

# Cut-off Rigidity の可視化による人工衛星運用の学習支援ツールの開発

宇宙情報解析研究室：P04087-5 田丸 篤志

指導教員：久保田 あや

2009 年 1 月 24 日

## 1 はじめに

宇宙に存在する様々な天体から放射される X 線や赤外線のような可視光以外の電磁波の観測は主に人工衛星によって行われているが、宇宙で人工衛星は放射線帯や宇宙線などの厳しい環境にさらされる。これらは衛星の運用面では搭載機器の損傷、観測面では雑音源となる。すなわち、衛星高度での宇宙環境を知ることは、衛星の運用面と得られたデータを解析する上でも非常に大切である。特に、日本の X 線天文衛星では運用計画のコマンドの作成などに大学院生も携わっていることから、衛星高度での宇宙環境と搭載機器への影響を学習するための支援ツールの作成は有用である。

本研究では、さまざまな宇宙環境の中でも検出器への雑音源となる宇宙線の入射を決定する Cut-off Rigidity(COR)に着目し、これを地球規模で、様々な高度で可視化することにより人工衛星運用の学習支援を目指す。

## 2 宇宙線と人工衛星

宇宙では超新星爆発や太陽表面の爆発などで発生した高エネルギーの荷電粒子が飛び交っており、これを宇宙線(一次宇宙線)という。以下に宇宙線の観測データおよび運用への影響を述べる。

### 観測データへの影響

宇宙線が検出器に入射すると、検出器はこれを観測目標の天体からの電磁波と区別することなく受けとってしまう。そのため、観測データには目標の天体からのスペクトルとともに、宇宙線が雑音となってスペクトルに現れてしまう。広がった天体の観測データから雑音を除去するときには COR の参照が必要である。

### 運用における注意点

宇宙線の入射量が多い地域では、観測データの雑音が多くなり質の良いデータを得ることはできない。そこで DATA RATE(DR) の割り当てというものがある。DR とは観測に当てるデータ量のことであり、宇宙線の入射が多い箇所では DR を下げ、反対に宇宙線の入射が少ない箇所では DR を上げ、効率の良い観測を行う。この DR の割り当てには COR も参照される。

## 3 Cut-off Rigidity

Cut-off Rigidity(COR) とは、宇宙空間から地球へ入射する宇宙線に対する地球磁場のシールド能力を表すもので、地球磁場によって決定される。単位は GeV/C または GV で表され、これは入射する宇宙線のエネルギーに対応

している。ある地点での COR が分かれば宇宙線の入射量を一意に決定することができる。つまり、COR 等しい異なる 2 点では宇宙線の入射量は等しいとすることができる。図 1 は地球磁場のシールドイメージである。

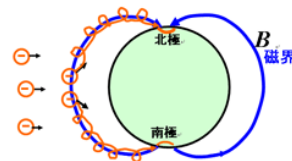


図 1: 地球磁場のシールドイメージ<sup>1</sup>

COR が低い地点では宇宙線の入射量が多くなり、観測時の雑音が多くなる。反対に COR が高い地点は宇宙線の入射量が少なくなり、雑音が少なくなる。

COR は地球磁場によって決定されるため、磁場の分布が分かれば一意に決定することが可能である。地球磁場の分布を全地球的スケールで表現するモデルとして最もよく使われているものとして国際標準地球磁場 (IGRF - International Geomagnetic Reference Field)<sup>2</sup>がある。

COR を導く計算式はいくつかあるが、その中で最も簡単なものとして (1) 式がある。これは文献 [1] により定義されている。(1) 式中の L は L のパラメーターと呼ばれており地磁気の影響を表すもので、地球からの距離、緯度、地磁気の傾きで決まる値である。

$$COR = \frac{14.5}{L^2} \quad (1)$$

## 4 開発

以下の図 2 は開発手順を示したものである。

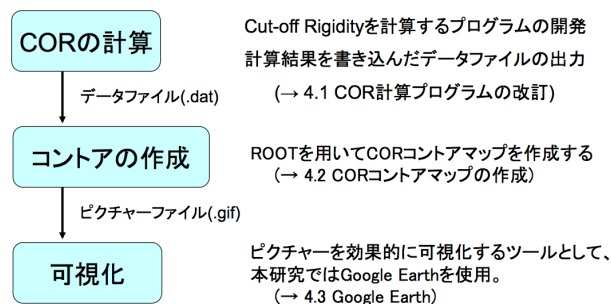


図 2: 開発手順

### 4.1 COR 計算プログラムの改訂

IGRF のホームページには L のパラメーターを計算するプログラムのソースコード (FORTRAN 言語) が公開されているので、その最新版である IGRF10 モデルのソース

<sup>1</sup><http://kumiko47.exblog.jp/1203274/>

<sup>2</sup><http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/>

コードを入手した<sup>3</sup>。しかしこのオリジナルプログラムは COR の計算まではおこなっていないため、いくつかの変更を加えた。

変更後のプログラムは緯度および経度の刻み幅、高度、年を入力すると、その年と高度での全ての緯度と経度に対応した「緯度 経度 COR」をデータファイルに出力できるようにした。本研究では刻み幅を 0.1 °としており、これは 6,480,000 点で COR を計算しているということである。

