

理系大学生のための
太陽研究最前線体験ツアー
2013年8月6日

宇宙天気と宇宙気候 太陽活動を予測する

名古屋大学太陽地球環境研究所
名古屋大学理学研究科素粒子宇宙物理学専攻
太陽宇宙環境物理学(SST)研究室

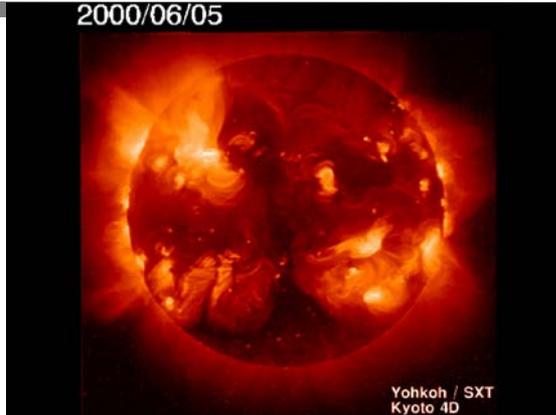
草野完也



包括的な太陽圏システムの研究

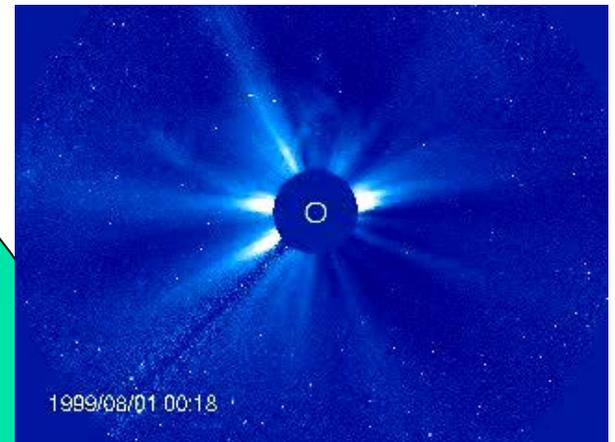
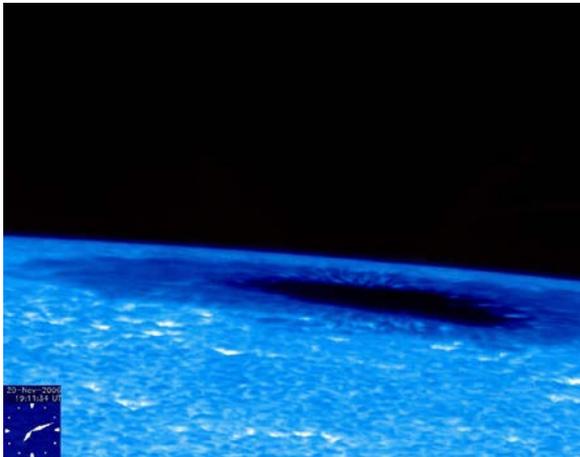
①宇宙天気研究
短期的な宇宙環境変動
数分～数十日

2000/06/05

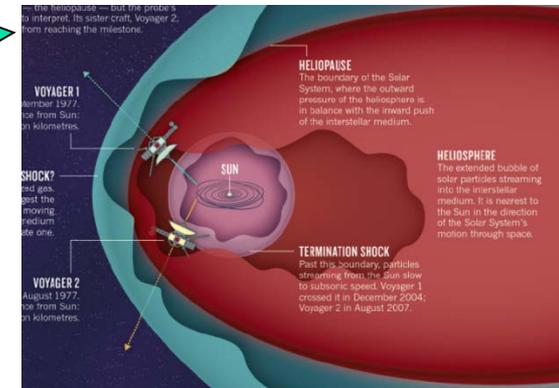
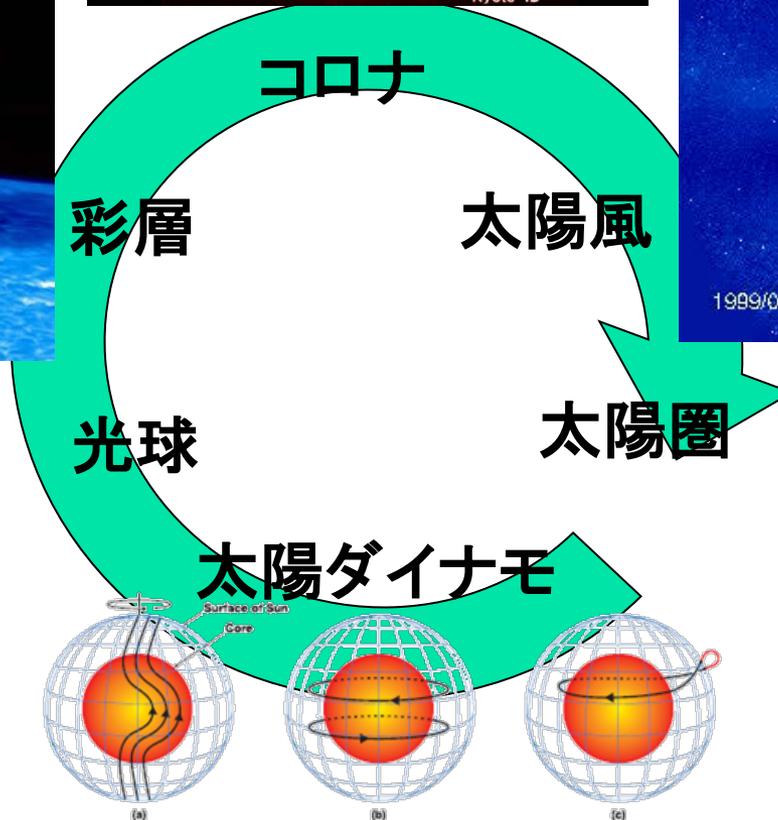


Yohkoh / SXT
Kyoto 4D

②宇宙気候研究
長期的な宇宙環境変動
数か月～数十億年



1999/08/01 00:18



2013/8/15

宇宙天気と宇宙気候

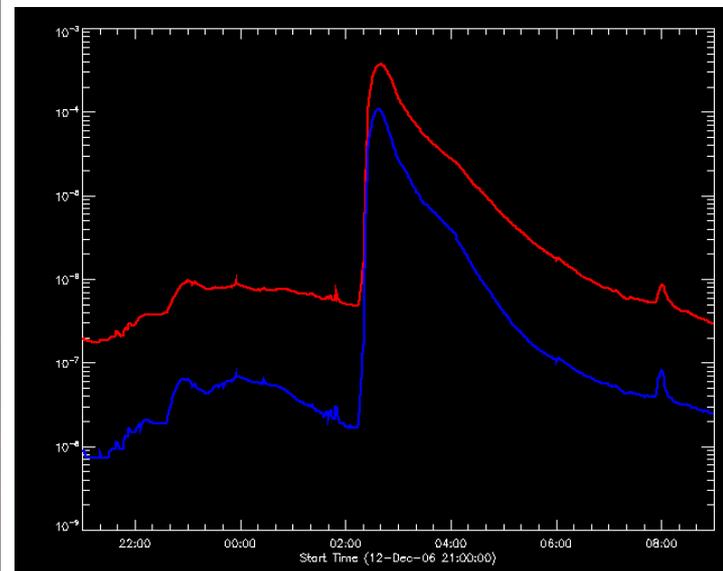
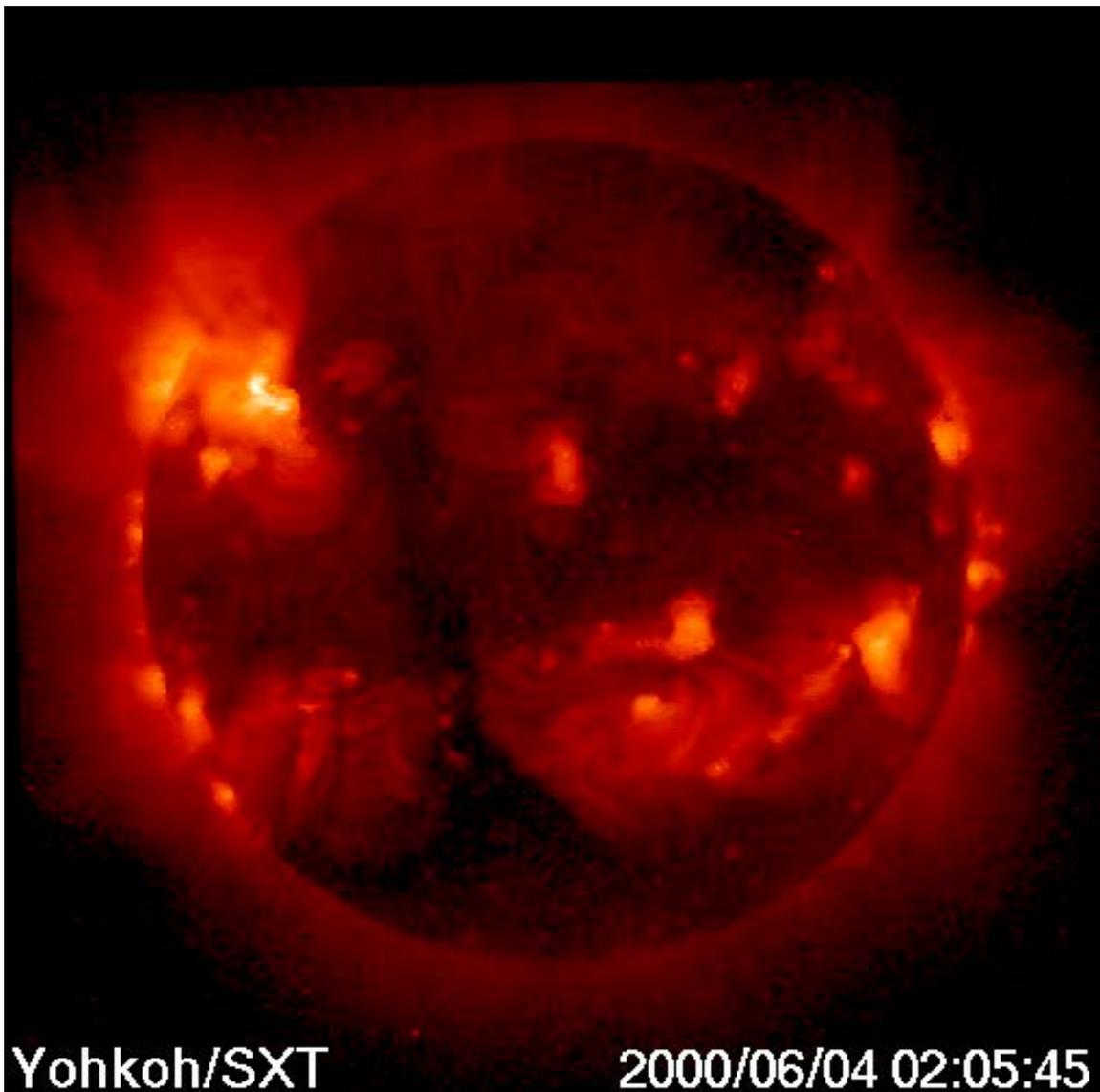
■ 宇宙天気 (Space Weather)

