

# 磁気圏 MHD モデルへのデータ同化の応用

才田 聡子    データ同化センター    融合プロジェクト特任研究員

## オーロラについて

### オーロラとは

宇宙空間から飛来したプラズマが地球大気中の酸素原子、窒素分子などに衝突すると、酸素原子、窒素分子は特有の光を発する。これがオーロラである。

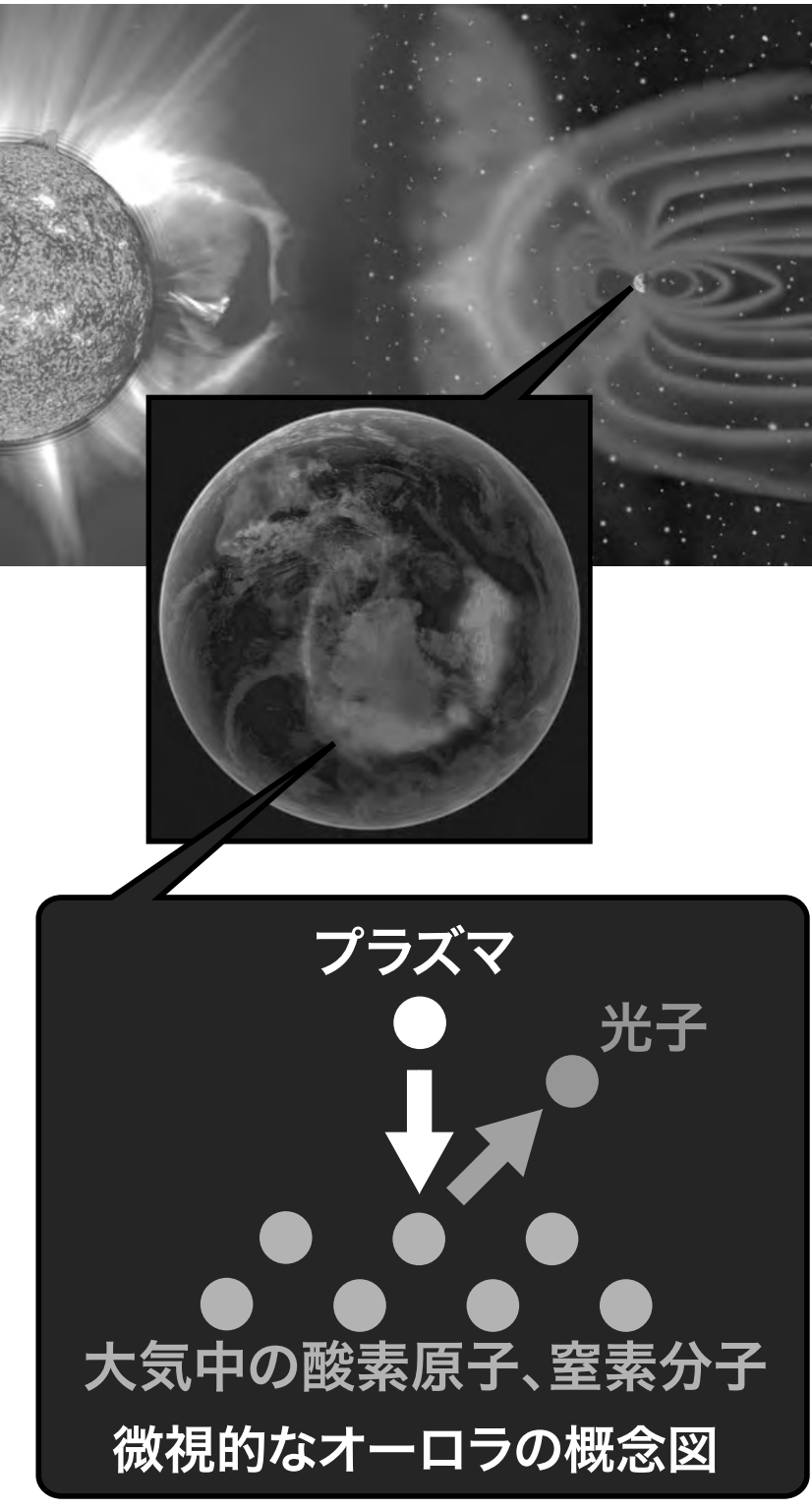
宇宙空間のプラズマは磁力線に沿って移動するためオーロラの動きや形は宇宙空間に生じる電磁気現象を反映しているといえる。

