

宇宙天気研究における次世代太陽観測衛星

Solar-Cの科学戦略

草野完也(名古屋大学)、渡邊鉄哉(国立天文台)

Solar-Cワーキンググループ、Solar-C準備室

概要 次世代太陽観測衛星Solar-Cは光球から彩層・コロナに至る太陽表面と大気の大規模な電磁流体力学的結合過程をこれまでに無い高空間分解能観測によって初めて解明することを目指す挑戦的な衛星計画である。Solar-Cは太陽活動の理解のみならず、太陽地球システムと宇宙天気の研究に大きな進展をもたらすことが期待されている。本講演では特に太陽面爆発現象の理解と予測に焦点をあて、Solar-Cによる宇宙天気研究の科学戦略について考察する。このため、太陽フレアが強い磁気シヤを持つ活動領域内部に現れる特徴的な小規模磁場(フレアトリガ磁場)によって開始されることを見出した最近の成果(Kusano et al. 2012)に基づき、Solar-Cによる精密な太陽表面磁場観測がフレア予測に重要な役割を果たすことを示す。特に、Solar-Cの赤外域偏光分光観測による彩層磁場測定(0.2秒角精度)によってコロナ磁場のトポロジーと安定性を解析することで、フレア、フィラメント放出、コロナ質量放出(CME)などの爆発現象を正確に予測するための方法論を提案する。

◆フレア発生のトリガーとなる磁場構造の解明

太陽フレアは太陽活動領域の磁場に蓄積された非ポテンシャル磁場のエネルギーが磁気リコネクションと共に解放される現象であることが、「ようこう」と「ひので」による観測研究によって明らかにされましたが、フレア発生のトリガ機構はまだ十分に解明されていません。我々は最近この問題に大規模な数値シミュレーションとひので衛星データの詳細な比較に基づいて取り組み、フレア発生には2種類の構造を持つ小規模な太陽表面磁場が関わっていることを突き止めました(Kusano et al. 2012)。

◆フレア発生予測と宇宙天気予報

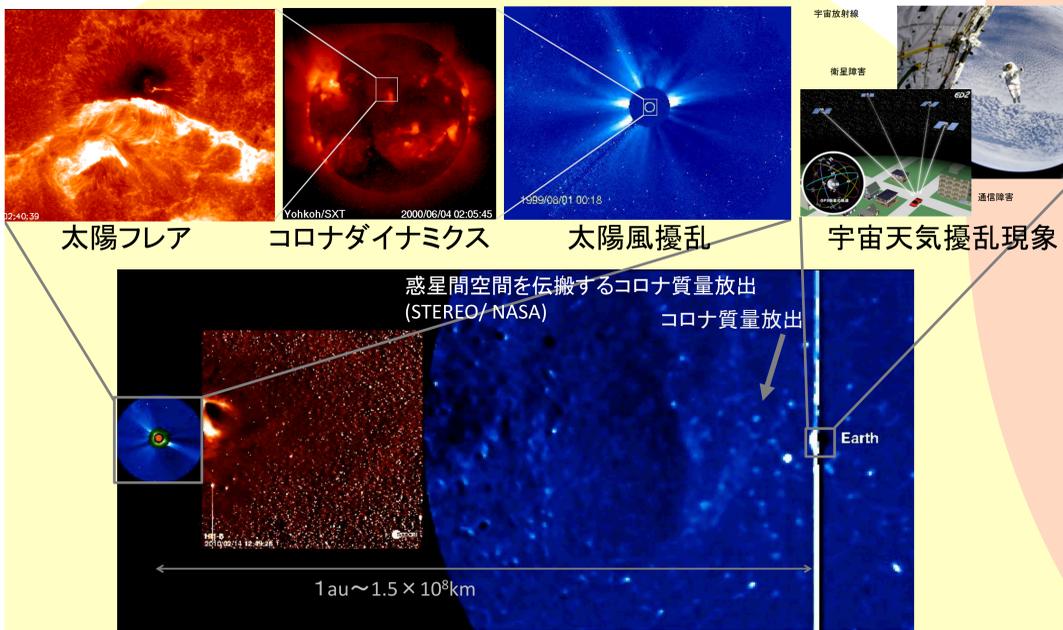


図1: 太陽黒点の近傍で発生するフレアは太陽コロナプラズマの大規模な放出を伴って地球環境とインフラに多大な影響を与える場合がある。

1日前予測	フレア発生 Yes	フレア発生 No
Yes	50	67
No	52	31315

表1: 太陽サイクル23におけるMクラスフレアのNOAAによる1日前予測の結果(Crown 2012)。フレア発生が予測された数とフレアが発生しなかった数と予測された数と実際にフレアが発生した場合としない場合についてそれぞれ示す。