- 短期的な太陽活動(特に、フレア及びコロナ質量放出)に伴って発生する地球と地球周辺宇宙空間の環境変動
- オーロラ嵐、磁気嵐、デリンジャー現象、プロトンイベントなど

■ 宇宙気候 (Space Climate)

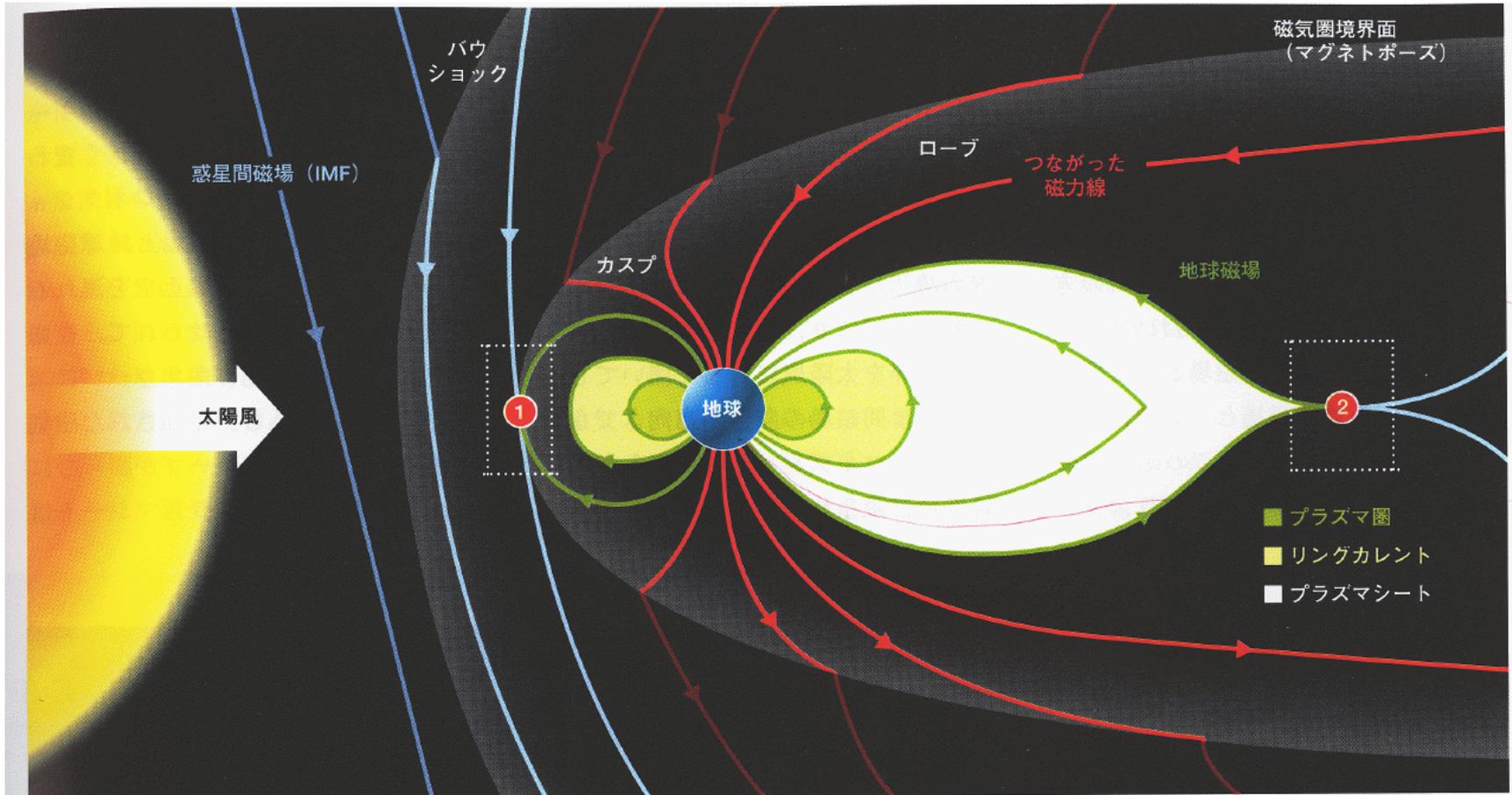
- 長期的な太陽活動の変化(黒点周期やその変動)に伴って発生する地球と地球周辺宇宙空間の環境変動
- 気候変動、大気成分変化、大気散逸など

太陽フレア



フレアの際の
soft X-ray流束の時間変化

太陽地球結合系



磁気圏の擾乱 太陽風に運ばれてきた惑星間磁場 (IMF) が南向きになると磁気圏の擾乱 (じょうらん) が起こる。磁気リコネクション (訳者ノート3) と呼ぶ過程で、惑星間磁場の磁力線は地球の昼側で北向きの地球磁場

とつながる (1)。太陽風のエネルギーと粒子は磁気圏に侵入し、南北ローブを拡大しプラズマシートを薄くする。その時、地球磁場の磁力線はそれ自体の間でリコネクションを起こし (2)、イオンと電子を地球方向に加速する。



<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Po>

太陽嵐の影響 (宇宙天気擾乱)

オーロラ



ケベック州大停電 (1989)

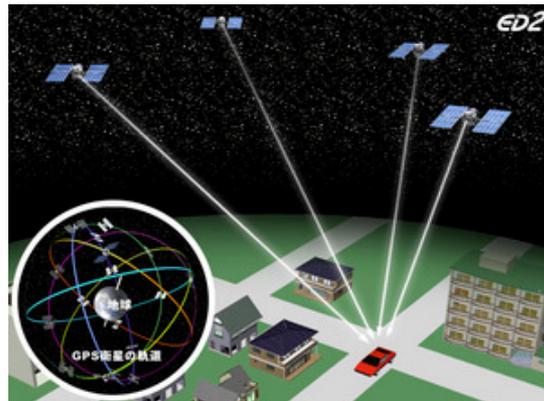
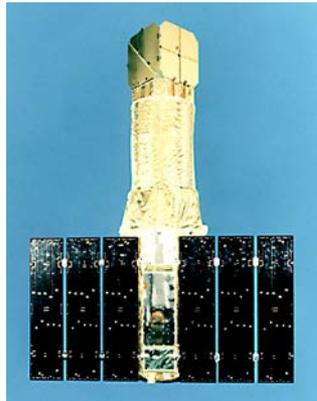


