

磁気圏電離圏グローバル再解析データ作成のための基盤研究

藤田茂 モデリング研究系 特任教授

【概要】

現在、気象衛星やGPS衛星などを用いたサービスは人間の生活に不可欠なものとなってきた。そのため、衛星を取り囲む環境(磁気圏電離圏)に大きな太陽風変動があると、荷電粒子の擾乱現象が発生し、衛星運用に障害を与えることがあることから、この衛星環境(磁気圏電離圏)で起きている現象(宇宙天気)を予報する宇宙天気予報は、安定した衛星サービスを実現するために重要である。宇宙天気予報として数値モデルを活用する方法があり、日本では情報通信研究機構が、この方法で宇宙天気予報業務(リアルタイムシミュレーションと呼ばれる)を試みている。リアルタイムシミュレーションは、地球から太陽側に地球半径の約200倍の位置に打ち上げられた衛星で観測された太陽風をリアルタイムで受信し、これを初期値入力として数値モデルを実行させ、磁気圏電離圏での荷電粒子の振る舞いを物理法則を元にして計算するものである。衛星から地球まで太陽風擾乱が到達するのに約1時間掛かるので、リアルタイムシミュレーションは約1時間先の宇宙天気を予報できることになる。

以上のように宇宙天気予報を行うことは重要であるが、宇宙天気現象はまだ解明されていないことが多く、この現象自体を理解することが大きな研究課題である。特に、宇宙天気現象が起きている領域(磁気圏電離圏)における観測は、地球に近い電離圏においては空間的に比較的密な観測がされているが、磁気圏での衛星観測は極めて疎であり、磁気圏電離圏現象のグローバルな全体像は観測だけでは把握できないことが特徴である。従って、物理法則に基づいた数値モデルが研究のために必須の道具になっている。なお、リアルタイムシミュレーションも物理法則を満たす格子点データ(Grid Point Value, GPV)を生成するが、速報性を重視するため、計算結果の信頼性に問題がある場合がある。そのため、そのまま研究に使うことは困難である場合が多い。さらに、宇宙天気用の数値モデルは近年開発されてきたものなので、気象の数値モデルと比較して、観測結果をどの程度再現させているかが十分確認されていないという問題もある。このように、信頼できる宇宙天気数値モデルを作り上げることは宇宙天気予報だけでなく研究にも必須である。気象業務では、最大限の観測データを同化させ最新のモデルを使った、長期に亘って安定した精度を持つ再解析データが主要国の気象機関から公開されている。このやり方に倣い、我々は、観測データと数値モデルをデータ同化手法を使って連結させ、より良い数値モデルを開発・改良し、宇宙天気用の磁気圏電離圏グローバル再解析データ作成を目指して、基盤的な技術開発を進めている。

【モデル】

磁気圏電離圏は荷電粒子が大気を構成しているので、これらの運動を電磁流体力学を用いて数値的に解く。我々が用いている数値モデルは、田中高史九州大学名誉教授が開発したREPPUモデルを改良したモデルである。モデルの入力データは、NASAが提供している品質管理された太陽風データを用いる。このモデルでは、電磁流体力学では表せない物理機構を経験的に決めたパラメータを使った関係式で置き換えている。図1と図2に、計算結果の例として、2015年9月6日2時1分(世界時)における磁気圏の赤道面と正午真夜中子午面の圧力分布を示す。この日は、磁気圏電離圏は乱れた状態と静かな状態が交互に現れた期間であった。図1と図2の結果は研究者が想定している磁気圏像と矛盾しない。なお、数値モデルの結果と観測結果の詳細な比較はまだ十分に行われていないため、その比較を行うことも本研究の目的の一つである。

