

パルサー磁気圏における粒子シミュレーション: polar cap, slot gap, outer gap の相互関係

結城伸哉 (山形大学)

利用カテゴリ GRAPE-B

パルサーからの放射を説明する有力な粒子加速モデルとして Polar Cap (PC)、Slot Gap (SG)、そして Outer Gap (OG) モデルが提案されている。PC はパルサー磁極上空に粒子加速領域を考えるモデルである。パルサーからの電波放射は主にこの領域から来ているものと考えられている。SG は PC の端を拡張したようなモデルであり、last open field line 上に位置し、主に高エネルギー放射を説明するモデルである。OG はヌル面と光円柱に挟まれたあたりの領域に位置し、高エネルギー放射を説明するモデルである。PC、SG、OG モデルはすべて沿磁力線電場に沿った加速を考えている。この電場を計算するには以下の用な形式の Poisson 方程式がしばしば用いられる。

$$-\nabla^2\Phi = 4\pi(\rho - \rho_{GJ}) \quad (1)$$

ここで、 Φ は非共回転ポテンシャル、 ρ は電荷密度、 ρ_{GJ} は Goldreich-Julian 電荷密度を表す。この Poisson 方程式を解くためには境界条件が必要であり、これらのモデルでは壁において $\Phi = 0$ という境界条件が用いられている。境界条件は加速電場の構造に影響するため非常に重要であるが、この $\Phi = 0$ となる領域、いわゆるデッドゾーンが本当に存在するかはあまりよく研究されていない。また、電流の向きについて考えると PC・SG モデルでは内向きに、OG モデルでは外向きに磁力線に沿って電流が流れるということになっている。しかし、どのモデルも全て同じデッドゾーンの上にあると考えると、この電流の向きに矛盾が生じる。このように考えると PC・SG と OG は共存できないと考えられる。一方、観測によって得られている電波・ガンマ線の光度曲線は PC 領域からの電波放射、そして SG もしくは OG からのガンマ線放射によってよく説明されることが分かっている。

そこで我々は (1) デッドゾーンは本当に存在するか (2) PC・SG と OG は共存できるかという問題を解決するため、パルサー磁気圏全体を扱う粒子シミュレーションを行った。粒子シミュレーションを用いれば、加速電場やデッドゾーンの形成を含む磁気圏全体の構造を調べることが可能となる。また、粒子シミュレーションは粒子一つひとつの運動を解くため、ドリフトによって磁力線を横切るような運動も扱うことができる。また、クーロンの法則やビオ・サバルの法則は重力と同様に逆二乗則となっているため、重力多体問題専用計算機 GRAPE をプラズマの計算に適用し、粒子間相互作用を高速に計算することが可能である。今回の計算では磁気圏電流が作る磁場も考慮した。

図 1 はシミュレーションによって得られた非共回転ポテンシャルの分布を表す。白で表される領域は $\Phi = 0$ となる領域を表しており、確かにデッドゾーンが形成されている様子がわかる。さらに従来の描像とは異なり、赤道面付近だけでなく中緯度の領域にもデッドゾーンが形成されることがわかった。中緯度付近のデッドゾーンは外向きの電流と内向きの電流のちょうど境界に位置する。このデッドゾーンの上に PC・SG、下に OG が位置することによりこれらの加速領域はうまく住み分けし、共存できる可能があることがわかった。

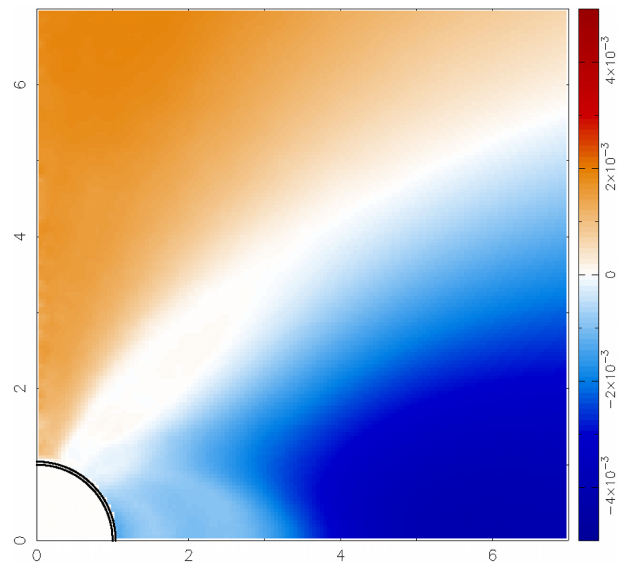


図 1: 非共回転ポテンシャル の分布