### オーロラ研究の問題点

従来のオーロラ研究は主に観測にもとづく事例解析や統計解析を行い考察してきた。しかし、時間的・空間的な制約のある観測結果からはオーロラの動きや形を支配する過渡的かつ局所的な物理構造が失われている可能性がある。

### 本研究の目標

本研究では数値シミュレーションにデータ同化を応用し、オーロラの動きや形を支配する物理過程の再現を試みる。



## シミュレーションと可視化システム

### 磁気圏MHDシミュレーション

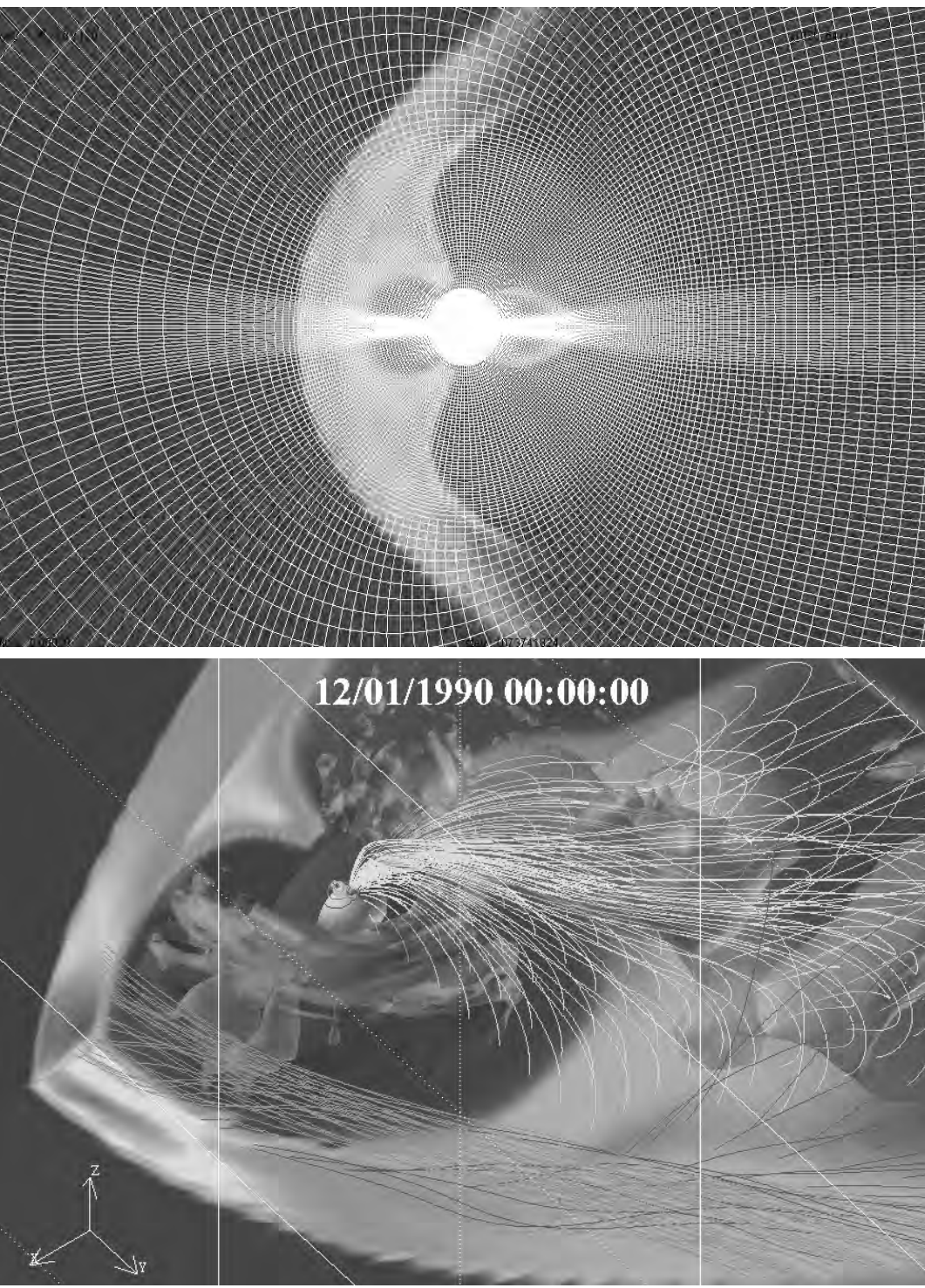
電磁流体(Magnetohydrodynamic; MHD)方程式を使い 地球磁気圏の電磁流体としてのプラズマの振る舞いを数値シミュレーションで再現。

