

CME と EUV 波の統計解析

阿部 修平 (茨城大学大学院 理工学研究科)

Abstract

CME の影響力の大きさは速度に依るところが大きい。しかし、全ての CME を観測することは現状不可能であり、速度を計測することが出来ない CME が存在する。また、次世代の CME 観測衛星が計画されていないという現状もある。そのため、既存の観測手法とは異なる新規の CME 観測手法を確立する必要がある。そこで本研究では EUV 波に着目した。CME と EUV 波の現象そのものにおいては相関が高いことが知られているが、その速度の関係性については不明である。そのため、CME と EUV 波の速度を統計的に解析することにより、その関連性について検証した。

1 Introduction

Coronal Mass Ejection(CME; コロナ質量放出) とは太陽大気中から大量の質量が放出される現象であり、その観測にはコロナグラフという特殊な望遠鏡が用いられる。コロナグラフはその構造上、CME が太陽のリムで発生したときは観測しやすく、ディスクセンターで発生した時は観測しにくいという特性がある。Yashiro et al. (2005) では CME の経度依存性について言及しており、X クラスフレアに伴うような CME は全て観測可能であるが、C クラスフレアに伴うような CME はディスクセンターで発生した場合において、その半数程度が検出できないことを明らかにした。また、コロナグラフを搭載した人工衛星は、Solar and Heliospheric Observatory(SOHO)、Solar TERrestrial RELations Observatory(STEREO) の Ahead と Behind の 3 機が現在稼働している。しかし、これらの人工衛星の後継機は計画されておらず、近い将来においては CME が観測不可能な時期がやってくる。

Extreme Ultra-Violet(EUV) 波とは減光領域を伴い太陽大気中を伝播していく擾乱現象である。Thompson et al. (1998) によって発見されたが未だその正体は分かっていない。その候補としては、EUV 波が衝撃波であるとする説、フラックスループが噴出することにより磁力線が連続して圧縮され、プラズマが磁力線に沿って流れ落ち、結果として波が伝わっていくように見えるという説などがある。また、EUV 波は太陽フレアよりも CME の方が相関が高い

ことも分かっている (Biesecker et al. 2002)。

2 Instruments

CME の観測には SOHO に搭載された Large Angle and Spectrometric Coronagraph(LASCO) の C2、STEREO の Ahead と Behind に搭載された Sun Earth Connection Coronal and Heliospheric Investigation(SECCHI) の COR1 の計 3 種の観測データを用いた。SOHO はラグランジュポイントの L1 付近を周回しており、地球から見た太陽像を得ることが出来る。STEREO は地球軌道上を周回しているが、その公転速度は地球とは若干異なっている。その結果、Ahead は地球よりも先行しながら徐々に離れていき、Behind は地球を追いつつも徐々に離れていくことになる。本研究で扱うデータ期間における STEREO と太陽、地球の位置関係は図 1、図 2 に表している。図からも分かるように、STEREO は地球から見て 80 - 100 度の場所におり、ほぼ太陽を真横から見る事が出来る。また、C2 の視野は 1.5 - 6 Rs(太陽半径)、COR1 の視野は 1.4 - 4 Rs であり、ほぼ同じ領域を観測している。

EUV 波の観測には Solar Dynamics Observatory(SDO) に搭載された Atmospheric Imaging Assembly(AIA) の 193A の観測データを用いた。SDO 衛星は地球の高度 36,000 km の位置を周回しているが、SOHO と同様に地球から見た太陽像を得ることが出来る。

