

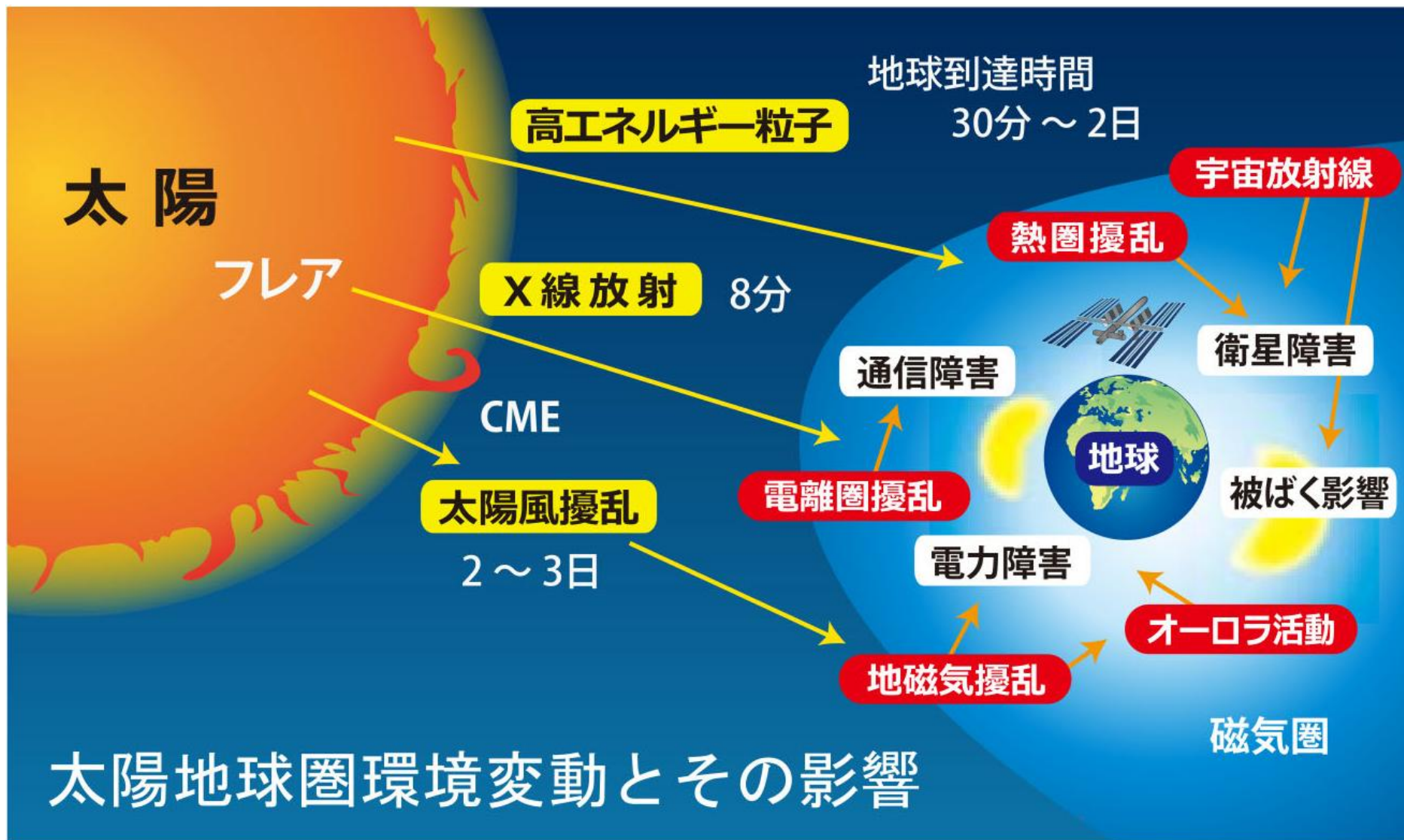


磁気ツイスト量を加味した 高磁気リコネクション率候補領域を用いた 太陽フレア予測

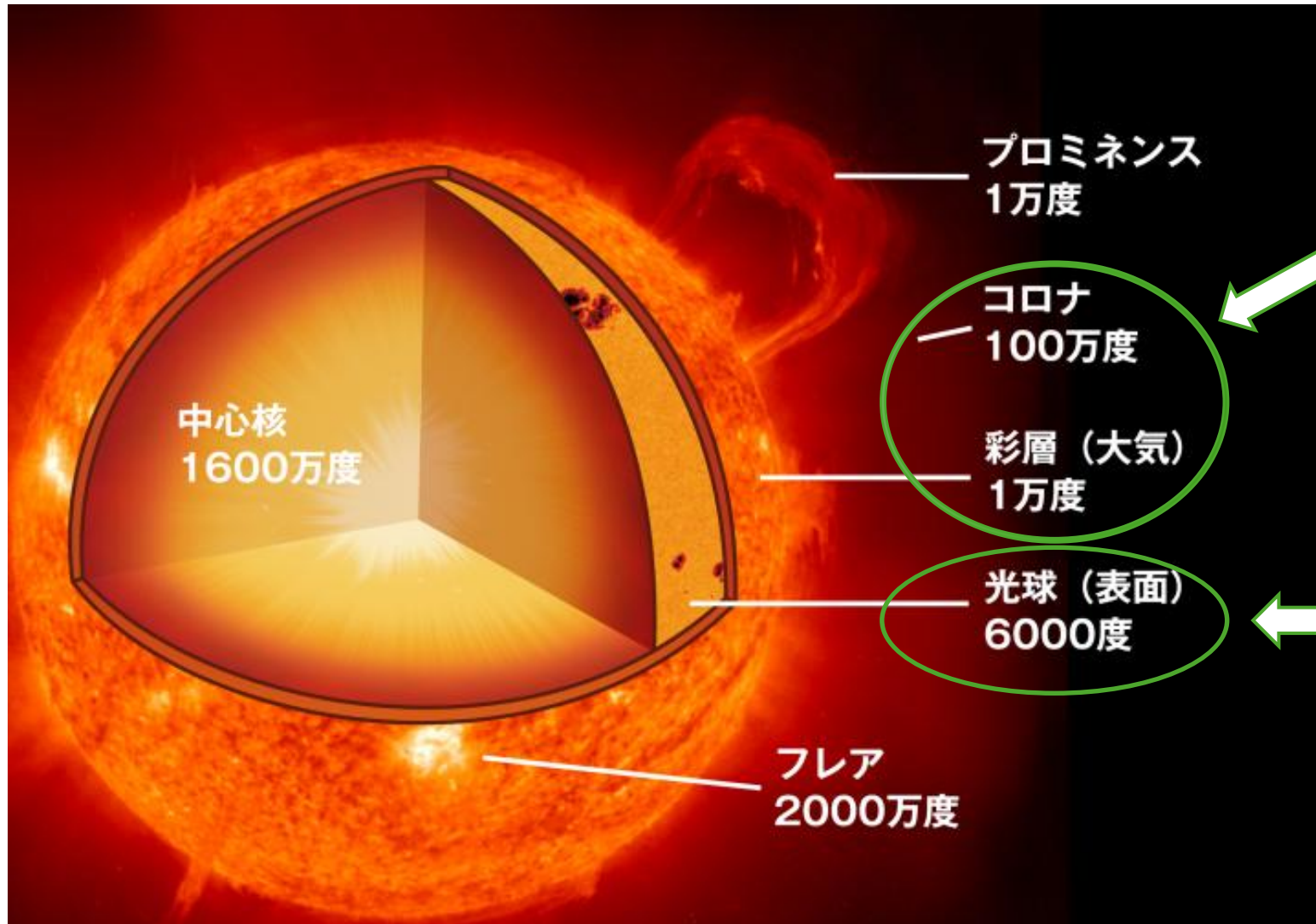
