

## 2次元アルフベン波乱流中での相対論的粒子加速

#高橋 健太<sup>1)</sup>, 諫山 翔伍<sup>2)</sup>, 松清 修一<sup>3)</sup>, 佐野 孝好<sup>4)</sup>

<sup>(1)</sup> 九大・総理工, <sup>(2)</sup> 九大総理工, <sup>(3)</sup> 九大・総理工, <sup>(4)</sup> 阪大レーザー研

## Relativistic particle acceleration in 2D Alfvén wave turbulence

#Kenta Takahashi<sup>1)</sup>, SHOGO ISAYAMA<sup>2)</sup>, Shuichi Matsukiyo<sup>3)</sup>, Takayoshi Sano<sup>4)</sup>

<sup>(1)</sup>IGSES, Kyushu Univ., <sup>(2)</sup>IGSES, <sup>(3)</sup>Kyushu Univ., <sup>(4)</sup>ILE, Osaka U,

Large-amplitude MHD waves are ubiquitous in space, and they are considered to play key roles in particle acceleration. In the solar wind, large amplitude magnetic fluctuations are frequently observed. It is also known that the magnetic field is amplified in the vicinity of collisionless shocks associated with gamma-ray bursts, supernova remnants, and other high energy astrophysical events. The interaction between a monochromatic wave and a charged particle, and that between well developed turbulent fields and a particle have been well studied [1]. However, there are relatively few studies on particle acceleration through the interaction with developing turbulence. In space, many astrophysical events have long relaxation time so that we often observe developing turbulence and well accelerated particles simultaneously.

In 1D Particle-in-Cell (PIC) simulation, it has been shown that particles are efficiently accelerated to relativistic energy by two counter-propagating Alfvén waves which are locally enhanced in the course of successive decay instabilities [2]. Recent studies have also shown that when the amplitude of the two counter-propagating Alfvén waves exceeds critical amplitude any particles irreversibly gain relativistic energy within a short time regardless of their initial energy. In this research, we investigate the particle acceleration process in 2D Alfvén turbulence where the long time evolution of parametric instability could be different from that in 1D. In this talk, by using 2D PIC simulation, we discuss the particle acceleration process by counter-propagating Alfvén waves as well as the parametric decay process when the amplitude of the initial Alfvén wave is sufficiently large.

[1] M.Oka et al., ApJ, 886,53 (2019)

[2] S.Matsukiyo & T.Hada, ApJ, 692,1004 (2009)

大振幅 MHD 波動は宇宙のいたるところで励起され、粒子加速に寄与すると考えられている。太陽風中では背景磁場と同程度の磁場揺らぎが常時観測されており、またガンマ線バーストや超新星残骸等に付随する無衝突衝撃波近傍では、磁場が星間空間に比べてはるかに強く増幅されることが知られている。従来、単色波と荷電粒子の相互作用や十分発達した乱流場中での粒子加速についてはよく研究されているが、発展途上乱流における粒子加速の研究は比較的少ない。現象の緩和時間が長い宇宙では発展途上乱流がしばしば観測され、コヒーレントな波動とともによく加速された高エネルギー粒子が見られる [1]。

これまでの1次元粒子シミュレーションでは、パラメトリック崩壊過程によって発達するアルフベン乱流中で、局所的に発達した2つの対向伝搬アルフベン波による相対論的な粒子加速が見られている [2]。また最近の研究から、2つの対向伝搬するアルフベン波の振幅がある閾値を超えると、粒子が初期エネルギーによらず短時間で相対論的エネルギーにまで加速されることが分かっている。本研究では、2次元アルフベン乱流中における粒子加速過程について調査する。2次元系でのパラメトリック不安定性の長時間発展は1次元系のそれとは異なることが予想され、1次元系で見られた粒子加速過程が2次元系でも起こるかは自明ではない。本講演では初期のアルフベン波の振幅が十分大きい場合について、波の崩壊過程及び対向伝搬するアルフベン波による粒子加速過程を2次元粒子シミュレーションにより議論する。

[1] M.Oka et al., ApJ, 886,53 (2019)

[2] S.Matsukiyo & T.Hada, ApJ, 692,1004 (2009)