

原始惑星系円盤内縁領域における磁気回転不安定性による Kelvin-Helmholtz 渦の誘発 II: 円盤内磁場形状の影響

中村 佳太 [1]; 加藤 真理子 [2]; 丹所 良二 [3]; 藤本 正樹 [4]; 井田 茂 [5]; 塚本 尚義 [6]

[1] 東工大・理工・地球惑星; [2] 東工大・理・地球惑星; [3] 東工大・理・地球惑星; [4] 宇宙機構・科学本部; [5] 東工大・地惑; [6] 北大・理

Kelvin-Helmholtz vortices induced by MRI at the inner-edge of protoplanetary disks II. Effects of magnetic field configuration

Keita Nakamura[1]; Mariko Kato[2]; Ryoji Tandokoro[3]; Masaki Fujimoto[4]; Shigeru Ida[5]; Hisayoshi Yurimoto[6]

[1] Dept. Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech.; [2] Dept. Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. Tech.; [3] Dept. Earth and Planetary Sci., TIT; [4] ISAS, JAXA; [5] Dept. of Earth and Planetary Sci., Tokyo Inst. of Tech.; [6] Natural History Sci., Hokudai

Around protostars, gases and dusts falling to the central stars form rotating disks called accretion disks. When an accretion disk has a weak magnetic field, it is well known that the magneto-rotational instability (MRI) is excited in the disk (Balbus&Hawley 1991).

We study the effect of the magneto-rotational instability (MRI) in protoplanetary disks near the protostar using local three-dimensional MHD simulations including resistivity. We have done modeling of the near-star part of the accretion disk by including the magnetosphere of the protostar and the "dead zone" (low ionized region in the protoplanetary disk). Both in the magnetosphere of a protostar and in the dead zone, the MRI is not excited because of the strong magnetic field and of the low ionization respectively. In this situation, the MRI is excited only in the innermost part of the disk and large velocity shear is generated at the inner-edge (the boundary between the magnetosphere of a protostar and the disk). Then the Kelvin-Helmholtz instability (KHI) is excited and grows in to vortices there. The result suggests that the inner-edge of the disk is perturbed heavily by the KH vortices. The chemical analysis results of the meteorites suggest "Multiple pulse-like heating events at inner-disk edge" and/or "Oxygen isotopic variation due to fluctuating motion of the disk inner-edge" (Itoh&Yurimoto 2003). Our numerical results suggest that KHI at the inner-edge is a candidate process responsible for this activity at the inner-edge.

Furthermore, we have performed several simulations in which a variety of initial field configuration inside the disk is assumed, from a poloidal to a toroidal geometry. The results show that in the case of a nearly toroidal field, azimuthally asymmetric MRI is the dominant mode in the disk and azimuthal velocity changes more slowly than the case where azimuthally symmetric MRI is the dominant. Nevertheless we observe the generation of KH vortices at inner-edge in this case. The important conclusion is that vortices at the inner-edge are born regardless of the geometry of magnetic field in the disks.

惑星系形成初期段階において、原始星の周りには、その強い重力に引かれ落ち込もうとするガスやダストにより、原始惑星系円盤と呼ばれる降着円盤が形成される。この回転円盤内に弱い磁場が存在すると、磁気回転不安定性 (Magneto-rotational Instability; MRI) が励起されることが知られている (Balbus&Hawley,1991)。

我々は、円盤内の MRI とその効果について、CIP-MOCCT 法を用いた MHD シミュレーションにより研究を行っている。特に我々は、円盤の内縁 (inner-edge) と内縁近くの dead zone と呼ばれる領域を考慮に入れた計算を行っている。円盤内縁のさらに内側に、強い磁場を持つ原始星磁気圏を設定し、円盤内の一部に電気抵抗を加えることで dead zone をモデル化した。このような状況で 3 次元ローカルシミュレーションを行ったところ、励起した MRI によって円盤内の回転方向速度が剛体回転に向かうような変化を起し、強い磁場のために安定化している原始星磁気圏との境界に大きな速度勾配を生み、その結果、回転面内において Kelvin-Helmholtz 渦が発生した。“円盤内縁における原始太陽によるパルス的な加熱”や、“円盤内縁の位置が激しくゆらぐことに対応した固体惑星成分の酸素同位体比のゆらぎながらの変動”は、隕石の観測結果から直接示唆されており (Itoh&Yurimoto,2003)、今回の結果はこれらを理論的に説明する仮説のひとつと考えられる。さらに、今回、円盤内の磁場の初期形状をポロイダル磁場からトロイダル磁場へ段階的に変化させ、その影響を調べた。その結果、トロイダル磁場に近いうちでは、非軸対称 MRI が支配的になることにより、軸対称 MRI の場合に比べ、回転方向速度の変化は動径方向にゆっくりと伝わるが、やはり inner-edge では渦が発生することが分かった。これは、円盤内磁場の形状に関わらず inner-edge では渦が発生することを示す重要な結果である。