

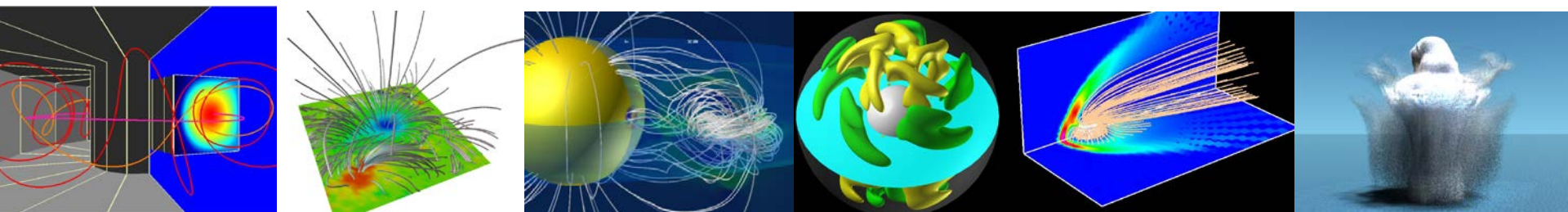


2013年天文夏の学校  
2013.7.30

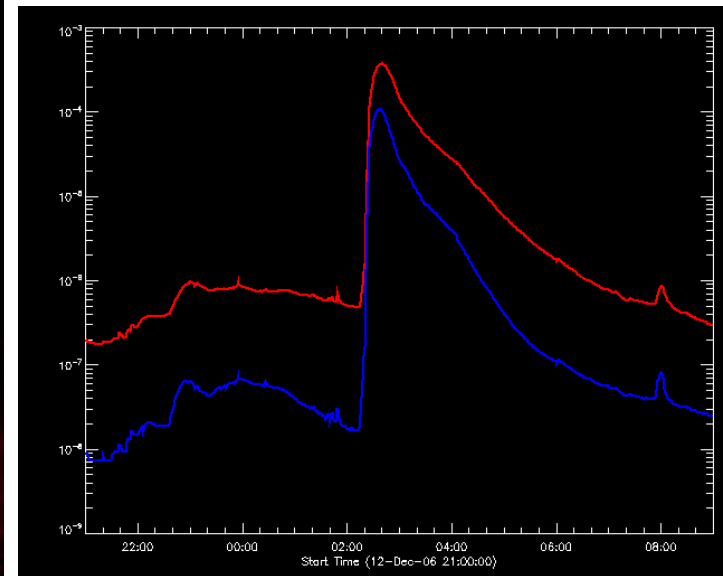
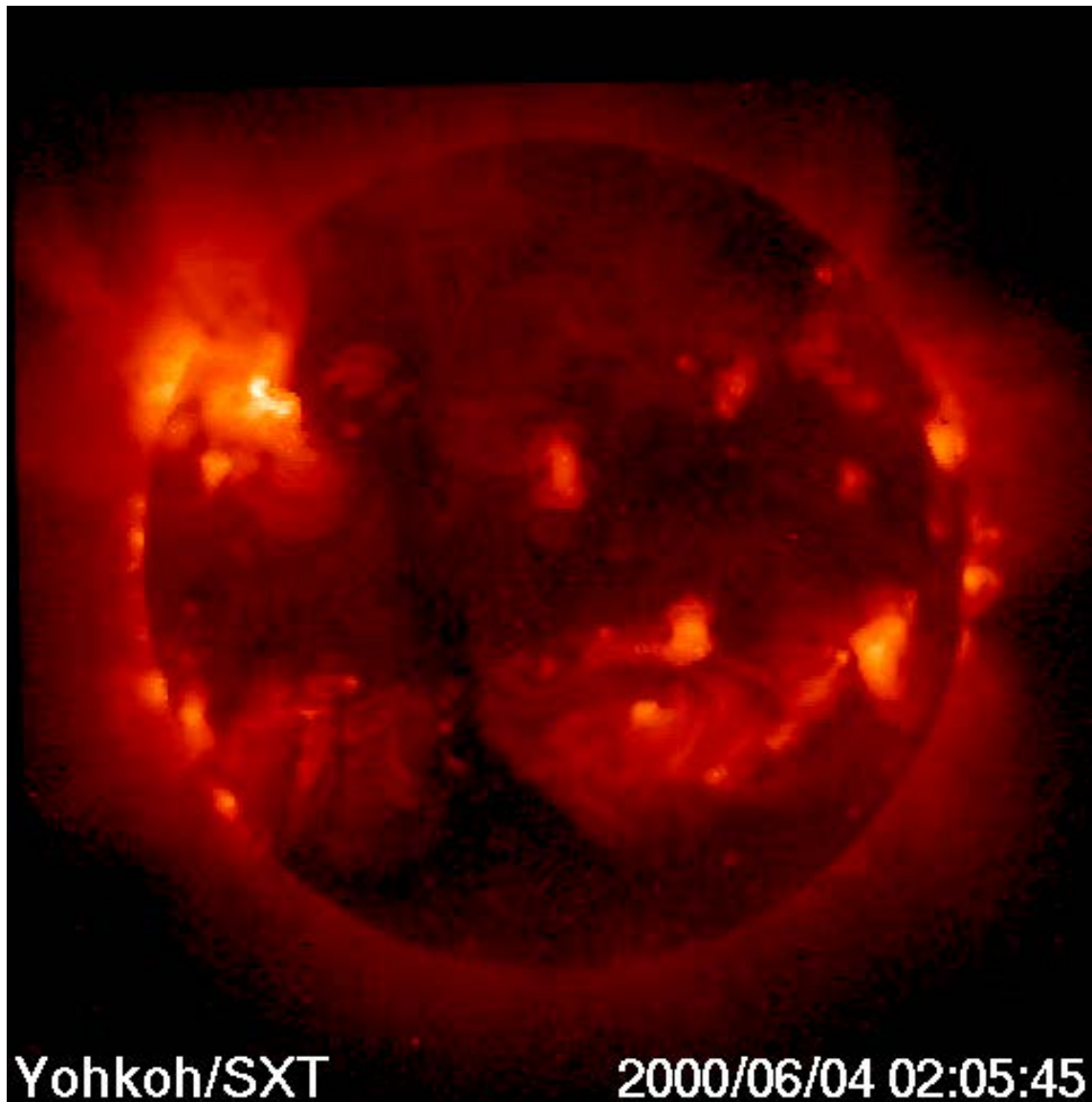
# 太陽フレアはいつ起きるか？

草野完也

名古屋大学太陽地球環境研究所



# 太陽フレア



フレアの際の  
soft X-ray流束の時間変化



# 太陽嵐の影響と被害

## ■ 宇宙天気

### 短期的な宇宙環境変動

太陽フレア、コロナ質量放出(CME)

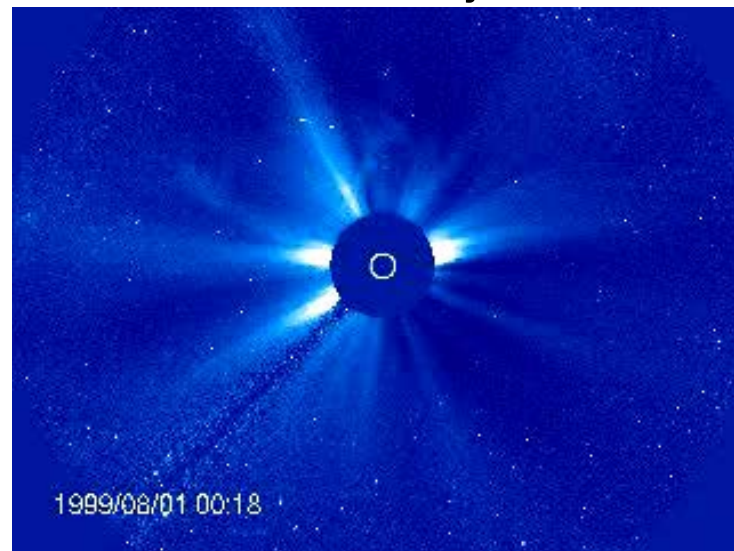
磁気嵐、電離圏嵐

→ 環境・社会への甚大な影響

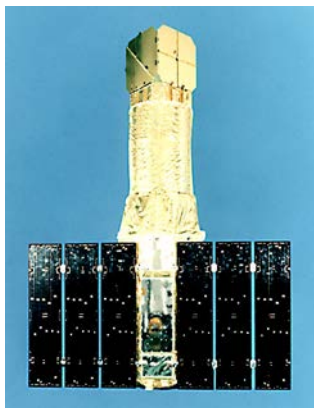
太陽フレア  
爆発の予測

宇宙プラズマ  
爆発現象の理解

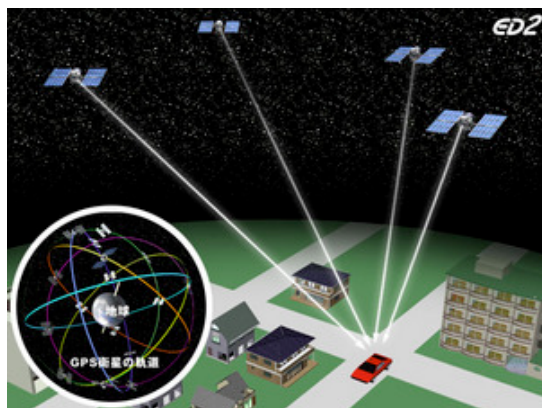
Coronal Mass Ejection



衛星



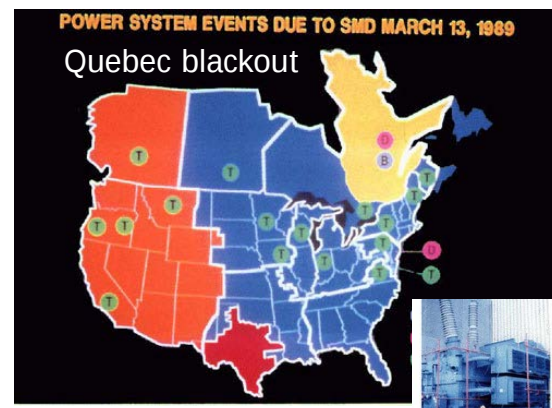
通信システム



被曝影響

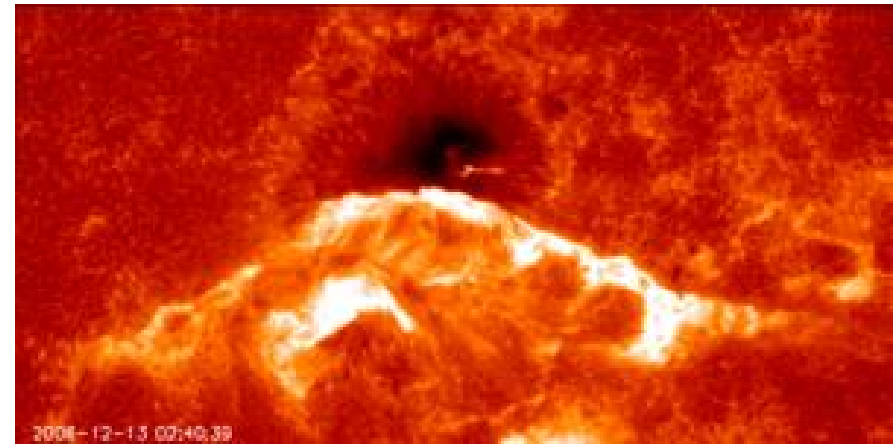
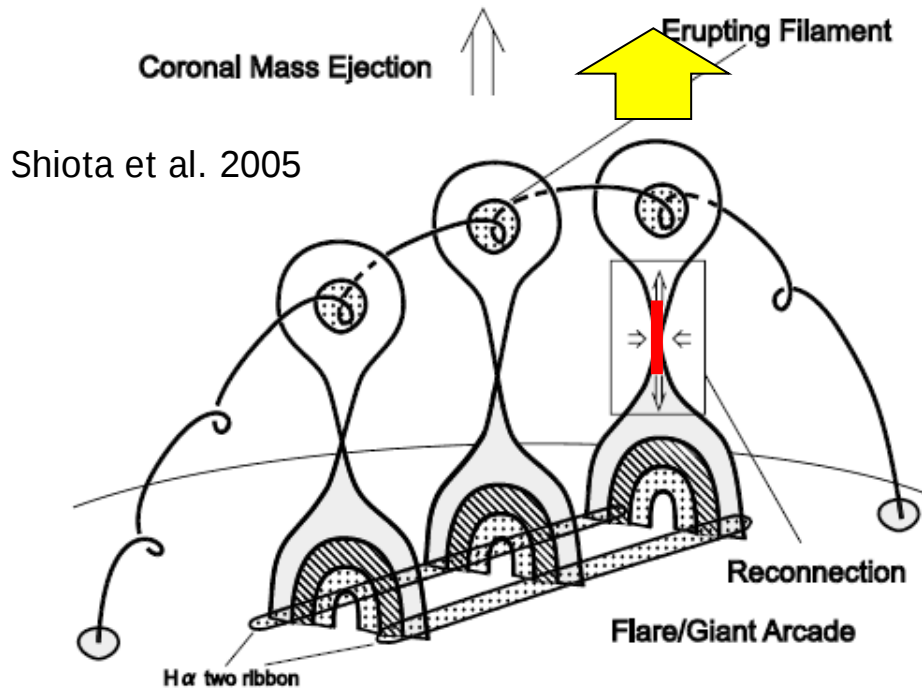


