星の周囲の定常的な磁気圏の研究

~dipole. quadrupole,ocutapoleな磁場をもった星達~

藤沢幸太郎(東京大学総合文化研究科「駒場」)　共同研究者：和田智秀(国立天文台cfca)

1.背景

磁場星の周囲には、磁気圏が存在している。パルサーの磁気圏はパルサー風と呼ばれるプラズマの流れを引き起こす。パルサーが10^12G程度の磁場を持って回転していると，星の表面の荷電粒子は電磁気的な力を受けて重力を振り切り星から放出される。これら粒子の運動は星の磁場や電場の影響を受けてやがて定常的な磁気圏を構成すると考えられている。中性子星は大局的にはdipole(双極子)磁場であるが，星の表面のごく近傍ではquadrupoleなどさらに高次の磁場が卓越していると考えられている。星付近での磁場や電場の違いがパルサー磁気圏の大局的な構造に大きな影響を及ぼす可能性がある。そこで、定常的な磁気圏を求めるために，高次の磁場を伴った星の磁場と電場を求めた。

2.手法と計算

パルサーの表面での磁場を10^12G、回転周期を0.1秒とすると磁場、回転のエネルギーは重力に比べ弱い。

$$\frac{H}{|W|} \sim 10^{-12}\left(\frac{B}{10^{12}\mathrm{G}}\right)^2\left(\frac{R}{10^6\mathrm{cm}}\right)^4\left(\frac{M}{1.4M_\odot}\right)^{-2},\quad \frac{T}{|W|} \sim 10^{-5}\left(\frac{M}{1.4M_\odot}\right)\left(\frac{R}{10^6\mathrm{cm}}\right)^3\left(\frac{P}{0.1\mathrm{s}}\right)^{-2},$$

ここでは回転や磁場は摂動的に取り入れる(Ioka & Sasaki 2004, Ciolfi et. al 2009 など)。中性子星は簡単化のためn=1のポリトロープとした。磁場や電場は軸対称を仮定する。磁場はflux関数ΨをGS方程式から求める。電場は表面での境界条件を考慮して、Posiion方程式より静電ポテンシャルを求め、計算する。

flux関数　$B_r \equiv -\frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial\Psi}{\partial\theta} B_\theta \equiv \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial\Psi}{\partial r}$

Poisson方程式　$\boldsymbol{E} = -\nabla\phi.$

GS方程式　$\frac{\partial^2\Psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\Psi}{\partial\theta^2} + \frac{1}{r^2}\frac{\cos\theta}{\sin\theta}\frac{\partial\Psi}{\partial\theta} = -4\pi r\sin\theta\frac{j_\varphi}{c},$

静電ポテンシャルの外部解

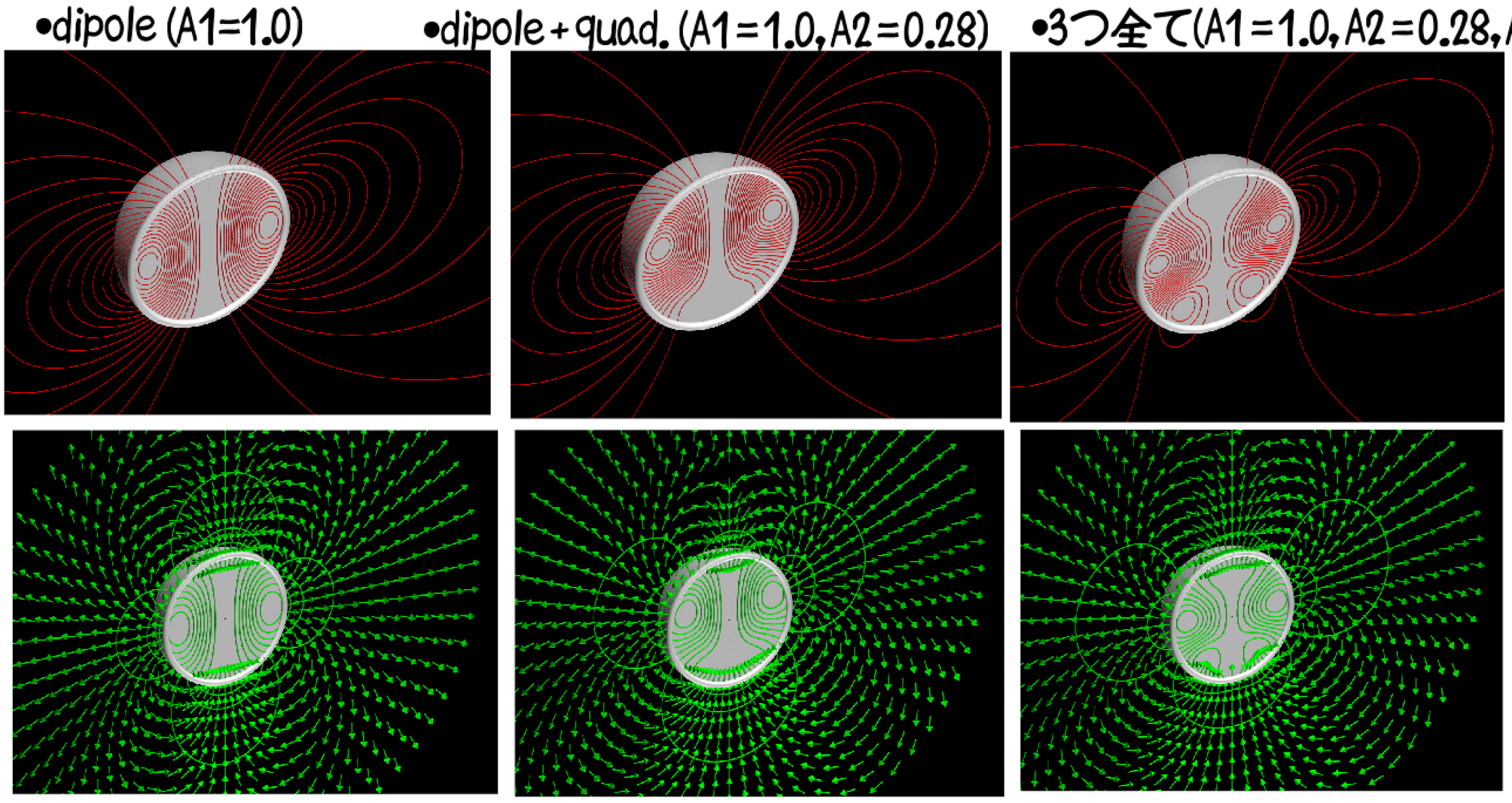
$$\phi_{out}(r,\theta) = \frac{Q_0}{r} + \frac{\Omega_0}{c}\left(\frac{6}{5}A_2\right)r^{-2}\cos\theta - \frac{\Omega_0}{c}\left(\frac{1}{3}A_1 r_s^2 - \frac{6}{7}A_3\right)r^{-3}(3\cos^2\theta - 1) - \frac{\Omega_0}{c}\left(\frac{3}{5}A_2 r_s^2\right)r^{-4}(5\cos^3\theta - 3\cos\theta) - \frac{\Omega_0}{c}\left(\frac{3}{14}A_3 r_s^2\right)r^{-5}(35\cos^4\theta - 30\cos^2\theta + 3).$$