Tanaka, T. Finite volume TVD scheme on unstructured grids for space MHD simulations and space weather. Proceeding of Simulation School at Nagoya, 2002.

T. Tanaka, Comp. Fluid Dyn. J. 1, 14 (1992)

### 3D可視化システム

この数値シミュレーションの解析では、AVS Express/Developerで開発した三次元可視化ツール「バーチャルオーロラ」を利用し、サブストーム発達過程を可視化ツール上で磁気圏物理量が変動する様子を解析している。



## オーロラ発生時の電磁気現象

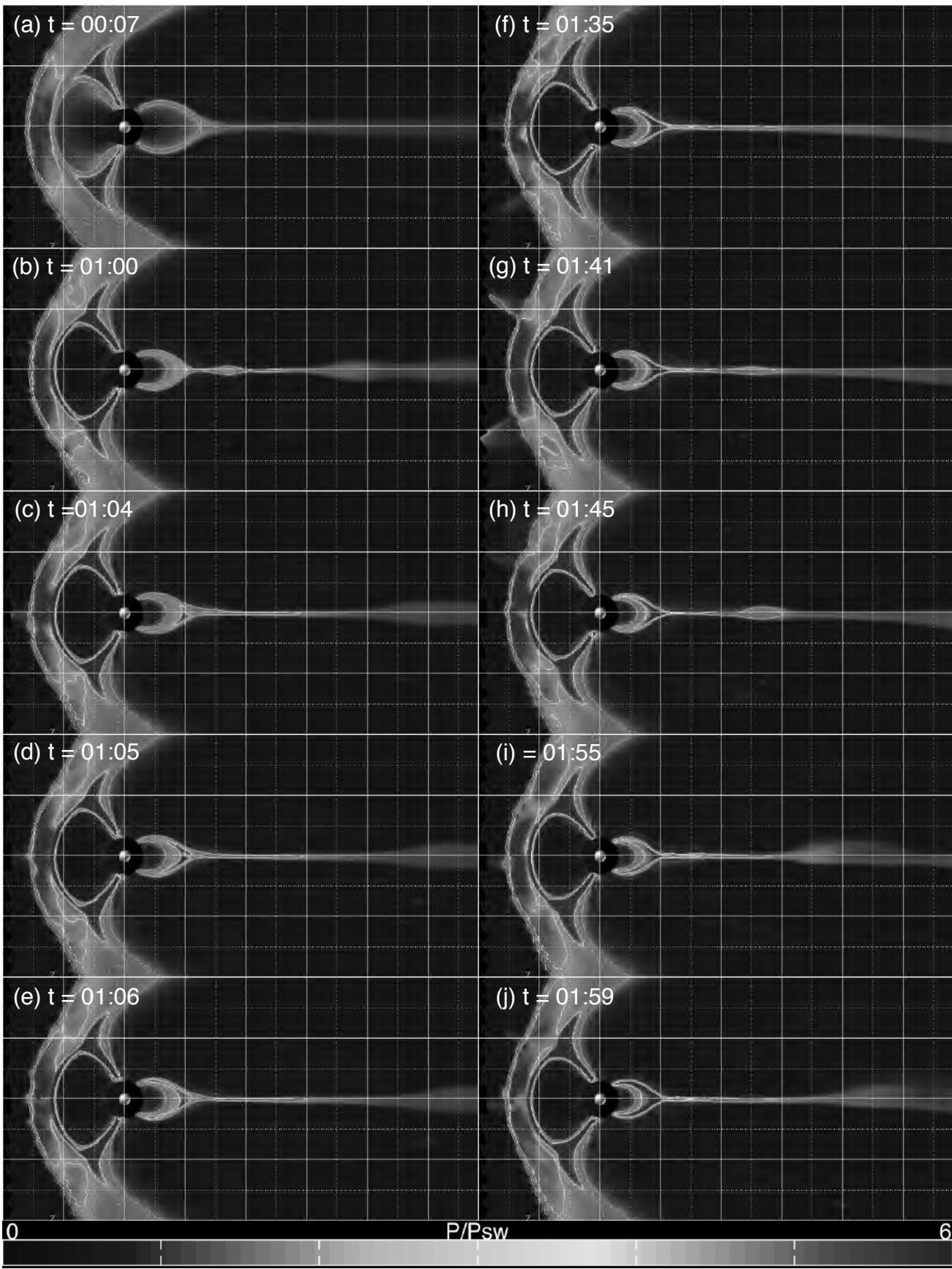
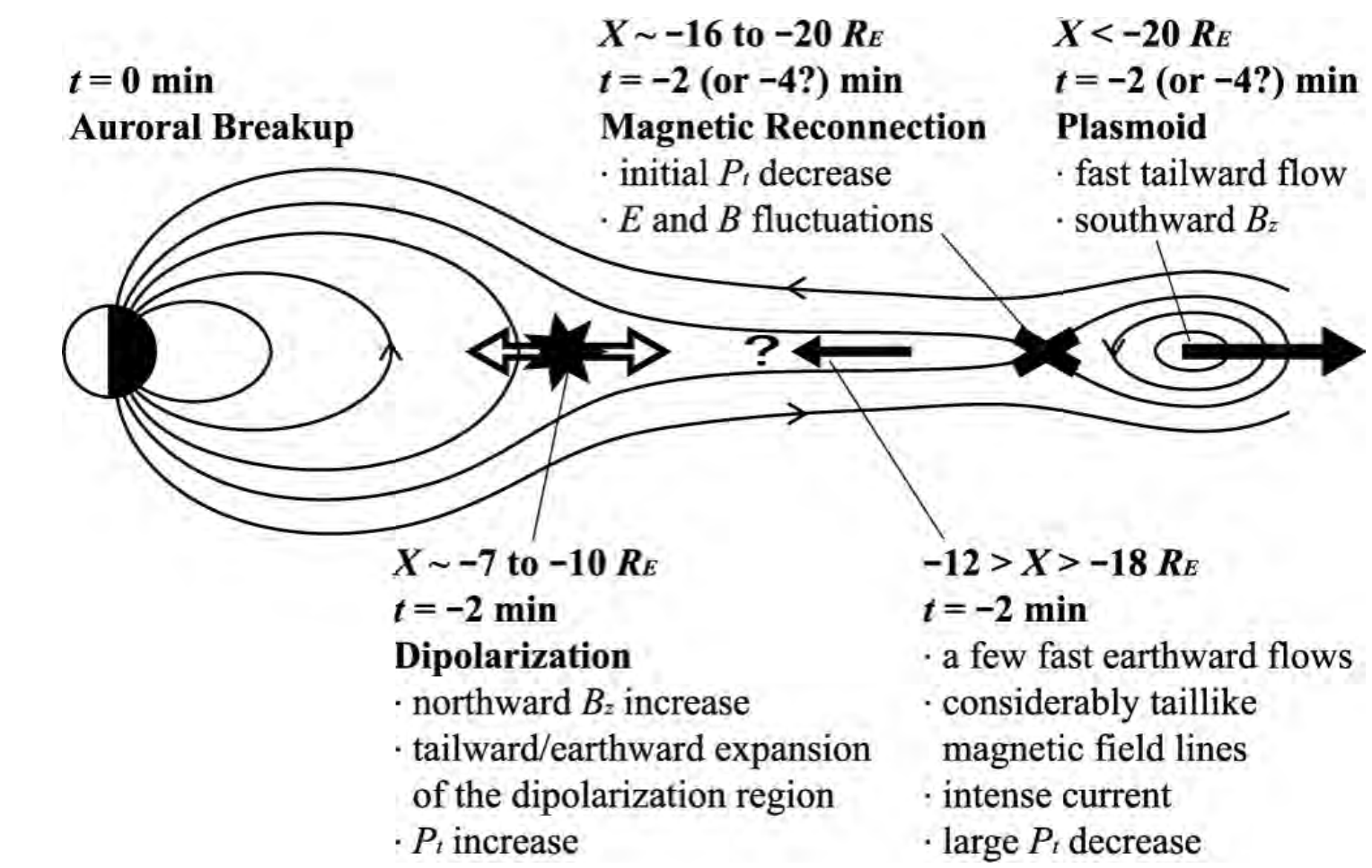
### 宇宙空間における電磁気現象とオーロラ