PJM Public Service
Step Up Transformer

Severe internal damage caused by
the space storm of 13 March, 1989

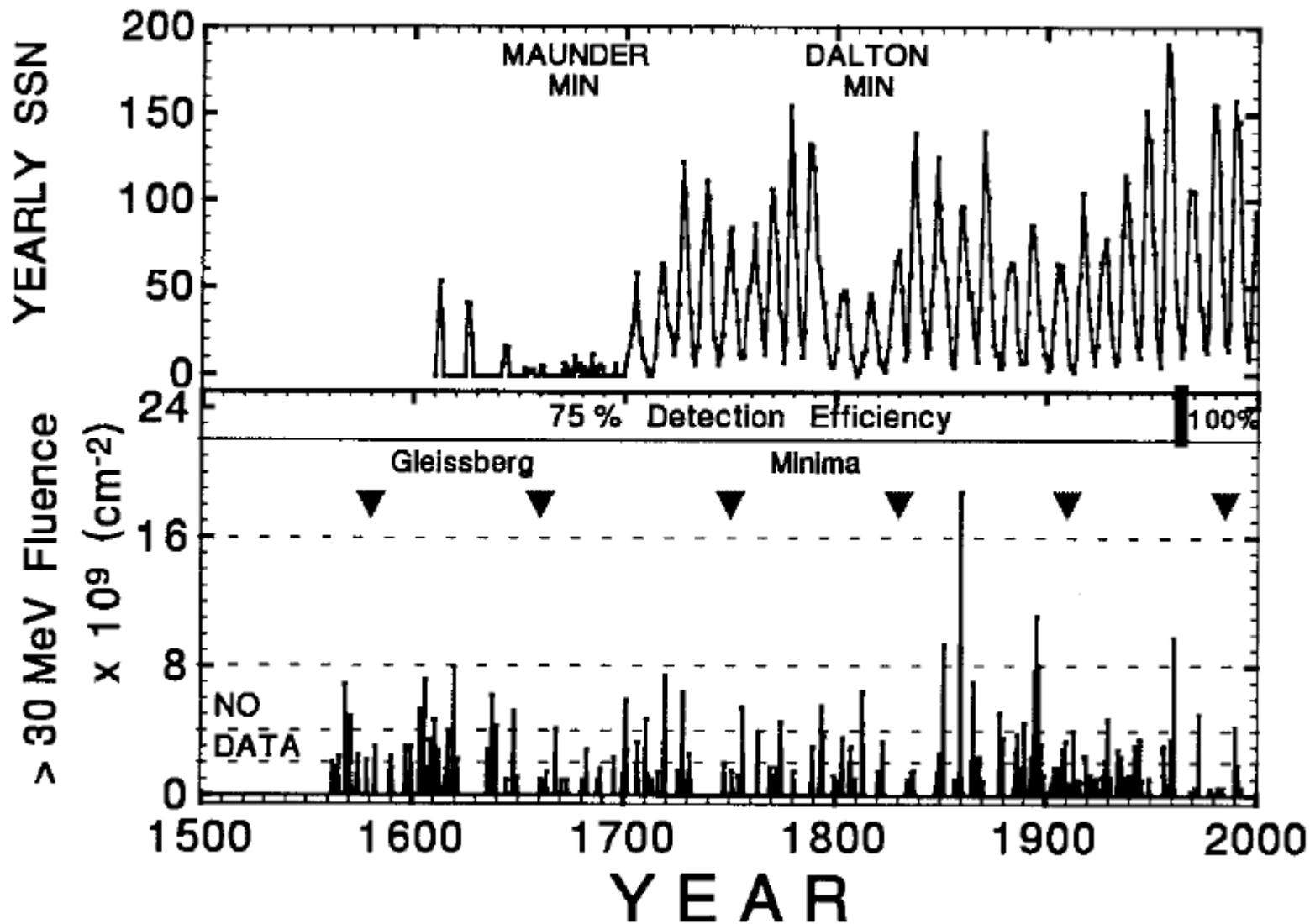


衛星故障 GPS障害・通信障害 被曝



過去400年の太陽フレア

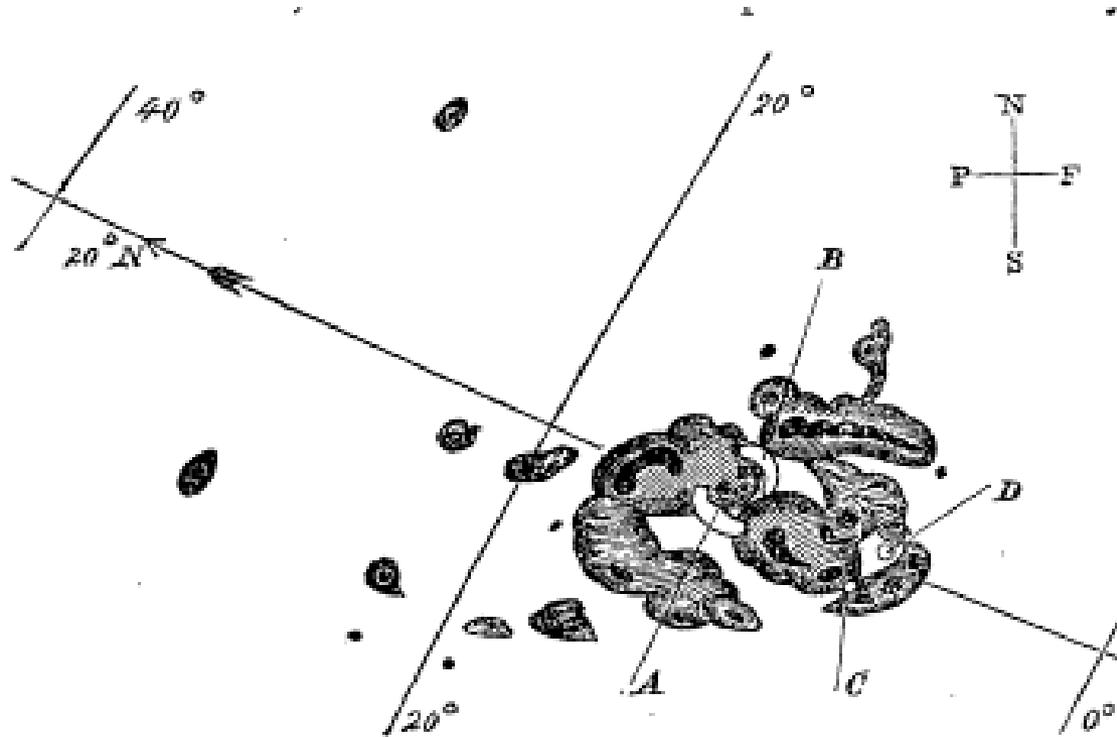
McCracken et al. 2001



キャリントン・フレア (1859年9月1日)

■ Richard C. Carrington

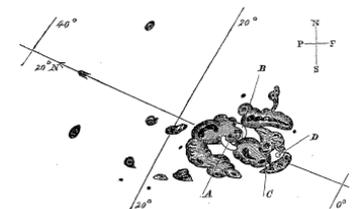
■ 太陽フレアの発見



first impression was that by some chance a ray of light had penetrated a hole in the screen attached to the object-glass, by

Description of a Singular Appearance seen in the Sun on September 1, 1859. By R. C. Carrington, Esq.

While engaged in the forenoon of Thursday, Sept. 1, in taking my customary observation of the forms and positions of the solar spots, an appearance was witnessed which I believe to be exceedingly rare. The image of the sun's disk was, as usual with me, projected on to a plate of glass coated with distemper of a pale straw colour, and at a distance and under a power which presented a picture of about 11 inches diameter. I had secured diagrams of all the groups and detached spots, and was engaged at the time in counting from a chronometer and recording the contacts of the spots with the cross-wires used in the observation, when within the area of the great north group (the size of which had previously excited general remark), two patches of intensely bright and white light broke out, in the positions indicated in the appended diagram by the letters A and B, and of the forms of the spaces left white. My



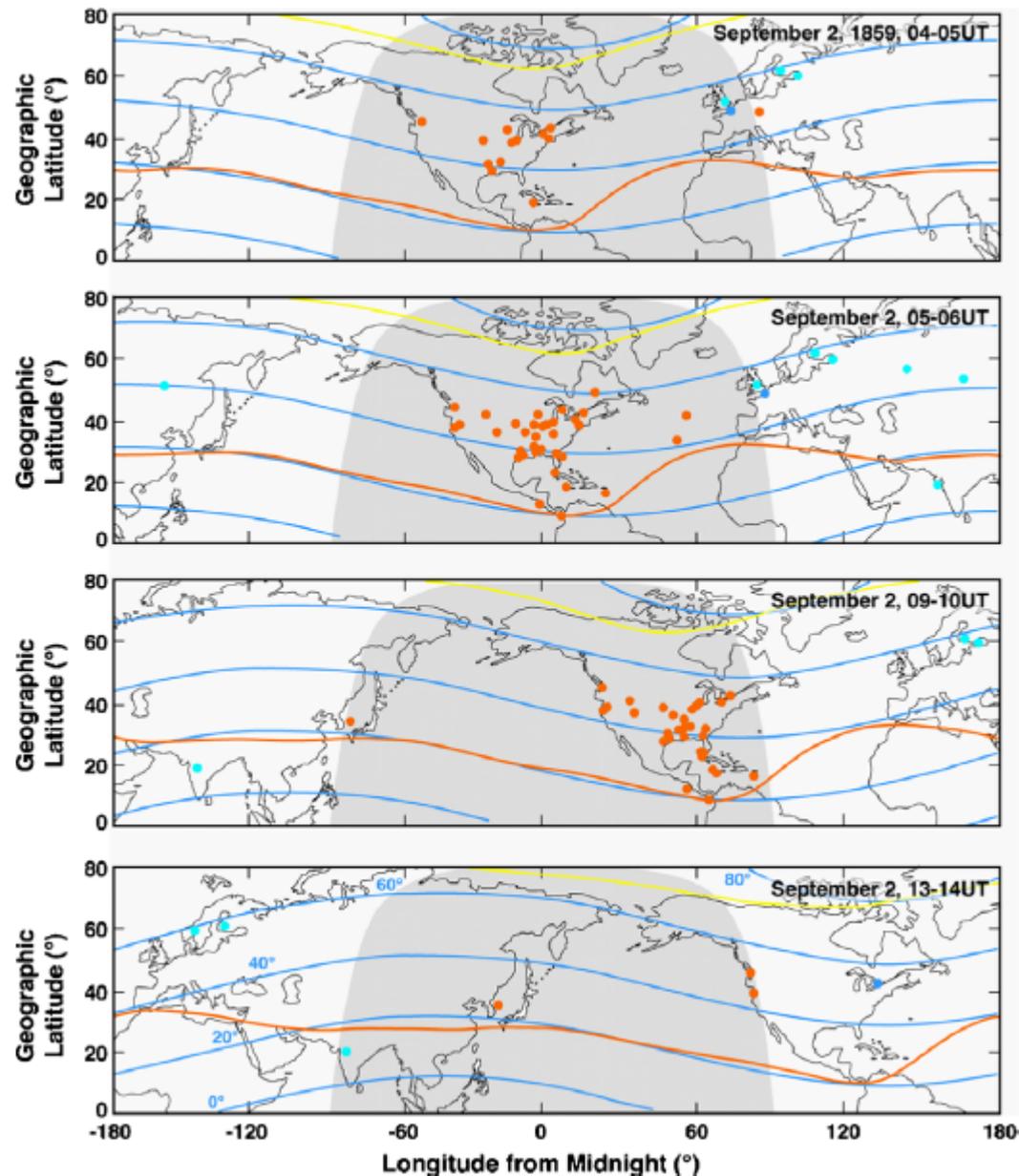
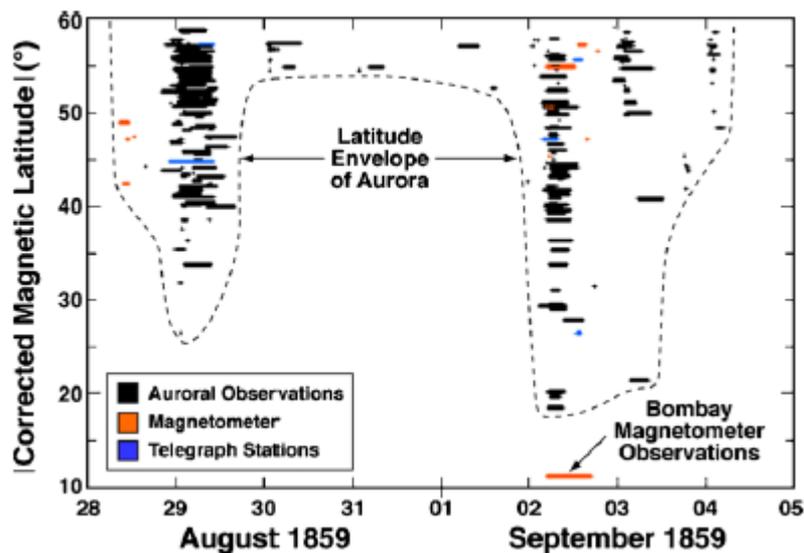
first impression was that by some chance a ray of light had penetrated a hole in the screen attached to the object-glass, by

which the general image is thrown into shade, for the brilliancy was fully equal to that of direct sun-light; but, by at once interrupting the current observation, and causing the image to move by turning the R.A. handle, I saw I was an unprepared witness of a very different affair. I thereupon noted down the time by the chronometer, and seeing the outburst to be very rapidly on the increase, and being somewhat flurried by the surprise, I hastily ran to call some one to witness the exhibition with me, and on returning within 60 seconds, was mortified to find that it was already much changed and enfeebled. Very shortly afterwards the last trace was gone, and although I maintained a strict watch for nearly an hour, no recurrence took place. The last traces were at C and D, the patches having travelled considerably from their first position and vanishing as two rapidly fading dots of white light. The instant of the first outburst was not 15 seconds different from 11^h 18^m Greenwich mean time, and 11^h 23^m was taken for the time of disappearance. In this lapse of 5 minutes, the two patches of light traversed a space of about 35,000 miles, as may be seen by the diagram, which is given exactly on a scale of 12 inches to the sun's diameter. On this scale the section of the earth will be very nearly equal in area to that of the detached spot situated most to the north in the diagram, and the section of *Jupiter* would about cover the area of the larger group, without including the outlying portions. It was impossible, on first witnessing an appearance so similar to a sudden conflagration, not to expect a considerable result in the way of alteration of the details of the group in which it occurred; and I was certainly surprised, on referring to the sketch which I had carefully and satisfactorily (and I may add fortunately) finished before the occurrence, at finding myself unable to recognise any change whatever as having taken place. The impression left upon me is, that the phenomenon took place at an elevation considerably above the general surface of the sun, and, accordingly, altogether above and over the great group in which it was seen projected. Both in figure and position the patches of light seemed entirely independent of the configuration of the great spot, and of its parts, whether nucleus or umbra. The customary observation was resumed, and the diagram engraved, as well as the larger drawing exhibited at the Meeting on Nov. 11, was deduced from an exact reduction of the recorded times.

