

密度構造によるアルフヴェーン波共鳴と非線形現象への影響について Alfven wave resonance in density profile structure and the effect for nonlinear phenomenon

堤 昭裕^{1*}; 鈴木 建¹
TSUTSUMI, Akihiro^{1*}; SUZUKI, Takeru¹

¹ 名古屋大学
¹ Nagoya University

Alfven 波等のプラズマ内における波動伝播は、宇宙空間における電磁気効果を伴った流体现象において普遍的な性質である。プラズマ内の密度構造の存在は、この様な波動の反射を引き起こし、一般的には一方向へのスムーズな波動伝播を妨げる。しかし井戸型の密度構造の場合、Alfven 波が密度構造に捕われ共鳴することにより、反射が起きなくなる様な状況があることが知られている。プラズマ内の密度谷の構造自体は普遍的な状況であるので、このような波の共鳴も普遍的現象であり、物理現象にも大きく関与していると考えられる。例えば、太陽表面付近の低密度領域では捕われた Alfven 波のエネルギー散逸が行われており、このことがコロナ加熱のメカニズムに関係しているとの指摘もある。

井戸型密度構造下での Alfven 波の伝播は、線形範囲下では解析的に求めることができる。よって、密度構造による反射が起これなくなり波動が捕われる条件も解析的に求めることができる。この段階においては規則正しい定常的な流れになっており、Alfven 波は本質的に横波であるので、密度や圧力変化といった圧縮性効果は伴わない。しかし波の注入が続いた場合、振幅が増大し波動の非線形効果が重要となる段階になる。この様な段階においては、捕われた波動同士の間衝突による効果によって流れは非常に不規則になり、さらに元の井戸型密度構造もその構造を保っていらなくなり、共鳴条件そのものが自発的に変化してしまうという現象も起きる。この様な密度谷構造はプラズマ現象において普遍的であるので、上記の現象はプラズマ現象の理解において重要であるとも考えられる。

本研究では線形段階から非線形段階への移行による自発的な構造変化に注目して数値シミュレーションを行った。その結果、線形段階の捕われ現象や条件が、非線形段階での時間発展に対しても影響を与えうることが分かった。本発表ではその結果を紹介する。

ケルビン-ヘルムホルツ不安定性の非線形発展に対するイオンジャイロ運動の効果 The effect of the ion gyro motion to nonlinear processes of the Kelvin-Helmholtz instability

上野 悟志^{1*}; 梅田 隆行¹; 中村 琢磨²; 町田 忍¹

UENO, Satoshi^{1*}; UMEDA, Takayuki¹; NAKAMURA, Takuma²; MACHIDA, Shinobu¹

¹ 名古屋大学太陽地球環境研究所, ² ロスアラモス国立研究所

¹Solar-Terrestrial Environment Laboratory, ²Los Alamos National Laboratory

Nonlinear evolution of the Kelvin-Helmholtz instability (KHI) at a transverse velocity shear layer in an inhomogeneous space plasma is investigated by means of a four-dimensional (two spatial and two velocity dimensions) electromagnetic Vlasov simulation. When the rotation direction of the primary KH vortex and the direction of ion gyro motion are same, there exists a strong ion cyclotron damping. In this case, spatial inhomogeneity inside the primary KH vortex is smoothed and the secondary Rayleigh-Taylor instability is suppressed. The ion gyro motion also suppresses the formation of secondary vortices in the spatial scale smaller than the ion gyro radius, when the rotation direction of the vortex and the direction of ion gyro motion are same. As a result, the secondary instabilities take place at different locations in the primary KH vortex, where the rotation direction of the secondary vortex and the direction of ion gyro motion are opposite. These results indicate that secondary instabilities occurring in the nonlinear stage of the primary KHI at the Earth's magnetospheric boundaries might show dawn-dusk asymmetries.

Keywords: the Kelvin-Helmholtz instability, Vlasov simulation, space plasma, nonlinear processes, secondary instabilities

巨大ブラックホールによる潮汐破壊事象の磁気流体・輻射流体数値実験 Magnetohydrodynamic and Radiation Hydrodynamic Simulations of Tidal Disruption Events by a Supermassive Black Hole

川島 朋尚¹; 大須賀 健²; 松元 亮治^{3*}

KAWASHIMA, Tomohisa¹; OHSUGA, Ken²; MATSUMOTO, Ryoji^{3*}

¹ 上海天文台, ² 国立天文台, ³ 千葉大理

¹Shanghai Astronomical Observatory, ²NAOJ, ³Chiba University

恒星やガス雲が巨大ブラックホールに接近すると潮汐力によって破壊され、ブラックホールへの降着率が急激に増加する。このような潮汐破壊事象を観測することにより、降着率変動に伴う巨大ブラックホール降着円盤の光度変化や状態遷移についての知見を得ることができ、様々なタイプの活動銀河中心核相互の関係を明らかにするとともに、降着円盤の進化のタイムスケールを決定する角運動量輸送率を見積もることも可能になる。2014 年にはふたつの天体で、潮汐破壊に伴う増光が観測されると期待されている。第一は我々の銀河系中心の巨大ブラックホール Sgr A* である。現在、G2 と名付けられた地球の 3 倍の質量のガス雲が落下しつつあり、2014 年 3 月にブラックホールに最接近すると予想されている。最近接点は降着円盤が存在すると予想されている領域内にあるため、潮汐破壊されたガス雲とブラックホール降着円盤が相互作用すると考えられる。我々は近似リーマン解法の一つである HLLD 法に基づく高次精度の 3 次元磁気流体コード CANS+ を用いてこの相互作用の磁気流体シミュレーションを実施した。その結果、ガス雲との衝突によって降着円盤内部の磁気乱流が強まり、ブラックホールへの降着率が 10 倍程度高まること、磁気流体ジェットが噴出すること等を示すことができた。降着率増加に伴う X 線・電波領域での増光は再近接点通過後 1 カ月程度で生じることもわかった。第二は Swift J1644+57 と名付けられた天体であり、2011 年 3 月に赤方偏移 $z=0.35$ の銀河中心で爆発的な増光が観測されている。この事象では恒星が巨大ブラックホールの潮汐力によって破壊されたと考えられる。この天体の光度は増光後 1 年以上にわたって百万太陽質量のブラックホールのエディントン光度以上であったが、2012 年 8 月に急激に減光した。これは、エディントン光度に対応する臨界降着率を超えて物質が落下する超臨界降着状態から、臨界降着率以下で降着する標準降着円盤への状態遷移と解釈できる。輻射と物質の相互作用を考慮した輻射流体シミュレーションを実施した結果、潮汐破壊物質の落下が続くことによって円盤に物質が蓄積されつつあり、減光後、1~2 年で円盤光度が再びエディントン光度程度まで増光することがわかった。X 線観測等から示唆される再増光時期について議論する。

キーワード: 降着円盤, 磁気流体力学, 輻射流体力学, ブラックホール, 潮汐破壊, 状態遷移

Keywords: accretion disk, MHD, radiation hydrodynamics, black hole, tidal disruption, state transition