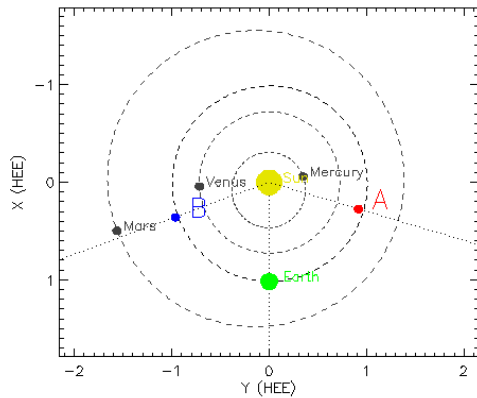


図 1: 2010 年 6 月 12 日における衛星の位置関係

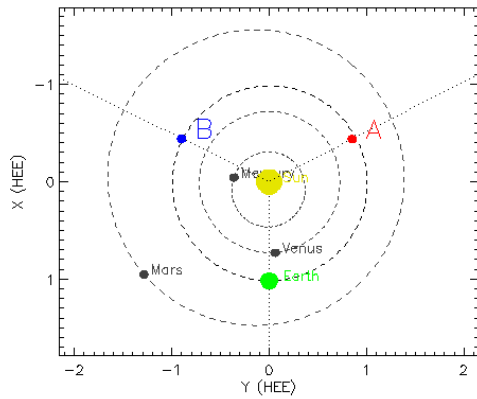


図 2: 2012 年 6 月 14 日における衛星の位置関係

3 Analysis

本研究の解析対象にする期間は 2010 年 6 月 12 日から 2012 年 6 月 14 日の 2 年間である。この期間を選択したのは SDO の打ち上げ以降の観測データを扱うためである。

3.1 Event list

EUV 波を CME 発生の指標とすることが妥当かどうか検証するため、CME と EUV 波のイベントリストを作成し、その相関を求める。2 年間全ての観測データから CME と EUV 波を探すのは困難であるため、M クラス以上のフレア 175 件を抽出し、その時間に対応する各種衛星のクイックルックを作成する

ことでイベントリストとした。このクイックルックから CME と EUV 波が発生したかどうかをそれぞれ目視で確認していき、現象が発生していれば、曖昧であれば、発生していなければ×の 3 段階に分類した。その結果が表 1 である。

表 1: CME と EUV 波の発生数

		EUV 波		
				×
CME		75	7	6
		0	2	2
	×	1	0	83

表 1 より、CME と EUV 波が同時に発生したイベントは 75 件、どちらも発生しなかったイベントは 83 件である。つまり、CME と EUV 波が同期したイベントは全体の $(75+83)/175=90\%$ であり、EUV 波を CME 発生の指標とすることが可能であると言える。

また、CME と EUV 波が同時に発生したこの 75 件のイベントを解析対象とする。

3.2 CME

LASCO/C2 によって観測された CME の速度においては「SOHO LASCO CME CATALOG」より引用する。SECCHI/COR1 によって観測された CME においてはクイックルックとは別に running difference を作成し、速度を計測した。その結果、一つの CME に対し 3 つの計測値が導き出されるが、その中で最も速いものを CME の速度とする。

3.3 EUV 波

AIA/193A によって観測された EUV 波において、CME と同様に、クイックルックとは別に running difference を作成し、速度を計測した。また、AIA から得られる画像はあくまで二次元のデータであるため、太陽を球体と仮定することにより、3 次元での距離に変換し計算している。

4 Results and Discussion

CME と EUV 波の速度の散布図を図 3 に示した。相関係数は $R=0.31$ と、相関はないという結果であった。

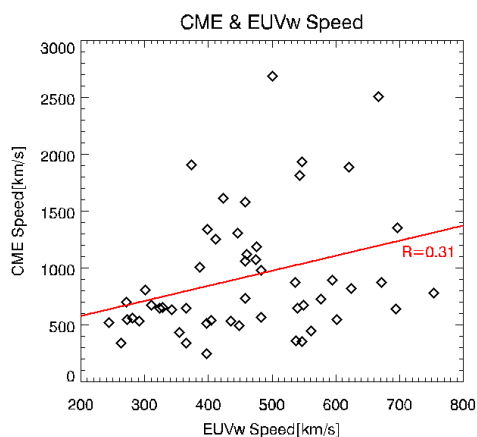


図 3: CME と EUV 波の速度の相関図

図 3 にパラメータを振ることによりいくつかのグループに分類できるのではないかと考え、GOES クラスで色分けをした。色分けは X1.0 以上を青、M 5.0 以上 X1.0 未満を緑、M1.0 以上 M5.0 未満を赤である (図 4)。