宇宙進化研究センター
宇宙プラズマ環境研究部門
小西克祈

研究背景

太陽フレア予測は重要な課題



研究背景(太陽について)



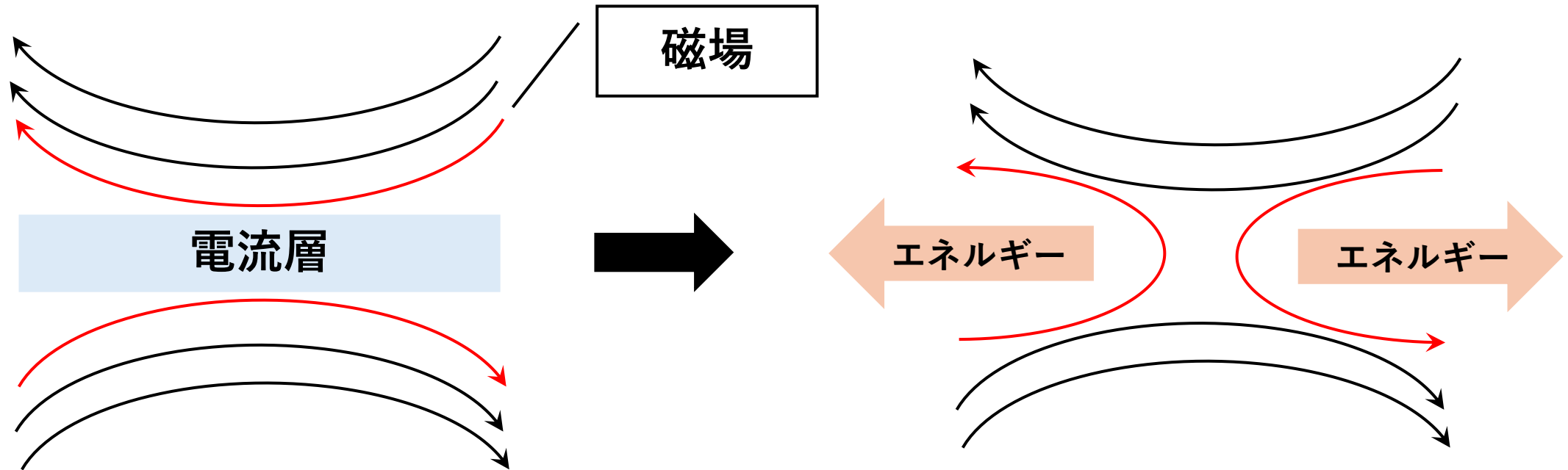
太陽フレアが発生する

磁場が存在!

