

中性子星内部における電子スケールの磁気散逸機構

高橋博之 (国立天文台)

利用カテゴリ XT4A

近年の X 線観測衛星の発達により、電波パルサーや X 線パルサーのダイナミクスが明らかになってきた。電波パルサーは大きく分けて 2 つの種類に分けられ、その一つは若く、 $10^{10}\sim 10^{13}$ G の磁場強度を持つ孤立した中性子星である。もう一つは $10^8\sim 10^9$ G の磁場強度を持つ、伴星を伴う中性子星である。後者は伴星からの降着によって磁場が散逸されたと考えられる。では孤立した中性子星では磁場の散逸は起きるのか。これについては決定的な証拠はなく、過去の観測的研究においても磁気散逸のタイムスケールが数 Myr 程度であるというものから 100 Myr 以上であるという結果まで様々である。しかし、近年マグネター発見により磁気散逸の証拠が少しずつ挙ってきた。マグネターは若い超強磁場中性子星 ($\sim 10^{15}$ G) であり、定常的な X 線放射が観測されている (X 線光度 $10^{34}\sim 10^{36}$ erg s $^{-1}$)。このエネルギーは重力エネルギーで説明できない事や伴星の存在が確認されないため、磁気エネルギーの散逸によってその活動性を維持していると考えられる [1]。また、磁気散逸のタイムスケールが 10 Myr 程度とするとマグネターは自然に通常のパルサーにつながり、マグネターとパルサーを統一的に理解出来ることがわかってきた [2]。

では中性子星内部でどのようにして磁気散逸が起きるのか。Golreich & Reisenegger [3] は初めて中性子星内部における磁気散逸過程の理論モデルを構築し、その結果、中性子星外殻では Hall 効果が重要であることを示した。中性子星内部では粒子間衝突による磁気散逸率は非常に小さいが、Hall 効果が優位に働くと Hall 乱流によって大スケールの磁気エネルギーが小スケールへと運ばれ、その結果、磁気エネルギーは衝突スケールで散逸される。Hall 乱流の物理は近年、電子磁気流体近似を用いた数値実験によって明らかになってきた [4] が、流体近似を用いているために散逸を自己無矛盾に扱う事は出来なかった。

そこで本研究ではこの磁気散逸過程を調べるため、磁気散逸過程を無矛盾に扱うことができる相対論的プラズマ粒子コード (Particle-In-Cell、PIC 法) を用いて中性子星外殻における乱流の数値実験を行った [5]。図 1 に PIC シミュレーション結果を示す。この図から明らかのように、時間が経つにつれて乱流エネルギーが減っており、また、乱流のスケールも小さくなっていることが見て取れる。これは Hall 乱流 (ホイッスラー乱流) によって磁気エネルギーが大スケールから小スケールへと運ばれたためである。小スケールへと運ばれた乱流エネルギーは 2 つの散逸過程によってプラズマの加熱に使われる。1 つは Landau ダンピングであり、比較的低エネルギーの電子が磁力線方向に加熱される。もう 1 つはサイクロトロン共鳴で、比較的高エネルギーの電子が磁力線に垂直な方向に加熱される。面白い事にこれら 2 つの磁気散逸過程のために、電子は磁力線に対して非等方な温度を持つ Maxwell 分布を持つことがわかった。このような 2 温度プラズマはマグネターにおいても観測されており、これらの磁気散逸過程によって説明できる可能性がある。

本研究で提唱した磁気散逸は電子慣性長程度で起きるため、そのタイムスケールは観測される磁気散逸のタイムスケールに比べて非常に短い。従ってもしこれらの散逸過程が中性子星磁気散逸の起源であると考えれば、そのタイムスケールは乱流によるカスケードのタイムスケールで決まっていると考えられる。しかし PIC 法は計算コストのために大ス

ケールから小スケールまでのカスケードを追う事が出来ないため、今後電子磁気流体と PIC を合わせた相補的な研究の発展が望まれる。

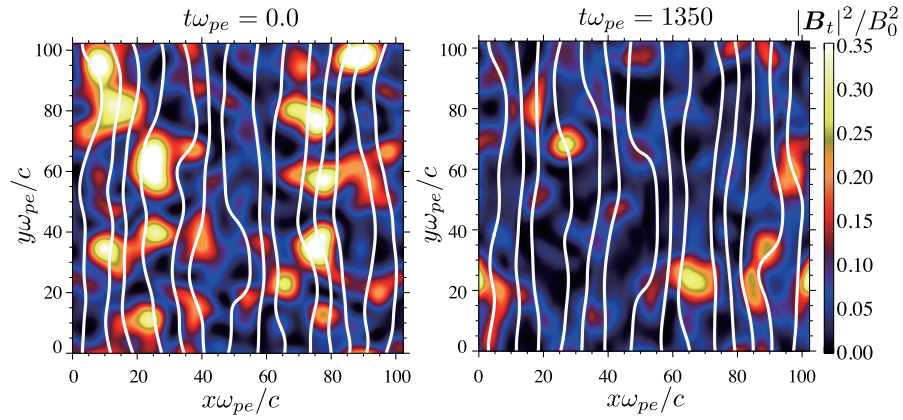


図 1: PIC を用いた数値実験の結果. カラーは乱流エネルギー密度, 線は磁力線を表し, 左と右は始状態とほぼ定常に落ち着いた終状態を示す.

参考文献

- [1] Pons, J. A., Miralles, J. A., Geppert, U.: 2009, *A&A*, **496**, 207.
- [2] Thompson, C., Duncan, R. C. 1996: *ApJ*, **473**, 322.
- [3] Goldreich, P., Reisenegger, A.: 1992, *ApJ*, **395**, 250.
- [4] Cho, J., Lazarian, A.: 2004, *ApJ*, **615**, L41.
- [5] Takahashi, H. R., Kotake K., Yasutake N.: 2011, *ApJ*, **728**, 151.