

電離圏の2次元全球的ポテンシャルソルバーの開発: GEMSIS project

平木 康隆 [1]; 海老原 祐輔 [2]; 堀 智昭 [3]
[1] 名大; [2] 名大高等研究院; [3] STE 研

Development of a 2D ionospheric global potential solver: GEMSIS project

Yasutaka Hiraki[1]; Yusuke Ebihara[2]; Tomoaki Hori[3]
[1] Nagoya Univ.; [2] Nagoya Univ., IAR; [3] Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya Univ.

The calculation of ionospheric potential and horizontal currents produced by a field-aligned current at the polar region has been conducted vigorously in a few decades as Maekawa and Maeda (1978). Tsunomura (1999) presented global maps of potential, current, and magnetic fluctuation at the ground due to the current, all of which are consistent with many observations. However, many key problems remain to be solved such as the steep gradient of non-diagonal component of conductivity at the equator, the vertical structure of potential (3D structure), and its instantaneous distribution or variation associated with subauroral plasma convection at a strong storm time. It seems to be considered that reproduction of the equatorial jet current in the above model is obvious as it solves only a hemisphere through the artificial damping of non-diagonal conductivity at equator. In these circumstances, we have developed a 2D ionospheric global potential solver, covering both hemispheres, under the GEMSIS project. We will report the obtained results in this talk.

Hereafter, we explain the details and the initial results of our model. In our model, we solve the current continuity equation by assuming that the ionosphere is a thin conducting sphere. The boundary value of the potential at the pole is provided by the adjacent values in each iteration step. The height-integrated ionospheric conductivity tensors are calculated using the MSIS-E90 (neutral gas density) and the IRI-2000 (electron density and temperature, and ionic composition) empirical atmospheric models together with the Hardy-type auroral conductivity model. The inherent magnetic field is now assumed to be a dipole field, but our code is applicable for any field line such as obtained from the IGRF model. We use the multigrid and SOR methods to solve the elliptic equation, which can be extended to the 3D problem in the near future. By inputting the field-aligned current data obtained from the Weimer (2005) reference model, we verify our calculation results with the Weimer's potential data as a benchmark test of our code. We find a good agreement with their statistically obtained patterns of the electric potential, along with the Tsunomura (1999) model. Our model also reproduces the equatorial jet current through the artificial damping of non-diagonal conductivity. Meanwhile, we find that the stable solution is obtained without any damping treatment, thus we can assess its physical meaning and applicability. The latitudinal grid resolution is as low as about 0.17 degree (1024 meshes) in order to capture the steep gradient of the conductivity near the dip equator. The necessity of this high resolution is related with no explicit boundary condition assigned at the equator. It seems not to be obvious that the solution asymptotes to the equatorial jet currents as a finite Pedersen conductivity exists there. Next, we calculate the global distribution of magnetic fluctuations (H and D components) at the ground due to an input field-aligned current and calculated horizontal currents using the Biot-Savart law. We proceed with our analysis focusing on the effects of field-aligned current and conductivity patterns on the variation in global magnetic fluctuation. We plan to analyze several storm events to make a direct quantitative comparison with satellite and SuperDARN data.

沿磁力線電流が極域に流出入することによって生じる電離圏でのポテンシャルや水平電流分布の計算は、Maekawa and Maeda (1978) に始まり、Tsunomura (1999) により多数の観測事実をよく説明できることが示された。しかし、これで問題はすべて解決したかという点でもなく、赤道での電気伝導度の非対角成分の急峻な勾配や鉛直方向のポテンシャル構造（多次元性）、さらに強い磁気嵐時のサブオーロラ帯でのダイナミクスに伴うポテンシャル分布の変化などが未解明な問題として挙げられる。例えば、上記のモデルでは、片側半球だけを2次元で解き、赤道での非対角成分をdampingさせているため、観測と対応する赤道ジェット電流などが再現されるのは必然とも解釈できる。そこで我々は、“実証型ジオスペース環境モデリングシステム(GEMSIS)”プロジェクトの一環として、全球をカバーした2次元の電離圏ポテンシャルソルバーの開発に着手した。本発表では、現在の状況を報告したい。

以下では、モデルの詳細と開発状況を述べる。モデルは、電離圏を高度方向に積分して薄層の球面として近似し、南北両極を境界として電流保存の式を解き、全球のポテンシャルを計算している。ここで必要となる全球のPedersen & Hall電気伝導度（衝突周波数）の値は、MSIS-E90, IRI-2000 経験大気モデルから得られる中性大気密度、電子密度・温度、イオン組成比等のパラメータをもとに導出した。固有磁場の値は、現状ではダイポール磁場を仮定しているが、IGRFモデル等の様々な磁場形状を入力できるようにコーディングを行った。さらに、背景的な電気伝導度に加え、Hardy typeのオーロラ粒子降下による伝導度の増大も考慮した。楕円型方程式のスキームとして、Multigrid法とSOR法を併用した。このコードのverification testとして、シンプルな沿磁力線電流モデル（朝側で下向き、夕側で上向き）とWeimer (2005)の現実的なモデル、及び、上記の電気伝導度のいくつかのパターンを組み合わせ、得られるポテンシャルと水平電流の妥当性をみた。これらの結果は、TsunomuraやWeimerの結果と十分整合するものであった。我々のケースでも、電気伝導度の非対角成分を赤道帯で人為的にdampingさせることにより、赤道ジェット電流が再現された。一方、dampingさせなくても安定に解けることがわかり、その物理的解釈と適用性を検討することが可能となった。赤道における電気伝導度の急峻な勾配を十分捉えるためには、緯度方向のグリッド数が1024点以上（分解能は0.17度）必要であった。このような高分解能計算が必要になるのは、赤道に明確な境界条件をおかないことに起因している。つまり、Pedersen伝

導度の有限性のため、赤道でジェット電流に漸近するような解が得られるのは自明でないようだ。次に、入力の沿磁力線電流と得られた水平電流を用いて、Biot-Savart law により地上磁場変動値（各電流の作る H, D 成分）の全球分布を計算した。沿磁力線電流分布や電気伝導度が、全球規模の磁場変動に与える影響に注目して解析を進めたい。今後の計画としては、コードの3次元化、及び、衛星データや SuperDARN などの地上観測データとの定量的な比較を目的として、具体的な磁気嵐イベントの解析を行っていく予定である。