黒点が見られる

研究背景

Q. コロナ磁場と太陽フレアのつながり



電流層で電気抵抗が発生すると
磁場が拡散し、磁力線が繋ぎ変わる

→ **磁気リコネクション**

研究背景(先行研究：Kanazawa, 2025)

リコネクション率(R^*)：磁気リコネクションの速さを表す物理量

磁場のなす角(θ)と強度比(k)に依存する

R^* と θ の関係式

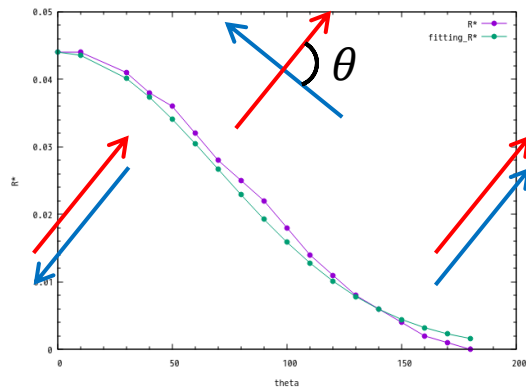
Nitta & Kondoh, 2021

$$R^* = 0.044 \times \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta}{70}\right)^2\right)$$

R^* と k の関係式

Nitta & Kondoh, 2022

$$R^* = 0.039268 \times k^{-1.4057}$$



R値

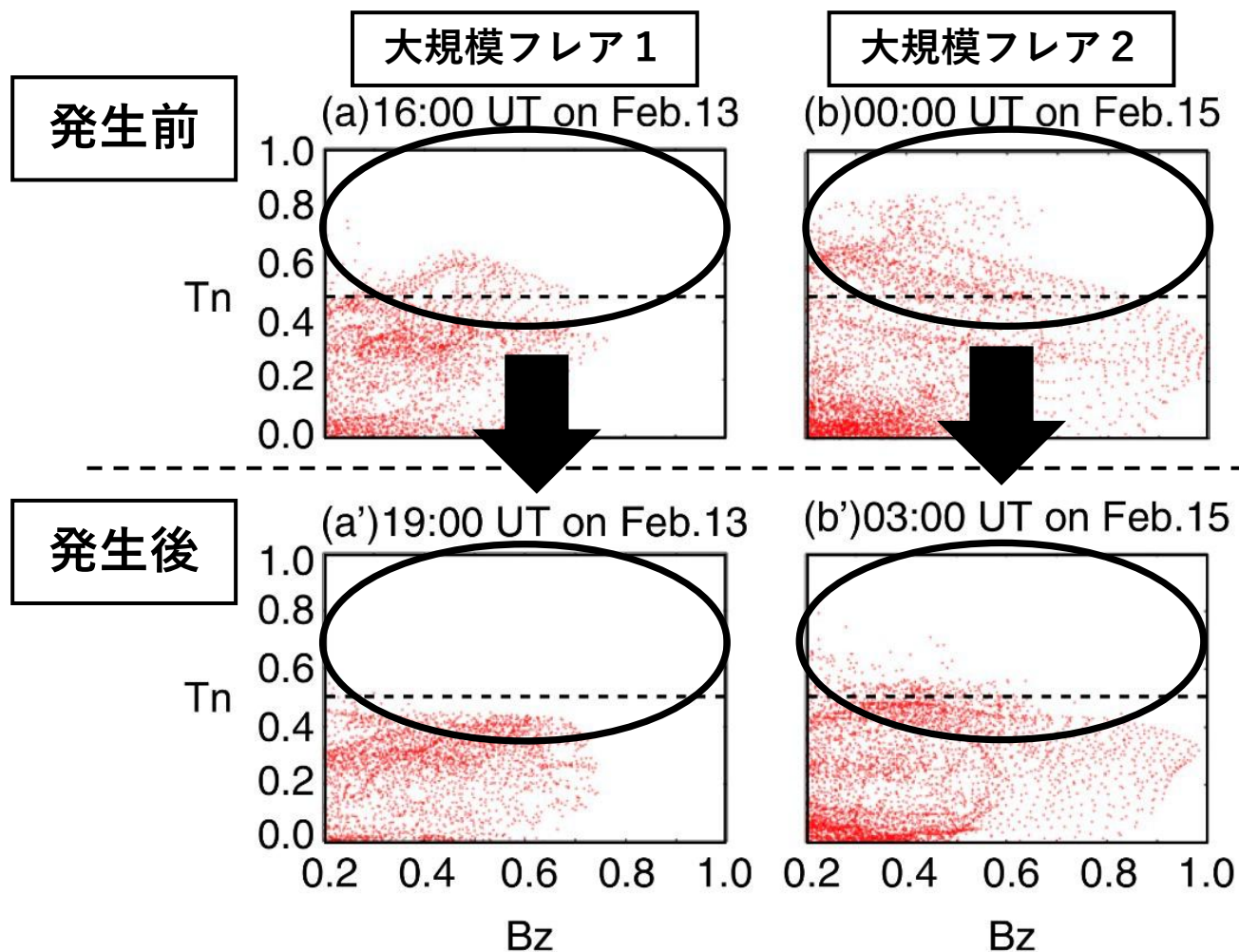
$$R(k, \theta) = k^{-1.4} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\theta}{70}\right)^2\right)$$

研究背景 (INOUE ET AL., 2013)

- R値のみでは
- 領域予測に不十分
 - 規模が分からない

エネルギーの解放に重要

磁気ツイスト量 (T_n)
(磁力線のねじれ)



大規模フレアが発生すると
磁気ツイスト量は減少する
傾向がある！

大規模フレア発生前は
磁気ツイスト量が
大きい(増加する)!?