送電網・パイプライン

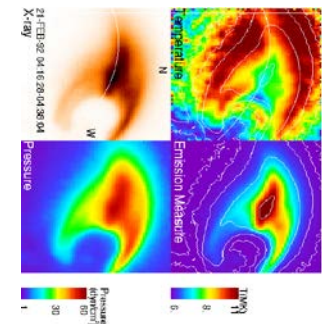
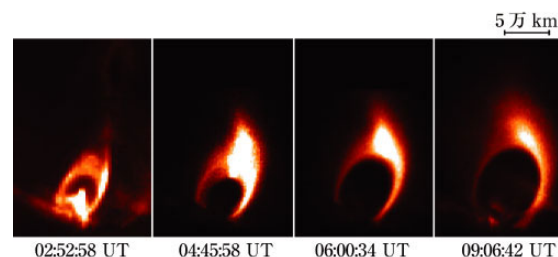
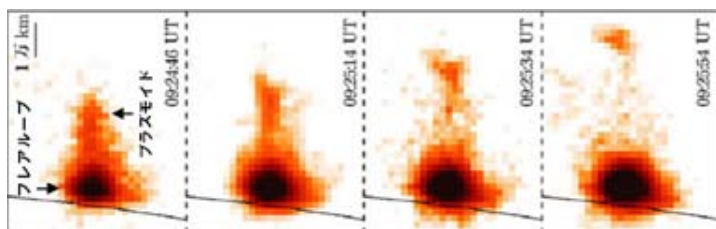


A single serious event might cause **\$2 trillion** in damages. (NRC)

# 磁気リコネクション・フレア・モデル

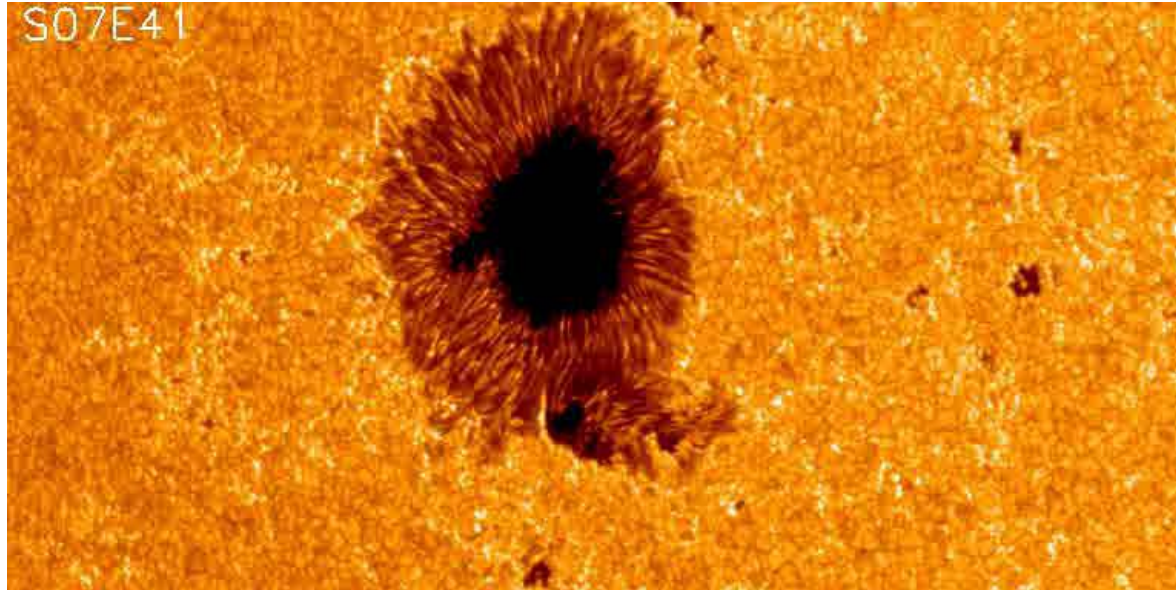


- Flare ribbons corresponds to the feet of reconnected field lines.

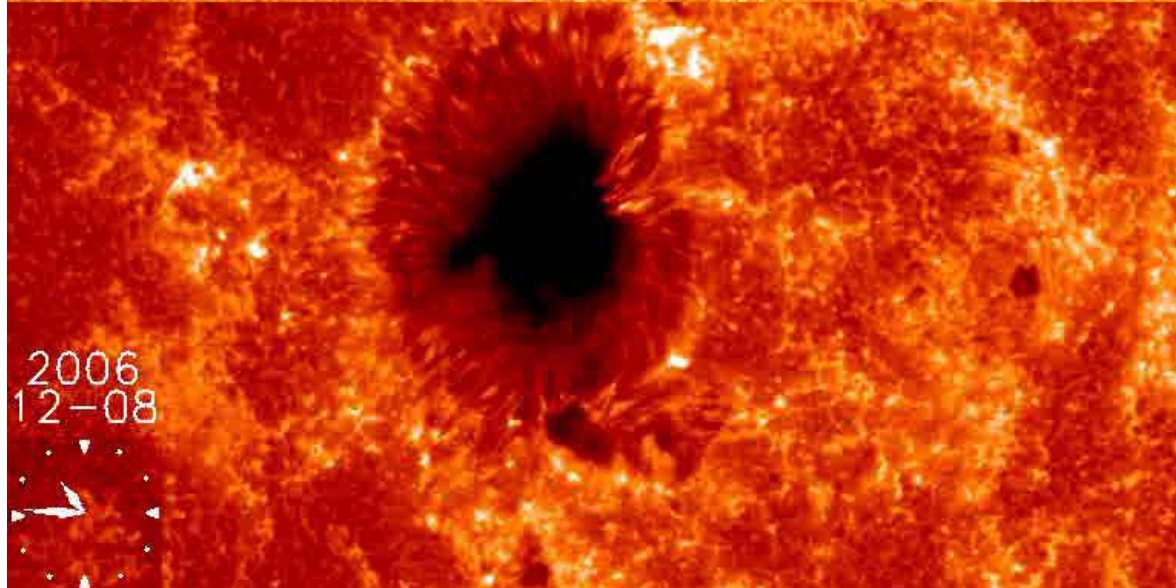


# フレア爆発のトリガ問題

いつ、どこで、なぜ、どうやって発生するか？



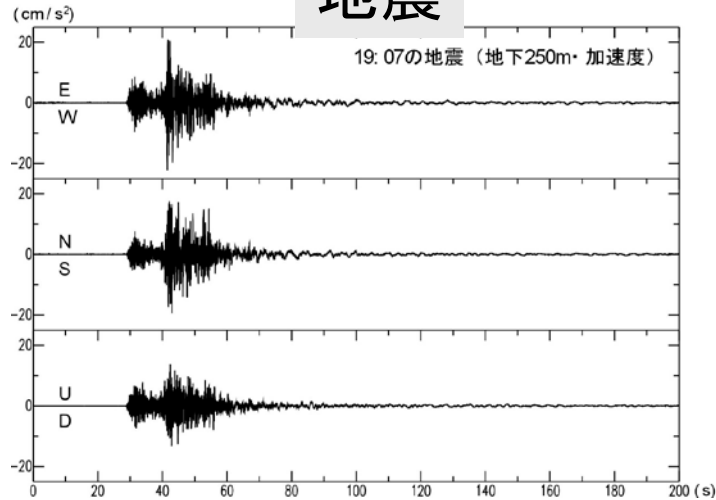
光球面



彩層

# 爆発的(突発)現象

地震



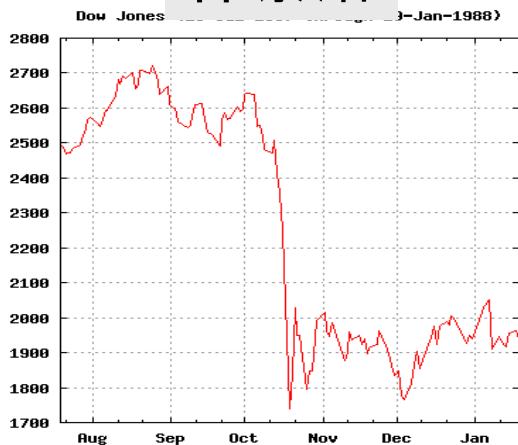
雪崩



噴火



株暴落



革命

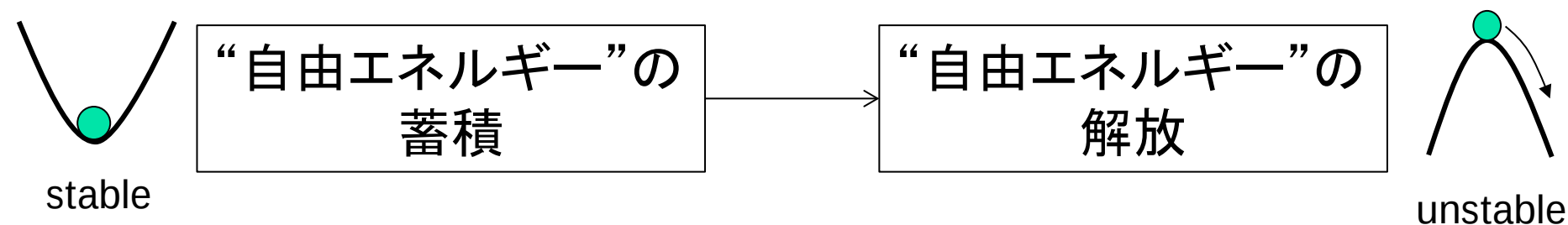


破局

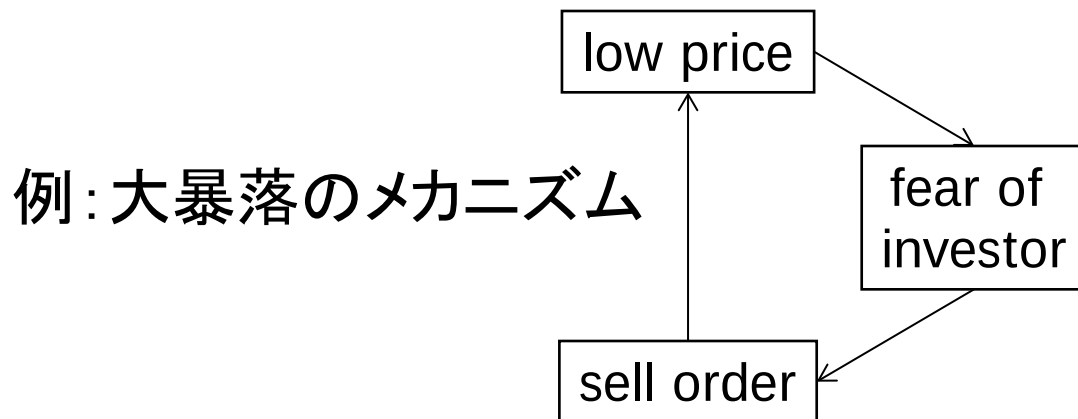


# 爆発的現象の特徴

- 「自由エネルギー」の蓄積と解放  
(storage-and-release processes)

