

## 非平衡実験室プラズマの協同トムソン散乱計測のための数値実験

# 香月のどか [1]; 松清 修一 [2]; 羽田 亨 [3]  
[1] 九大・総理工・大海; [2] 九大・総理工; [3] 九大総理工

## Numerical simulation of virtual Thomson scattering measurement of non-equilibrium laboratory plasmas

# Nodoka Katsuki[1]; Shuichi Matsukiyo[2]; Tohru Hada[3]  
[1] Earth System Science and Technology, Kyushu Univ; [2] ESST Kyushu Univ.; [3] ESST, Kyushu Univ

Recently, a variety of high energy phenomena in space have been successfully reproduced in laboratories by using high power laser facilities. We have performed the laboratory experiment on collisionless shocks by using Gekko XII high power laser in collaboration with the Institute of Laser Engineering (ILE) at Osaka University. To measure the local plasma quantities in the shock transition region, collective Thomson scattering (CTS) measurement is utilized. The CTS is the elastic scattering of low frequency and long wavelength incident electromagnetic waves by collective oscillations of plasma electrons. The spectrum of the scattered waves enables us to infer the local plasma quantities such as the streaming speed of the plasma, electron density, electron and ion temperature, the valence of ions, etc, as functions of local position along the path of the incident probe laser light. If the plasma is nearly in thermal equilibrium, scattered wave spectrum typically has two double-peaks called electron and ion features. The electron (ion) feature is produced when an incident wave is scattered by Langmuir (ion acoustic) waves. On the other hand, the CTS theory in a non-equilibrium plasma has not been established. In the foreshock region a back-streaming plasma is often observed as a beam by which beam instability is easily generated. Although the electron feature is usually too weak to be detected in an equilibrium plasma, it may possibly be enhanced by the beam instability in the foreshock. Here, we try to diagnose the non-equilibrium plasma in the shock transition region from the characteristics of electron feature.

In this study the CTS in a non-equilibrium plasma is numerically simulated to directly compare with experimental results. First, PIC simulation is performed to reproduce a beam instability occurring in the vicinity of a shock wave. The obtained data of electron density fluctuations is incorporated into the wave equation of the scattered waves of the CTS. The wave equation is solved with an arbitrary time resolution which can be much finer than that typically used in PIC simulations. Here, we discuss modification of the electron feature of the CTS spectrum due to the effect of ion beam instability expected to occur in the foreshock region. An eminent modification is the amplified asymmetric electron feature, when the beam velocity normalized to electron thermal velocity is 5 and 10. As the beam velocity becomes sufficiently large, the amplified electron feature has a wide spectrum due to nonlinear effect of the beam instability. Details of parameter survey in terms of the beam velocity, relative beam density, temperature, and so on, will be reported. If possible, the comparison with the results of Gekko XII experiment planned in October will also be reported.

近年、高強度レーザーを用いて宇宙の高エネルギー現象を実験室に再現できるようになってきた。我々は、激光12号レーザー（大阪大学）を用いた無衝突衝撃波実験を行っている。実験では、衝撃波遷移層の局所構造を計測するのに、協同トムソン散乱計測を用いる。協同トムソン散乱は、自由電子による比較的low周波（ $\ll \text{mec}2/h$ ）かつ長波長（ $> \text{Debye}$ 長）の光の弾性散乱であり、散乱光の特徴から、プラズマの流速、電子密度、電子およびイオン温度、イオン価数などの諸量を、プローブ光経路に沿った位置の関数として見積もることができる。平衡プラズマにおける散乱光スペクトルはよく研究されており、イオン音波により散乱されたイオン項と、ラングミュア波により散乱された電子項の二つのダブルピーク構造を持つ。実験では通常、電子項は強度が弱く検出が困難なため、しばしばイオン項のみ計測する。一方、非平衡プラズマにおける協同トムソン散乱はこれまであまり研究されておらず、その理論的整備が遅れている。無衝突衝撃波近傍の非平衡プラズマでは、しばしばビーム不安定性が起こるため、これによって励起されたラングミュア波が、増幅された電子項として観測される可能性がある。ここでは、この電子項の特性から、遷移層の非平衡プラズマの状態を診断することを目指す。

本研究では、実験結果との直接比較を念頭に、非平衡プラズマ中の協同トムソン散乱を数値実験により再現する。まず、衝撃波近傍で起こるビーム不安定性をPIC計算で再現する。これで得られる電子密度揺動の時空間データを、協同トムソン散乱の散乱光の波動方程式に移植して別途これを解く。この際、散乱光の周波数帯はPICの時間分解能を超えるので、電子密度揺動のデータを適宜補間する。これにより、実パラメータの下で多次元協同トムソン散乱を再現する数値実験システムを開発した。ここでは、衝撃波前面のフォアショック領域を念頭に、イオンビーム不安定性が電子項に与える影響を議論した。ビーム速度を電子熱速度の5倍、10倍としたケースでは、不安定性の影響が非対称な電子項として現れることを確認した。ビーム速度が十分大きくなると、増幅された電子項が非線形性によって広帯域になることが分かった。ビームの速度や相対密度、温度などをさまざまに変えたパラメータ調査の詳細を報告する。また、可能であれば10月に予定されている激光12号実験の結果との比較も行う。