

QZS と MAGDAS 地上磁力計による同一沿磁力線電流の同時観測 —沿磁力線座標系解析

小串修¹、河野英昭^{2,1}、東尾奈々³、松本晴久³、D.G.Baishev⁴、魚住禎司²、
阿部修司²、湯元清文^{2,1}、吉川顕正^{2,1}

1: 九州大学大学院 理学研究院 地球惑星科学部門

2: 九州大学 国際宇宙天気科学・教育センター

3: 宇宙航空研究開発機構 研究開発本部 宇宙環境グループ

4: Yu.G.Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences

1. イントロダクション

沿磁力線電流 (FAC; Field-Aligned Current) についての研究は様々な衛星や地上での観測データを用いて行われてきたが、本研究では JAXA が運用する準天頂衛星 (QZS; Quasi-Zenith Satellite) と、九州大学の国際宇宙天気科学・教育センターが中心となって運用する地磁気観測ネットワークである MAGDAS (MAGnetic Data Acquisition System) の同時観測データを用いて行う。

QZS は測位システムを補完する目的で打ち上げられた衛星である。静止衛星の軌道から傾斜角 40° と離心率 0.1° を持っている。その角度から同じ子午面 (日本) の高緯度領域に長時間滞在するので、日本上空から物の影に隠れることなく信号を送ることができ、測位システムの補完を行うことができる。QZS は宇宙環境観測装置も搭載しており、本研究ではそのデータを用いる。また、MAGDAS は現在世界 72 箇所に磁力計を設置しており、リアルタイムで磁場データを集めている。

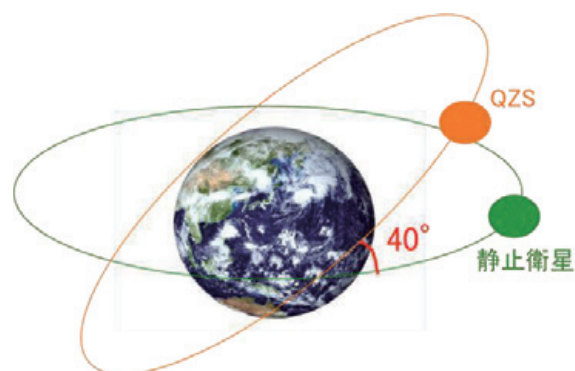


図 1 QZS とその軌道

本研究でこの二つの磁場データを解析する理由は、磁力線を伝わる現象を長時間同時観測することが可能だからである。QZS を通過する磁力線の footpoint の近くには MAGDAS の観測点があるので、磁力線を伝わっていく現象を同時に観測することができる。また、QZS は同じ子午面上に長時間滞在することから footpoint が地上観測点付近から他の衛星と異なりゆっくりとしか動かないので、長時間の同時観測が可能である。

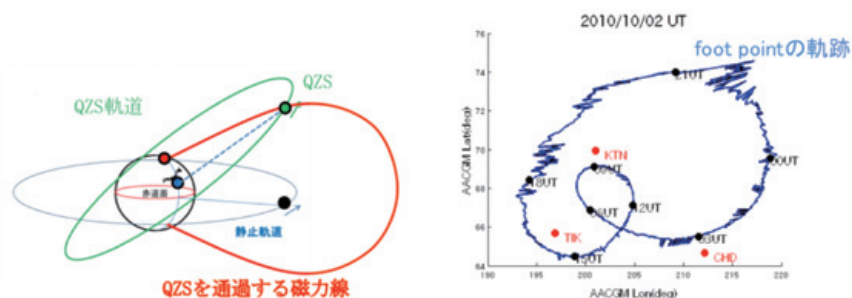


図 2 (左)QZS を通過する磁力線 (右)footpoint と MAGDAS 観測点の位置関係

表 1 footpoint 付近にある MAGDAS 観測点の情報

Station name	GG.Lat.	GG.Lon.	GM.Lat.	GM.Lon.	L value
Kotel'nyy (KTN)	75.94	137.71	69.94	201.02	8.50
Tixie (TIK)	71.59	128.78	65.67	196.88	5.89
Chokurdakh (CHD)	70.62	147.89	64.67	212.12	5.46

