

「れいめい」衛星によるオーロラ帯プラズマパラメータの計測と 飛翔体環境シミュレーション

岡田雅樹（極地研）、臼井英之（京都大）、大村善治（京都大）、
上田裕子（JAXA）、村田健史（愛媛大）

小型科学観測衛星「れいめい」は、2005年8月に打ち上げられ順調にオーロラ微細構造の観測を続けている。我々は、れいめいに搭載された3対のラングミュアプローブ(CRM)を用いたプラズマパラメータの高分解能観測を行っている。CRMのデータはオーロラ帯プラズマの密度、温度の計測に有効であるだけでなく、飛翔体環境の理解を深めるためにも有効で、シミュレーションによる解析と比較することによって、オーロラ粒子による衛星帯電の機構解明に役立つものと考えられる。一般に、極域においては降り込みオーロラ粒子の影響によって衛星は負に帯電し、ラングミュアプローブによるプラズマパラメータの計測は困難であるといわれている。CRMでは、シングルプローブ1対とダブルプローブ2対による複数センサーによる観測を行い、衛星帯電の影響や太陽光による光電子の影響、ウェイクの影響を考慮した観測を試みた。これらの影響は非常に複雑で、計算機シミュレーションとの比較を行うことによって初めて、複雑な飛翔体環境の効果を取り除いたプラズマパラメータの推定が可能になる。れいめい衛星が打ち上げられてから現在までの観測データとNuSPACEによるシミュレーションと比較することによって、CRMによる観測によってプラズマパラメータ以外に衛星の帯電状態、降り込み粒子との因果関係などが明らかになった。

1. 概要

小型科学観測衛星「れいめい」は、オーロラ微細構造を観測することを目的として2005年8月

に打ち上げられた。図1は、その観測の様子示す想像図である。

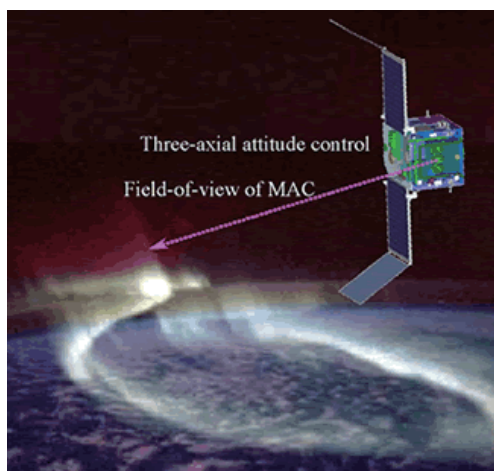


図1. れいめい衛星の観測の想像図

れいめい衛星の主な観測領域は、極域オーロラ帯であるため、数10keVに及ぶオーロラ降り込み粒子が照射される状態での観測が予想され、飛翔体を取り巻くプラズマ環境は非常に厳しい。れいめいは、オーロラ発光機構の解明のため、多色オーロラ撮像装置(MAC)およびプラズマ粒子計測装置(EISA)、プラズマ環境計測装置(CRM)を搭載している。

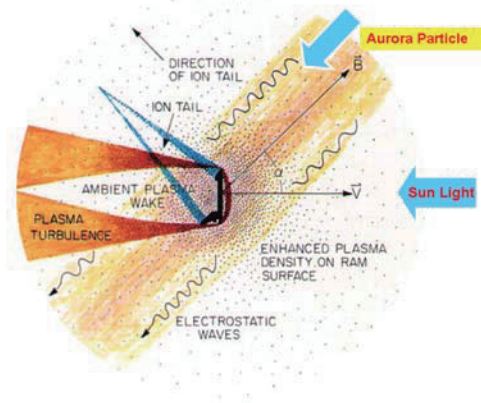


図2. オーロラ帯での飛翔体環境の概念図

CRM は、2 対のダブルプローブと1つのシングルプローブから構成されており、それぞれ衛星の異なった方向のプラズマパラメータを計測している。通常、ラングミュアプローブは衛星自身の電位、航跡、日射等の影響をうけるため、背景プラズマのパラメータを単純に求めることは非常に困難である。特に、オーロラ帯においては、オーロラ高エネルギー粒子の照射に衛星がさらされた環境下でのラングミュアプローブ特性は本来の特性から異なるものとなることが予想されるため、観測データを吟味する上では十分な解析が必要となる。図3は、れいめい衛星のCRMセンサーが取り付けられた位置を記録した写真である。緑色の部分がCRMのセンサー部である。

