

Timing relation between positive bay onsets, Pi 2 onsets, auroral initial brightenings and auroral breakups

Terumasa Tokunaga[1]; Kazuyuki Nakamura[2]; Tomoyuki Higuchi[3]; Teiji Uozumi[4]; Akimasa Yoshikawa[5]; Akira Morioka[6]; Kiyohumi Yumoto[7]; Yumoto Kiyohumi MAGDAS/CPMN Group[8]

[1] MIMS, Meiji Univ.; [2] Meiji Univ.; [3] ISM; [4] SERC, Kyushu Univ.; [5] Dept. of Earth and Planetary Sci., Kyushu Univ.; [6] PPARC, Tohoku Univ.; [7] SERC, Kyushu Univ.; [8] -

There are two major scenarios for the triggering of substorms, that is, the near-Earth neural line (NENL) model and the current disruption (CD) model. In both scenarios, the formation of substorm current wedge is essential to complete the substorm onset process. In other words, understanding how and when does the SCW form in the substorm onset process is most important point to settle the substorm arguments.

Morioka et al. [2008][2010] have investigated the dynamic behavior of AKR (Auroral Kilometric Radiations). They reported that the field aligned auroral acceleration shows a distinct two-step evolution at substorm onset: the activation of the low-altitude acceleration which corresponds to auroral initial brightening and the subsequent abrupt breakout of high-altitude acceleration which corresponds to auroral breakup. While, the relation between the two-step evolution of field aligned auroral acceleration and the global onset of the substorm in the magnetosphere is unclear.

The most reliable indicator of the SCW is most likely a positive bay at mid to low latitudes. However, since the initial movement of the positive bays is quite gradual, it is difficult to determine the precise timing of their onsets.

Thus, there is no meticulous discussion about their onset timing in the sequence of substorm onset process. Recently, Tokunaga et al. [2010a][2010b][2011] developed the change-point detection method named MSST (Multivariable Singular Spectrum Transformations) and showed MSST is powerful for determining the onset time of positive bays. In this paper, we investigated the timing relation between bay onsets, Pi 2 onsets, auroral initial brightening and auroral breakups. Analyzed ground-magnetometer data obtained at KAG (Kagoshima, GLAT: 27.15, GLON: 142.30), which is one of the CPMN (Circum-pan Pacific Magnetometer Network) (PI: Prof. Kiyohumi Yumoto of the Kyushu University) stations provided by Space Environment Research Center of Kyushu University [Yumoto and the CPMN Group, 2001]. The start timing of auroral initial brightening and auroral breakups are determined by checking UVI (Ultra Violet Imager) data obtained at Polar satellite (Dr. G. Parks of the University of Washington is P. I. on Polar UVI).

The algorithm for determining bay onsets and Pi 2 onsets from ground-magnetometer data consists of four steps. The first step is for detecting Pi 2 events automatically from ground-magnetometer data. This step is achieved by applying SVT (Singular Value Transformations), which is proposed in Tokunaga et al. [2011]. The second step is for the event screening. In this step, Pi 2 events that accompanied with positive bay are selected for the following step. The third step is the determination of the bay onset by applying MSST. The final step is the determination of the Pi 2 onset. The Pi 2 onset is estimated by applying the method proposed in Fukuyama et al. [2004].

Obtained results were as follows: (1) Breakups and Pi 2 pulsations at KAG began almost simultaneously. (2) The delay time of Pi 2 onset to bay onsets was 216+91s on an average. (3) The positive bay and the initial brightening began almost simultaneously. (4) The delay time of Pi 2 onset to the initial brightening was 218+116s on an average.