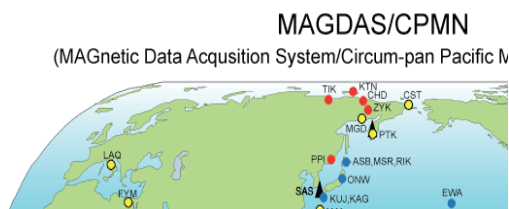


図 3 MAGDAS 観測点の位置

これまで QZS の磁場は VDH 座標系を用いて解析を行ってきたが、磁力線に沿った現象を見ていくのであれば沿磁力線 (Field-Aligned; FA) 座標系 (主磁場 (背景磁場) に基づい

て定義される座標系である) を用いたほうが判りやすいと考えられる。そこで今回は FA 座標系を用いて解析を行なっていくながら、VDH 座標系との比較を示す。本論文では、主磁場としては IGRF モデル磁場を用いる。



図 4 (左)VDH 座標系の 3 成分。H 軸を地球のダイポール軸と平行で北向きに、D 軸を H 軸と地球の中心と衛星の中心を結ぶ線を両方に垂直で東向きに、V 軸を D 軸と H 軸の外積でとる。(右)FA 座標系の 3 成分。Z 軸を衛星の位置での主磁場と平行の方向に、Y 軸を Z 軸と r 軸 (地球中心と衛星中心を結ぶ軸) との外積で、X 軸を Y 軸と Z 軸との外積でとる。

2. データ解析・議論

今回は一例として 2011/4/9/17:20~17:35 に観測された磁場変動現象の解析を行った。

図 5 はそのイベント期間を含む 16:30~18:00UT での QZS と MAGDAS のデータを示している。上から 4 つのパネルは QZS での観測磁場 (FA 座標における 3 成分 (X,Y,Z) と全磁場)、次の 4 つのパネルは CHD での観測磁場 (H,D,Z の 3 成分)、次の 2 つのパネルは MAGDAS 観測点と footpoint の距離を経度方向と緯度方向から示しており、最後の 2 つのパネルは QZS の帯電電位データに -1 を掛けたものと AL の値を示したものである。帯電電位データに -1 を掛けているのは、プラズマ密度と正の相関をもたせて密度の大小を見やすくするためである。

CHD の磁場を示しているのは、この時刻において他の観測点のデータには欠測があり、データの揃っている CHD を中心に解析を行うからである。

帯電電位データに注目するとその値が 16:45~17:15 付近で single pulse 的に増加していることがわかる。これはプラズマ密度の増加を示すと考えられ、これより、図 5 の時間帯に QZS は基本的にプラズマシート - ロープ境界層近傍のローブ側に位置し、16:45~17:15 付近に短期間プラズマシートに入った、と考えられる。

また、変動が見られる時間 (17:20~17:35UT) において、footpoint 位置が緯度・経度方向ともに 1° も変化していないことから同時観測が可能なる条件を満たしている。AL の値は小さいのでグローバル的に見るとこの時間帯は静穏であることがわかる。

