

シンポジウム：ホイッスラー波の物理と応用 Symposium: Physics and applications of whistler wave

坂和 洋一
Youichi Sakawa

大阪大学 レーザー科学研究所
Institute of Laser Engineering, Osaka University

近年、ホイッスラー波が様々なプラズマ分野で注目されている。ホイッスラー波とは、電子サイクロトロン周波数より低く、イオンサイクロトロン周波数よりも高い周波数領域の、磁力線に沿って伝搬する右回り円偏波の電磁波である。20 世紀前半に、雷放電に関係した口笛のように聞こえる現象が「ホイッスラー」と呼ばれるようになり、1950 年代にこれが地球の磁力線に沿って伝搬する電磁波で、周波数によって伝搬速度が異なるため高い音から低い音へと変化することが明らかにされた。また、磁気圏で発生するホイッスラーモード・コーラスと呼ばれる周波数上昇を伴いながら励起される波は、波動・粒子相互作用による高エネルギー電子の 대기への降り込みや加速過程に関与していると考えられており、シミュレーションと観測による研究が進められている。実験室では、1960 年に金属中を伝搬するホイッスラー波がヘリコン波と命名され、1970 年にはヘリコン波によって高密度プラズマが生成されることが示された。通常は円筒境界を持つプラズマ中に励起されるホイッスラー波をヘリコン波と呼ぶ。ヘリコン波放電では、典型的に約 1 kG の外部磁場下で数 Torr のガスを封入した真空容器に設置したアンテナに約 1 kW の高周波を印加することによって 10^{13} cm^{-3} 程度の高密度プラズマが得られることから、長年にわたって多くの基礎研究および応用研究が行われてきた。さらに近年、大型レーザーを用いた実験でキロテスラ (kT) 級の強磁場生成が可能となり、レーザー・プラズマ実験でホイッスラー波を用いたカットオフ密度以上の高密度プラズマ加熱の新しい提案がなされている。

本シンポジウムでは、スペースプラズマからレーザー生成プラズマ、放電プラズマにいたる様々な分野におけるホイッスラー波を取り上げる。最初に趣旨説明を行ったのち、以下の 5 人の講演者に発表していただく。

加藤雄人氏（東北大学）：ホイッスラーモード・

コーラス放射に関する最新のシミュレーション結果と科学衛星「あらせ」による波動・粒子観測結果について報告していただく（Ozaki2019NatureComm）。

天野孝伸氏（東京大）：無衝突衝撃波におけるホイッスラー波乱流による先行加熱に関する講演をしていただく（Amano2020PRL）。宇宙線の起源として有力視されているフェルミ加速の、特に宇宙線電子に関する研究で、初期に光と同程度の速度を持った宇宙線の「種」となる電子を作るメカニズムとして、ホイッスラー波が関与していることを、地球近傍衝撃波の観測データを用いて明らかにした。

佐野孝好氏（大阪大学）：波長 $1 \mu\text{m}$ の高強度レーザーをプラズマに照射する時に約 10 kT のレーザー進行方向に平行な強磁場を印加することによって、レーザーがホイッスラー波として伝搬する。この時、電子サイクロトロン共鳴を受けることなく正常波の臨界密度を超えて高密度のレーザー核融合コアプラズマのイオン加熱に寄与する、という最新の PIC シミュレーション結果を報告していただく（Sano2019PRE, 2020PRE）。

諫山翔伍氏（九州大学）：ヘリコン波による高密度プラズマ生成の物理に関して、30 年以上にわたるこれまでの理論及び実験研究のレビューと最新の研究成果の講演していただく（Isayama2018PFR）。

高橋和貴氏（東北大学）：ヘリコン波を用いたプラズマ推進や推進機から噴射されるプラズマ流を制御することによるスペースデブリ除去などの宇宙工学や、ヘリコン波を使ったプラズマプロセスなど、最新の応用研究に関して講演していただく（Takahashi2019RMPP, 2018SciRep）。

最後に、総合討論として 5 人の講演に対するさらなる質疑応答を行うとともに、今後のホイッスラー波・ヘリコン波研究への期待や新しい研究の可能性などを参加者と一緒に議論する。