

○プラズマ中の磁気音波ソリトンによる粒子加速

宇宙線を構成する高エネルギー粒子の加速の原因として、磁気雲による Fermi 加速等の様々な加速機構が考えられている。そこで、イオン-電子プラズマ中を伝搬する円筒状または球状の非線形音波ソリトンを用いた荷電粒子の新しい加速機構を提案した[23]。例えば、円筒対称または球対称の Korteweg-de Vries 方程式によって記述されるイオン音波は、波が中心に収縮するにつれて、波高が大きくなる。この収縮する波として表される電場ポテンシャルによって閉じ込められた荷電粒子は、ポテンシャルとの反射を繰り返すことでエネルギーを得る。時間発展するポテンシャル内の粒子の反射を議論するために、単純化されたモデルを考えることで、加速された粒子の冪的なエネルギースペクトルを得た。具体的な応用として、太陽近傍で発生する高エネルギー粒子が、ソリトン加速により生成される可能性を議論した。現在までの研究では、フレアの付け根領域に注目しているため磁場を無視している。しかし、大部分の天体物理学的現象では磁場が重要な役割を果たす。そこで、磁場のある系での磁気音波/イオン音波/アルフェン波ソリトンによる粒子加速機構を研究する[24]。さらに、現実的な場合、波の最後の大きさはデバイ長よりもはるかに大きく、弱い非線形波に対する Korteweg-de Vries 方程式は、強い非線形性を持つ終状態の波に対して使うことができない。現在までの研究では、粒子加速の基本的な性質を理解するために、強い非線形の段階にまでこの方程式の解を用いた。電場ポテンシャルを表すソリトン波による加速機構に必要な特性の1つは、波が収縮するにつれて波高が時間の冪で成長することである。今後は、観測されている太陽宇宙線を説明するために、Korteweg-de Vries 方程式によって記述される弱い非線形波の解ではなく、強い非線形性を持つイオン音波や磁気音波の解を調べる[25]。

○スカラー場と非線形電磁場を持つブラックホール

ヘテロティック弦理論の低エネルギー極限や量子電磁力学のループ補正を考慮した有効作用において、点電荷近傍の領域における強電磁場に注目すると、それらの領域では、Maxwell 電磁場の4次補正を含む一般化された非線形電磁場理論を考慮しなければならない。また、コンパクト天体の周りでも同様の補正が必要と考えられており、非線形電磁場やスカラー場は宇宙物理学的な観点からも注目されている。以上を踏まえて、スカラー場や非線形電磁場を持つ4次元及び高次元ブラックホール解の構成を考える。スカラー場や非線形電磁場がブラックホールの時空構造、質量、電荷、角運動量、磁気回転比等に与える効果、及びブラックホールの周りを運動する試験粒子に対する安定円軌道の存在等を調べて、観測に基づくこれらのブラックホール時空モデルの検証可能性を議論する[26]。

さらに、漸近的 Killing 地平線を持つブラックストリング解[22]に関連して、 n 次の漸近的 Killing 地平線の存在を仮定すると、時空をあらわす計量がどの程度制限されるのかを考える。例えば、Einstein-Maxwell 系であることを課して、漸近的 Killing 生成子を用いて定義される質量等の物理量と漸近構造を指定すると、漸近的 Killing 地平線を持つ時空が一意に定まると期待される[27]。