人工衛星による直接観測データの統計解析の結果、オーロラ発生にともなって以下に示すいくつかの特徴的な現象が発生するとされている：

$x = -10 \sim -7 R_E$ : 磁場の北向き成分とプラズマ圧の増加

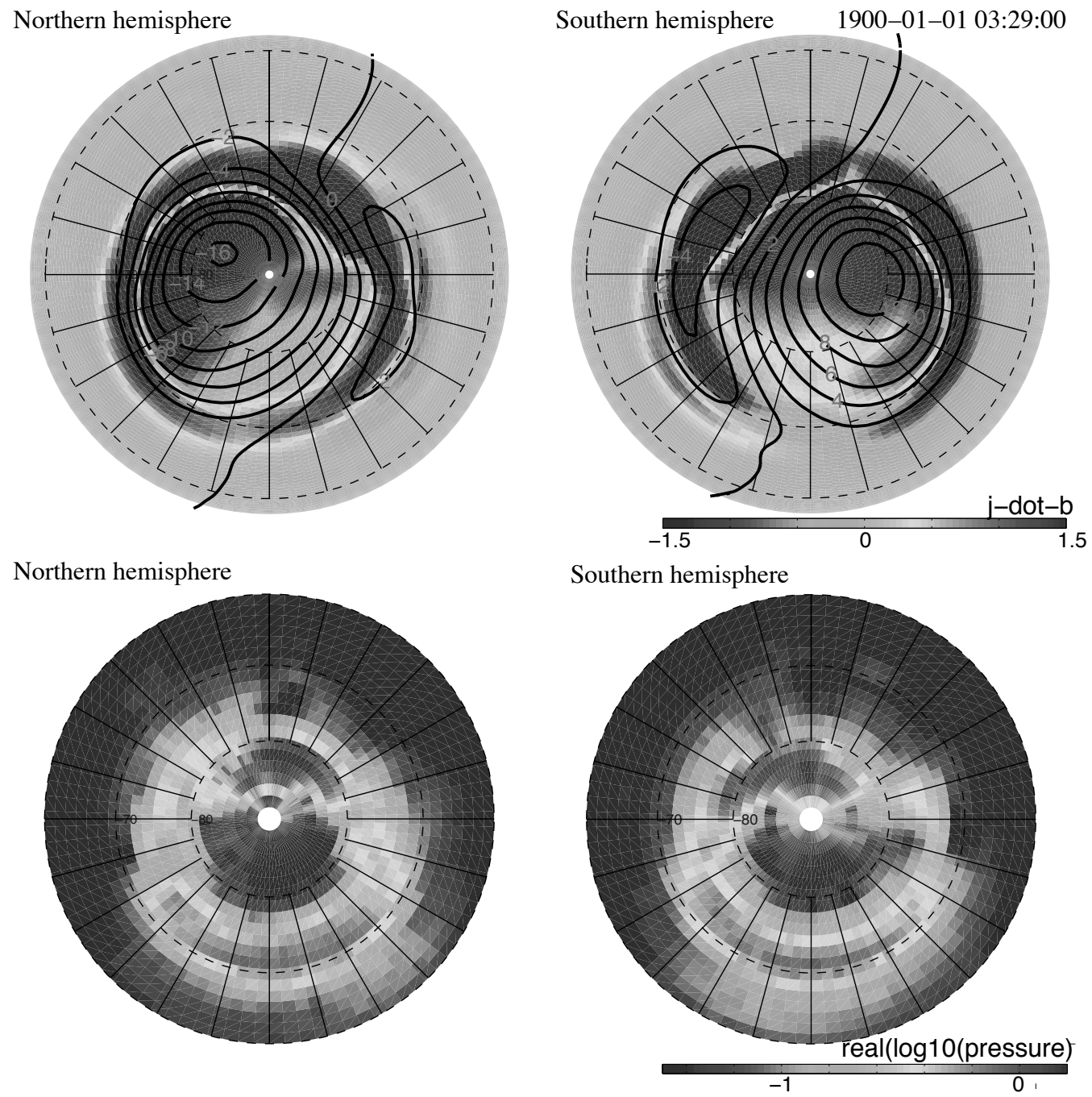
$x = -18 \sim -12 R_E$ : 地球方向のプラズマ流発生、プラズマ圧減少