It has been very gratifying to me to learn that our friend Mr. Hodgson chanced to be observing the sun at his house at Highgate on the same day, and to hear that he was a witness of what he also considered a very remarkable phenomenon. I have carefully avoided exchanging any information with that gentleman, that any value which the accounts may possess may be increased by their entire independence.

キャリントンイベント オーロラ

■ Green & Boardsen 2006 AdSR

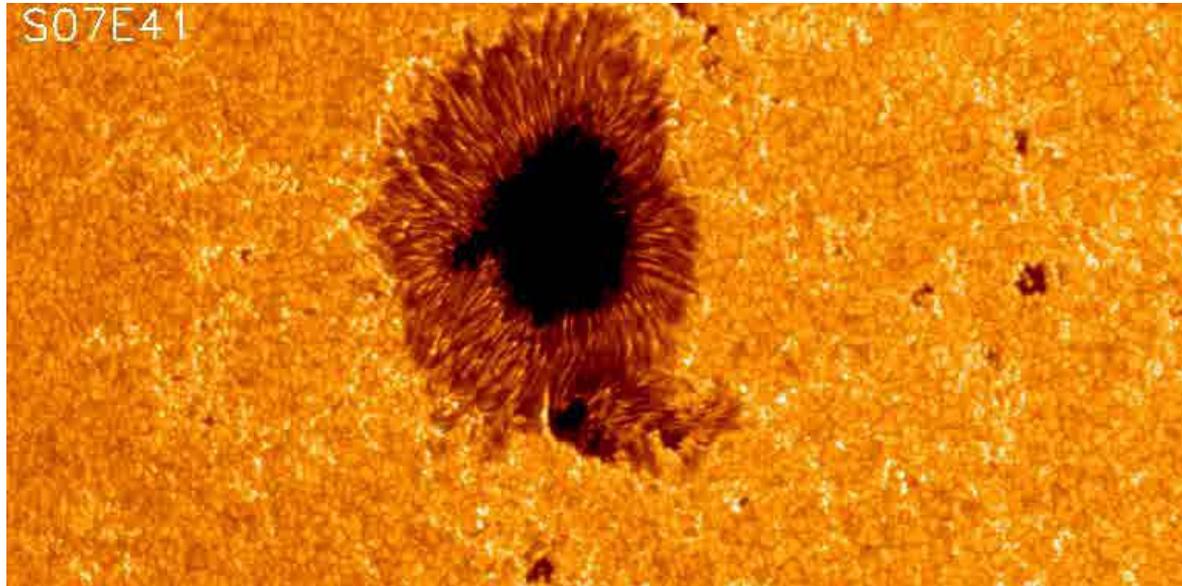


巨大フレアによる被害と影響

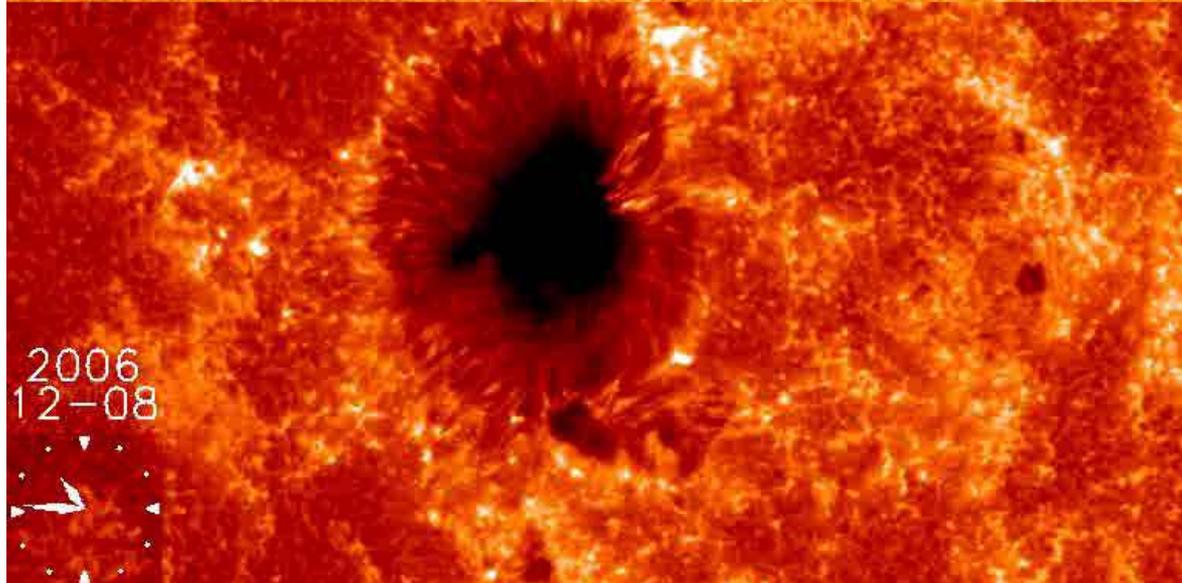
	巨大フレア (1989年3月13日)	キャリントン・フレア (1859年)	スーパー・フレア (巨大フレアの100~1000倍)
放射線 (航空機内の推定値)	4mSv	20mSv	400~ 4000mSv?
地磁気嵐	540nT (全米でオーロラ)	1760nT (赤道帯でオーロラ)	5000~ 15000nT?
社会への影響	ケベック州大停電 電波通信障害 気象衛星故障 衛星放送停止 (被害総額数100億円以上)	電信局の火事 >今起きたら 中高磁気緯度の <big>大停電</big> 多くの衛星の故障 地球規模の通信障害 GPS故障 (被害総額1兆~2兆ドル)	地球規模の大停電 オゾン層破壊 全衛星の故障 地球規模の通信障害 全航空機飛行停止 船舶運航停止 GPS停止 ITインフラの破壊

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

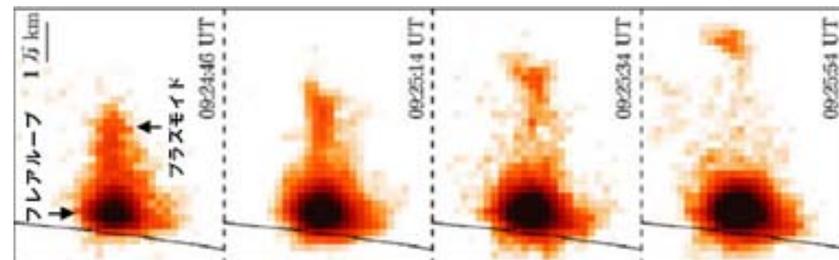
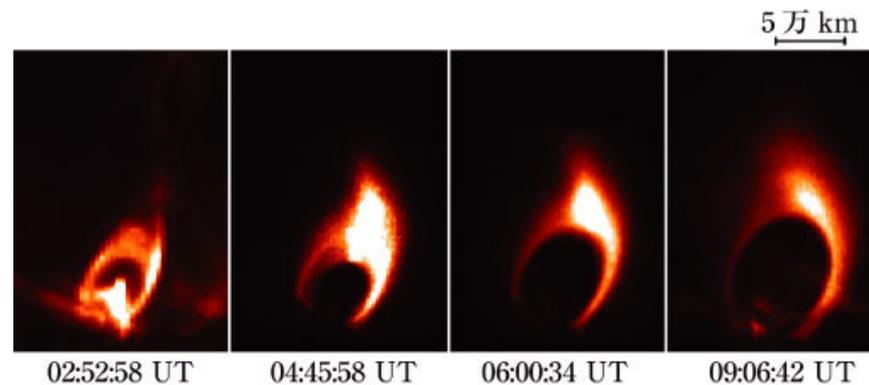
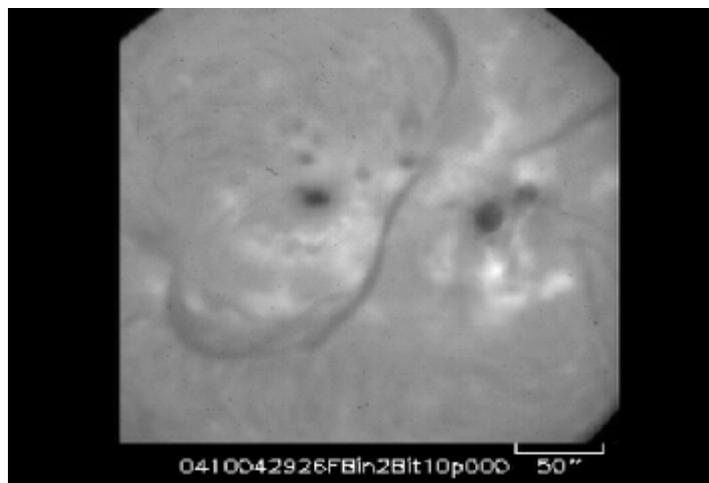
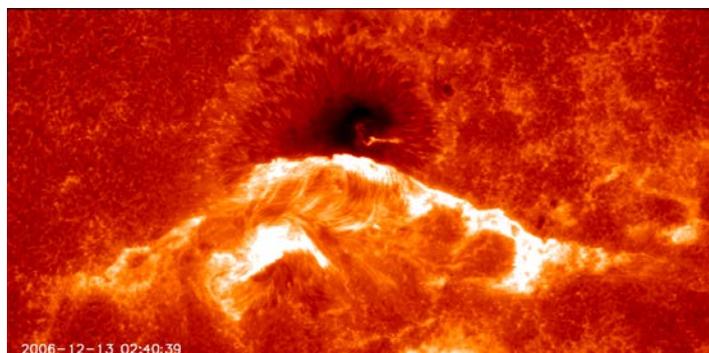
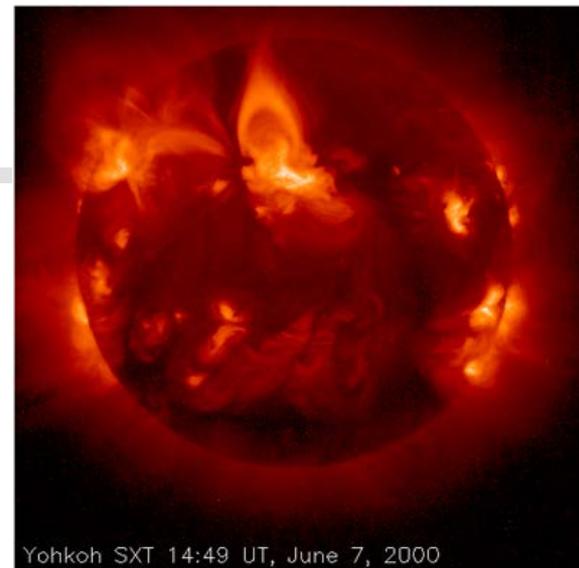
太陽フレアの特徴

