

超並列PICコードによる高マッハ数衝撃波における電子加速

松本洋介(千葉大学理学研究科)

利用カテゴリ XT4B

宇宙線の起源として有力な加速機構である、超新星残骸衝撃波での電子加速を明らかにするため、近年の超並列計算機に対応した電磁プラズマ粒子 (PIC) コードの開発を行い、2次元衝撃波における加速メカニズムについての研究を行う。23年度においては、PICコードのハイブリッド並列化、及び開発したコードを用いた2次元垂直衝撃波の大規模PICシミュレーションを実施した。

コードの並列化では、MPIによる領域分割並列化に加え、ノード内でOpenMPを使ったスレッド並列を組み合わせたハイブリッド並列化を行った。プロセス間の通信、負荷のバラつきを抑えることにより、これまで6%であった実行効率が、約10%の実行効率を得ることに成功した。

開発したコードを用いて、高マッハ数衝撃波の2次元大規模計算を行った。着目したのは、イオン・電子質量比、マッハ数、上流プラズマ β である。特に、質量比 $M/m=100$ 、アルヴェンマッハ数 $MA=30$ といった超新星残骸衝撃波の環境に近い条件のもとでは、電子が効率的に加速される様子を明らかにした (下図)。本計算例を始め、質量比、マッハ数、上流 β を変えた4つの計算を行うことにより、これらパラメタの電子加速に与える影響について理論的に整理を行った。本研究結果は、Astrophysical Journalに現在投稿中である。

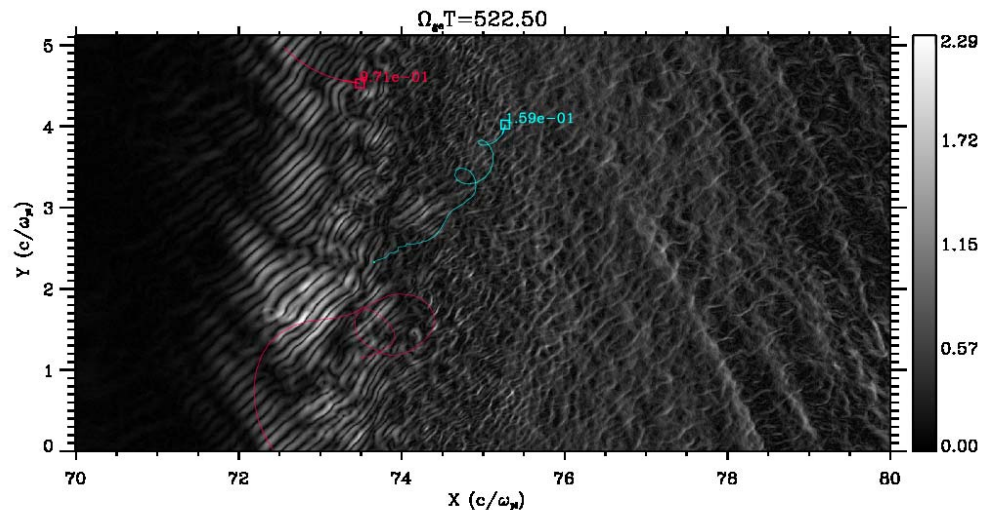


図 : $MA=30$ 、 $M/m=100$ の衝撃波計算結果。左側が上流。背景図は静電場強度を上流の磁場強度で規格化したもの。加速した電子 (赤線)、加速しなかった電子 (青線) についての粒子軌道を実線で表す。粒子位置 (四角) の横にある数字はローレンツ因子から1を引いたもの。衝撃波のフット領域先端でBuneman不安定による強い静電場が励起され、電子サーフィン加速が起きている様子がわかる。