磁場の詳しい解析に入る前にこのイベントにおける変動を FA 座標系と VDH 座標系で比較してみる。図 6 は 2 つの磁場変動の様子を示している。

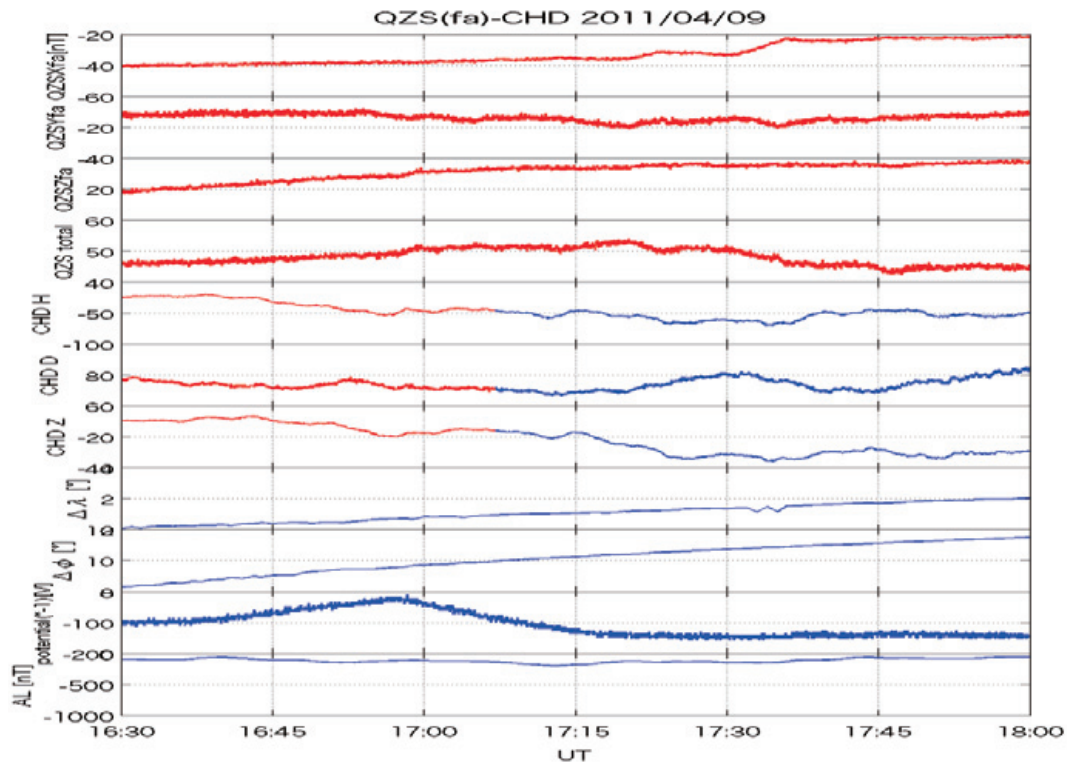


図 5 QZS と MAGDAS についてのデータをプロットしたもの

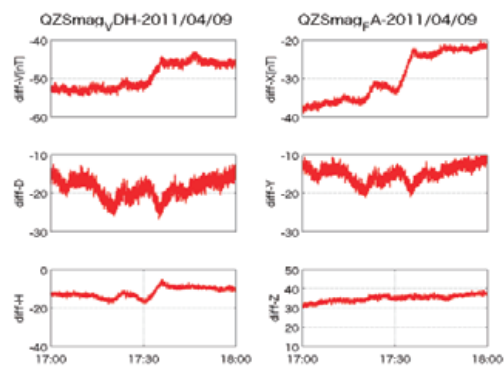


図 6 同時刻(17~18UT)における VDH 座標系(左)と FA 座標系(右)の磁場変動

VDH 座標系では全ての成分が変動しているが、FA 座標系を見てみると Z 成分が一定であることがわかる。これは、観測された現象がまさに磁力線に沿って起きているということである。VDH 座標系ではわからなかったことである。