黒点の近傍

カस्प状ループ

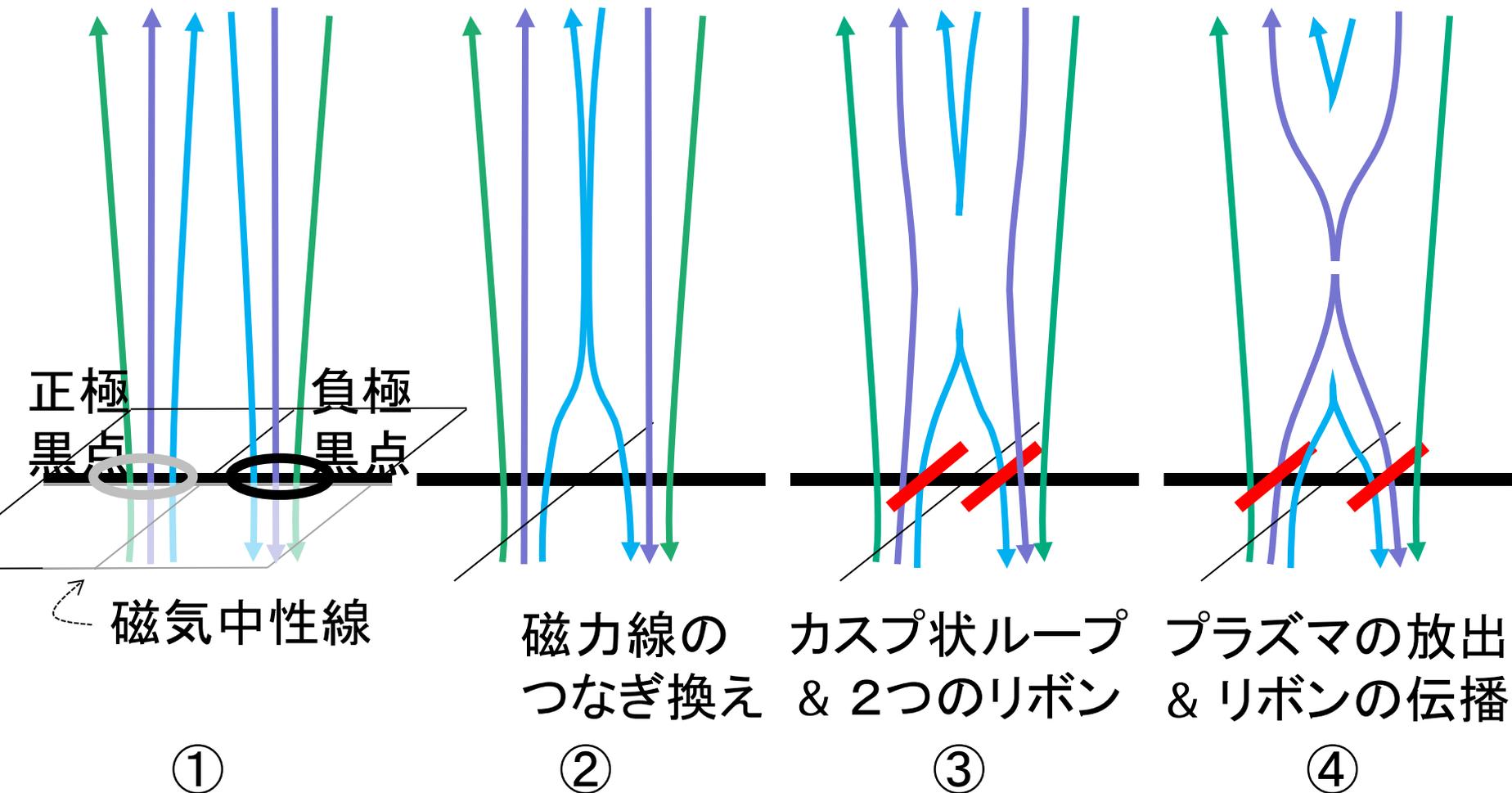
2本のリボン

飛び出すプラズマ



太陽フレアのメカニズムは？

■ 磁気リコネクション(Re-connection)



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

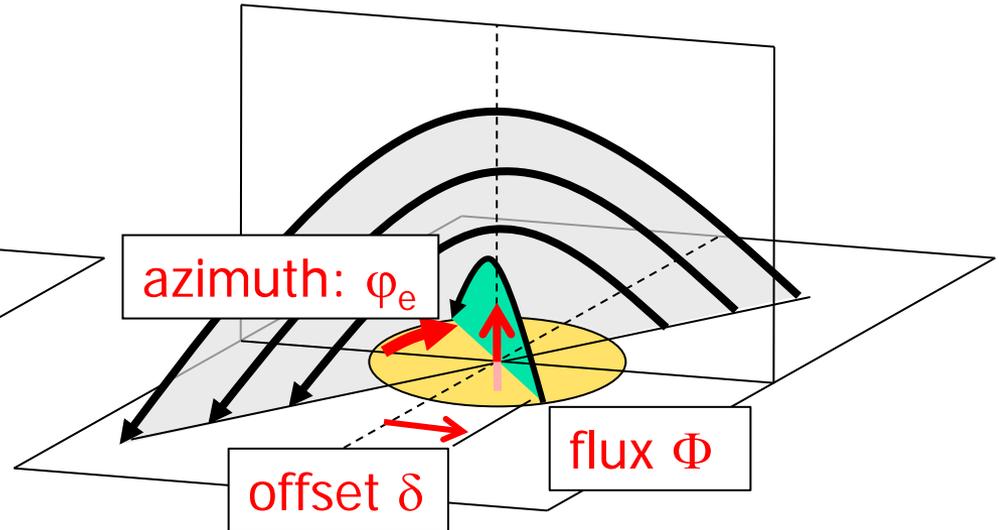
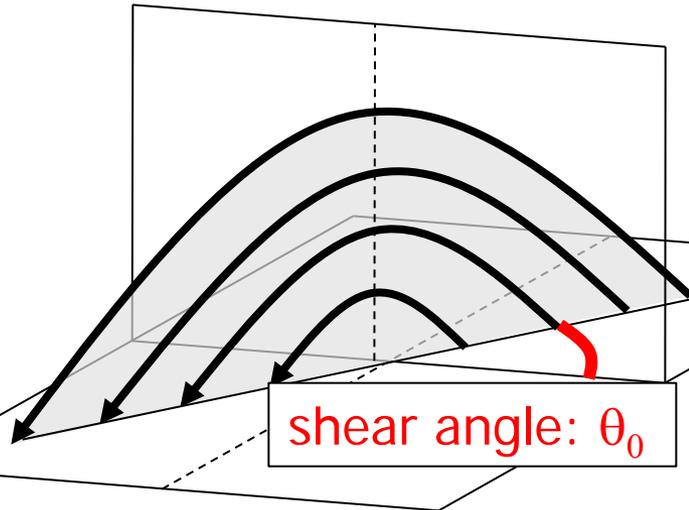
200 400 600 800 1000 1200

Parameters in Ensemble Simulation

Large field
(free energy)

&

Small field
(trigger)



Box: Rectangle including PIL
Initial condition: LFFF

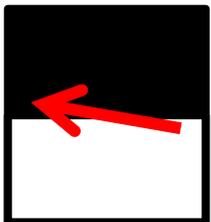
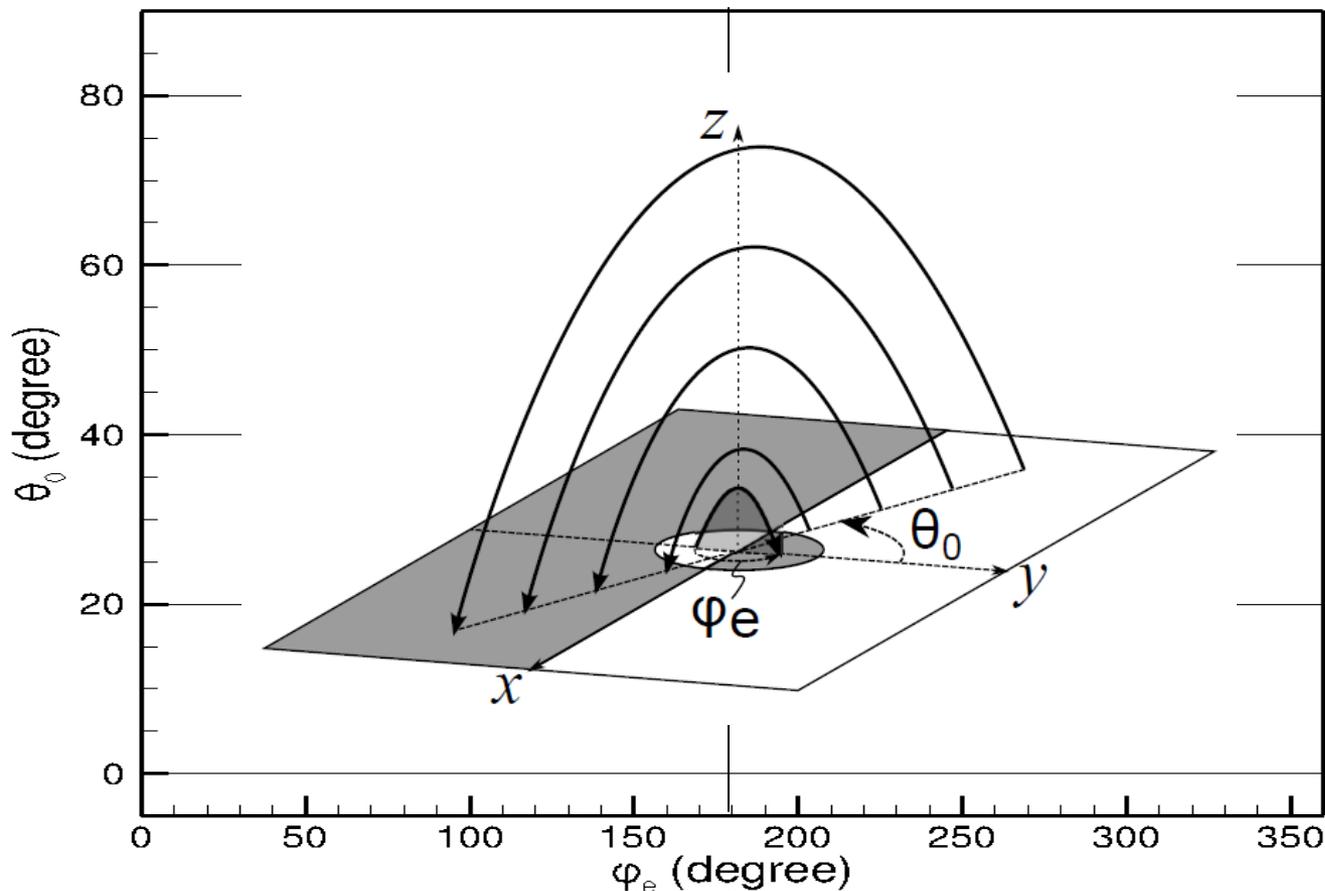
161
cases