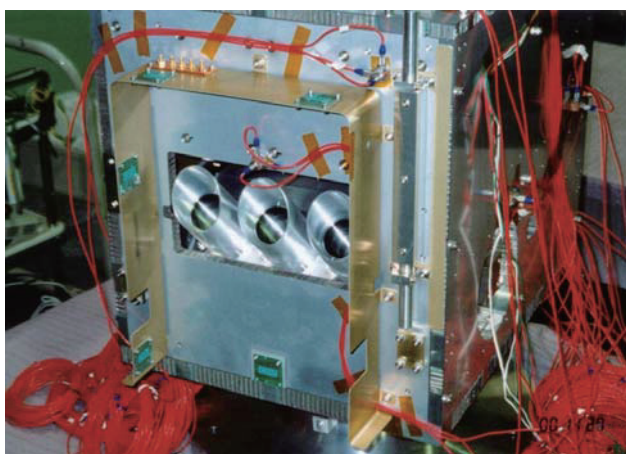


図3. 緑色の部分がれいめい衛星上に設置されたCRMのセンサー部

我々は、CRM の観測データと飛翔体環境のシミュレーションを組み合わせることによって、衛星のプラズマ環境を計算機上で再現することを試み、観測データの理解を深める手法を開発している。

2. 観測

CRM は、高い空間解像度でプラズマの密度と温度を計測することを目的としているため、320msec 毎に1回の頻度でラングミュア曲線を取得している。MAC、EISA と空間解像度がほぼ同程度になるように設計されており、オーロラ帯において数km程度の空間解像度で、粒子計測、オーロラ撮像ならびにプラズマパラメータの同時計測を行っている。図4は、STARS システムを用いて、EISA と CRM のデータを時間的に同期させて表示した例である。

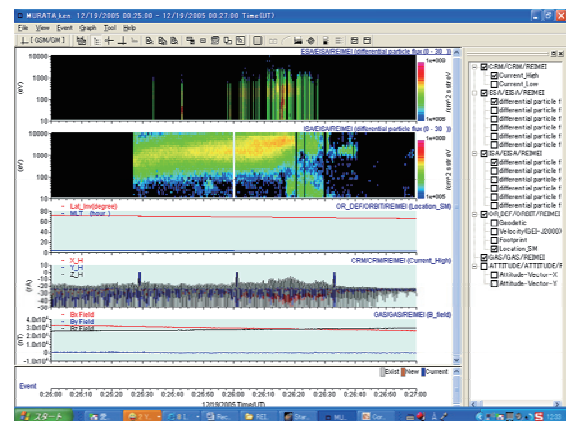


図4. STARS によって EISA と CRM のデータを表示した例

図5は、CRM のデータを高分解能で表示した例である。上から、XL, YL, ZL, XH, YH, ZH 成分の順で表示しており、添え字 L,H はそれぞれ低ゲイン、高ゲインをあらわし、X,Y,Z は衛星筐体に対する方向を表している。X,Y 成分がダブルプローブを構成し、Z 成分がシングルプローブのデータである。

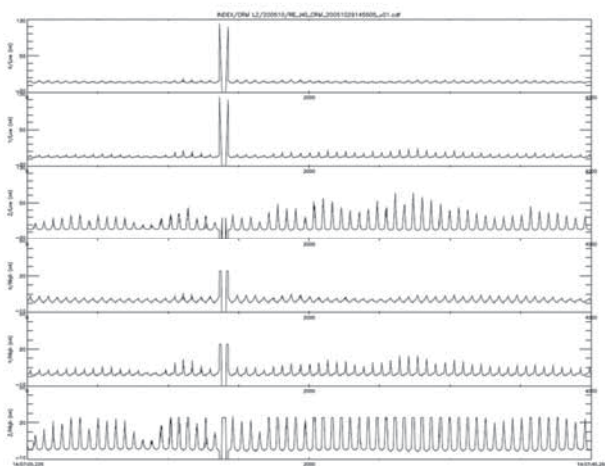


図5. CRM の高分解能データの例

通常の観測状態では、シングルプローブのデータがもっとも背景プラズマの状態を反映していることがわかる。一方、ダブルプローブのデータは、その特性から、全体に振幅が小さくプラズマパラメータを求めることは通常非常にむずかしい。

図6. は2005年11月2日に観測されたCRMのデータである。シングルプローブの波形の振幅が著しく小さい一方、ダブルプローブの波形が比較的大きく観測されている。これは、衛星の電位が負に変異したことによる効果であると考えられる。