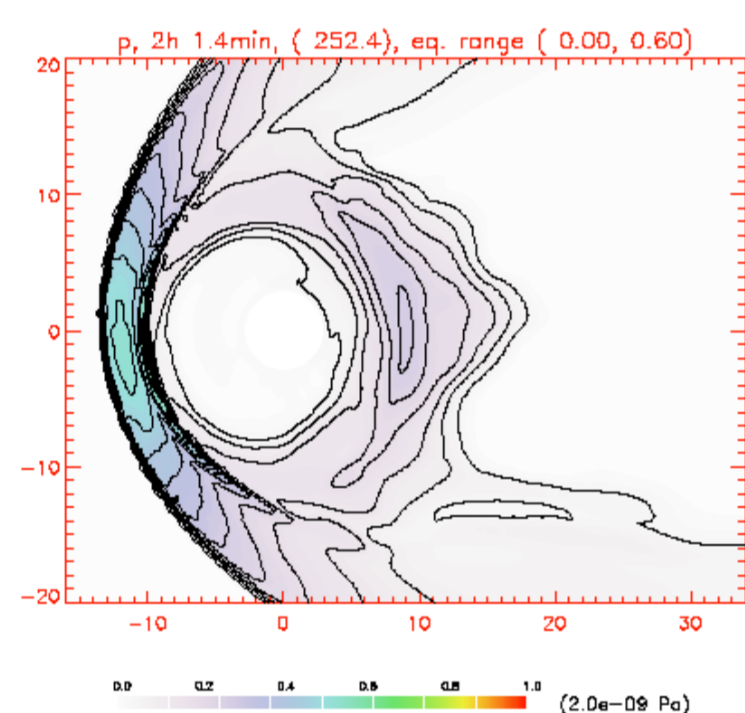


図1: 計算結果の例。2015年9月6日2時1分(世界時)における赤道面の荷電粒子圧力の分布。外枠の数字は地球半径を単位とするスケールを示す。図の左側に太陽があり、地球は(0, 0)の点を中心とした半径1のところにある。

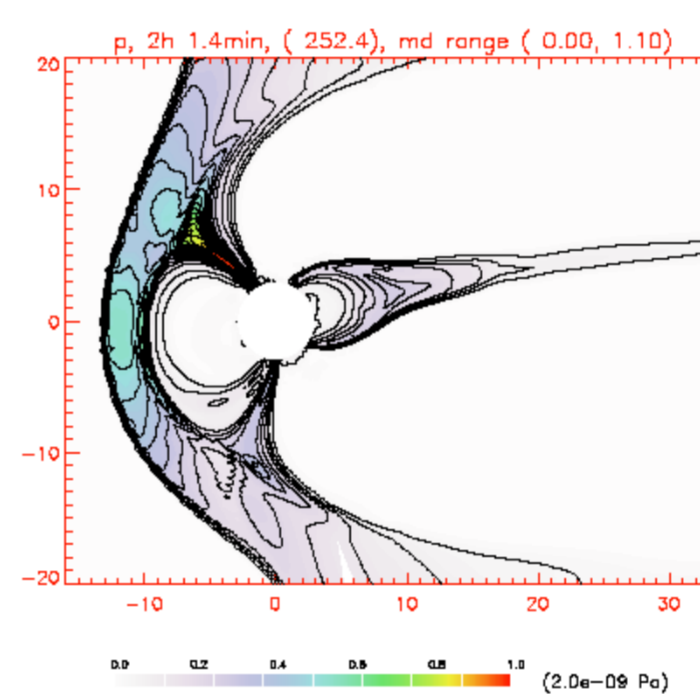


図2: 計算結果の例。2015年9月6日2時1分(世界時)における正午—真夜中子午面断面の荷電粒子圧力の分布。外枠の数字は地球半径を単位とするスケールを示し、上側が北半球、下側が南半球である。他の表記は図1と同じである。

【再解析データ作成の予備調査】

まず、改良REPPUモデルから再解析データを作ることができるかを検証することが必要である。すなわち、計算結果と観測データを比較して、相似性を確認する。もし、両者の相似性が高いことが確認できれば、モデルに組み込まれている経験的パラメータをデータ同化によって決定することができると考えられる。今回は、予備調査として、改良REPPUモデルで得られた電離圏データと観測データを比較する。その理由は、磁気圏電離圏においては、磁気圏衛星観測データは広大な磁気圏領域の極一部に偏在していることに対して、高緯度域の電離圏における観測データが充実して数値モデルの結果と比較することが可能であるからである。こうしてデータ同化によって決定されたパラメータを使って計算した磁気圏電離圏のGPVは、第一段階の磁気圏電離圏グローバル再解析データとして使うことが可能であると言える。