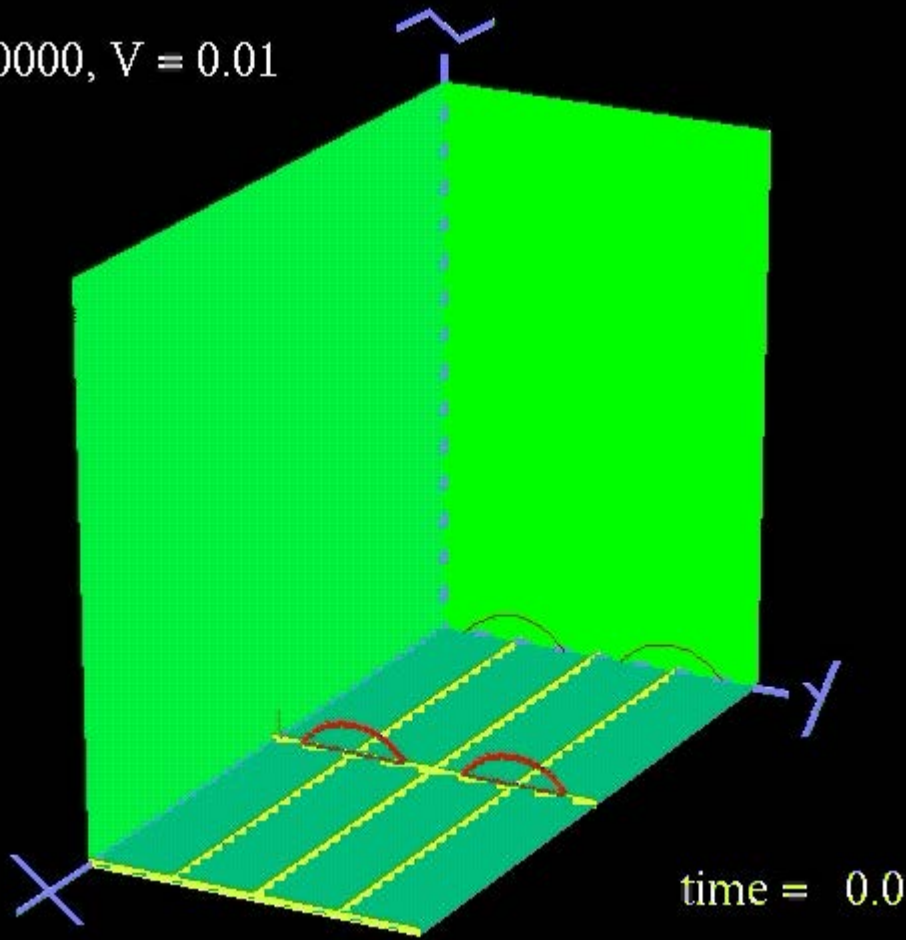


## 不安定性(フィードバック)



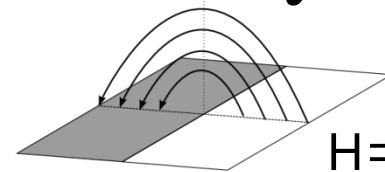
# ヘリシティの過飽和による不安定化

$S = 10000, V = 0.01$



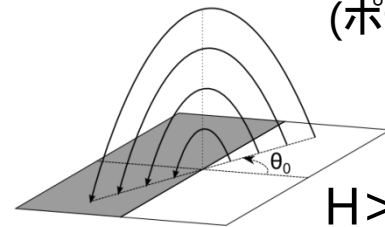
磁気ヘリシティ

$$H = \int \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} dV$$

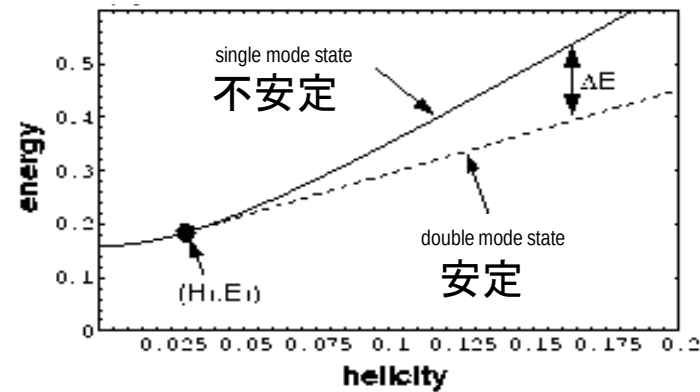


$H=0$

(ポテンシャル磁場)

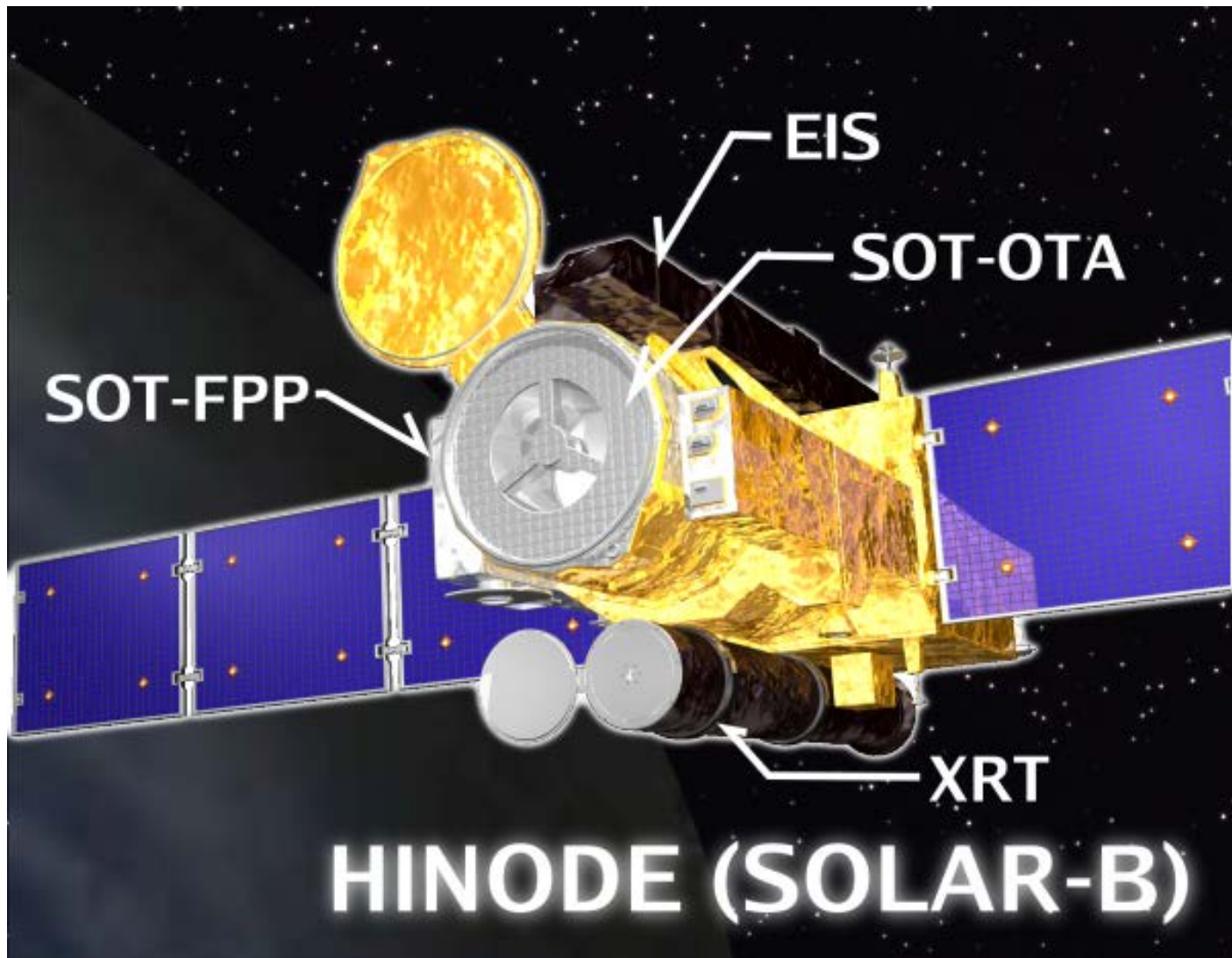


$H>0$



(Kusano et al. 1995, Kusano & Nishikawa 1996)

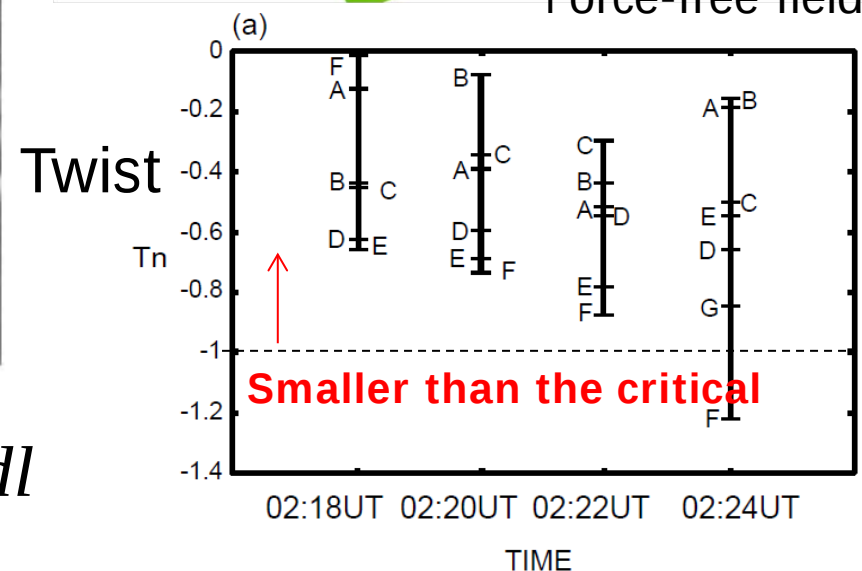
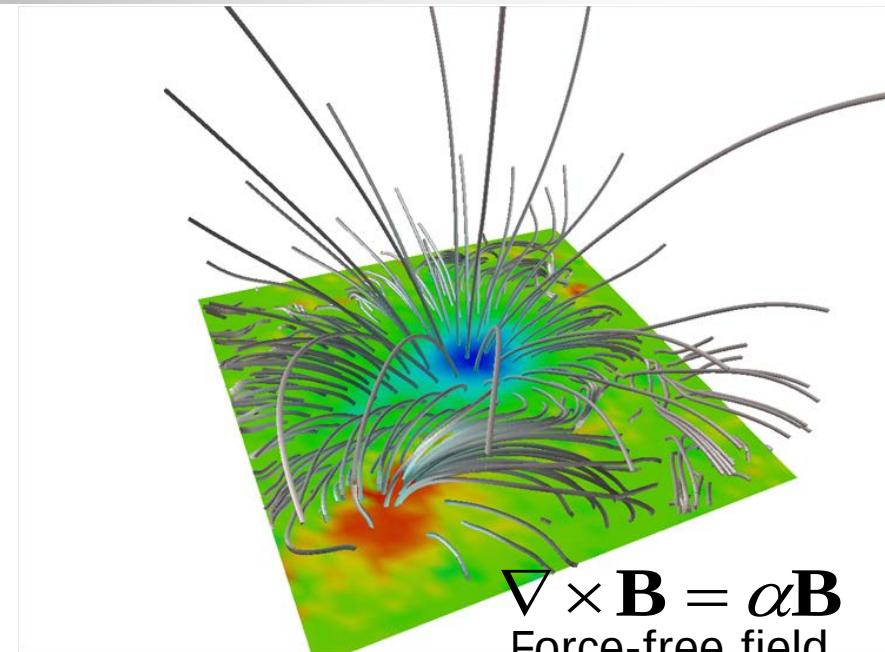
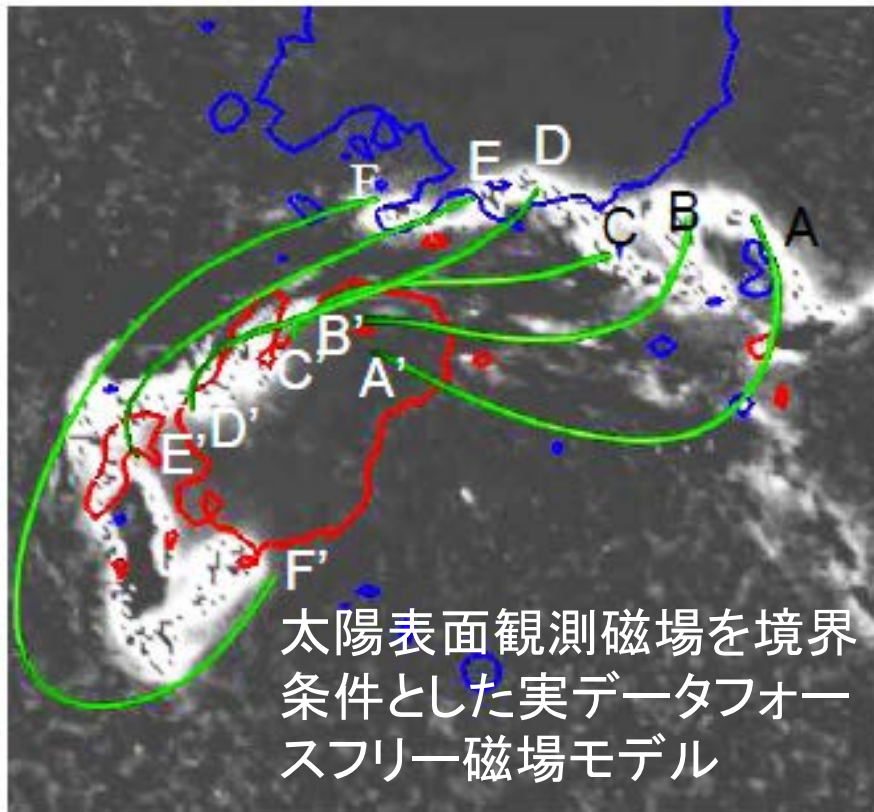
# ひので(2006～)



# Nonlinear Force-Free Field Model

Inoue, Kusano et al. ApJ 2011

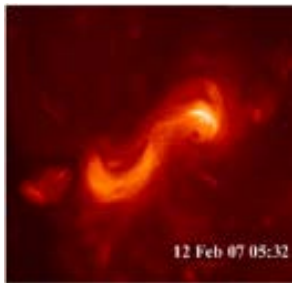
(c) 02:22 UT on Dec.13



$$T_n = (4\pi)^{-1} \int_{\text{field line}} \frac{[\nabla \times \mathbf{B}]_z}{B_z} dl$$