目的

R値が変化する領域を可視化し、太陽フレア発生前後におけるその領域の磁場構造を解析する。

磁気ツイスト量を加味することにより新たな太陽フレア予測手法を構築する。

研究方法

R値変化領域(差分)について



$$\text{R値変化} = \text{R値(発生後)} - \text{R値(発生前)} = \text{差分値}$$

差分値 = 負 \longrightarrow R値が減少した領域

差分値 = 正 \longrightarrow R値が増加した領域

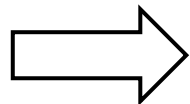
研究方法

【Force-Free仮定】

MHD平衡方程式

$$\cancel{j \times B} - \cancel{\nabla p} + \cancel{\rho g} = 0$$

磁気圧が卓越



$$j \times B = 0$$

電流密度と磁場が平行！

アンペールの法則

$$\nabla \times B = \mu_0 j$$



$$\mu_0 j = \alpha B$$



$$\nabla \times B = \alpha B$$

磁気ツイスト量の計算

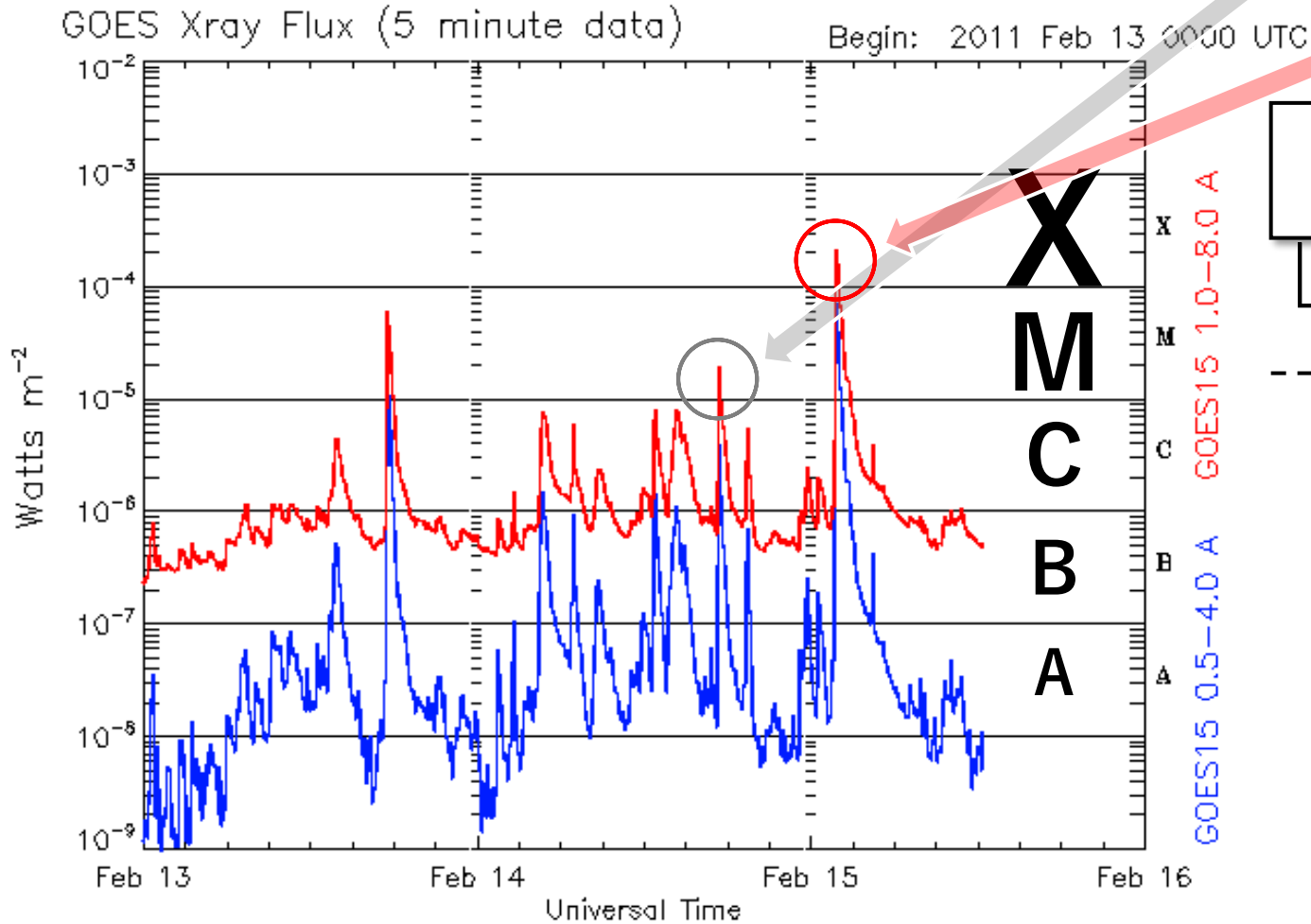
$$T_n = \frac{1}{4\pi} \int \alpha dl$$

j は電流密度、 B は磁場、 p はプラズマ圧力、
 ρ は質量密度、 g は重力加速度、
 μ_0 は真空の透磁率、 α はフォースフリー関数、
 T_n は磁気ツイスト量、 l は磁力線の長さ