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

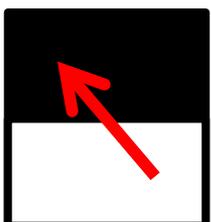


Earth Simulator (JAMSTEC)

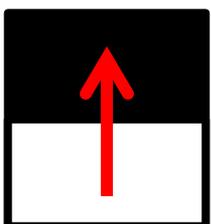
Parameter Space: θ_0 vs. φ_e



strong shear

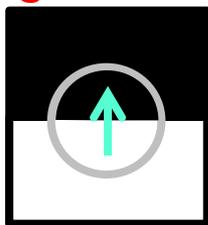


weak shear



potential field

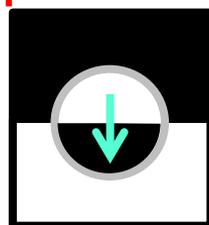
Right Polarity



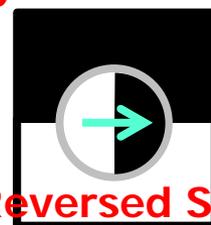
Opposite Polarity



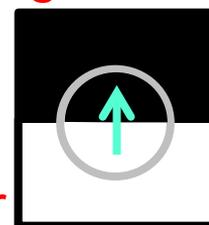
Normal Shear



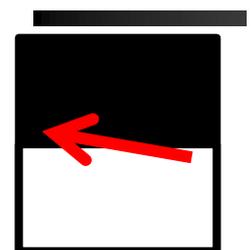
Reversed Shear



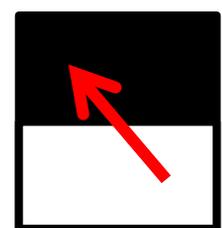
Right Polarity



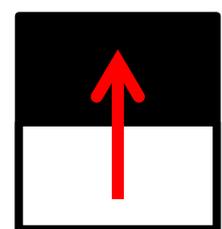
シミュレーション結果



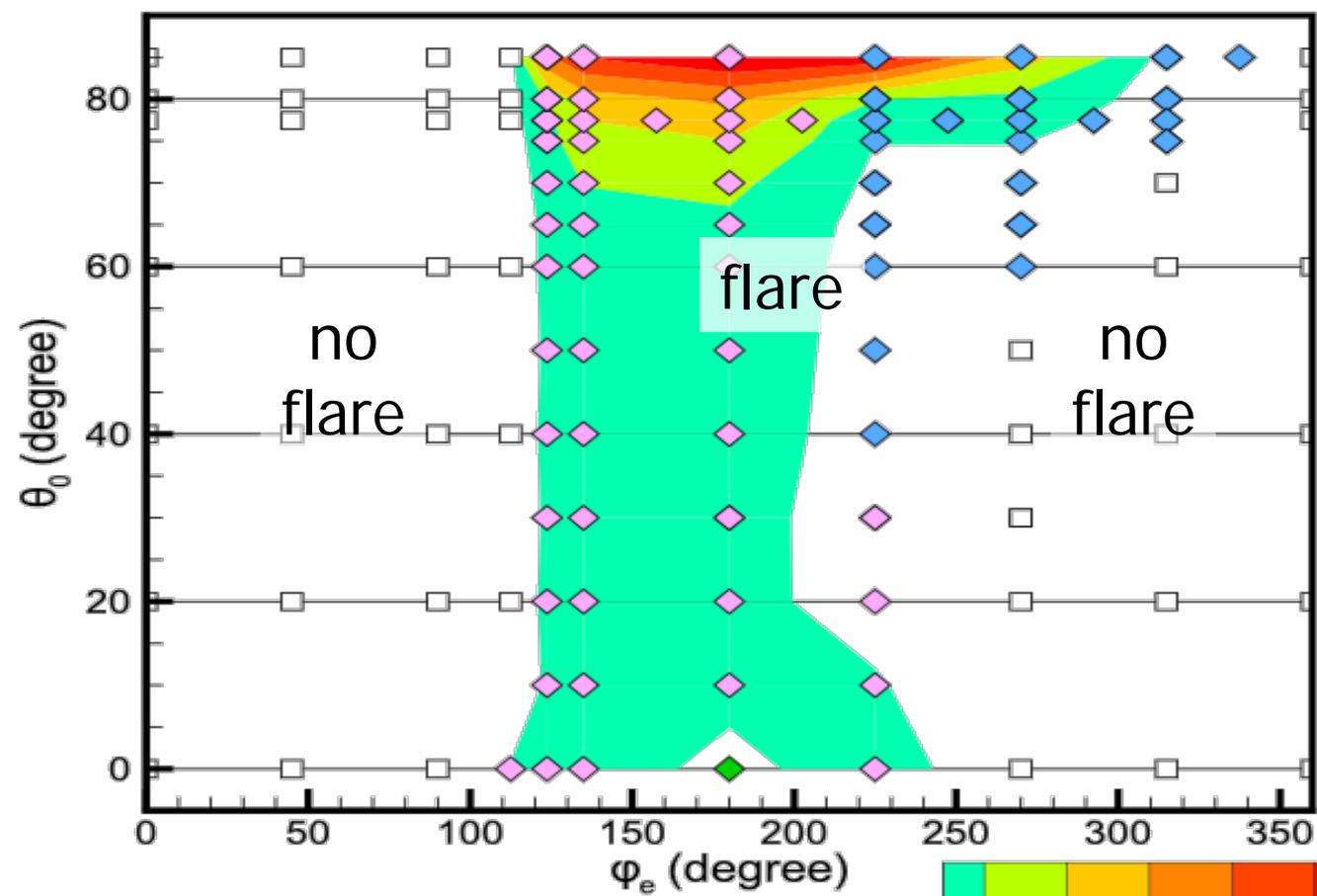
strong shear



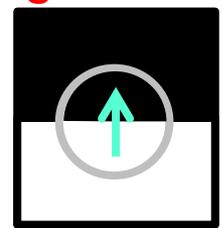
weak shear



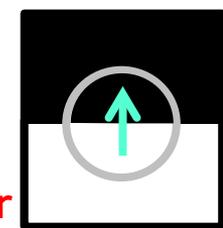
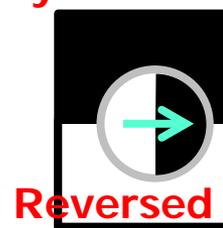
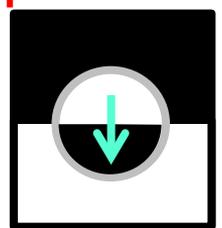
potential field



Right Polarity

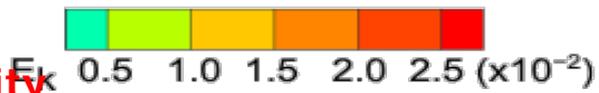


Opposite Polarity

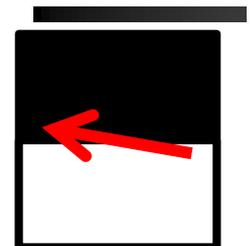
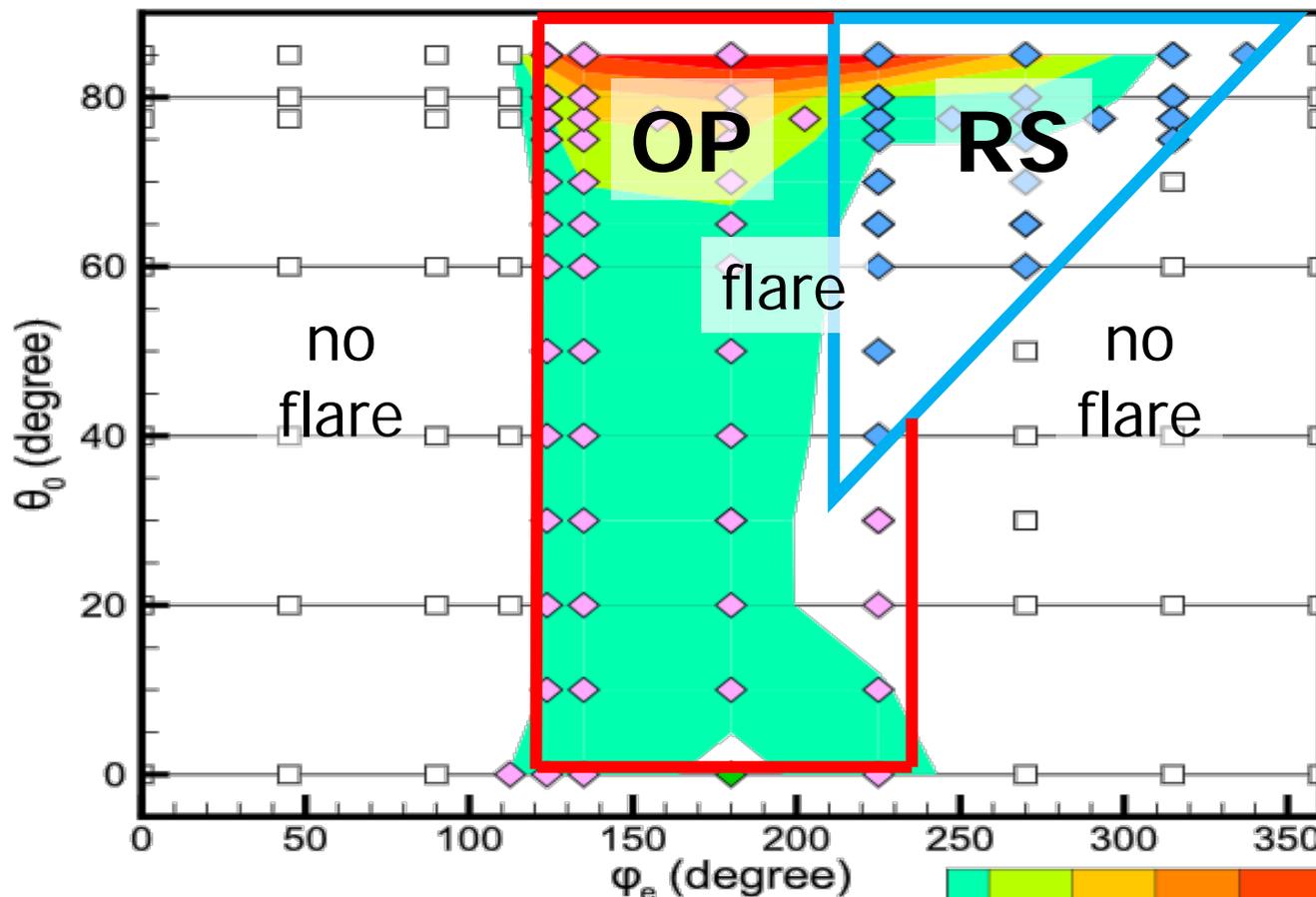


