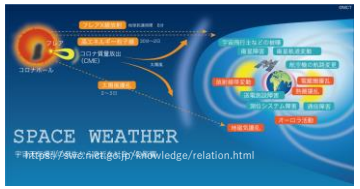
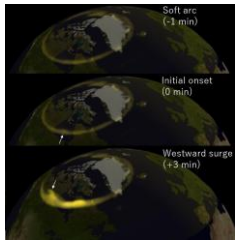
宇宙天気再解析データ作成のための基盤研究成果と今後の展望

藤田茂（ROIS-DS/ISM）、中野慎也(ROIS-ISM/DS)、片岡龍峰(ROIS-NIPR)、田中良昌(ROIS-DS/NIPR)
中溝葵(情報通信研究機構)、門倉昭(ROIS-DS/NIPR)、細川啓佑(電気通信大)、才田聡子(北九州高専)

宇宙天気再解析データとは



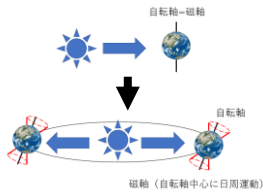
宇宙天気現象の社会への影響→宇宙天気リアルタイムシミュレーション（NICT）



最新の数値モデル（REPPU)の到達度

観測データのみでは宇宙天気現象を把握できない。物理モデルによる数値結果が必要。データ同化を応用した正確な計算結果があれば良い。我々は、ROISによる未来投資プロジェクトの援助を受け、2021-2023の3年計画で、「宇宙天気再解析データ作成のための基盤研究」を実施した。

モデルの改良

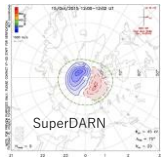


モデルの改良

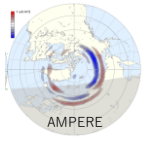
OMNIデータ

自転軸の歳差運動と磁軸の日周運動の効果をいれたモデル開発。品質管理された太陽風データを入力。

Feasibility テスト

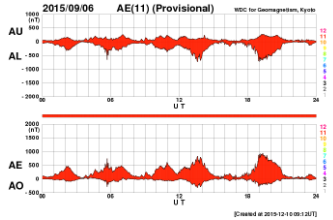


電離圏電場ポテンシャル



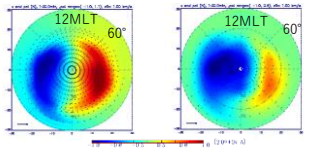
電離圏磁気圏を結ぶ電流

改良されたREPPUの精度検証に、電離圏観測データを利用。磁気圏衛星観測データは粗すぎて利用不可



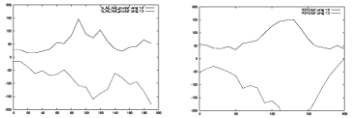
Feasibility testの対象とした現象
20150906

電離圏電場ポテンシャル



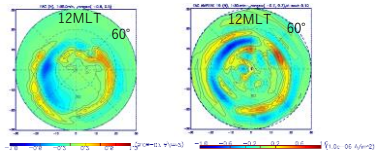
モデル計算結果　Correlation ~ 0.8　観測結果

極域磁場変動（オーロラ電流）



モデル計算結果　観測結果

電離圏磁気圏を結ぶ電流



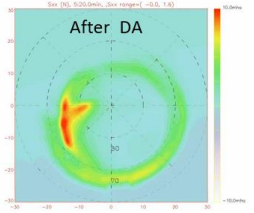
Pattern matching ~ 0.5
$j > 0.1\mu A/m^2$, $-0.1\mu A/m^2 > j > 0.1\mu A/m^2$, $j < -0.1\mu A/m^2$
モデル計算結果　観測結果