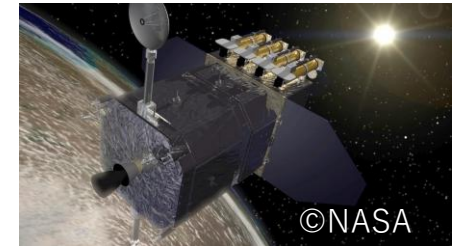
観測機器・使用データ

2011年2月14日17:20頃M2.2フレア発生

2011年2月15日1:44頃X2.2フレア発生



観測衛星SDO

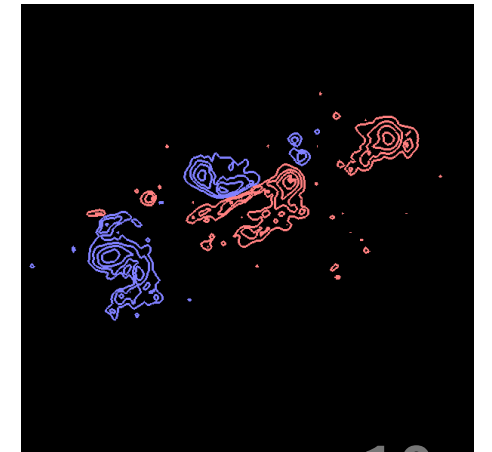
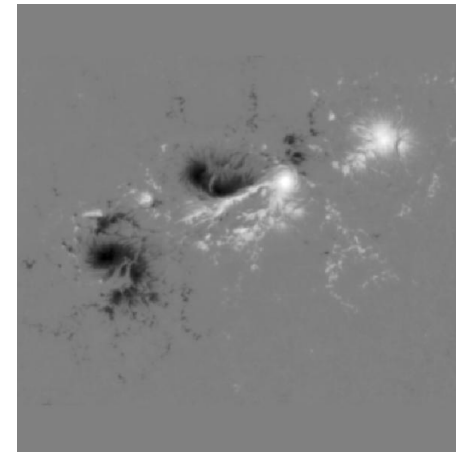


計測器：HMI、AIA

黒点群(名称：AR11158)

(対象としているフレアが発生した領域)

- 2011年2月15日0:36、視線方向磁場 -

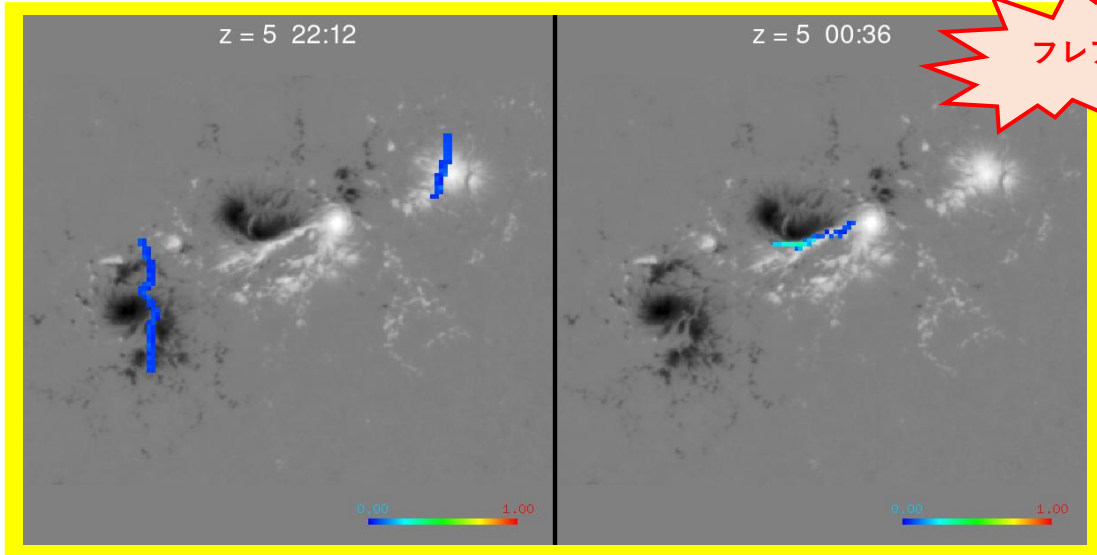


Updated 2011 Feb 15 12:35:12 UTC

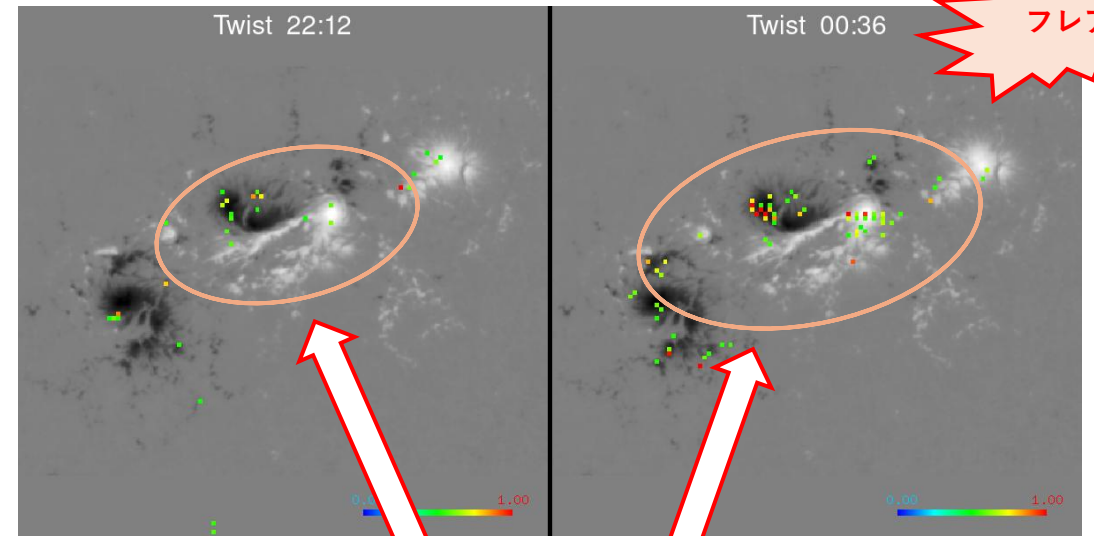
NOAA/SWPC Boulder, CO USA

結果① (低コロナにおける時間発展)