Normal Shear

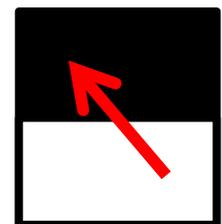
Reversed Shear



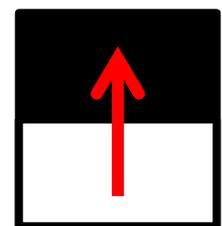
Flare Phase Diagram



strong shear

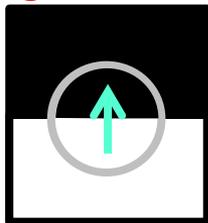


weak shear



potential field

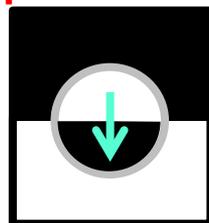
Right Polarity



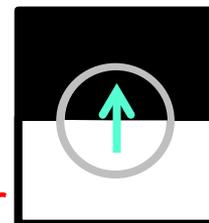
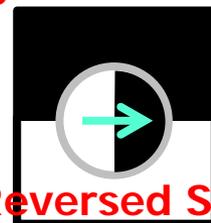
Opposite Polarity



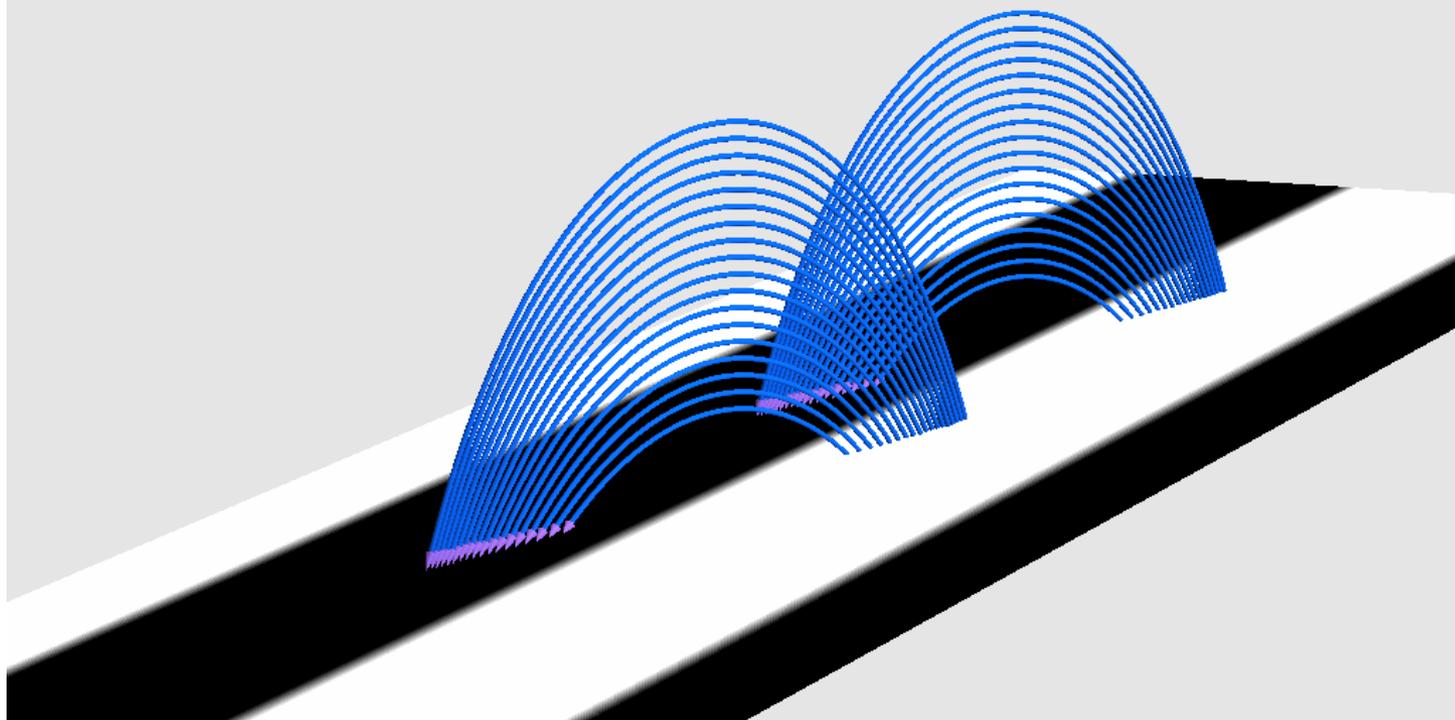
Normal Shear



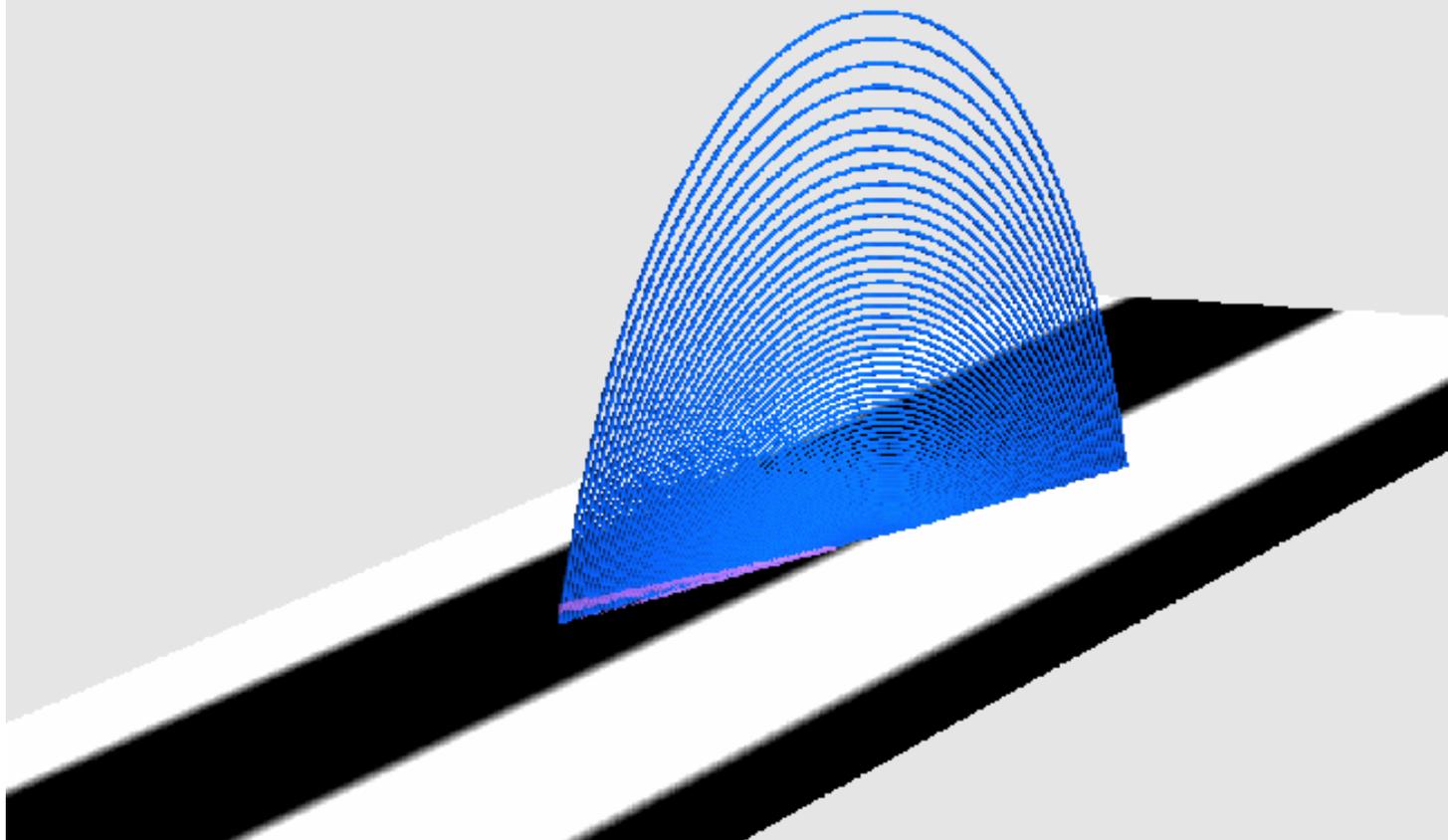
Reversed Shear



反極性型 (OP-type)

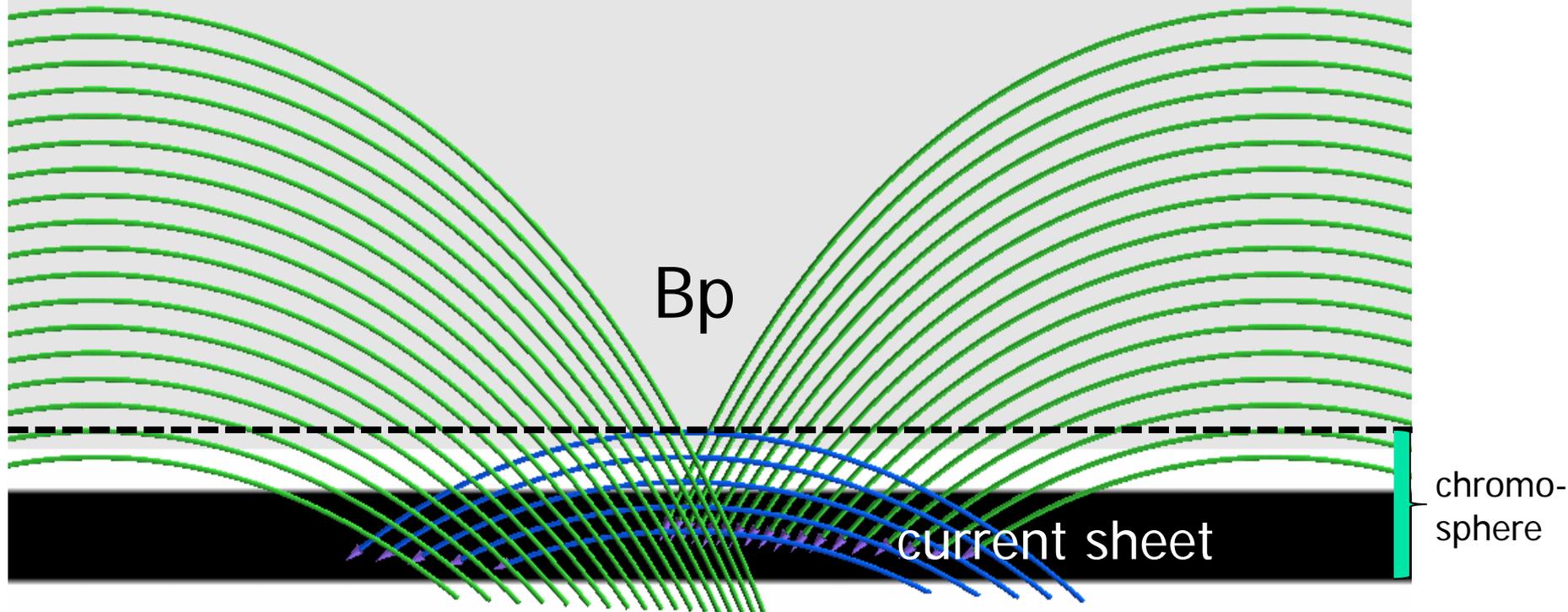


逆磁場型 (RS-type)