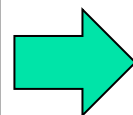
# フレア発生にとって重要な条件は？

Large-scale Component



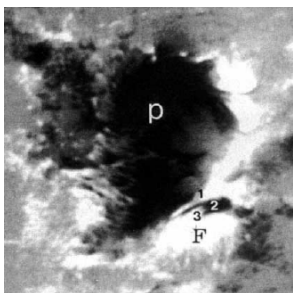
Savcheva et al. 2012

磁気シア  
(磁気ヘリシティ)



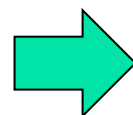
自由エネルギー

+



Zirin and Wang 1993

構造の複雑さ



不安定化(トリガ)

Small-scale Component

問題：どのような複雑構造がフレアのトリガとなるか？

# フレア発生条件として磁場構造

---

- Long PIL of strong magnetic shear (Hagyard, et al. 1984)
- sigmoidal structure (Rust & Kumar 1996; Canfield et al. 1999)
- flux rope (Forbes & Priest 1995; Torok & Kliem 2005)
- magnetic helicity injection (Kusano et al. 1995, 1996)
- double loop structure (Hanaoka 1997)
- flux cancellation (van Ballegooijen & Martens 1989)
- converging foot point motion (Inhester et al. 1992)
- narrow magnetic lanes between major sunspots (Zirin & Wang 1993)
- emerging magnetic fluxes (Heyvaerts, Priest & Rust 1977; Moore & Roumeliotis 1992; Feynman & Martin 1995; Chen & Shibata 2000)
- the sharp gradient of magnetic field (Schrijver 2007)
- reversed magnetic shear (Kusano et al. 2004)
- topological complexity (Schmieder et al. 1994)
- intermittency and multifractality (Abramenko & Yurchyshyn 2010)
- multipolar topologies (Antiochos et al. 1999)

2011/02/12 10:02

太陽面爆発のトリガとなる磁場構造は何か？

複雑すぎてデータを見ているだけでは何が重要な構造なのか分からない。人間は注目したいものしか注目しない。



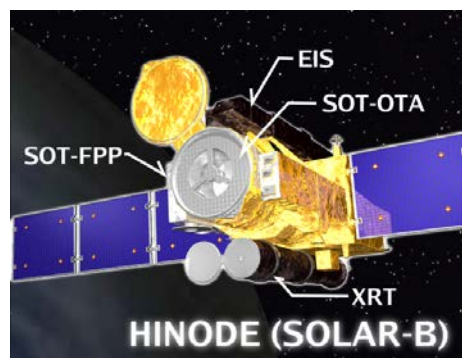
それ故、シミュレーションを利用すべき

200 400 600 800 1000 1200

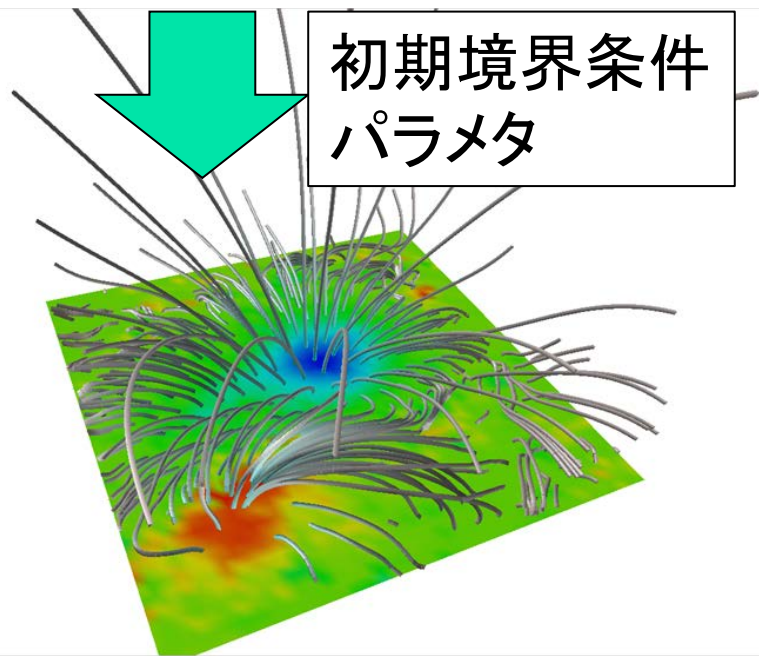
# シミュレーションによる2つの戦略

## 戦略①

### Data-driven Simulation



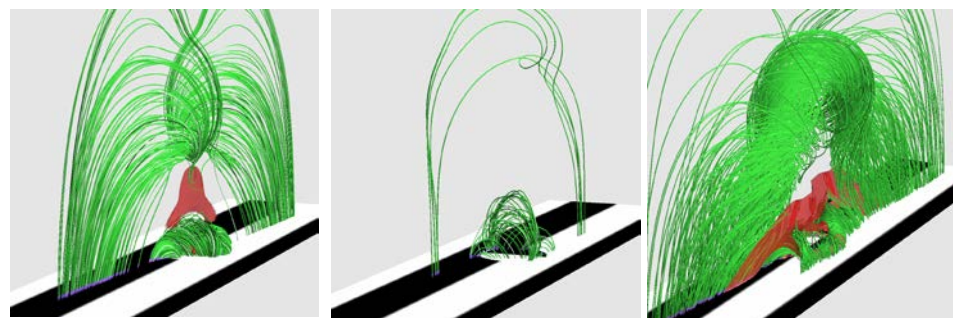
初期境界条件  
パラメタ



## 戦略②

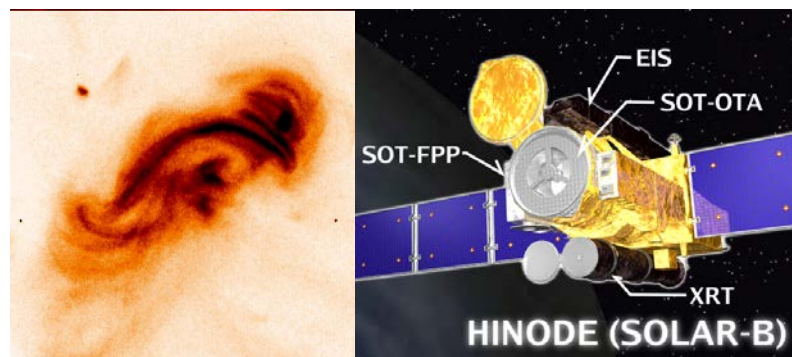
### Ensemble Simulation

様々な初期境界条件・パラメタ



仮説提示

観測による検証

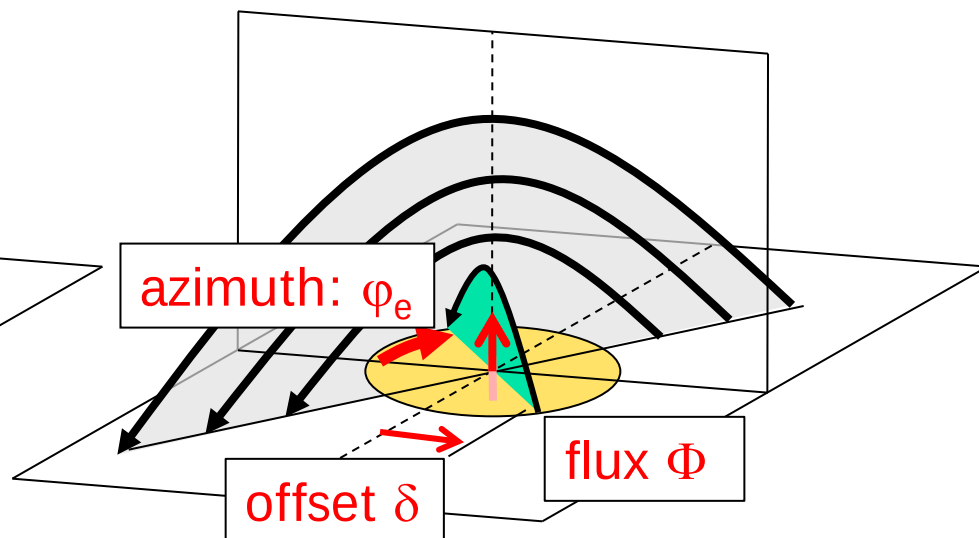
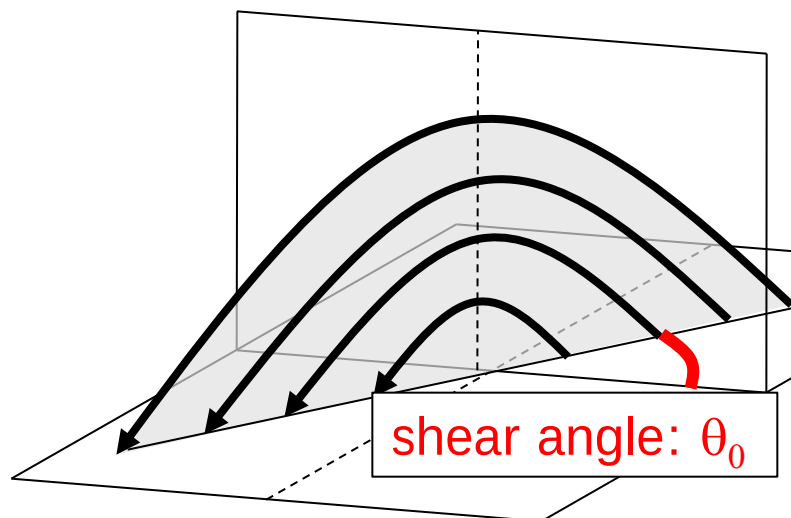


# Parameters in Ensemble Simulation

Large field  
(free energy)

&

Small field  
(trigger)



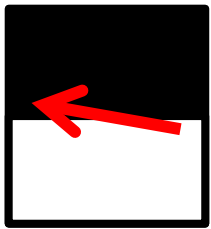
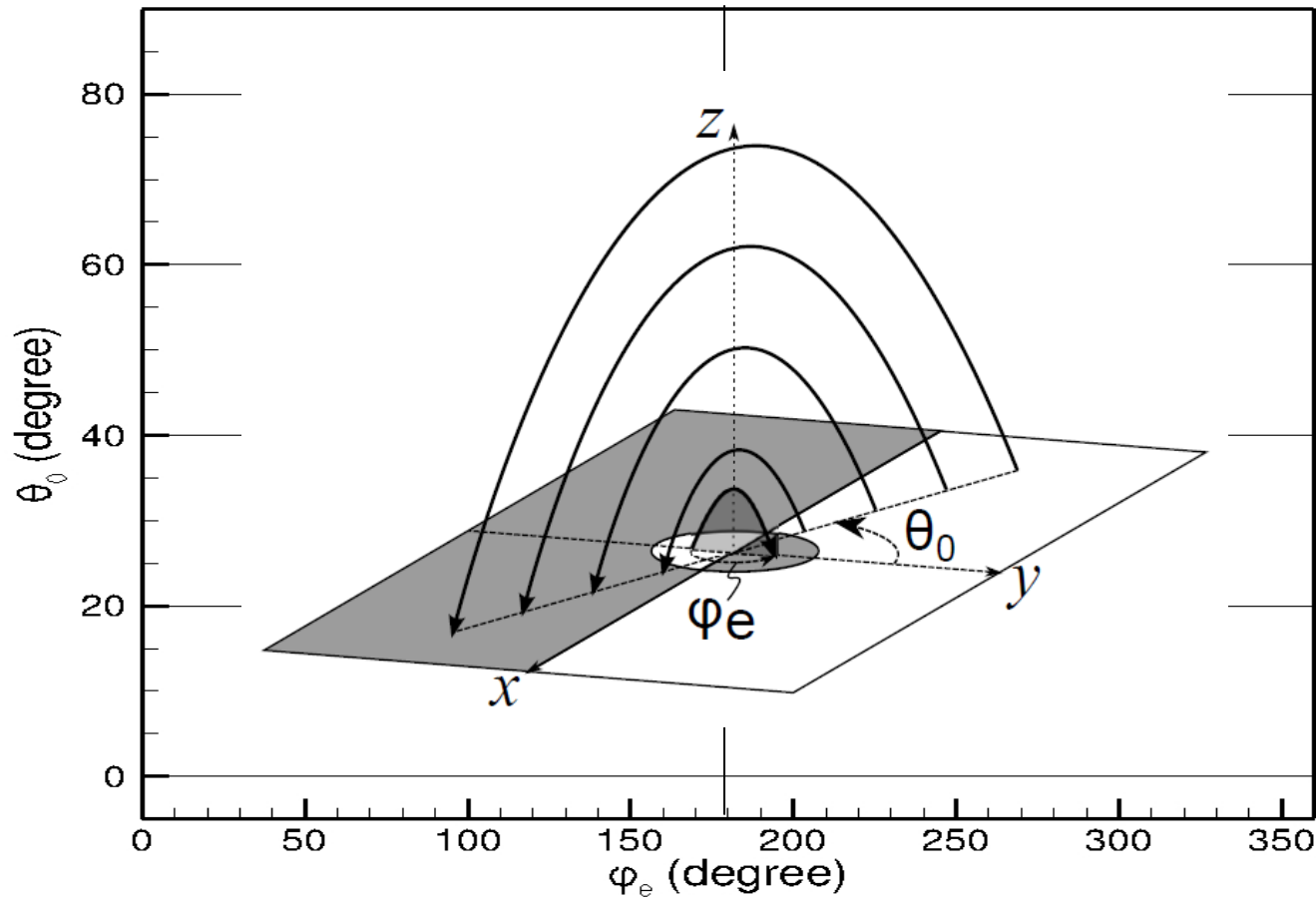
Box: Rectangle including PIL  
Initial condition: LFFF