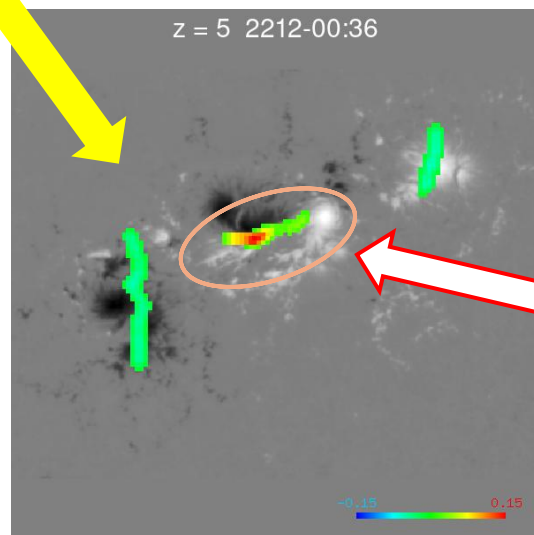
【R値】



【磁気ツイスト量】



【差分値】



磁気ツイスト量が増加

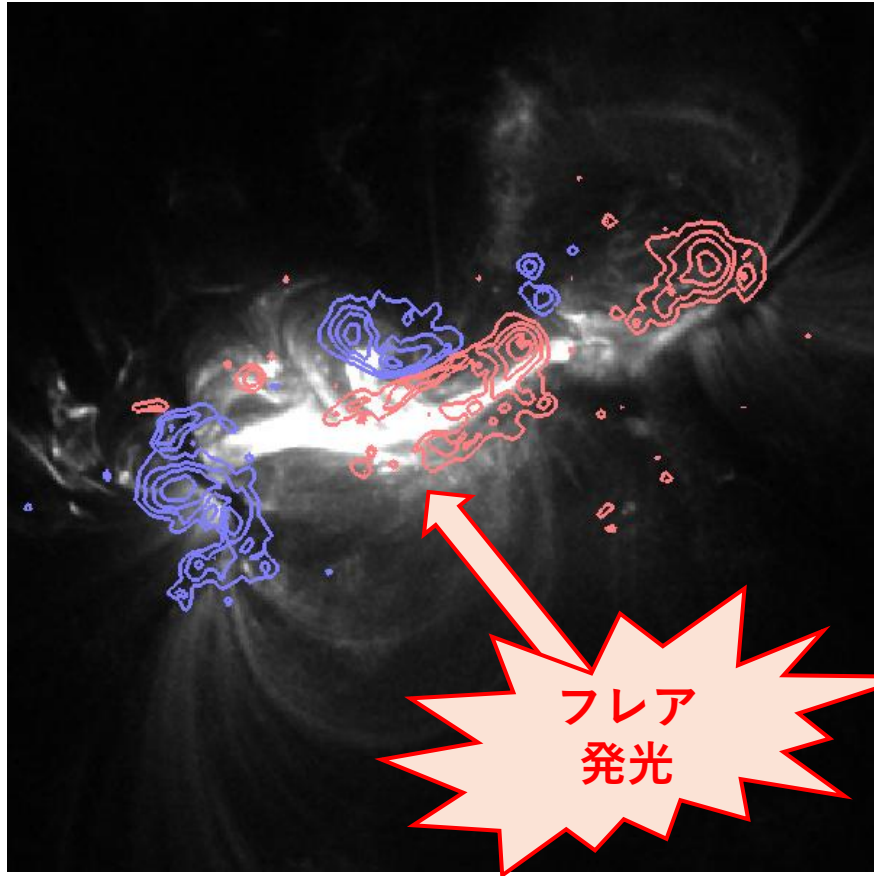
R値が増加

考察①(低コロナ)

