

オーロラのシミュレーション

卒業研究中間報告 N20-003 阿部晴斗

目的

- 情報技術が発達した現代では、太陽フレアによる停電や通信障害が問題となっている。そこで宇宙天気予報など、被害を減らすために太陽フレアの予測が重要である。
- 太陽から地球に飛来した荷電粒子が、地球磁場によりどのように振る舞うのかをシミュレーションする。
- オーロラは通常高緯度地域で見られるが、太陽フレアが起こり大量の荷電粒子が飛来すると低緯度地域でも観測できることを確認する。

太陽風・オーロラ

- 太陽から放出されたガス(プラズマ)のことを太陽風と呼ぶ。秒速500km程度で約3日かかって地球に到達する。
- 地球の磁場の影響を受けて北極や南極の上空に飛来した荷電粒子が、大気中の酸素原子や窒素原子と衝突し発光する現象がオーロラである。
- オーロラの色は、荷電粒子のエネルギー(スピード)と衝突する原子によって決まる。



https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2007/10/The_Sun-Earth_connection

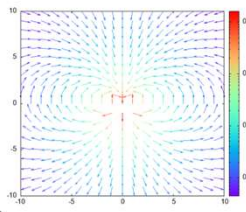
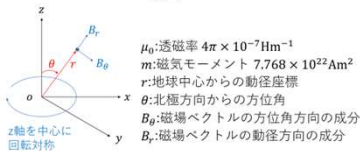


https://www.jaxa.jp/article/interview/2013/vol19/index_j.html

地球の磁場の形状

$$B_{\theta} = \frac{\mu_0 m}{4\pi r^3} \sin \theta$$

$$B_r = \frac{\mu_0 2m}{4\pi r^3} \cos \theta$$



地球の磁場中での荷電粒子の運動

- Newtonの運動方程式 $m\mathbf{a} = \mathbf{F}$
- 荷電粒子の運動方程式 $m \frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} = e\mathbf{v} \times \mathbf{B}$

- C言語でプログラム
- Runge-Kutta法で計算
- gnuplotでグラフ作成

陽子質量：
 $m = 1.672621777 \times 10^{-27} \text{kg}$
 電荷：
 $e = 1.602176565 \times 10^{-19} \text{Coulomb}$
 地球半径：
 $Re = 6378137 \text{m}$



ローレンツ力
 $\mathbf{F} = e\mathbf{v} \times \mathbf{B}$

向きと大きさを合わせて「外積」で表すことができる

<https://www.youtube.com/watch?v=9u4wv3p3884>

シミュレーション1

- 初期値

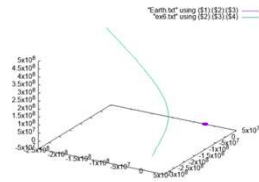
位置：

$$\begin{aligned} x &= 0 \text{m} \\ y &= -40 * Re \text{m} \\ z &= 0 \text{m} \end{aligned}$$

速度：

$$\begin{aligned} vx &= 0.000 \text{m/s} \\ vy &= 15393034.157 \text{m/s} \\ vz &= 26661517.243 \text{m/s} \end{aligned}$$

結果の例



多くの場合、荷電粒子は地球磁場でね返される。

シミュレーション2

- 初期値

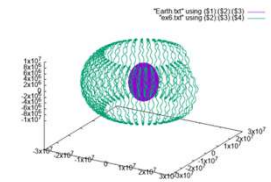
位置：

$$\begin{aligned} x &= 4 * Re \text{m} \\ y &= 0 \text{m} \\ z &= 0 \text{m} \end{aligned}$$

速度：

$$\begin{aligned} vx &= 0.000 \text{m/s} \\ vy &= 15393034.157 \text{m/s} \\ vz &= 26661517.243 \text{m/s} \end{aligned}$$

結果の例



地球磁場に閉じ込められた荷電粒子

シミュレーション3

- 初期値

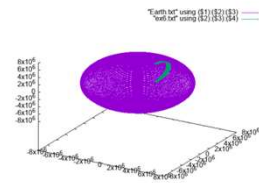
位置：

$$\begin{aligned} x &= 0 \text{m} \\ y &= Re \text{m} \\ z &= 0 \text{m} \end{aligned}$$

速度：

$$\begin{aligned} vx &= 0.000 \text{m/s} \\ vy &= 15393034.157 \text{m/s} \\ vz &= 26661517.243 \text{m/s} \end{aligned}$$

結果の例



地球磁場に閉じ込められた荷電粒子

シミュレーション4

- 初期値

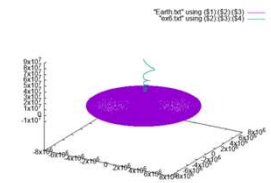
位置：

$$\begin{aligned} x &= 461465.186 \text{m} \\ y &= -808863.224 \text{m} \\ z &= 85491731.351 \text{m} \end{aligned}$$

速度：

$$\begin{aligned} vx &= 1860359.882 \text{m/s} \\ vy &= -977603.844 \text{m/s} \\ vz &= -30714253.273 \text{m/s} \end{aligned}$$

結果の例



荷電粒子が磁力線に沿って入ってくる。

まとめ

- 地球の磁場を再現し、その中での荷電粒子の運動をシミュレーションすることができた。
- 今後はエネルギーの高い荷電粒子が飛来したとき、地球上ではどの範囲から観測できるか確かめる。

参考文献

- [1] F.D. Stacey, P. M. Davis 著, 本多了ほか訳『地球の物理学事典』(朝倉書店, 2013)
- [2] M. Kaan Ozturk, Trajectories of charged particles trapped in Earth's magnetic field, American Journal of Physics, 80 (2012) 420