161  
cases

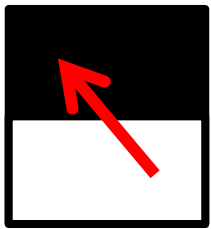
- 3D MHD
- 256x1024x512 grids
- output: 800 GB/run



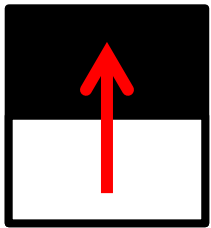
# Parameter Space: $\theta_0$ vs. $\varphi_e$



strong shear

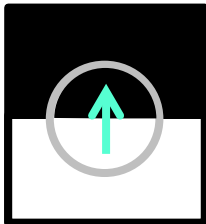


weak shear

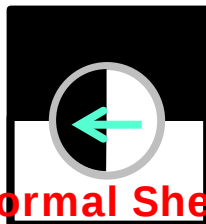


potential field

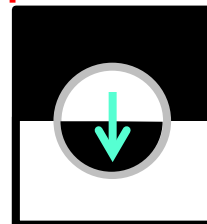
Right Polarity



Opposite Polarity

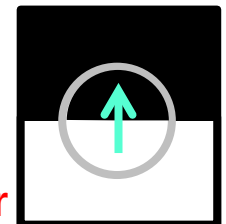
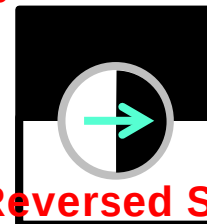


Normal Shear

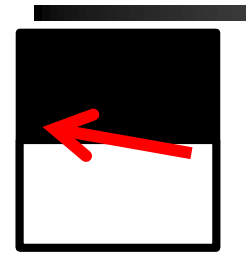
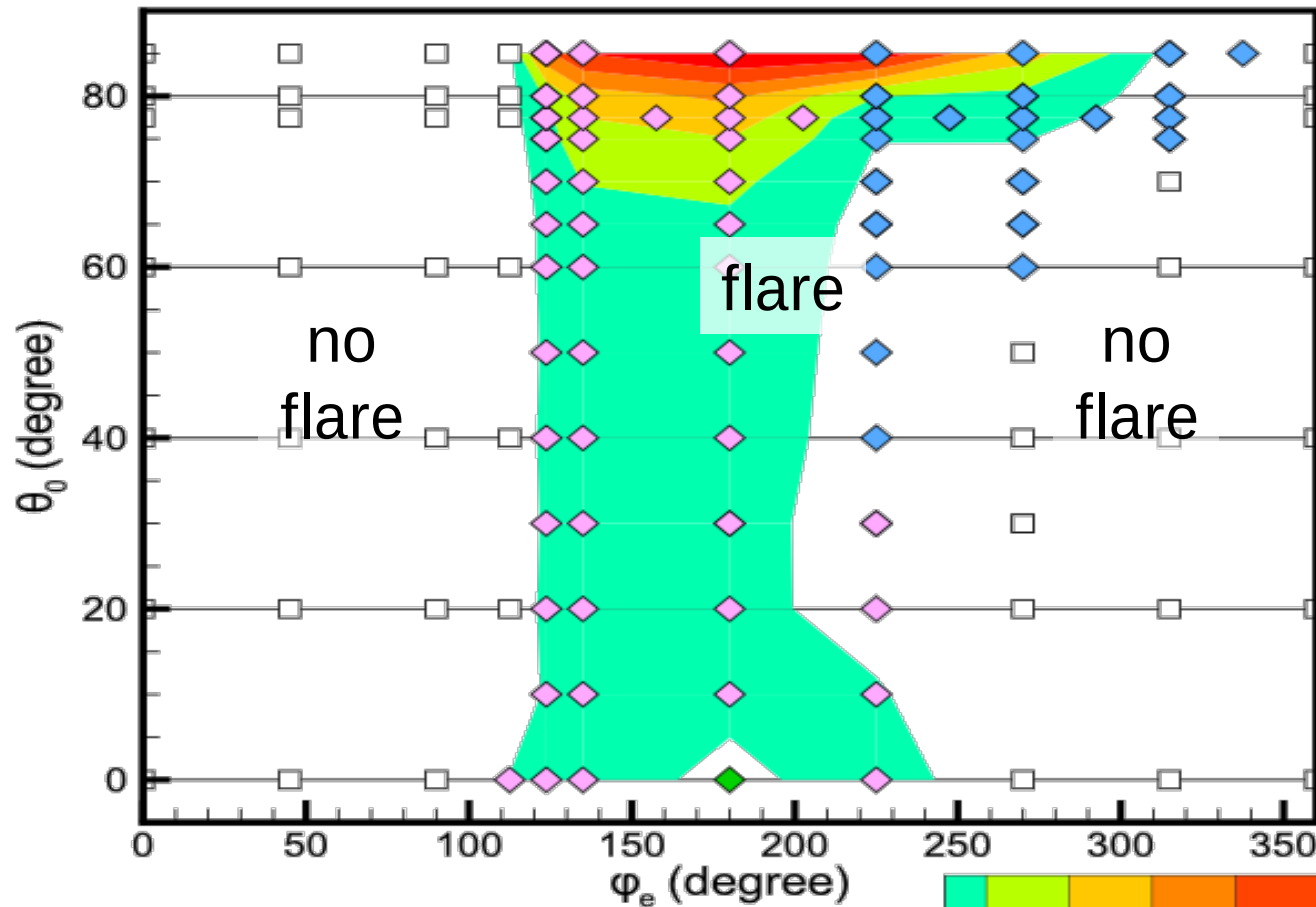


Reversed Shear

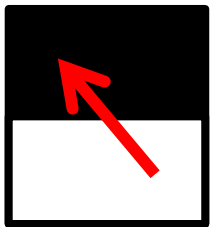
Right Polarity



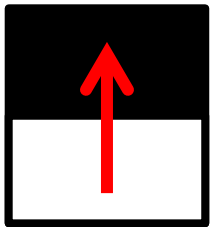
# シミュレーション結果



strong shear

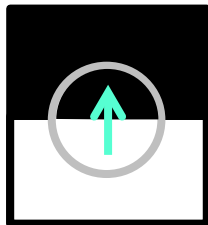


weak shear



potential field

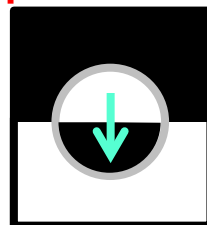
Right Polarity



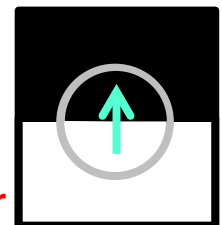
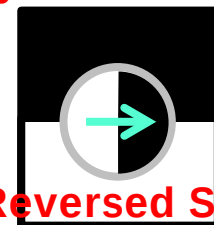
Opposite Polarity



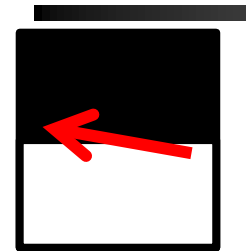
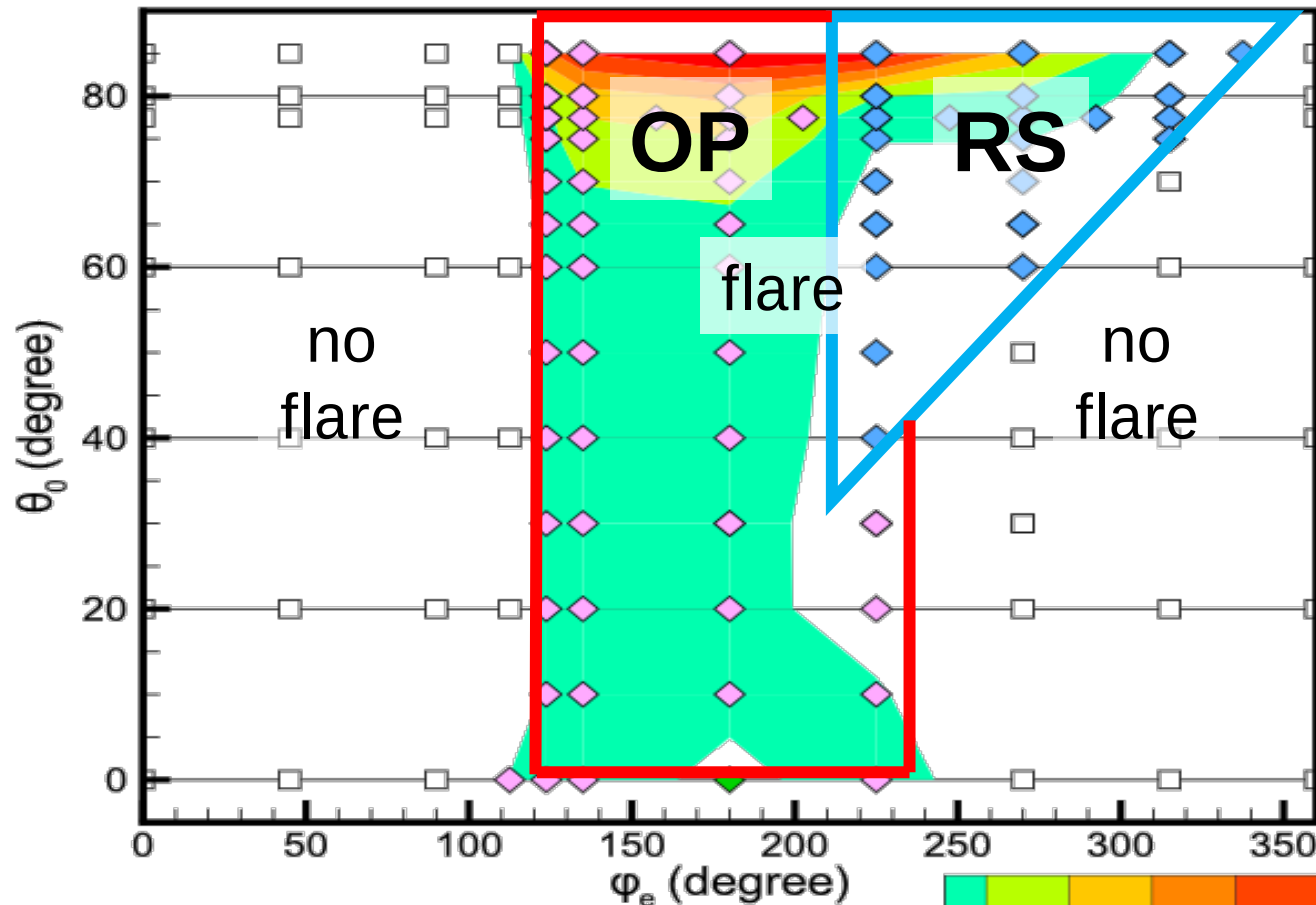
Normal Shear



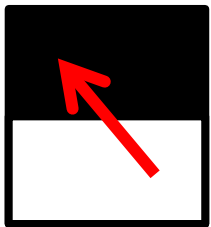
Reversed Shear



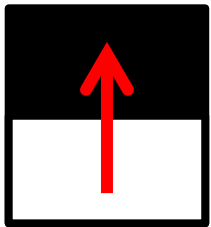
# Flare Phase Diagram



strong shear

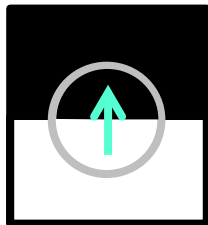


weak shear



potential field

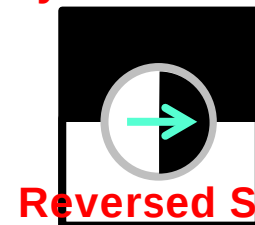
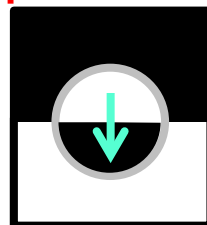
Right Polarity