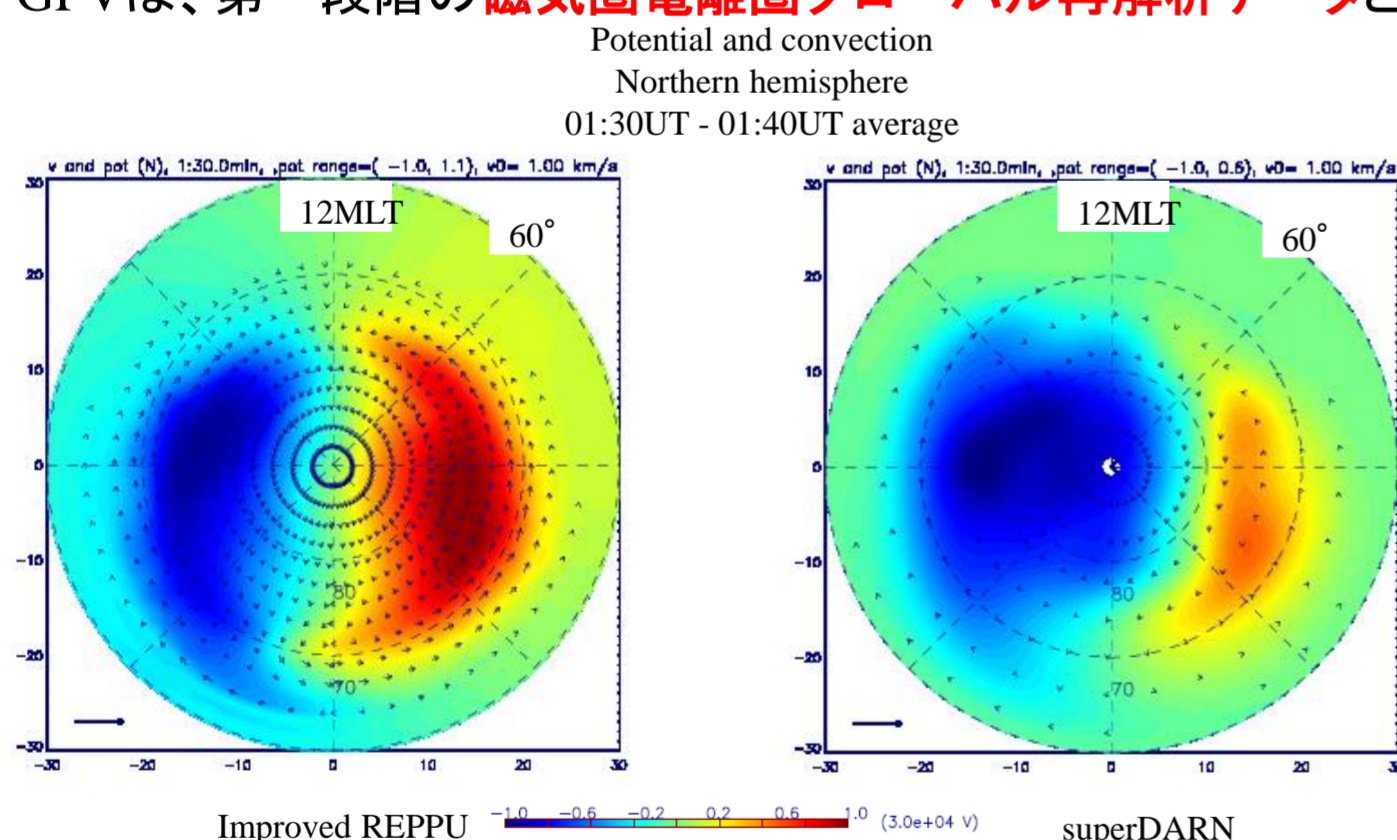


図3: (左)計算による電場ポテンシャル分布。北緯60度より高緯度域。(右)観測。両者の相関性は高い。

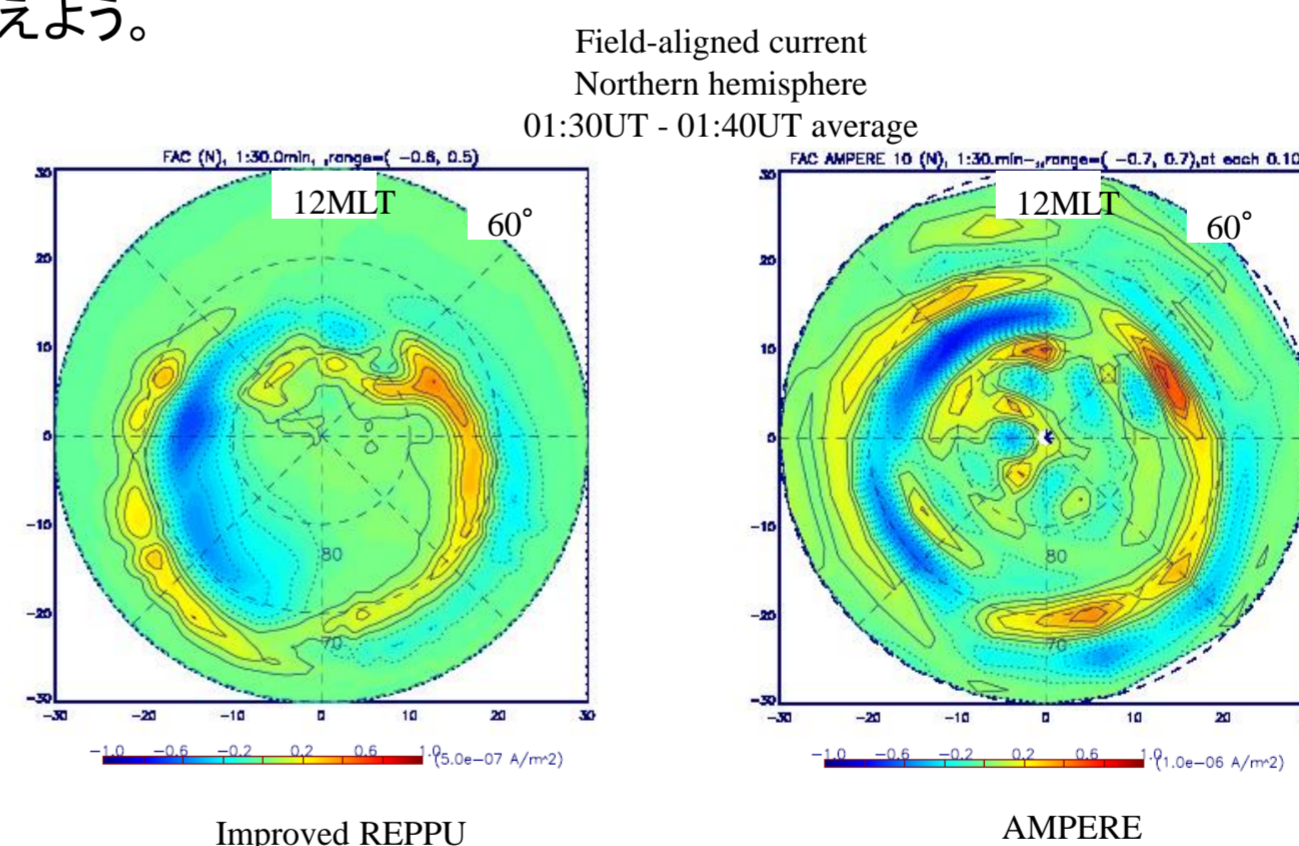


図4: (左)計算による磁気圏-電離圏電流分布。(右)観測。北緯60度より高緯度域。70度—80度においては両者のパターンはある程度似ている。

2015年9月6日1時30分—40分の平均値を使った電離圏電場分布および磁気圏-電離圏を結ぶ電流分布の計算結果を図3と図4の左図に示す。この結果は、経験的に決めたパラメータを用いたREPPUモデルを使って求めたものである。各図の左側は対応する観測データである。電離圏電場に関しては、改良REPPUモデルの再現性はかなり高いことが証明された。モデルによる電流分布の再現性は電場分布と比べるとやや劣るが、主要なパターンはほぼ再現していると考えられる。

【今後の研究予定】

改良REPPUモデルは電離圏現象をある程度再現していると判定できることから、電離圏電気伝導度を決めるパラメータをデータ同化によって決定することを試みている。まず、2015年9月6日のデータを用いて、計算値と観測値の誤差を最小にするパラメータをEnsemble Kalman法を使って推定する方法を確立する。さらに、別のイベントも取り入れて、電離圏電気伝導度を決めるパラメータを同化によって決定する。こうして得られたGPVを磁気圏電離圏グローバル再解析データの初期版として研究者に公開していくことを計画している。

気象再解析データ開発の歴史がそうであったように、磁気圏電離圏グローバル再解析データ作成は今後長期に亘って継続すべき研究と考えられ、今回の研究はその第一段階である。新しい物理機構を付加したモデルの改良や、磁気圏衛星データおよび太陽風入力データもデータ同化に組み込むことなど、新たな開発に挑戦していきたい。

【謝辞】

本研究は2020年度から3か年計画で情報システム研究機構による未来投資プロジェクトの支援を受けて、実施している。