サブストームのオンセットプロセス(トリガー機構)を説明する主要なシナリオとして、NENL model と current disruption model がある。どちらのシナリオにおいても、磁気圏でのグローバルなサブストームのオンセットプロセスを完結する上で、SCW (Substorm Current Wedge) の形成が本質的である。従って、SCW がいつ、どのようにして形成されるのかが、この問題の核心といえる。

Morioka et al. [2008][2010] は、Polar 衛星の PWI データから、AKR (Auroral Kilometric Radiations) 発生領域の高度プロファイルの時間発展を解析した。その中で、オーロラ粒子加速域は、低高度加速域 高々度加速域の2段階で発達すること、さらに、低高度加速域の発達が auroral initial brightening に、高々度 AKR の発達が breakup と対応していることが報告されている。つまり、オーロラサブストームオンセットは2段階で発達することが強く示唆されている。これは極域電離圏上空 M-I coupling 領域の局所的な事象であるが、これが磁気圏でのグローバルなサブストームオンセットとどのように対応するかは明らかになっていない。従って、SCW がサブストームオンセットプロセスのうち、どの段階で形成され始めるかを明らかにすることは極めて重要な課題である。

SCW の形成を知るための最も有用な現象は、夜側中低緯度地上磁場の positive bay である。にもかかわらず、positive bay の初動は緩慢で不明瞭であるため、サブストームオンセットの sequence の中でその発生タイミングが精密に議論される機会は少なかった。それに対し、Tokunaga et al. [2010a][2010b][2011] では、SSA(特異スペクトル分析)を応用した変化点検出法 (Multivariable SST) を開発し、地上磁場データから positive bay の開始時刻を精密に決定できる手法を提案した。本研究ではその手法を用い、positive bay と auroral initial brightening, auroral breakup および Pi 2 型地磁気脈動の発生タイミングについて、その前後関係を調査した。地上磁場データは、九州大学宇宙環境研究センターの収集、管理する CPMN(環太平洋地磁気観測網)[Yumoto and the CPMN Group, 2001] の、KAG(Kagoshima, 地理緯度: 27.15, 地理経度: 142.30) の

データを用いた。Pi 2 オンセットは、Fukuyama et al.[2004] で提案された状態空間モデルとベイズ統計の枠組みによる手法を採用した。Auroral initial brightening および auroral breakup の発生タイミングについては、Polar 衛星の UVI データ (<http://www-istp.gsfc.nasa.gov/polar/>) (Dr. G. Parks of the University of Washington is P. I. on Polar UVI) を用いた。

地上磁場データから bay onset と Pi 2 onset を決定する手続きを以下にまとめる。

1. Pi 2 型地磁気脈動の検出 Tokunaga et al.,[2011] 提案の手法 (Singular Value Transformation: SVT) により、磁場データから Pi 2 型地磁気脈動の大まかな開始時刻 (t_0) と終了時刻 (t_1) を推定。
2. Positive bay の有無の判定。
3. Bay onset (t_b) の精密推定 Tokunaga et al.[2010a][2010b][2011].
4. Pi 2 onset (t_p) 時刻の精密推定 Fukumata et al.[2004].

上記の手続きにより、全自動で長期の地上磁場データベースから positive bay onset と Pi 2 onset を検出できる。

さらに、Polar 衛星で得られた UVI データから、initial brightening と breakup の時刻を決定した。これにより、Pi 2 onset, bay onset (=SCW 形成開始), auroral initial brightening および auroral breakup の前後関係を統計的に調査した。その結果は以下の通りである。

[結果]

1. Auroral breakup と Pi 2 onset はほぼ同時。
2. Positive bay onset は Pi 2 onset より、平均で 3-4 分早い。
3. Positive bay onset と initial brightening の開始はほぼ同時。
4. Auroral initial brightening は Pi 2 onset より 3-4 分早い。

上の結果と、前述の Morioka et al.(2008)(2010) の結果と合わせると、SCW の形成/低高度オーロラ粒子加速域の発達/auroral initial brightening は、auroral breakup 数分前から始まる一連の現象であると考えられる。すなわち、オーロラサブストームの第一段目のオンセットは、磁気圏でのグローバルなサブストームオンセットと表裏一体である。SCW の形成から breakup までの 3-4 分の時間差をどのように解釈するかが、今後サブストームオンセットプロセスを理解する上で重要な課題である。