続いて、FA 座標系を用いた QZS の磁場解析を行う。磁場の様子は図 7 左図に示してい

る。2つの縦線の間がイベント期間で、X成分には step-like な増加、Y成分には正の single peak 的変動が見て取れる。

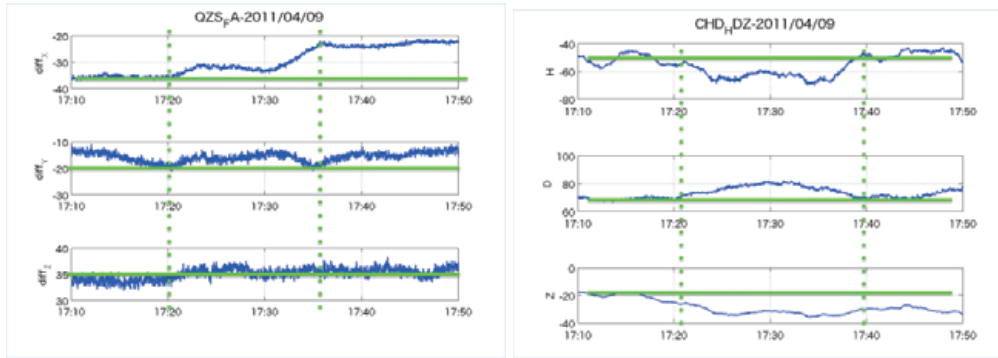


図 7 イベント時の QZS(左)と CHD(右)の磁場

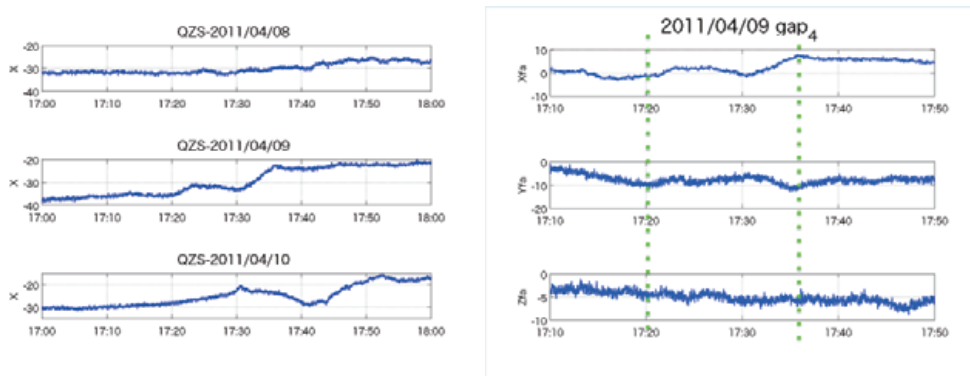


図 8 (左)イベント日前後の QZS の X 成分 (右)前後の日(±4 日)の平均を引いたイベント日の磁場 3 成分

しかし、前後の日の磁場を見たところ、X成分においては増加トレンドがどの日でも観測されていることがわかった(図8左図参照)。このことから、今回は主磁場として IGRF モデル磁場を用いているが、主磁場中には IGRF に追加される成分も存在する事が推測される。そこで、前後各 4 日間(計 8 日間)の磁場の平均値を差し引くことでイベントに直接起因する変動を取り出そうとした。その結果が図 8 右図である。この図の X 成分では steplike な増加成分が図 7 左図より顕著でなくなっており、図 8 右図の磁場変動は図 9 左図の右半分の図で近似される。そしてこの図に示している磁場変動は、図 9 左図の左半分の図に示すような FAC の向きと移動によって説明可能である。

また、CHD (QZS と同じ磁力線上に位置) についての解析も行う。図 7 右図を見ると、同じイベントの期間(2つの縦線に挟まれた期間)において H 成分が負、D 成分が正の single peak 的変動を示しており、図 9 右図の右半分の図で近似される。そしてこの図に示してい

る磁場変動は、図 9 右図の左半分の図に示すような FAC-電離層電流系の向きと移動によって説明可能である(D 成分は FAC によって作られ、H 成分は電離層電流によって作られる)。この図 9 右図の左半分の図のモデル中の FAC 部分は、図 9 左図の左半分の図のモデルと同じ向きと移動方向を持っている。つまり、QZS で観測された磁場変動も CHD で同時観測された磁場変動も同じモデルで解釈できる。

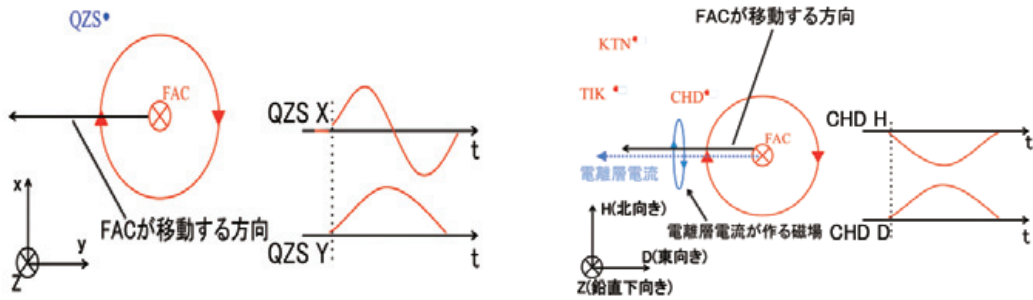


図 9 磁場変動の解釈図。QZS における変動が左図、CHD が右図。

3. まとめ

FA 座標系を用いることで磁力線に沿った現象がVDH 座標系を用いた場合より容易に同定できることがわかった。また、今回は QZS と MAGDAS によって同時観測された同一磁力線上の FAC の解析を一例行った。この FAC は朝側領域で西向きに動いていると解釈できた。引き続き統計的な解析を行っていくことでこの動きが一般的に見られるものかを確かめていく。