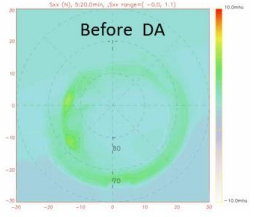
改良されたREPPUでは、シミュレーションで使うパラメータは経験的に決められている。それをデータ同化で決定することが出来れば、よりよい宇宙天気再解析データが得られる。特に、電離圏電気伝導度分布は宇宙天気現象に大きな効果を与えるが、これをモデルで扱っている物理過程で正しく決定することができない。現在は、経験的に決めた分布を使っているが、データ同化で決めることが出来れば、より精密な宇宙天気の状態が計算で再現できる。データ同化が応用可能であるか、feasibilityテストを実施。
宇宙天気観測データとして、同化を目的としてシミュレーション結果と比較可能なものは空間分布が稠密なもの。よって、電離圏データのみ。磁気圏データは粗すぎて使えない。
20150906のイベントを使い、宇宙天気モデルにデータ同化が可能であるかを調査。このイベントは、①太陽風データに欠測がほとんどない、②現象が荒れた時と静かな時を交互に繰り返し、宇宙天気現象として典型的な変動を示しているの利点がある。経験パラメータを使ったシミュレーションの結果と観測を比較。電離圏ポテンシャルと極域磁場変動は、現象再現性が良いことが判明。そこで、Feasibilityテストの結果、電離圏ポテンシャルと極域磁場変動が使えそう。

データ同化

評価関数（アンサンブル変分法）

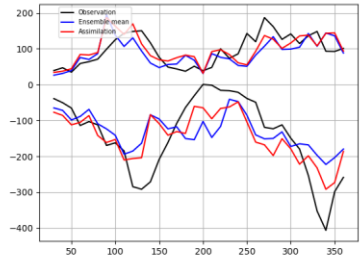
$$J(x) = \frac{1}{2\sigma_b^2}\left(x - x^b\right)^2 + \frac{1}{2\sigma_o^2}[H(x) - y^o]^2$$



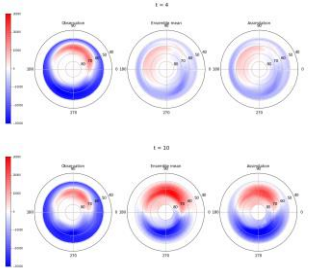


Pedersen conductivity

電離圏電気伝導度の同化結果



極域磁場変動

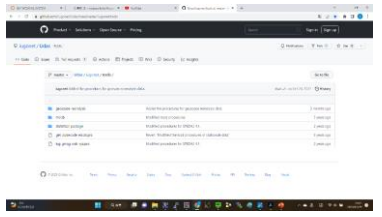


観測　モデル　同化結果

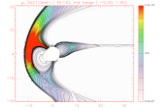
電離圏電場ポテンシャル

電離圏電場ポテンシャル観測データと極域磁場変動観測データを用いて、電離圏電気伝導度の最適値を同化で決定。手法はアンサンブル変分法。
電離圏電気伝導度は経験モデルのものより大きめである。なお、この結果は、宇宙天気数値モデルを使った世界発のデータ同化のものである。

今後の展望(spin-out)

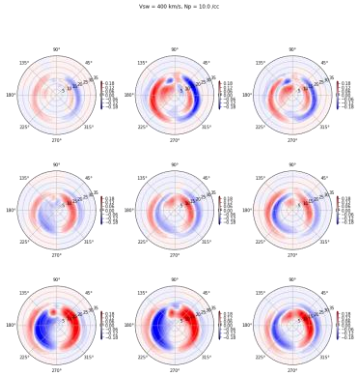


https://github.com/iugonet/Udas/tree/master/iugonet/tools



2015 0512 0521の磁気圏プラズマ圧分布（子午面断面）

作成した宇宙天気再解析データおよび解析コードをwebで公開。
2015年の①0106－07②0512－13③0608④0622－23⑤0909⑥0920⑦1007⑧1018⑨1106⑩1214⑪1231イベント計算済



Emulatorを使って求めた磁気圏電離圏を結ぶ電流の分布
典型的な太陽風磁場に対する電流分布の変化

REPPUの計算は極めて時間が掛かる。計算時間を節約することは重要。
太陽風と計算された電離圏計算結果の関係を機械学習を用いてemulatorを作った。これを用いれば、任意の太陽風からその時の電離圏の状態を短時間の計算で求めることが出来る。宇宙天気予報に応用可能。