

STEREO と ACE の太陽風変動の相関—宇宙天気予報への応用— Correlation between Solar Wind Variations Observed at STEREO and at ACE

長妻 努¹、秋岡 眞樹¹、三宅 亙^{1,2}、大高 一弘¹

¹情報通信研究機構

²東海大学

T. Nagatsuma¹, M. Akioka¹, W. Miyake^{1,2}, K. Ohtaka¹

¹National Institute of Information and Communications Technology

²Tokai University

はじめに

地球磁気圏内に生じる様々な宇宙環境擾乱の主な発生要因は、太陽活動や太陽風変動にある (図1参照)。そのため、宇宙天気予報では地球磁気圏を閉鎖系と近似して予報モデルを構築することができない。これが地球の天気予報と大きく異なる点である。定量的、そして中・長期の宇宙天気予報のためには、太陽及び太陽風変動の情報が不可欠となる。

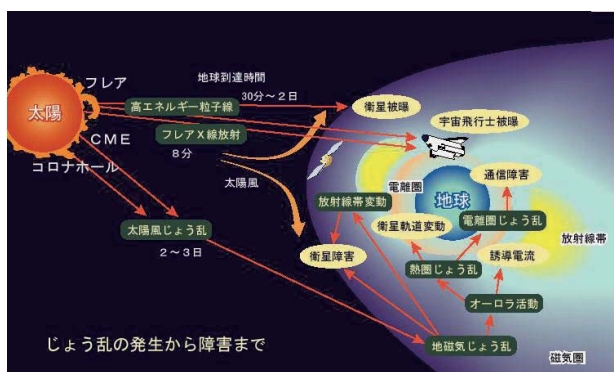


図1 宇宙環境擾乱の発生から障害まで

現在、L1 点に位置する ACE 探査機が operational に太陽風変動の観測データを提供しているが、L1 点は地球に対して約 150 万 km (0.01 天文単位) しか上流になく、ほぼ 1 時間先の予報しか行うことができない。そのため、予報のリードタイムを長くするためには、より上流側の太陽風変動の情報が重要となる。このことから、内部太陽圏の監視の必要性・重要性が高まっている。しかし、これまでの観測手段としては、惑星間空間シンチレーション (IPS) による太陽風のリモートセンシング観測、地上観測や人工衛星等による太陽及び太陽近傍のコロナのリモートセンシング観測のみで、内部太陽圏と呼ばれる太陽と地球の間の空間のカバレッジが観測的には不十分な状況にあった。

近年、太陽及び内部太陽圏を観測するミッションとして NASA の STEREO 探査機が登場した。この探査機の

主目的はサイエンスではあるが、宇宙天気予報及びその研究にとっても有効な情報を提供する。実際、NASA は STEREO 探査機にリアルタイム宇宙天気ビーコンを導入し、STEREO で取得される太陽及び太陽風のデータを低い分解能ではあるがリアルタイムに送信している。

情報通信研究機構 (NICT) は、米国 NOAA の宇宙天気予報センター (SWPC) と協力して L1 点の太陽風データのリアルタイム受信を実施し⁽¹⁾、また、そのデータを日々の予報業務や宇宙環境情報サービス、及びリアルタイム MHD シミュレーションなどに活用してきた。

STEREO のリアルタイム宇宙天気ビーコンに関して、NICT 内のアンテナ設備を活用して、データ受信を実施し、日々の予報業務等に活用している他、新たな予報への応用についての概念検討を進めている⁽²⁾。現在のところ観測のカバレッジは 100% ではないが、各局でのリアルタイムデータ受信は概ね順調に運用されている。STEREO 探査機は時間とともに地球からの距離が増大していくため、年々ビーコンの信号強度が低下していくが、あと数年は NICT の地上局でも受信が可能な状況であると思われる。そこで、NICT では現在リアルタイムビーコンデータを用いた宇宙天気予報への利用実験を検討している。

本稿では、太陽風の先行監視の応用に向けて、STEREO 探査機と ACE 探査機の太陽風変動の相関について調べた結果について述べる。

STEREO-B を用いた太陽風の先行監視

太陽は約 27 日で自転しており、これに伴って太陽風の速度や密度、磁場強度やセクター構造が回帰性的変化を示すことが知られている (図 2)。そのため、「太陽風の空間構造が定常的である (時間変化しない)」と仮定した場合、太陽の自転に対して上流側に位置する STEREO-B で観測される太陽風パラメータは、タイムラグ t_{lag} 後に地球 (ACE) に到来することが推定できる。Lag time の推定式は次の通りである。

$$t_{lag} = \theta / (\omega_{sun} - \Omega_{earth}) - (\omega_{sun} / (\omega_{sun} - \Omega_{earth})) \cdot ((l_1 - l_0) / V_{sw})$$