大規模な太陽フレアや太陽コロナからのプラズマ放出現象は、衝撃波、高エネルギー粒子、X線、紫外線などの突発的な放出を通して地球環境及び衛星・通信・電力伝送などのインフラに致命的な障害を与えます(図1)。こうした宇宙天気擾乱の社会影響を軽減するために、太陽フレアの発生予測を行うことが強く求められています。しかし、太陽黒点の形態学的な分類に基づく従来の経験的予測は大規模フレアの発生を正確に予測できないことが知られています(表1)。Solar-Cは太陽表面磁場の精密観測によって、フレア発生の機構解明と予測の実現を目指します。

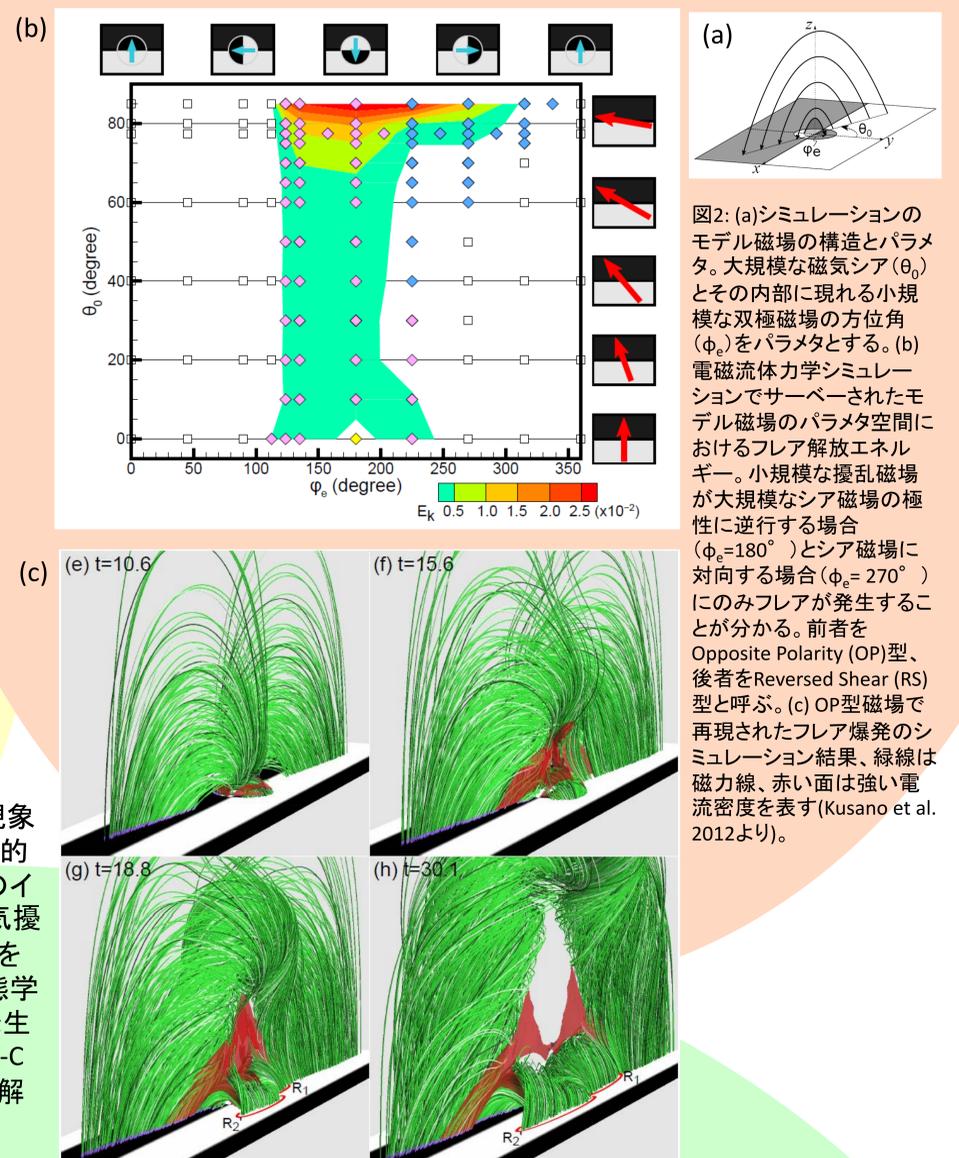


図2: (a)シミュレーションのモデル磁場の構造とパラメータ。大規模な磁気シヤ(θ_0)とその内部に現れる小規模な双極磁場の方位角(ϕ_0)をパラメータとする。(b)電磁流体力学シミュレーションでサーベされたモデル磁場のパラメータ空間におけるフレア解放エネルギー。小規模な擾乱磁場が大規模なシヤ磁場の極性に逆行する場合($\phi_0=180^\circ$)とシヤ磁場に対向する場合($\phi_0=270^\circ$)にのみフレアが発生することが分かる。(c) OP型磁場で再現されたフレア爆発のシミュレーション結果、緑線は磁力線、赤い面は強い電流密度を表す(Kusano et al. 2012より)。