$x < -20 R_E$ : 反地球方向のプラズマ流発生

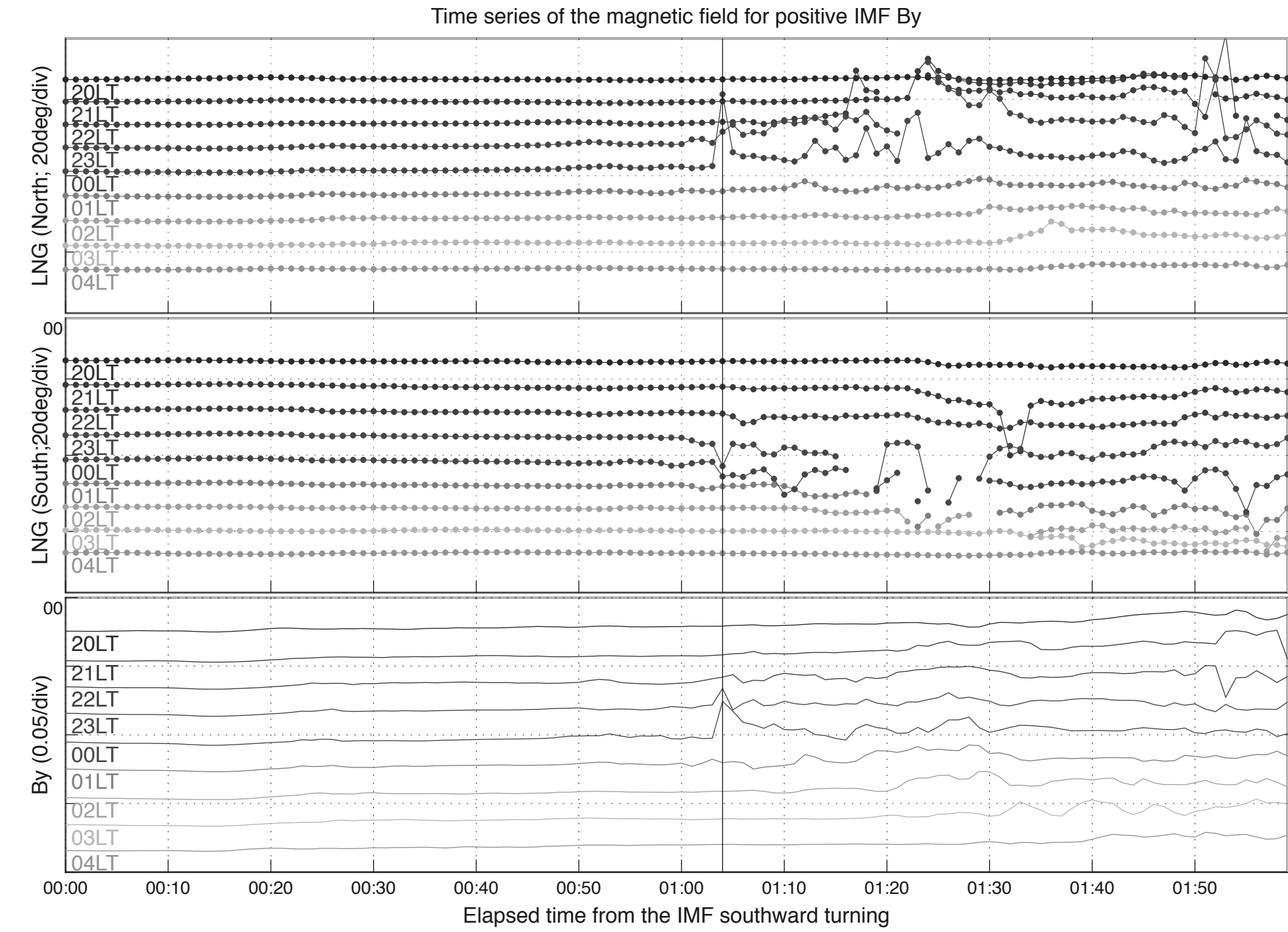


### プラズマ流の発生とオーロラ発生領域の推定

子午面上のプラズマ圧の変動(左)と電離層に入射する電流(下図上段)と磁力線沿いのプラズマ圧(下図下段)。下図からオーロラの発生するおおよその位置を推定できる。



## 本研究の経過と成果



### 数値シミュレーション結果から示された非共役性オーロラの発生

磁力線で結ばれた南北両半球上の地点(地磁気共役点)からは対称的な形のオーロラが同時に観測されると一般的に期待されるが、実際の地磁気共役点における観測では形や動き、出現領域が一致しない非共役性オーロラも多く観測される。

本研究によるシミュレーション結果を例にとると、オーロラ発生直後の磁力線の経度方向の間隔は南北両半球で非対称になった。この結果は同じオーロラを南北両半球から見たとき、オーロラの時間発展に伴い経度方向の大きさが南北で異なって見えて、それが時間変化するのであると解釈できる。また、局所的に経度方向の順番が逆になることもあり、オーロラの経度方向の形状が南北で反転する可能性が想定される。

また、内部境界条件に関する初期実験として、沿磁力線電流による電離圏電気伝導度への寄与を無視する設定にてシミュレーションを実行した。従来の実験では、オーロラ発生時に南北両半球における磁気共役点が急激に移動したが、今回の実験では磁気共役点は急激に移動しなかった。従来、内部境界パラメータは、モデルを構築する際に観測値を最もよく再現するよう任意に与えられてきた。データ同化によりパラメータの最適値を推定し、再現性に優れた数値モデルを作ることは今後のオーロラ現象の研究において重要になるものと考えられる。