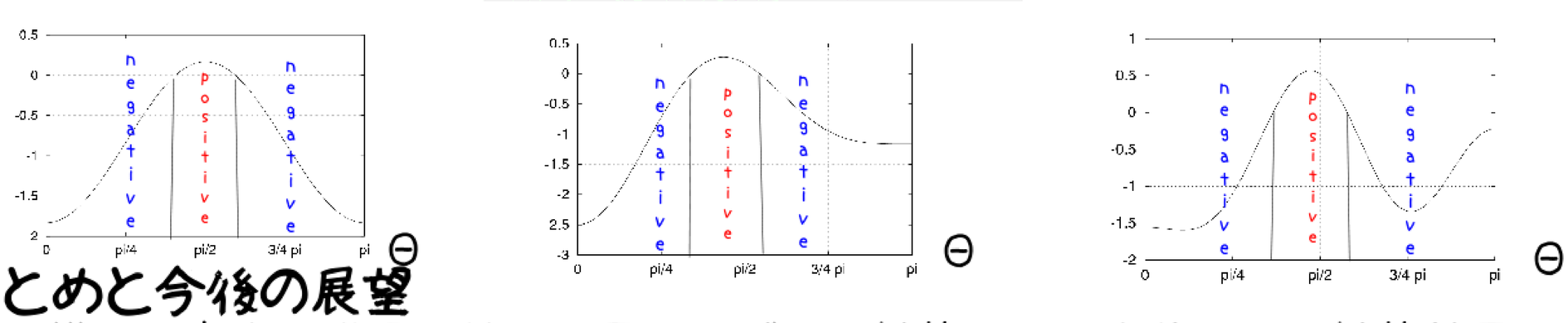
A1，A2，A3はそれぞれdipole，quadrupole，octupoleの大きさの係数である。それぞれの磁場に応じた次数の電場が発生する。

3.計算結果

dipole磁場だけの星、dipoleとquadrupole磁場が合わさった星、3つの磁場が合わさった星を求めた。それぞれ磁場(上)、電場と静電ポテンシャル(中)である。

•dipole (A1=1.0)　•dipole+quad. (A1=1.0,A2=0.28)　•3つ全て(A1=1.0,A2=0.28,A3=-0.27)





純粋なdipole磁場星から、高次の磁場が混ざった星など。いずれも大局的にはdipoleが支配的だが、星の近傍での磁場や電場の振る舞いはそれぞれで大きく異なる。

それぞれの時の星の表面に誘起される表面電荷密度のグラフ(下)。それぞれ電荷密度分布は異なっている。

4.まとめと今後の展望

今回は様々な高次の磁場を持った星のモデルを計算した．今後はこの計算結果を用いて粒子法を用いて和田氏とシミュレーションを行い、中心の星の磁場が異なる場合、どのような磁気圏が構成されていくかを求めていく。また最近、星の表面に電流があると星の内部に強力なトロイダル磁場を持てることが明らかになってきた(Fujisawa et. al, 準備中)。星の内部と星の外側(磁気圏)を一緒に考えパルサー磁気圏やマグネター内部の磁場などを明らかにしていきたい。

ubuntu & Fujisawa

このポスターは、フリーのフォント、IPA P明朝、IPA Pゴシック、怨霊ふぉんと、みかちゃんフォント、うずらフォントを用いて、Ubuntu10.04 Lucid上のInkscapeで作成しました。この場を借りて御礼申し上げます。