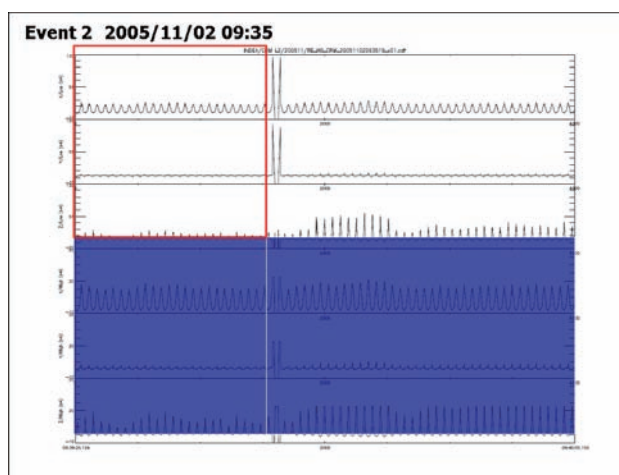


図6. 2005年11月2日に観測されたCRMのデータ

3. シミュレーション

CRMによって観測された現象を計算機シミュレーションによって再現するため、図7. のような形状モデルを構築し、シミュレーションモデルとして計算機実験を行った。

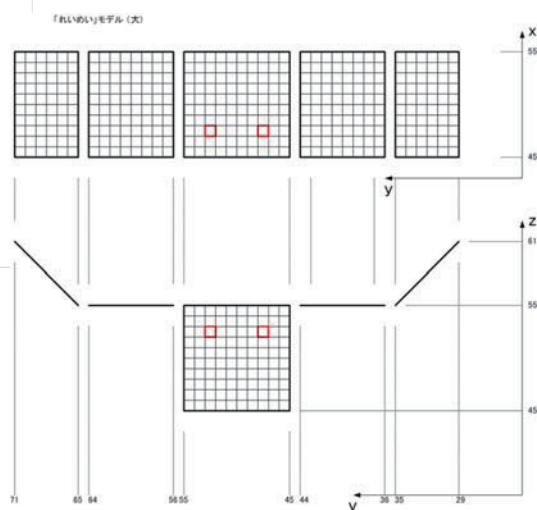


図7. れいめい衛星の形状モデル

シミュレーションコードとして、プラズマ粒子シミュレーションコード(NuSPACE)を元に静電解析を精密に行うために、ポアソン方程式を高速に解くことができるよう修正したものを用いた。

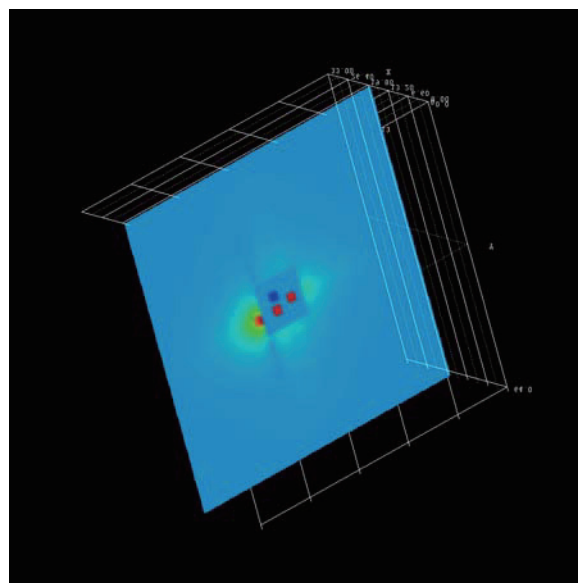


図7. シミュレーションで得られた衛星X面上の電位分布

4. まとめ

小型科学衛星「れいめい」に搭載されたラングミュアプローブ CRM によって、極域オーロラ帯の高度 600 km においてプラズマパラメータの計測を行った。電離圏におけるシングルプローブの計測は順調に運用を続けており、良好な観測データを提供しているが、オーロラ降り込み粒子の影響をうける環境では、シングルプローブのデータだけでは十分な情報が得られないケースがあることが判明した。そのような場合、ダブルプローブによる観測が有効であることが証明された。一方、ダブルプローブのデータから正確なプラズマ密度、温度を推定するためには、飛翔体環境のシミュレーションと合わせて十分な議論が必要であることがわかってきた。

我々は、れいめいモデルを使った計算機シミュレーションを行い CRM データの再現を行った。シングルプローブとダブルプローブを搭載した詳細な「れいめい」衛星モデルを構築し、衛星上での観測とおなじ環境を構築することに成功した。シミュレーションコードは、基本的にリアルパラメータで計算を行うことが可能で、今後計算を繰り返すことで、より精度の高い再現が可能になるものと予想される。

参考文献

プローブ計測の基礎から応用まで, 雨宮宏, 和田元, 豊田浩孝, 中村圭二, 安藤晃, 上原和也, 小山孝一郎, 酒井道, 橘邦英, J. Plasma Fusion Res, 81, 482-525, 2005

Development and Application of Geospace Environment Simulator for the Analysis of Spacecraft-Plasma Interactions, Usui H., M. Okada, Y. Omura, T. Sugiyama, K.T. Murata, D. Matsuoka and H.O. Ueda, IEEE Transactions of Plasma Science 34, 2094-2102, 2006

Application of NuSPACE to the Spacecraft Environment Analysis, Okada, M., H. Usui, Y. Omura, H.O. Ueda, T. Murata and T. Sugiyama,

Proceeding of the 24th ISTS, 250-253, 2006

宇宙機環境と計算機シミュレーション、臼井英之、岡田雅樹、日本航空宇宙学会誌、52 巻、604 号、2004