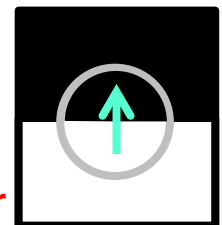
Opposite Polarity



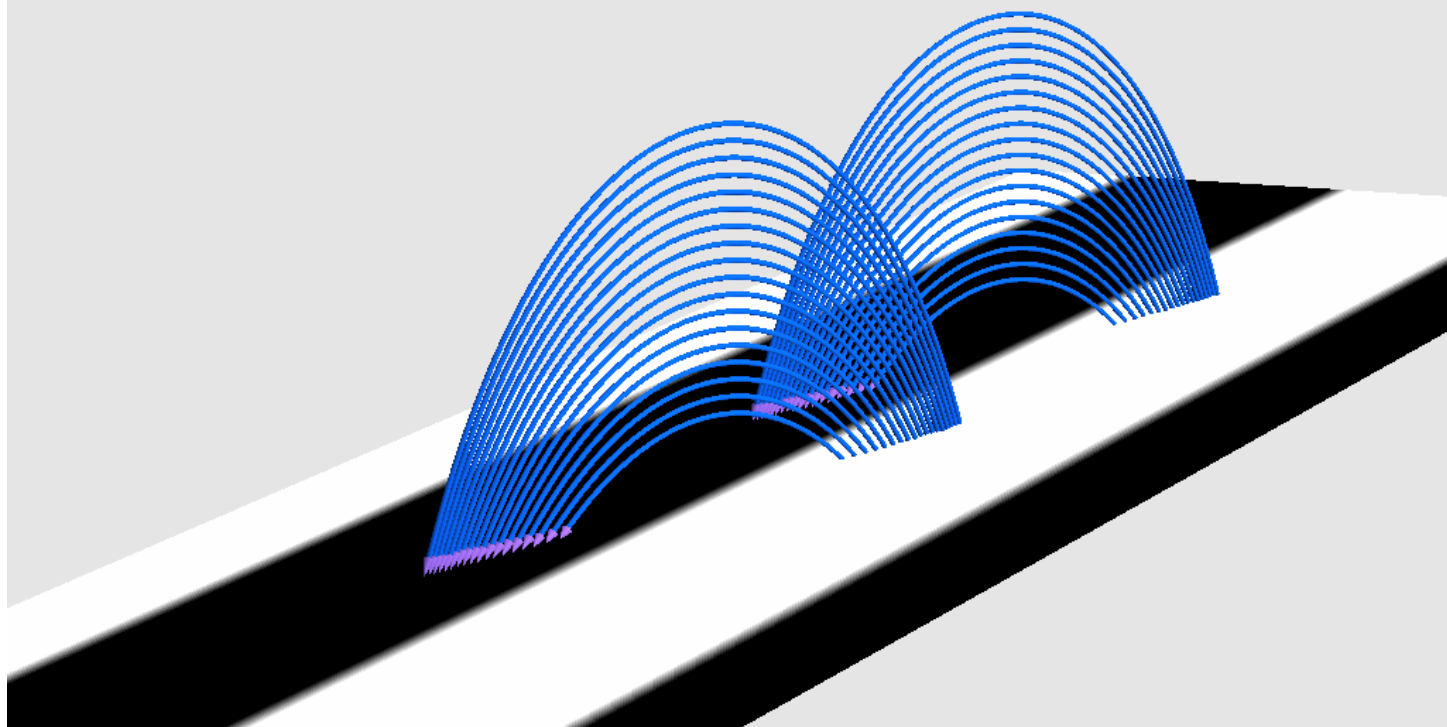
Normal Shear



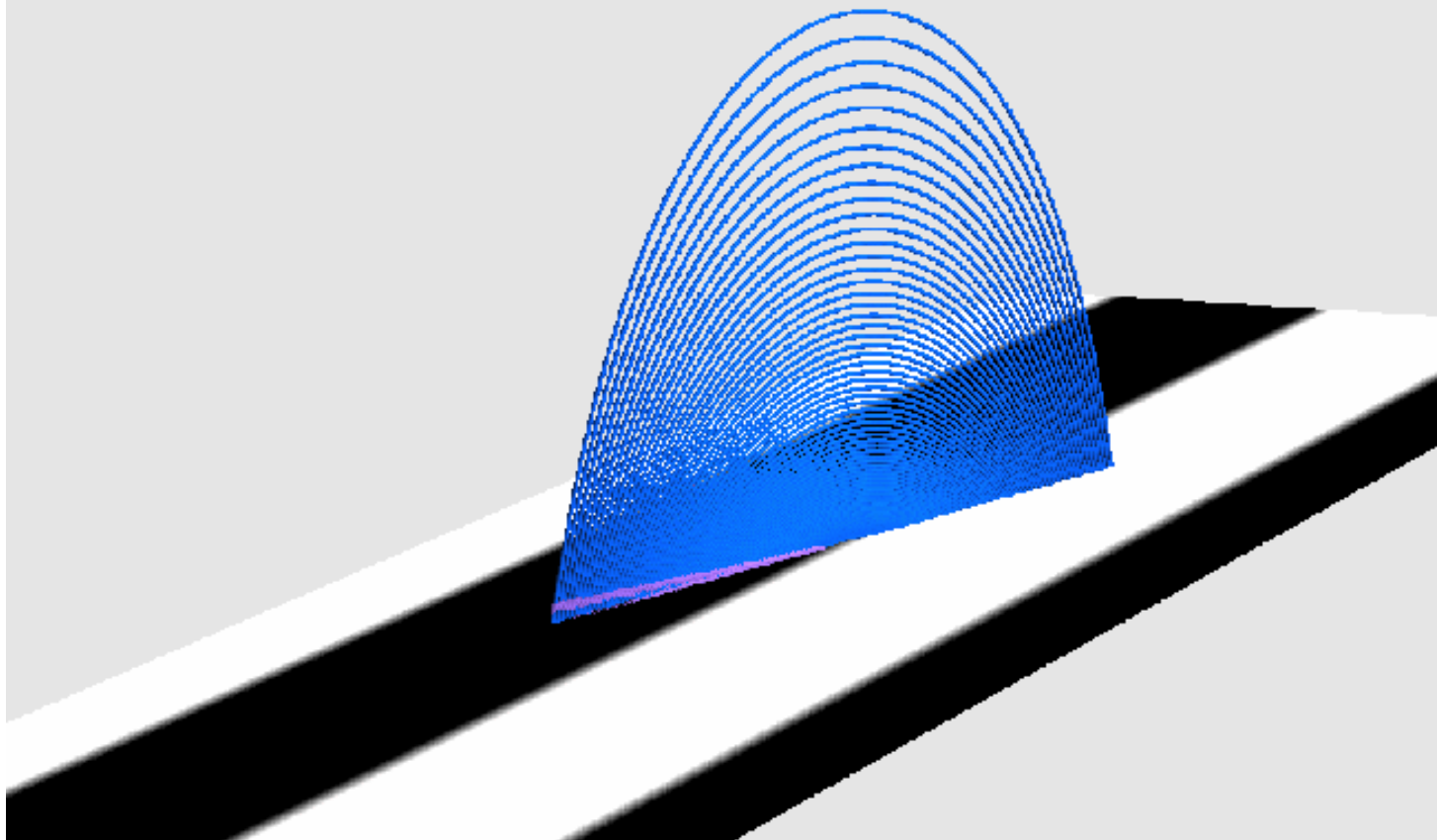
Reversed Shear



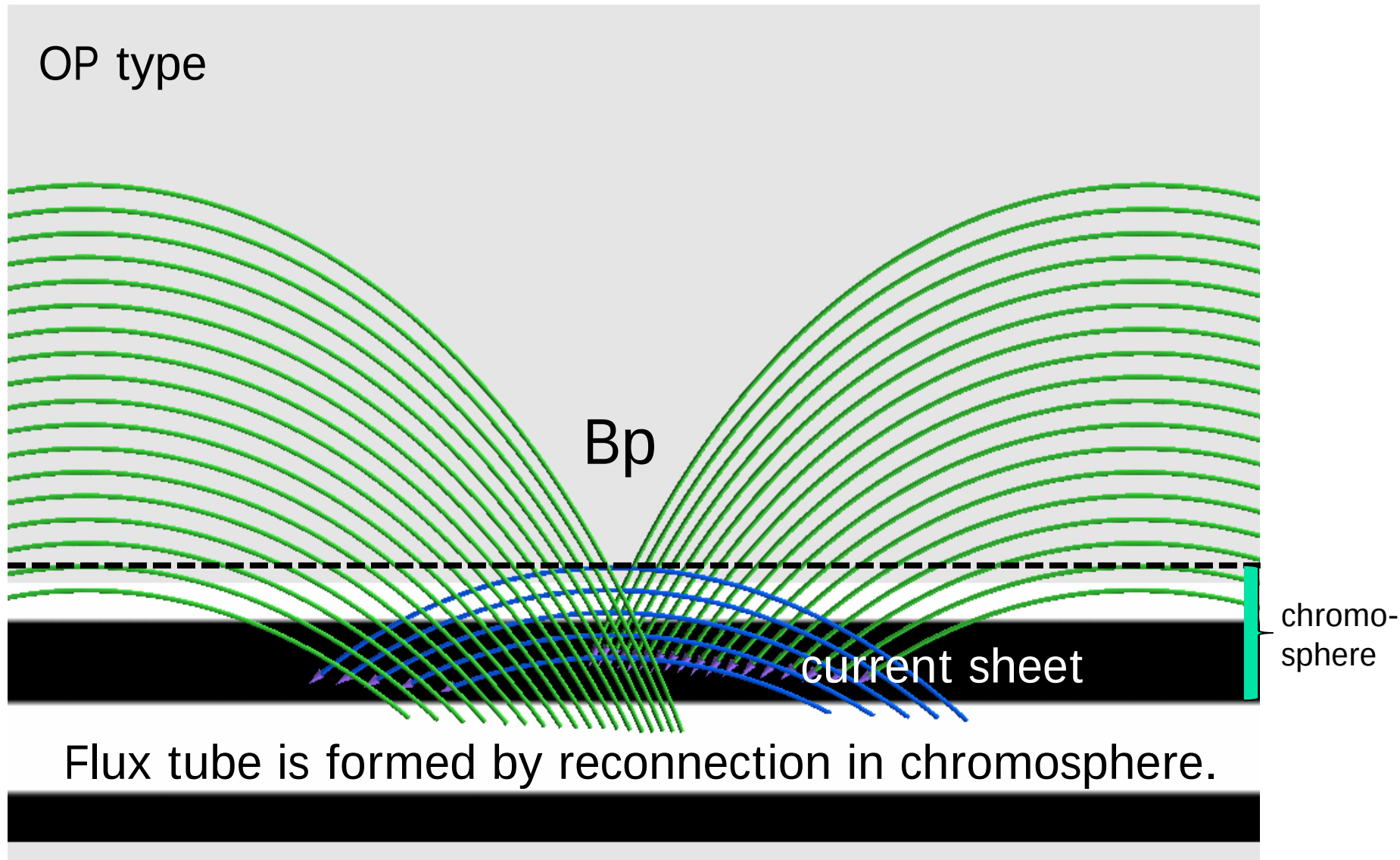
# 反極性型 (OP-type)



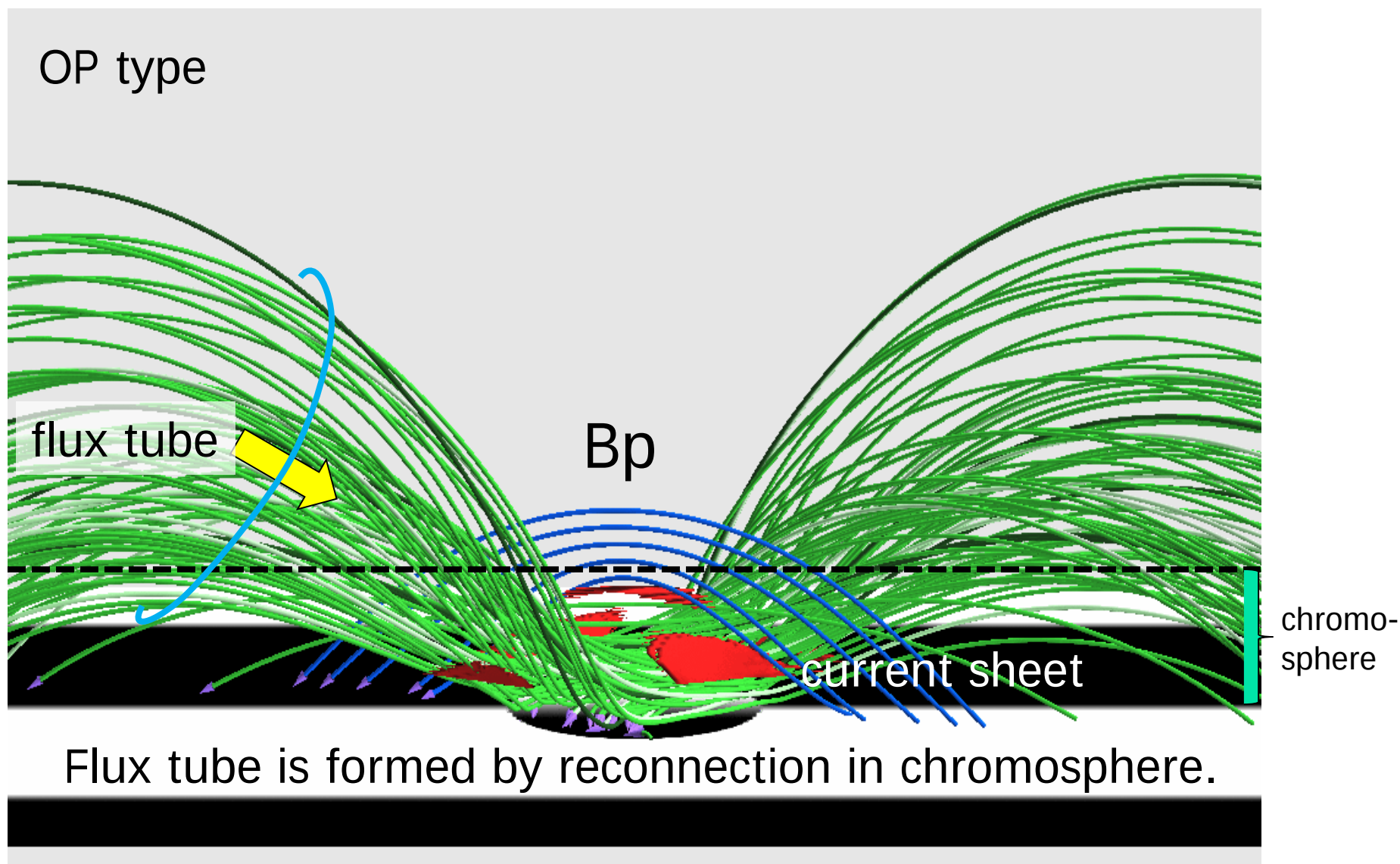
# 逆磁場型 (RS-type)