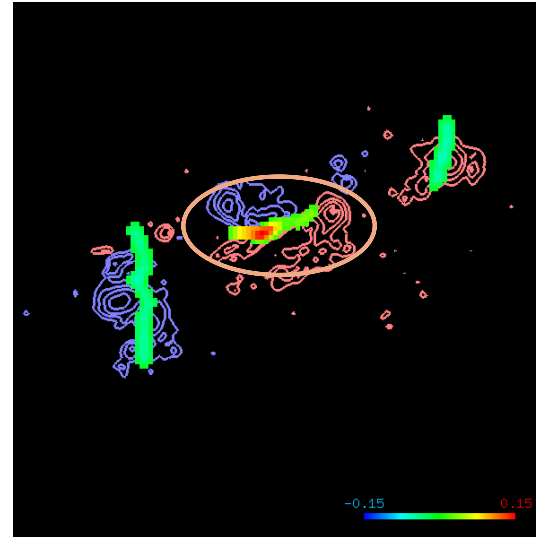
低コロナにおいて、

【R値】 & 【磁気ツイスト量】 → 増加

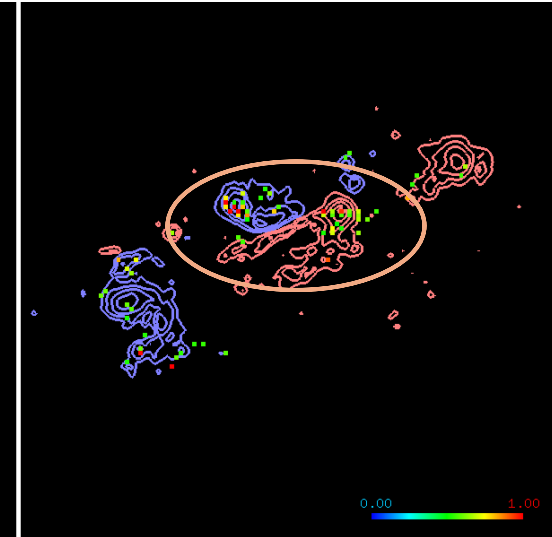
- 2011年2月15日1:45、AIA131Å -



- R値増加領域 -



- 磁気ツイスト量 -

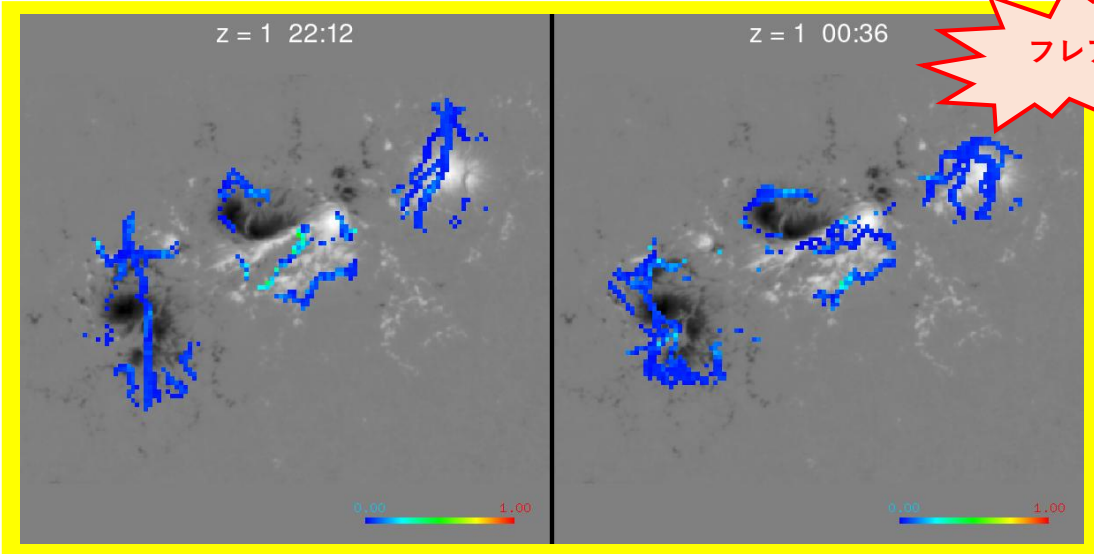


R値・磁気ツイスト量の増加領域と
フレア発生領域が近い！

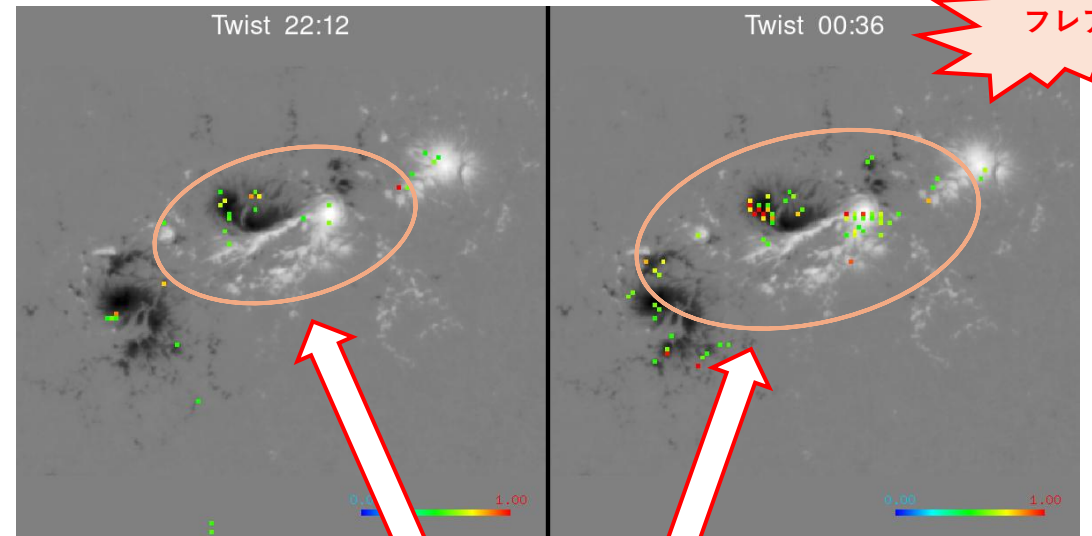
磁気ツイスト量が大规模フレアの裏付けに！？

結果② (彩層上部 ~ 低コロナにおける時間発展)