ここで、 ω_{sun} は太陽の自転角速度、 Ω_{earth} は地球の公転角速度、 l_1 は太陽から STEREO-B までの距離、 l_0 は太陽から地球までの距離、 V_{sw} は太陽風速度である。

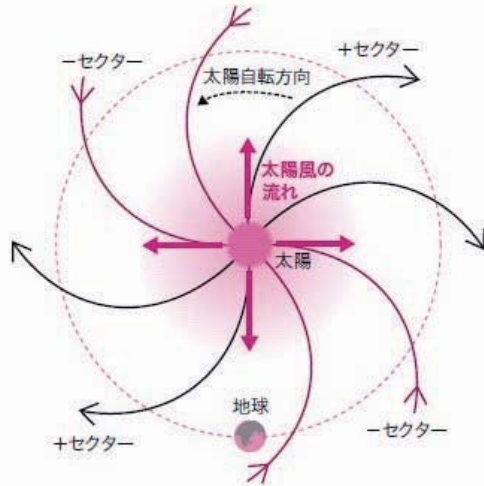


図2 太陽風のセクター構造

図3に2007年から2008年のACEとSTEREOの日面緯度、動径方向の距離差、離隔、推定される太陽風のLag timeを示す。日面緯度の変化をそれぞれ赤線(STEREO-A)、黒線(ACE)、青線(STEREO-B)で示している。太陽の自転軸と地球の公転軸の間には7.15度の傾きがあるため、ACEの観測する太陽風の根元となる日面緯度は±7.15度の振幅で変動する。

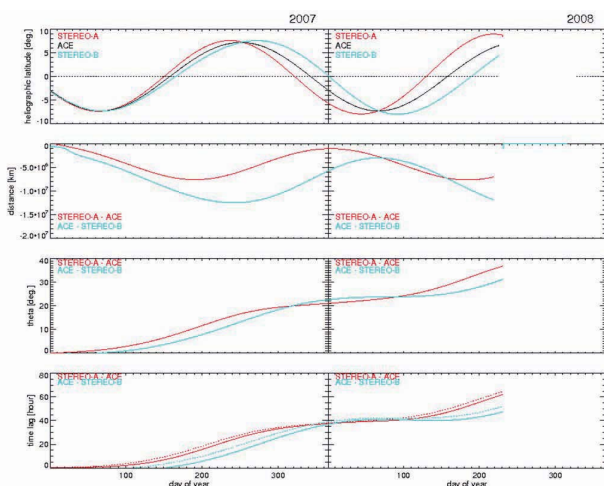


図3 ACEとSTEREOの日面緯度、動径方向の距離差、離隔、推定されるlag timeの変化

STEREOについてもほぼ同様である。そのため、ACEとSTEREOで観測される太陽風に違いが生じていた場合、日面緯度の差の影響である可能性にも留意する必要がある。

ある。動径方向の距離差、離隔、Lag timeはそれぞれSTEREO-AとACEの関係を赤線、STEREO-BとACEの関係を青線で示している。また、Lag timeの実線は太陽風速度が400 km/sの場合、点線は800 km/sの場合を示している。

図3によると2007年の終わり頃から2008年の中頃にかけて、STEREO-BのLag timeは2日弱に達しており、太陽風の空間構造が定常的であれば、STEREO-Bのデータを用いて約2日先の太陽風変動の予測(先行監視)が行える状態であることがわかる。

ACEとSTEREOの太陽風変動の比較

次に、ACEとSTEREOの太陽風変動を比較する。図4は2007年12月のACE、STEREOの太陽風変動(速度、密度、温度)を時刻補正せずに直接表示したものである。この1か月間に600-700 km/s程度の高速太陽風が2回観測されており、STEREO-B、ACE、STEREO-Aの順番で高速太陽風を観測している様子が見て取れる。

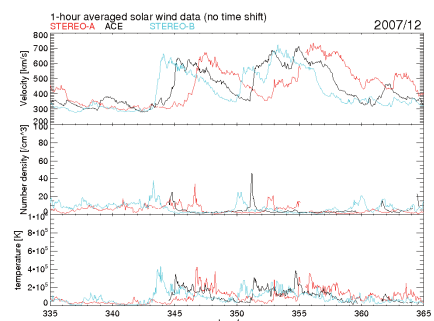


図4 2007年12月のACE、STEREOの太陽風変動 (lag timeの補正無し)

