー・運動量保存則)を満たすような、子波を含む複数の波へと不安定成長してゆく過程である。この現象自体は実験と観測の両面からもよく調べられているものの、特にレーザー・プラズマ相互作用、またパルサーをはじめとする高エネルギー天体現象において主役を担う大振幅電磁波(相対論的強度の電磁波)を考えた場合、パラメータ依存性などに関する理解は必ずしも十分でない。

そこで今回は、前述の問題への適用を考え、ペア・プラズマ及び円偏波した大振幅電磁波からなる系についてパラメトリック不安定性の解析を行う。まず Max(1973)、Lee&Lerche(1978)らの方法に倣って線形解析を行うが、拡張として相対論的溫度を考慮する。この場合、Vlasov 方程式系により記述される Landau 減衰等の運動論的効果がしばしば重要となるが、簡単のため、差し当たってはペア・プラズマに対する相対論的 2 流体方程式系を近似的に用い、自己無撞着な平衡解を用いるものとする。加えて直流磁場の存在なども考慮しながら不安定分散関係式を陽に導き、数値解を示しながらパラメータ依存性を論じる。その上で電磁粒子(PIC)コードによるシミュレーションを行い、流体近似による線形理論と比較し、不安定成長率や飽和レベルからエネルギー散逸効率について議論する。

キーワード: 相対論的プラズマ, 電子-陽電子プラズマ, パラメトリック不安定, かに星雲, パルサー, 粒子シミュレーション
Keywords: relativistic plasma, electron-positron plasma, parametric instability, crab nebula, pulsar, particle simulation