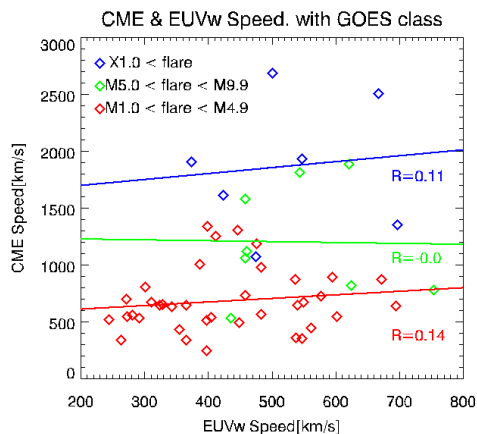


図 4: CME と EUV 波の速度の相関図 + GOES クラス

図 4 における各グループの相関係数は、 $R(\text{青})=0.11$ 、 $R(\text{緑})=0.00$ 、 $R(\text{赤})=0.14$ であり、図 3 を X 線強度で分類することができな

る。しかし、EUV 波よりも CME の方が X 線強度依存性が高いということが読み取れる。このことから、EUV 波の速度の寄与はフレアもしくは CME よりもフレアサイトの周囲の太陽大気の性質に依存する可能性が考えられる。

次に、図 3 を EUV 波の最終到達距離で色分けする。EUV 波の最終到達距離は、フレアサイトから EUV 波が消失した場所までの距離である。色分けは 60 万 km 以上を青、40 万 km 以上 60 万 km 未満を緑、40 万 km 未満を赤である (図 5)。

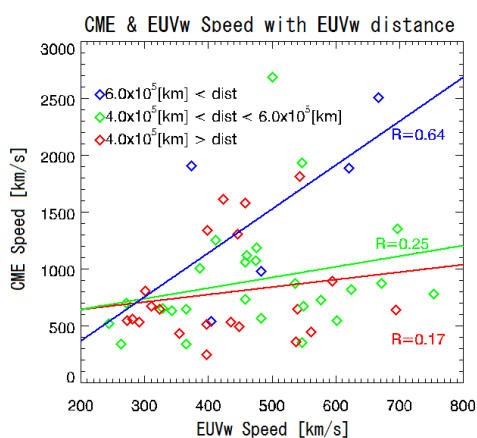


図 5: CME と EUV 波の速度の相関図 + EUV 波の最終到達距離

図 5 における各グループの相関係数は、 $R(\text{青})=0.64$ 、 $R(\text{緑})=0.25$ 、 $R(\text{赤})=0.17$ であり、図 3 を EUV 波の最終到達距離で分類することができないと分かる。この結果は図 4 における結果を覆すものではない。

5 Conclusion

2010 年 6 月 12 日から 2012 年 6 月 14 日までの 2 年間において M クラスフレアを基に CME と EUV 波の発生回数を調べた結果、CME と EUV 波が同期していたものは全体の 90% を超えており、CME を EUV 波発生指標とすることは妥当であると言える。

CME と EUV 波の速度の相関関係を調べた結果、両者に相関は見られなかった。EUV 波よりも CME の方が X 線強度依存性が高かったことと、両者の相

関と EUV 波の最終到達距離に関連性が見られなかったことから、EUV 波の寄与はフレアや CME よりも太陽大気の性質に依るところが大きいと考えられる。

Reference

- Yashiro, S., Gopalswamy, N., Akiyama, S., Michalek, G., & Howard, R. A. 2005, *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, 110, 12
- Thompson, B. J., Plunkett, S. P., Gurman, J. B., et al. 1998, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 2465
- Biesecker, D. A., Myers, D. C., Thompson, B. J., Hammer, D. M., & Vourlidas, A. 2002, *ApJ*, 569, 1009