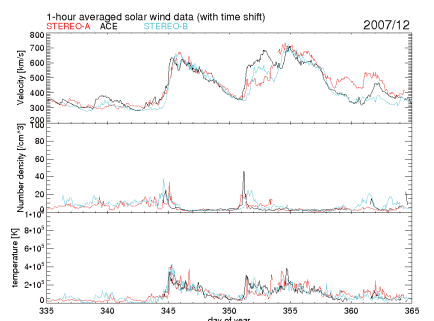


図5 2007年12月のACE、STEREOの太陽風変動 (lag timeの補正有り)

図5は同じ2007年12月のプロットだが、STEREO-B及びSTEREO-Aの太陽風変動を前述した式を用いてLag timeを補正し、ACEの観測と比較したものである。Lag timeの補正により、3機で観測された太陽風変動が非常に良く対応していることがわかる。

同様にLag timeの補正を行い、惑星間空間磁場の比較を行った結果を図6に示す。太陽風速度変動と比べると、各探査機で観測される磁場変動の対応関係は相対的に低い傾向が見られる。これは、磁場変動にAlfven 波動的なフラクチュエーションが重畳していることによるものと考えられる。また、total dayの353日付近でSTEREO-Aの磁場強度が増大しているが、これはICME等の突発的な磁場変動の影響によるものであろう。一方で、セクター構造の対応関係は比較的良いことがわかる。

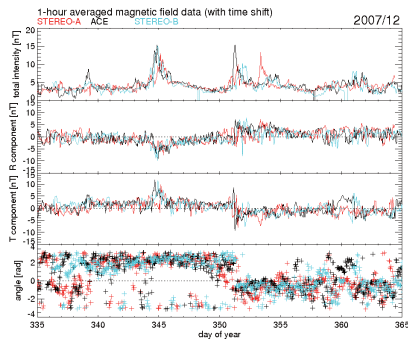


図6 2007年12月のACE, STEREOの惑星間空間磁場変動 (lag timeの補正有り)

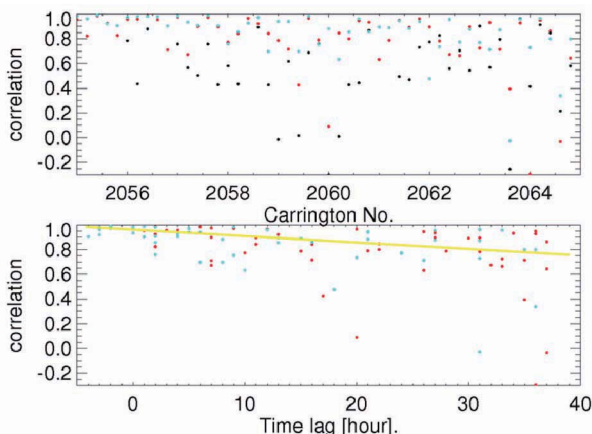


図7 2機の太陽風速度変動の相関係数の変化

図7に2機の太陽風速度変動を比較して得られた相関係数の変化を示す。図7の上はCarrington周期の

関数で表示してあり、図7の下はLag timeの関数として表示している。上の図で黒い点はACEとACEの1 Carrington周期前の太陽風変動の相関係数、赤い点はACEとSTEREO-Aの相関係数、青い点はACEとSTEREO-Bの相関係数である。

全般的な傾向としては、Lag timeが長くなるにつれて、相関係数の低下が見られるものの、ACEの1 Carrington周期前の太陽風変動とACEの太陽風変動の関係よりも、STEREO-A及びSTEREO-Bの太陽風変動の相関関係の方が良いことがわかる。

まとめ

ACEとSTEREO探査機の太陽風データを用いて、各探査機で観測されている太陽風変動の相関について調べた。その結果、全体的な傾向として、探査機の離隔が大きくなるにつれて相関が徐々に下がる傾向が見られ、ICMEや太陽風構造の時間変動の影響の評価方法等の課題も残されているが、数日先の磁気圏の状態や地磁気じょう乱を予測することに、STEREO探査機の太陽風データは有効に活用できると考えられる。

今後は、リアルタイムビーコンデータのノイズ除去、物理量の補正手法や欠測時の取扱についての検討を行った後に、タイムラグの補正や座標変換等具体的なデータ処理を行い、作成した太陽風予測データを用いて磁気圏グローバルMHDシミュレーションや地磁気活動度予測モデルを駆動することで、数日先の磁気圏や地磁気活動の定量的な予測へと展開していく予定である。

参考文献

[1]丸山隆、渡辺成昭、大高一弘、島津浩哲、ACE衛星による太陽風モニター計画、通信総合研究所季報、43、285-290、1997。
 [2]長妻 努、秋岡真樹、大高一弘、STEREO探査機データの宇宙天気予報への応用、第4回宇宙環境シンポジウム講演論文集、p71-74