#### 4.2 COR コントアマップの作成

COR 計算プログラムで出力したデータファイルから COR コントアマップを作成する。COR コントアマップとは、横軸に経度、縦軸に緯度、重みに COR を用いた 2 次元ヒストグラムである。COR コントアマップの作成には ROOT というツールを用いる。ROOT<sup>4</sup>とは CERN(欧州原子核研究機構高)で開発されたデータ解析ツールで、C++言語をベースとしており、グラフプロット、ヒストグラム、フィッティング等の機能を備えている。

コントアは作成したい人工衛星の軌道高度に従って作成する必要がある。ここでは、図 3~図 5 に、2005 年の高度 100km(比較用)、高度 570km(すざく衛星 [2] 高度)、高度 10000km(チャンドラ衛星近地点高度)の COR コントアマップを示す。

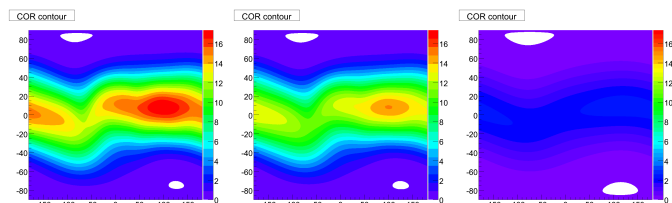


図 3: 高度 100km 図 4: 高度 570km 図 5: 高度 10000km

COR の大きさは色で表現し、一目見てどの地域の COR がどの程度なのか分かるようにした。また、図 3~図 5 を見れば分かるように、高度が高くなるとそれ伴って COR は小さくなる。また、COR は赤道に近づくとき高くなり、極地方に近づくほど小さくなる傾向があることが分かる。

#### 4.3 Google Earth

本研究では COR を可視化する手段として Google Earth(GE)を用いることにした。GE は Google 社が無料で配布している地球儀ソフトで、地上を見るだけでなく地球全体を宇宙視点で見ることができ、単なる地図ソフトではなく立体的に地球周りの COR を表現する際に最適なソフトである。

作成した COR コントアマップを GE へオーバーレイ (貼り付け) する。画像を地球に対する位置を正しく貼付けるためには、その画像は緯度と経度の間隔が等しく、直線で、直角に交差している CAR 投影法である必要があるが、今回 ROOT を用いて作成した COR コントアマップはその仕様を満たしている。投影法が CAR であれば、位置設定は緯度、経度で 4 辺を指定すればよい。今回のように地球全体を覆うような画像の場合、「90N,90S,180E,180W」と

すればよい。また、高度を設定すると画像が地球から浮き上がった状態にすることが可能である。

作成した COR の分布 (2005 年、高度 570km で計算) を実際に GE に取り込ませたものを図 6 に示す。GE で表現することで、図 3~5 のような平面の地図と比較して COR 分布が非常にわかりやすく表現できていることがわかる。例えば、図 3 では COR は経度 -70 °あたりで分布にゆがみがあるように見えるが、これは GE では見られない。これは、地球磁場の軸が地球の回転軸とずれているためであり、COR の分布は地場軸に対して歪みなく分布していることが説明できる。また、COR は図 6 の手前側 (経度 100 °あたり) で 180 °反対側より大きくなっているが、これは地球の中心と地磁気中心がわずかにずれているためである。GE を用いるとこういったことが視覚的に分かりやすく説明できる。

その他の人工衛星の軌道高度についても同様にして作成しており、高度の切り替えができるようにした。

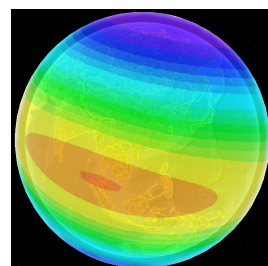


図 6: GE へのオーバーレイ 高度 570km

## 5 まとめと今後の課題

本総合研究により、COR を視覚的に非常に分かりやすく表現するツールを作成することができた。利用者が自分で地球を回し、表示高度を変えていくことにより、緯度と高度による COR の分布傾向、磁気極と地球の極のズレなどを実際に見ることができ、解析初心者などの利用者に学習支援としての貢献が期待できる。

また、同研究室の別当屋敷の研究「すざく衛星の軌道と軌道上バックグラウンドの可視化による解析学習ツールの開発」では、すざく衛星の軌道と観測時の雑音を GE に取り込んでおり、今後、本研究と組み合わせる計画である。衛星が地球を回り、COR の変化とともに検出器雑音に変化していく様子を可視化し、衛星運用および解析の学習支援ツールを完成させる。その完成予想図を図 7 に示す。これにより、利用者がより一層理解を深めることのできるツールになることが期待できる。

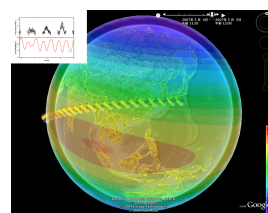


図 7: すざく衛星軌道との組み合わせ

## 参考文献

- [1] D.F.Smart, M.A.Shea 2005, SCIENCE DIRECT, 36, 2
- [2] Mitsuda, K., et al.2007, PASJ, 59, 1

<sup>3</sup><http://modelweb.gsfc.nasa.gov/magnetos/igrf.html>

<sup>4</sup><http://root.cern.ch/>