◆Solar-Cによるフレア発生予測の戦略

ひので/SOTによるフレア活動領域の磁場観測の結果、シミュレーションで見出された2つのタイプの小規模なフレア・トリガ磁場が活動領域NOAA10930やNOAA11158などMクラス以上の大規模フレアを起した領域でフレア発生数時間前に実際に形成されていたことが見出されました(図3)。さらに、フレア・トリガ磁場の形成にはさらに小さな磁束の輸送が関わっていることも見出されました(図4)。これは大規模なフレア発生に磁場の階層構造が関わっていることを意味します。

しかし、これまでの「ひので」による観測ではフレアのトリガとなる臨界磁場の大きさはイベントごとに異なり、ひので衛星の観測限界に近い小規模な構造がフレアトリガに関わっている場合があることが示されています。こうしたフレアトリガ過程の多様性は活動領域磁場の安定性の違いによって現れると考えられます。それゆえ、フレアの発生を磁場観測から予測するためには、第1に活動領域の大規模磁場の3次元構造を再現し、その電磁流体力学安定性を評価した上でフレア発生に必要なトリガ磁場の臨界磁束量を導出する必要があります。その上で、磁気中性線上の詳細磁場観測によりシミュレーションで見出された2種類のフレアトリガ磁場が臨界磁束に達する過程を見出すことができれば、フレア発生を数時間前に予測できる可能性があります。

Solar-Cの赤外域偏光分光観測による彩層磁場測定(0.2秒角精度)は3次元磁場の再現とトリガ磁場の検出の双方にとって極めて強力であり、Solar-Cの実現によってフレア予測の精度を格段に向上させることができると考えています。

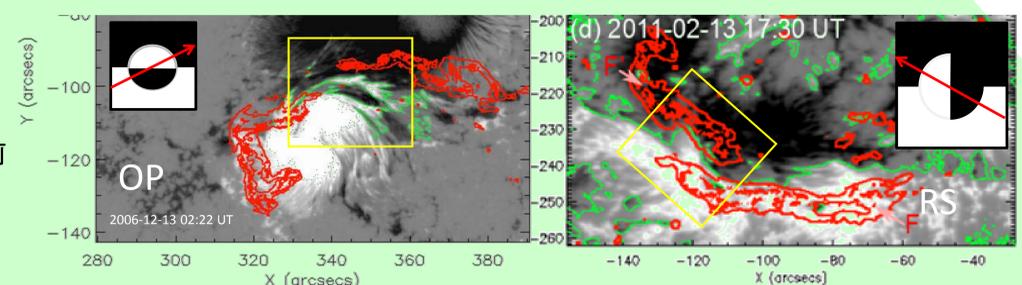


図3: 「ひので」が観測した活動領域NOAA10930におけるMクラスフレア(上)とNOAA11158で発生したMクラスフレア(下)。グレースケールは視線方向磁場を、緑線は磁気中性線、赤色はCa II H線によるフレア発生直後のフレアリボン。フレアリボンの中心にOP型及びRS型の磁場構造がそれぞれ存在することが分かる(Kusano et al. 2012より)。

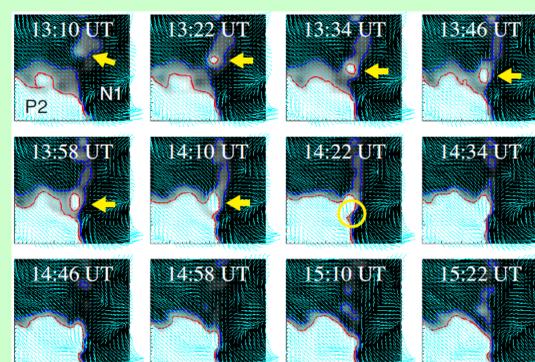


図4: 活動領域NOAA11158におけるフレアトリガ磁場の形成過程。小規模な磁束の輸送がフレアトリガ磁場を成長させていたことが見出された(Toriumi et al. 2013より)。