

高強度レーザーを用いた衝撃波リフォーメーションの実証実験

樋口 琢海 [1]; 松清 修一 [2]; 羽田 亨 [3]; 村上 洋大 [4]
[1] 九大・総理工・大海; [2] 九大・総理工; [3] 九大総理工; [4] 九大・総理工・大海

High power laser experiment on shock reformation

Takumi Higuchi[1]; Shuichi Matsukiyo[2]; Tohru Hada[3]; Hiroo Murakami[4]
[1] ESST, Kyushu Univ.; [2] ESST Kyushu Univ.; [3] IGSES, Kyushu Univ.; [4] ESST, IGSES, Kyushu Univ.

Collisionless shocks often play essential roles in various high-energy phenomena in space. They are different from the usual collisional shocks in various ways. In this presentation, we discuss the so-called "shock reformation," one of the features unique to the collisionless shock. It is a periodic collapse and formation of the shock front that occurs even when the upstream plasma is uniform and time-stationary. Within the shock reformation cycle, the shock foot, ramp, overshoot, and the ion reflection from the shock front all repeat to appear and disappear. The shock reformation was theoretically predicted in the 1980s by computer simulations but has not been identified in laboratory experiments. This research aims at the first demonstration of shock reformation using the Gekko XII high power laser at the Institute of Laser Engineering (ILE), Osaka University.

The experimental method is as follows. An aluminum foil target surrounded by nitrogen gas, to which an external magnetic field is applied, is irradiated by the Gekko XII laser (~600 J *4 beams, a wavelength of 1053 nm, a Gaussian long pulse (1.3 ns)). The target plasma sweeps the magnetized gas plasma, which is produced by the intense radiation due to laser-foil interaction. As a result, a shock wave is generated in the magnetized gas plasma. The target is an aluminum foil of 3 mm *3 mm *1-2 mm. A focal spot size of the laser is 0.3-2.8mm. The gas pressure is 0, 2.5, 5 Torr. We utilize a number of diagnostics such as self-emission measurement, shadow measurement, collective Thomson scattering(CTS) measurement. The external magnetic field parallel to the target surface is applied by a Helmholtz coil (50 turns *4). Using a capacitor bank consisting of two 3 mF *4 capacitors, charging at 1.4 kV and driving a pulse current with a duration of about several hundred microseconds, a uniform magnetic field of about 4 T is applied in the region of interest. In the ILE experiment conducted in June 2019, we confirmed the generation of shock waves for each gas pressure. Furthermore, the experiment with the external magnetic field of 2.8 T was succeeded and found that the characteristic of shock propagation is different from the cases without an external magnetic field. In the forthcoming ILE experiment scheduled in August, we will conduct experiments with an external magnetic field of 3.5 T or more to demonstrate the shock wave reformation. Detailed results of the analysis will be presented.

宇宙における高エネルギー現象では、しばしば無衝突衝撃波が重要な役割を果たす。無衝突衝撃波の散逸機構は複雑で、未だよくわかっていない。散逸機構の一つとして知られる衝撃波リフォーメーションは、上流プラズマが完全に一様・定常な場合でも発現する衝撃波面の周期的な崩壊・再形成過程であり、無衝突系に特有の現象である。衝撃波による反射イオンのジャイロ運動に伴って、フットやランプ、オーバーシュートと呼ばれる構造が形成・崩壊を繰り返す。1980年代に理論的に予測されたが、未だ実証されるには至っていない。本研究では、再現性やパラメータの制御に優れている大阪大学レーザー科学研究所(ILE)との共同実験により、宇宙のその場観測では実現していない衝撃波リフォーメーションの実証を目指す。

実験方法は、以下のとおりである。外部磁場を印加した窒素ガス中のアルミ箔ターゲットに激光12号レーザーを照射し、ターゲットプラズマが超音速で磁化したガスプラズマを掃きためることで、磁化ガスプラズマ中に衝撃波を生成する。照射レーザーは~600J *4ビーム、波長は1053nm、ガウス型長パルス(1.3ns)で、照射スポット径は0.3~2.8mmである。ターゲットは3mm*3mm*1~2mmのアルミ箔で、ガス圧は0,2.5,5Torrとした。光学計測として、自発光計測、シャドウ計測、協同トムソン散乱計測を用いた。ヘルムホルツコイル(50回巻*4)によってターゲット面に対して平行方向の外部磁場を印加する。3mF*4のコンデンサ2個から成るキャパシタバンクを用い、1.4kVで充電し、持続時間数百μs程度のパルス電流を駆動することで、2つのコイル間に4T程度の一様磁場を印加する。これまでに得た、広空間領域にわたる外部磁場生成および衝撃波遷移層のプラズマ局所量計測のノウハウを活用し、衝撃波面のイオンジャイロスケールの周期的な時間・空間変動を捉える。特に、遷移層内部の局所量の計測に有効な協同トムソン散乱計測により、衝撃波再形成の周期性を捉える。

2019年6月に行った実験では、各ガス圧に対して衝撃波の生成を確認した。また、外部磁場2.8Tを印加した実験をはじめて行い、自発光計測により、非磁化中との大きな違いを捉えることに成功した。8月に行われる実験では、外部磁場3.5T以上の実験を行い、衝撃波リフォーメーションの実証を目指す。解析が間に合えばその結果も報告する。