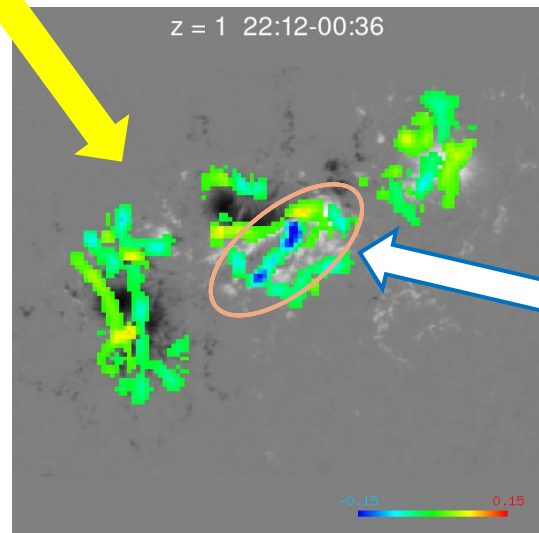
【R値】



【磁気ツイスト量】



【差分値】



磁気ツイスト量が増加

R値が減少

考察② (彩層上部 ~ 低コロナ)

22:12

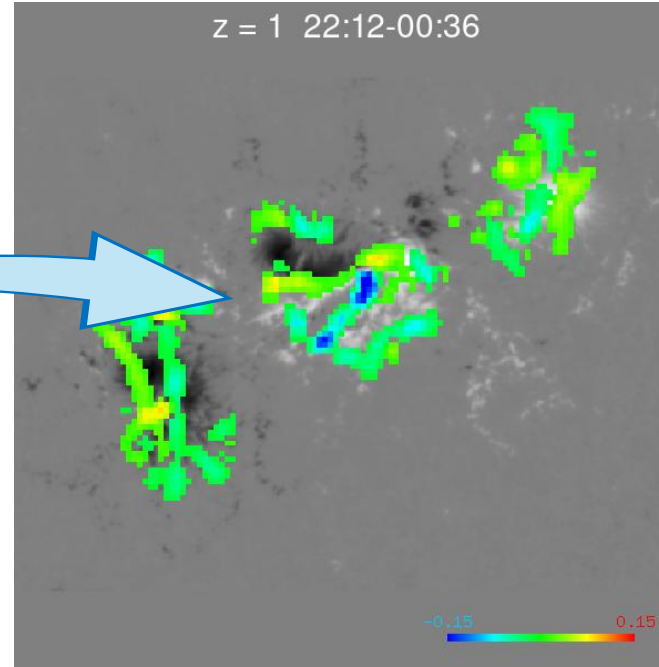
00:36

1:44

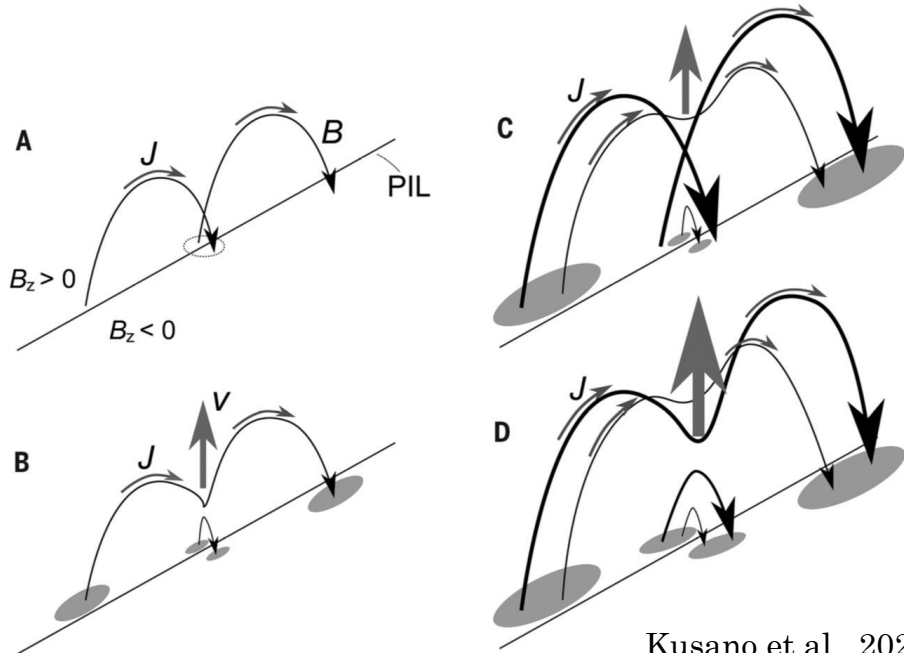
R値が減少した \equiv 磁気リコネクションが起きた

~~太陽フレアが発生したのではないかと~~

R値減少の正体は!?



【テザーカッティングリコネクション】



大規模フレアに向けて**磁力線のねじれを大きくするための磁気リコネクション**

まとめ

先行研究

磁場のなす角(θ)と強度比(k)に依存する「リコネクション率」

$R(k, \theta)$ 値を用いた太陽フレア予測

本研究

- R値変化領域を可視化
- 磁気ツイスト量を加味

**R値・磁気ツイスト量の増加が
大規模フレアの発生候補領域の特定に重要**

大規模な太陽フレアの発生予測に繋がる！