

Geant4によるあけぼのRDM計測器の検証と放射線帯電子陽子相互データ混入の分離解析

浅井 佳子 [1]; 高島 健 [2]; 小井 辰巳 [3]; 長井 嗣信 [4]
[1] 東工大・理工・地惑; [2] 宇宙研; [3] SLAC; [4] 東工大

Reciprocal contamination of the radiation belt electrons, protons and alphas: Akebono RDM and Geant4 simulation

Keiko T. Asai[1]; Takeshi Takashima[2]; Tatsumi Koi[3]; Tsugunobu Nagai[4]
[1] Dept. Earth & Planet. Sci., TITECH; [2] ISAS, JAXA; [3] SLAC; [4] Tokyo Institute of Technology

The Japanese semi-polar orbiting satellite Akebono (EXOS-D), launched in February 1989, has observed the space environment at altitudes of several thousands km. The radiation monitor (RDM) onboard Akebono gives data of energetic particles in the Earth's radiation belt for twice solar cycles. The data from RDM are for electrons in three energy channels of ≥ 2.5 , 0.95-2.5, 0.3-0.95 MeV, protons in three energy channels of 30-38, 15-30, 6.4-15 MeV, and alpha particles in one energy channel of 15-45 MeV. These energy ranges are however based on information of about 20 years ago so that the data seem to include some errors. In addition, these data include contamination of electrons and protons reciprocally. Actually it is noticed that the electron data are contaminated by the solar protons but unknown quantitative amount of the contamination. Therefore we need data calibration in order to correct the energy ranges and to remove data contamination.

We examine the RDM instrument using the Geant4 simulation. Geant4 gives information of trajectories of incident and secondary particles whose are interacted with materials. It is confirmed from the results that electrons showed extremely complex trajectories caused by material interactions in the instrument. Some electrons are scattered in the shading material (Al) and the primary detector element (Si) before arriving the main detector elements of the instrument. Our simulation moreover confirms that signals of proton incidence appear in the electron and alpha channels. The results of the simulation successfully show reciprocal contaminations that electron contaminates onto the proton channels and proton contaminates onto the electron and alpha channels of the RDM detector.

It has been known that the solar protons enter the magnetosphere at high latitudes. Actually the RDM instrument detects the solar flare particles often at high L values of ≥ 5 . We compare the RDM data modified by Geant4 with the solar flare particle data provided by the OMNI web database. As the results from the data correction using the Geant4 simulation, the data of the alpha channel at L ≤ 1.5 are the contamination of the protons while that at L ≥ 8 are the solar helium ≥ 18 MeV expected to be one order smaller than the solar protons. It is found from the investigation of the solar energetic particle events from 1989 to 1999 that the solar helium of a few ten MeV can enter to the inner magnetosphere of L ≤ 4 in a geomagnetic storm interval.

1989年の打ち上げ以降、世界で唯一長期観測を実現している日本の科学衛星「あけぼの」搭載の放射線モニター(RDM)は、高エネルギー電子3チャンネル(≥ 2.5 , 0.95-2.5, 0.3-0.95 MeV)、プロトン3チャンネル(30-38, 15-30, 6.4-15 MeV)、アルファ粒子1チャンネル(15-45 MeV)の測定を、現在も継続して行っている。特に電子は、質量エネルギーを軽く超えるエネルギーを持っていて相対論的振る舞いをし、物質(すなわち生体や人工機器)を構成する原子の原子核にまで影響を及ぼすため、研究対象としての重要性が高い。しかしながら、高エネルギー電子が影響を及ぼす物質とは、たとえば測定器自体の素材であり、従って、その測定器から得られるデータは慎重に解析されなければならない。強放射線環境は地上の実験室では簡単に作れないため、実際の宇宙空間の放射線帯の中でどのようなことが起きているのか、地上実験で知ることは難しい。そこで、コンピュータの中での計算機実験として検出器評価をするのが、高エネルギー物理学分野で開発され、放射線医学や宇宙開発などの分野でも活用されているGeant4コードを用いた粒子追跡シミュレーションである。

本研究では、Geant4粒子追跡シミュレーションツールをもちいて、あけぼのRDM検出器の検証を行い、データ混入の除去、およびエネルギーレンジの補正值の導出に取り組んできた。RDM検出器をシミュレーション空間内に構築し、電子、陽子、アルファ粒子のそれぞれについて、さまざまなエネルギーを設定して粒子入射を行い、粒子の軌道追跡を行った。このシミュレーションでは、入射粒子と物質の衝突散乱を再現し、入射粒子だけでなく衝突等によって生成される二次粒子も追跡する。シミュレーションの結果、電子が検出器の内部で極めて複雑な振る舞いをすることが分かった。検出器は、開口部のコリメーター、遮光材(Al)、検出部(Si)、減速材(Cu)を組み合わせるフレーム中に層構造を成しているが、電子が各部を通過する時、予想外に大きく散乱を起こしていたのである。エネルギーに依っては、散乱後フレームを突き抜けて外部に逃げる電子や、各部の間をバウンスし、検出部を複数回通過する電子もあった。しかも最もよく散乱される電子のエネルギーは、測りたい対象、すなわち地球放射線帯の主成分のエネルギー帯(1 MeV付近)のものであった。検出器内部のシリコン検出部における吸収エネルギーを調査した結果、陽子とアルファ粒子は、ほぼ理論予測のとおり吸収エネルギーが測定されたのに対し、電子の吸収エネルギーは、理論予測に対し分散の大きい分布を示していた。成果として、RDM検出器の各観測チャンネルのエネルギー幅の補正值およびデータ混入の割合を得ることができた。

粒子追跡シミュレーションにより、検出効率にエネルギー依存があることが明らかになったため、検出器開発当時の古い資料をもとに吸収エネルギー信号回路とデータ検出アルゴリズムを再現し、エネルギーチャンネルごとに、検出効

率のエネルギー依存を考慮したデータ補正項の導出に取り組んだ。ここでは、電子データの検証のために、内部磁気圏での観測データを、NASAのCRRES衛星による同時観測データと比較し、また、陽子データの検証のために、高緯度における観測データを、NASA公開の太陽風データに含まれる太陽フレア粒子と比較した。その結果、電子チャンネルと陽子チャンネルの相互データ混入が明らかになった。L<3の内部磁気圏では、電子データへの陽子の混入があるものの逆に電子チャンネルの値を陽子データとして扱うことが出来ること、L4-6の放射線帯外帯の領域では、陽子チャンネルの値を電子データとして扱うことが出来ること、さらに、L>8の高緯度領域では、陽子およびアルファ粒子チャンネルが正確なデータを出していることが確認できた。1989年と1999年までの太陽フレア粒子イベントとの比較による結果では、太陽アルファは太陽プロトンの一割程度との報告がされている通り、高緯度帯ではRDMでもプロトンの一割程度のアルファが観測していることが確認できた。さらに、時に、それが磁気嵐のときにL4以内のかなり内部まで侵入できていることが新たに分かった。