# Magnetic structure just prior to flare



# Magnetic structure just prior to flare



$$F = r_c |^2 - B_p |$$

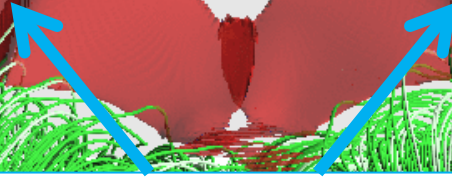
トーラス不安定性  
Ideal MHD



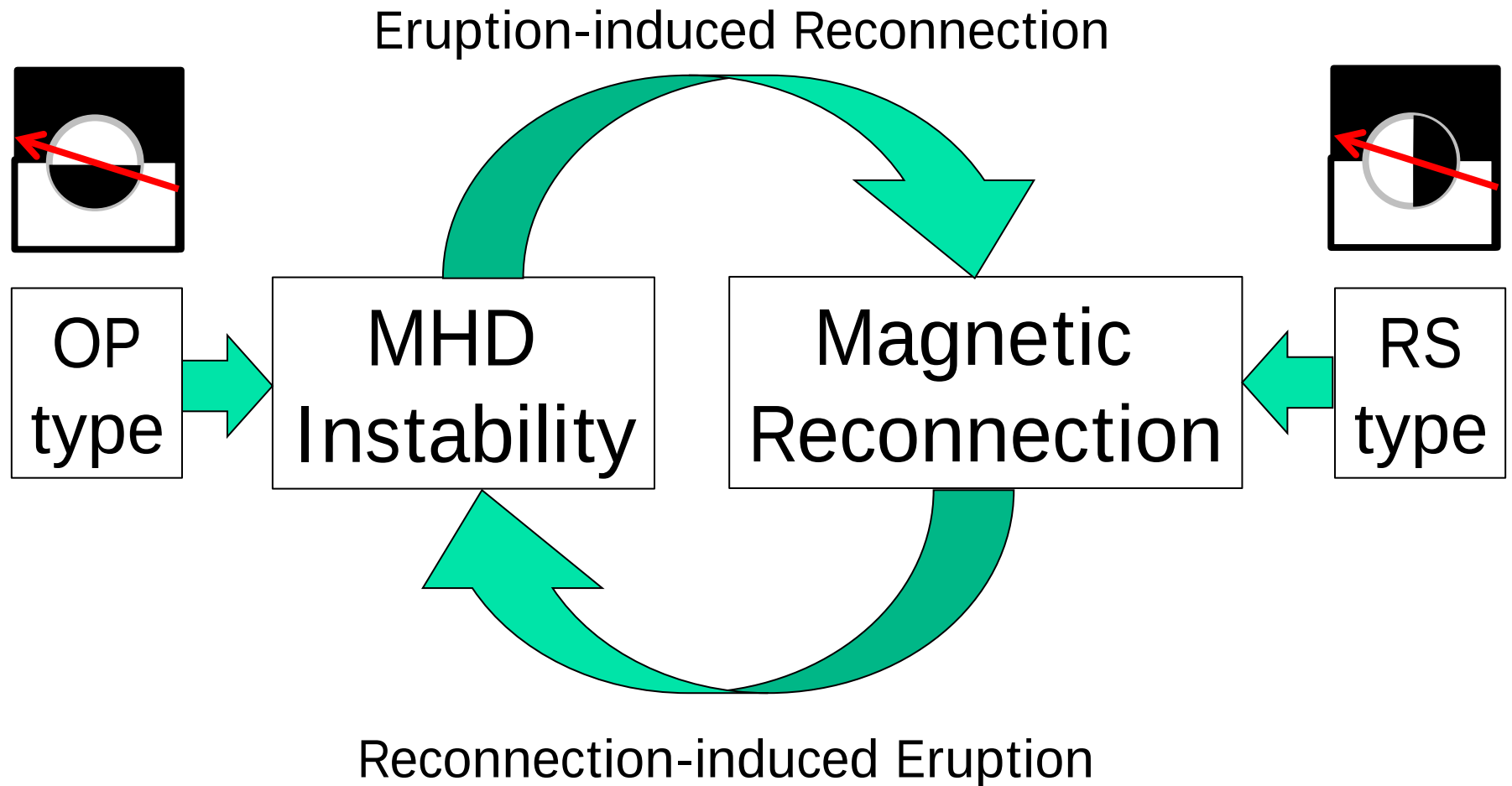
電流 I



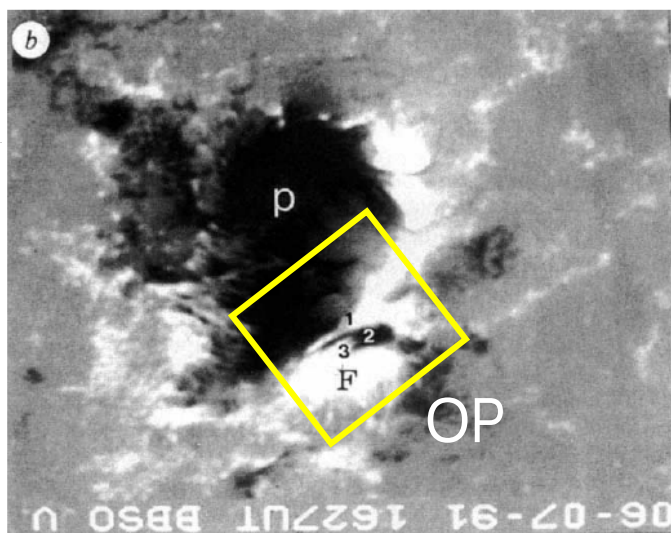
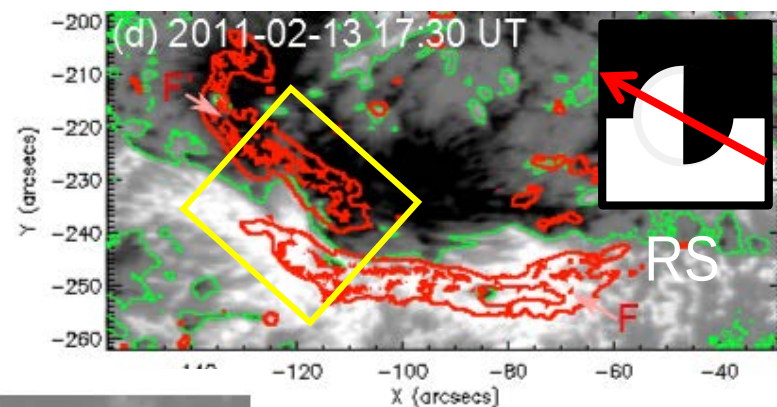
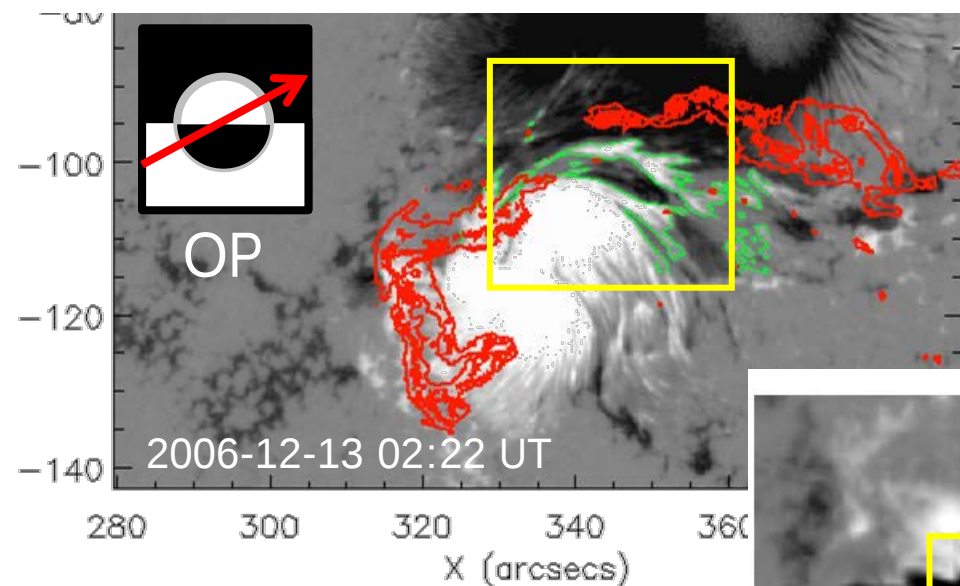
リコネクション



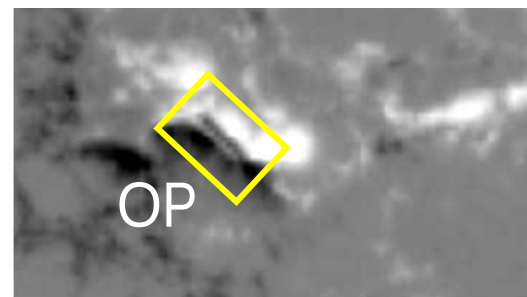
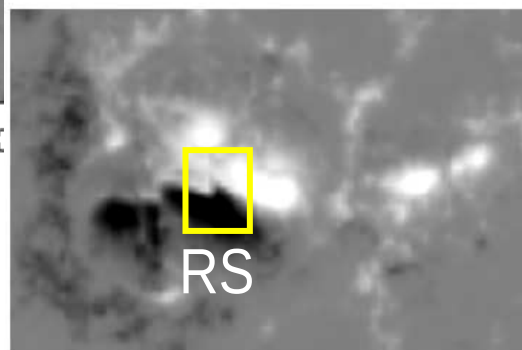
# 2つのフレアトリガ・シナリオ



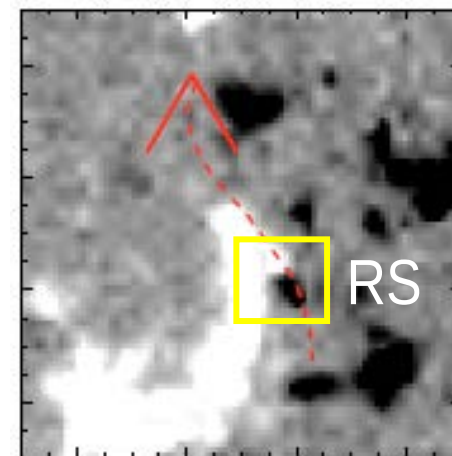
# 觀測的檢証



Zirin and Wang 1993



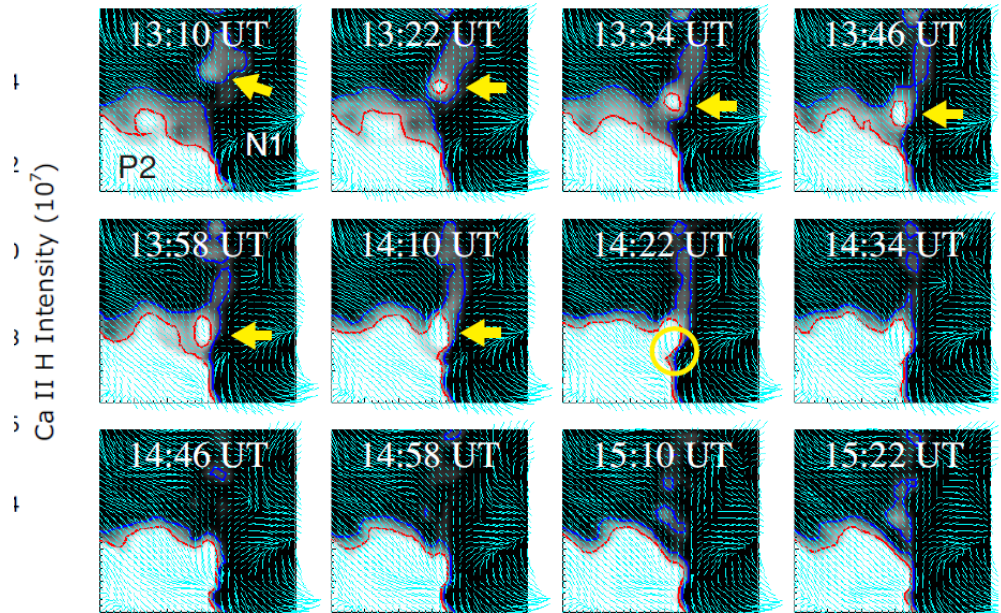
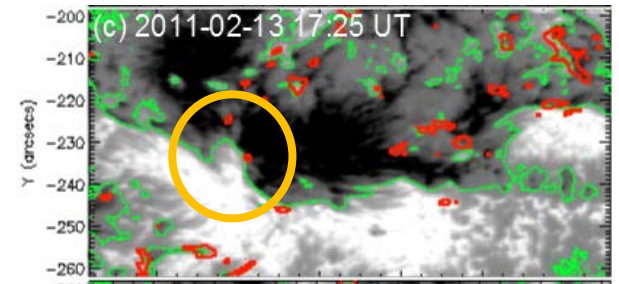
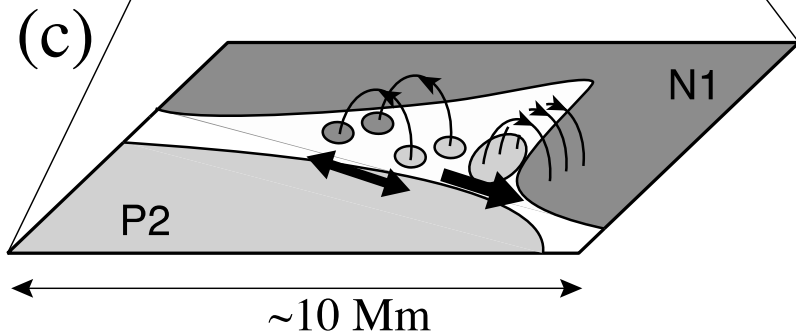
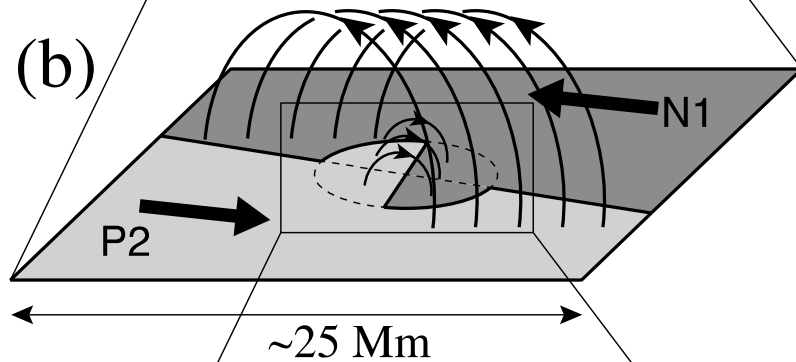
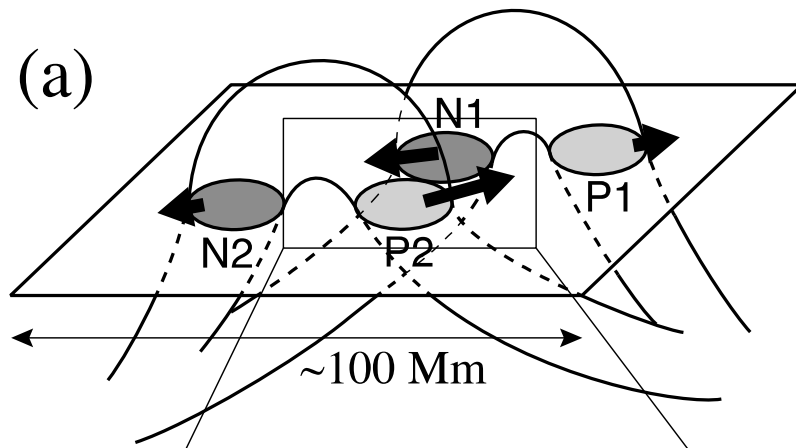
Kurokawa, Wang & Ishii 2002



Green, Kliem & Wallace 2011

# の形成過程

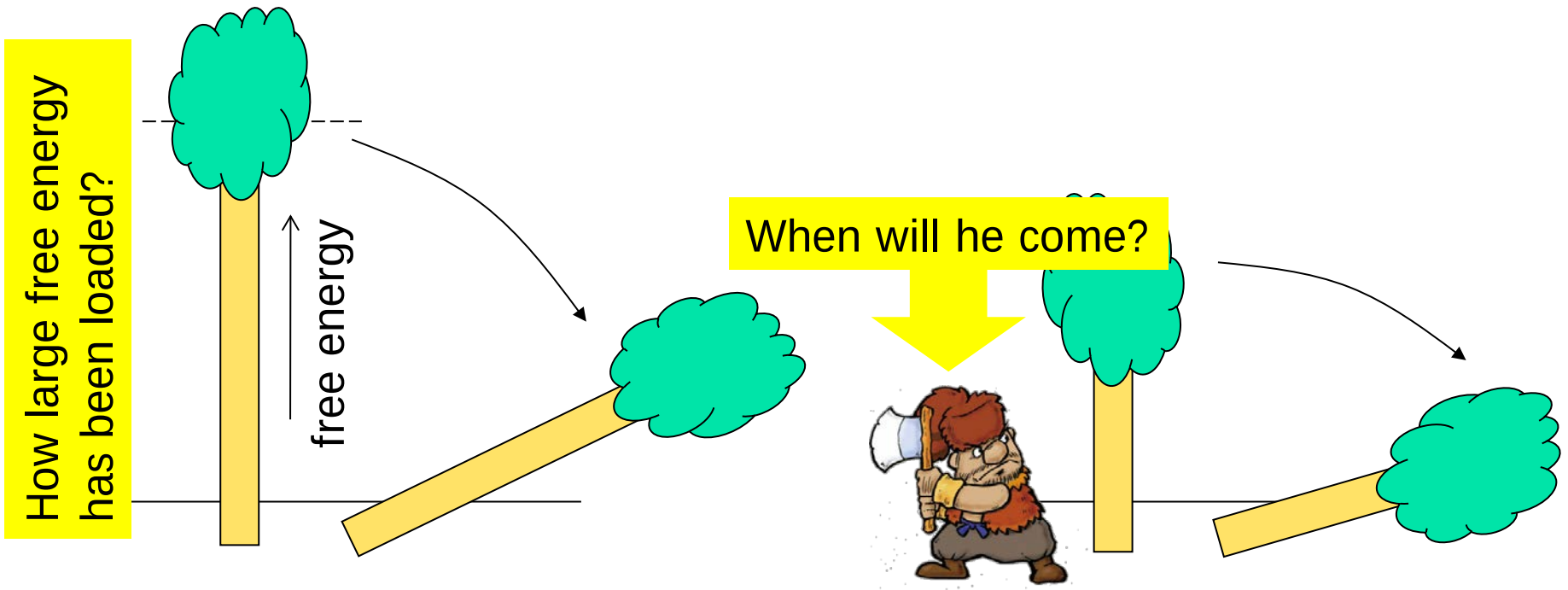
Toriumi, Iida et al  
2013 (in press)



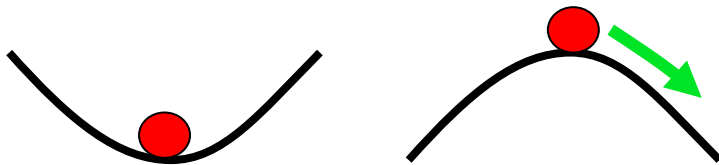
# 非線形不安定性の分岐遷移

## Critical Phenomena

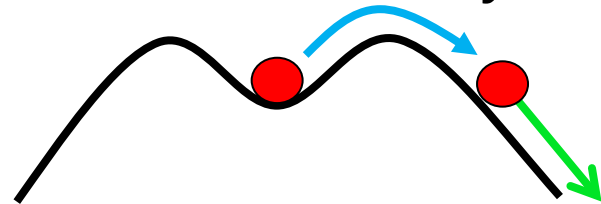
## Triggered Phenomena



## Linear instability



## Nonlinear instability



# まとめ

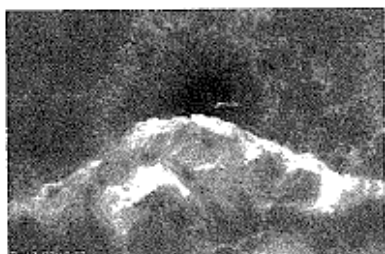
---

- 太陽フレアは大きなスケール(数10Mm以上)におけるエネルギー蓄積と小さなスケール(数Mm以下)の擾乱の相互作用によって発生する非線形不安定化現象である。
- 逆極性(OP)型磁場と逆シア型(RS)型磁場は、効果的なフレアトリガとして働く。
- それゆえ、大きなスケールと小さなスケール双方の磁場観測によって、フレア発生予測は原理的に可能である。

# News: Solar Flares are Predictable!

朝日新聞 2012年11月3日

## 太陽フレア 発生条件解明



2006年12月、太陽観測衛星がとらえた太陽フレア＝国立天文台、JAXA提供

太陽表面の爆発（フレア）は、どんな時に起こるのか。その発生条件を、名古屋大と東大、京大の研究チームがつきとめた。フレアで噴き出した大量の荷電粒子が地球に届けば、世界規模の停電や通信障害が起こりかねない。チームでは数

年以内に「フレア予測」の実用化を目指す。

太陽フレアは、太陽の表面で起る爆発現象で、水素爆弾100万個にも匹敵するエネルギーを一瞬で放出する。太陽の黒点から出ると考えられていたが、詳しいメカニズムはわかっていなかった。

研究チームは、二つの黒点をつなぐ磁力線をねじり合わせるシミュレーションを繰り返して、爆発が起きるパターンを解析。二つの黒点の境界部分にねじれを打ち消す方向の磁力線を出す「ミニ磁場」が現れると、爆発することを突き止めた。

2006年と11年に実験

## 数年内に「予報」できるかも

に起きた大規模フレアの観測データを改めて解析したところ、「ミニ磁場」が現れた数時間後に爆発が起きていたことも分かった。

大規模な太陽フレアは地球に磁気嵐を引き起こす。人工衛星や地上のあらゆる通信機器が故障し、飛行機の乗客が被曝する恐れもある。80年のフレアでは、磁気嵐によってカナダで大規模な停電が起きた。

草野完也・名大教授は「数年内に数時間後に起こる太陽フレアを予測できるようにして、磁気嵐の被害を減らしたい」と話した。

この研究成果は、米天文誌アストロフィジカルジャーナル電子版に発表された。

NATIONAL GEOGRAPHIC

Inspiring People to Care About the Planet

検索

powered by Yahoo! JAPAN

トップ > ニュース > 科学 & 宇宙 > 太陽フレアの予測が可能に

トップ

ニュース

写真

NEW

動画

宇宙

動物

環境と自然

国と人

太古の世界

地球

クイズ・投票

キッズ

人気コンテンツ

おすすめトピックス

フォトギャラリー

今日の写真

パズル

壁紙



## ナショナルジオグラフィック ニュース

ニューストップ | 動物 | 古代の世界 | 環境 | 文化 | 科学 & 宇宙 | 風変わりニュース

## 太陽フレアの予測が可能に

ツイート

+

B!

n

SN

チェック

いいね!

144

+1

6

サイエンスポータル  
November 7, 2012

印刷用ページ

友人に教える

地球規模での大停電や電波障害などの影響を及ぼす太陽表面の爆発現象「太陽フレア」は、前兆として2種類の特殊な磁場構造が出現し、その数時間後に発生することが分かった。名古屋大学太陽地球環境研究所

の草野完也教授を中心とする東京大学、京都大学の研究チームが、スーパーコンピュータを使った数値実験や人工衛星の観測データの解析によって発生のメカニズムをつかんだもので、フレア発生の予測など、正確な宇宙天気予報の実現にも貢献が期待される。

太陽フレアの発生は、黒点の周辺に蓄積された磁場エネルギーの一部が、太陽コロナのプラズマエネルギーとして突発的に解放される現象として考えられているが、詳しいメカニズムは解明されていない。そのため、太陽・・・

記事全文 >

この記事は サイエンスポータル で配信された記事の転載です。

# 予測と近代科学

## ■ ハレー彗星



Wikipediaより

- 1682年に出現した彗星の観測データとニュートン力学から、この彗星が76年の周期を持つ楕円軌道を持つと結論（プリンキピア出版は1687年）
- 過去の記録から、1531年、1607年に出現した彗星が同一のものと推測
- 次回の回帰が1758年であると予測。
- 1758年12月25日、予測通り彗星が出現。



エドモンド・ハレー（1656年10月29日 - 1742年1月14日）