Magnetic structure just prior to flare

OP type



Bp

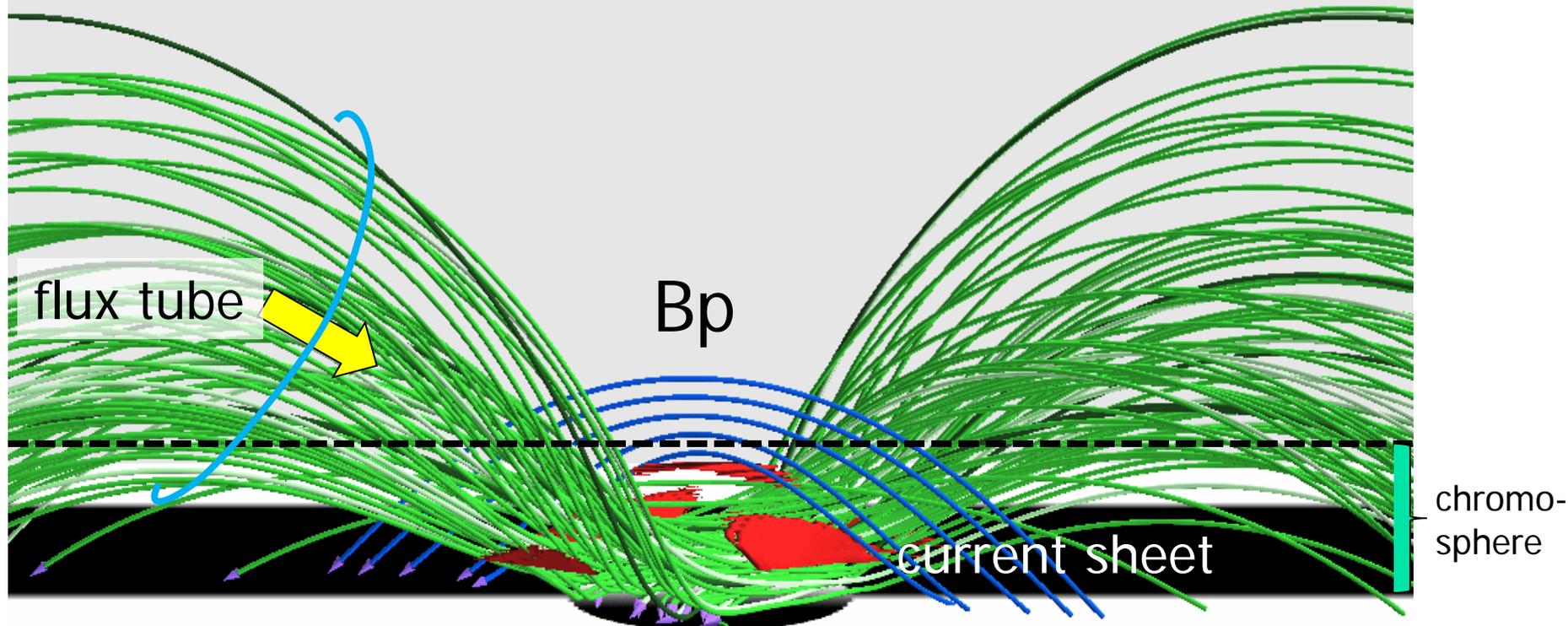
current sheet

chromosphere

Flux tube is formed by reconnection in chromosphere.

Magnetic structure just prior to flare

OP type



flux tube

B_p

current sheet

chromosphere

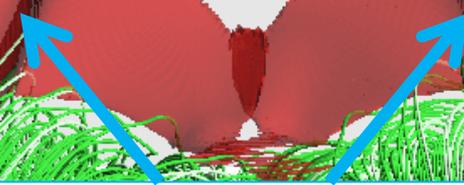
Flux tube is formed by reconnection in chromosphere.

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

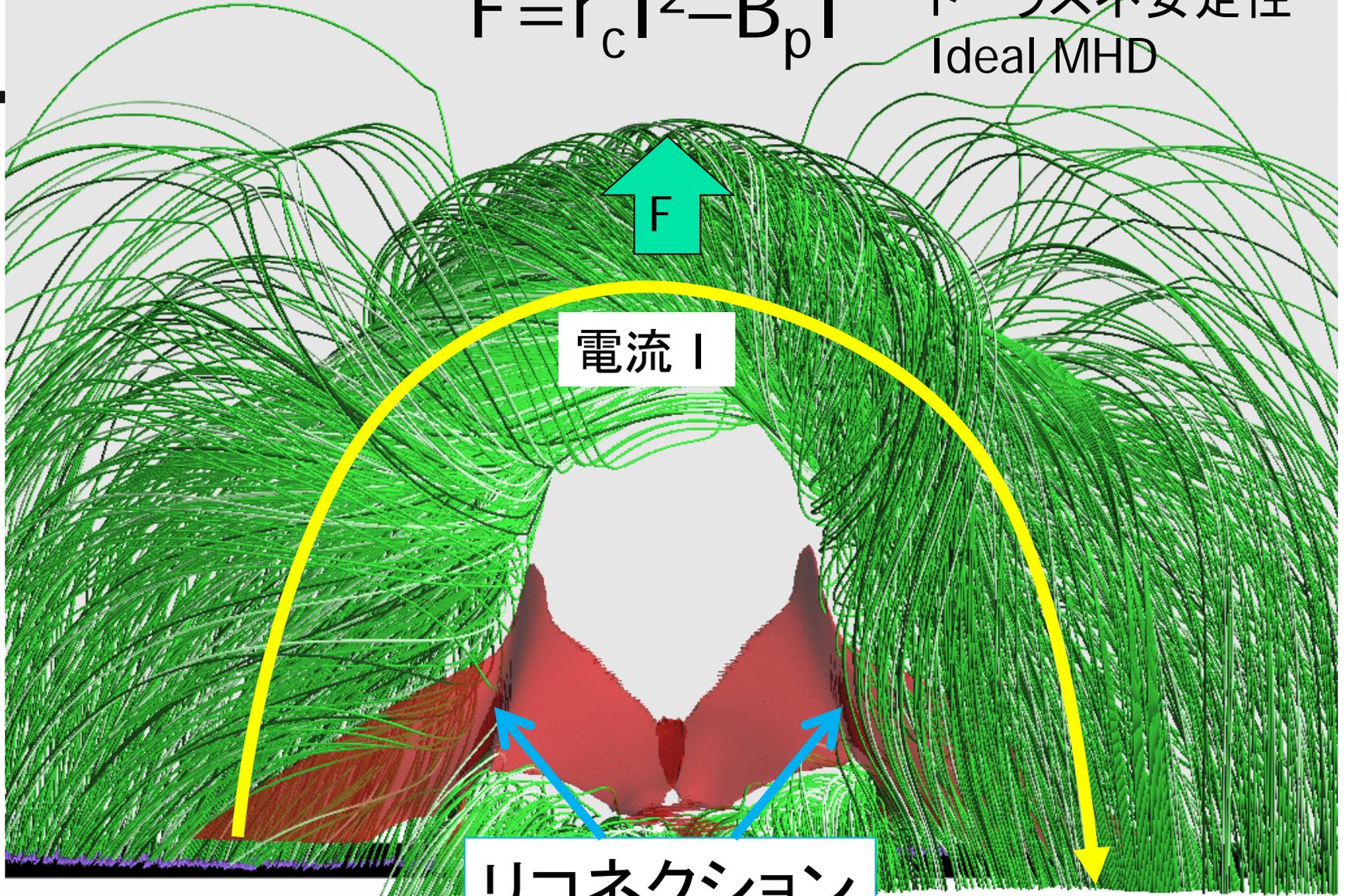
トーラス不安定性
Ideal MHD



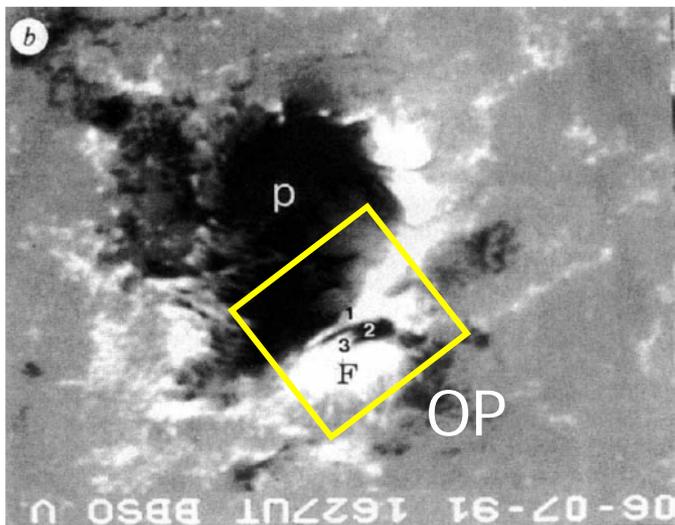
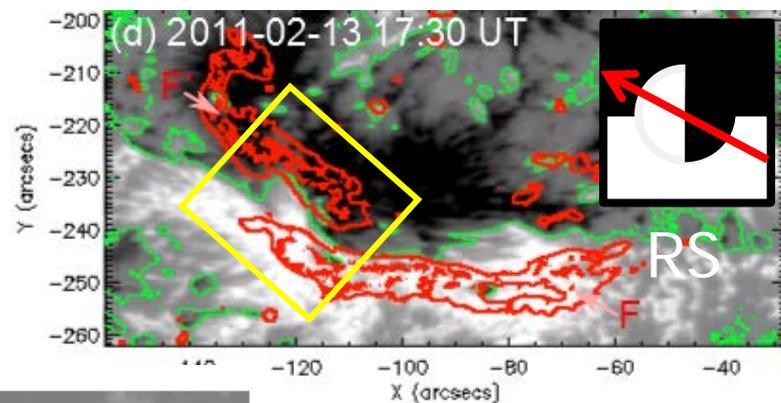
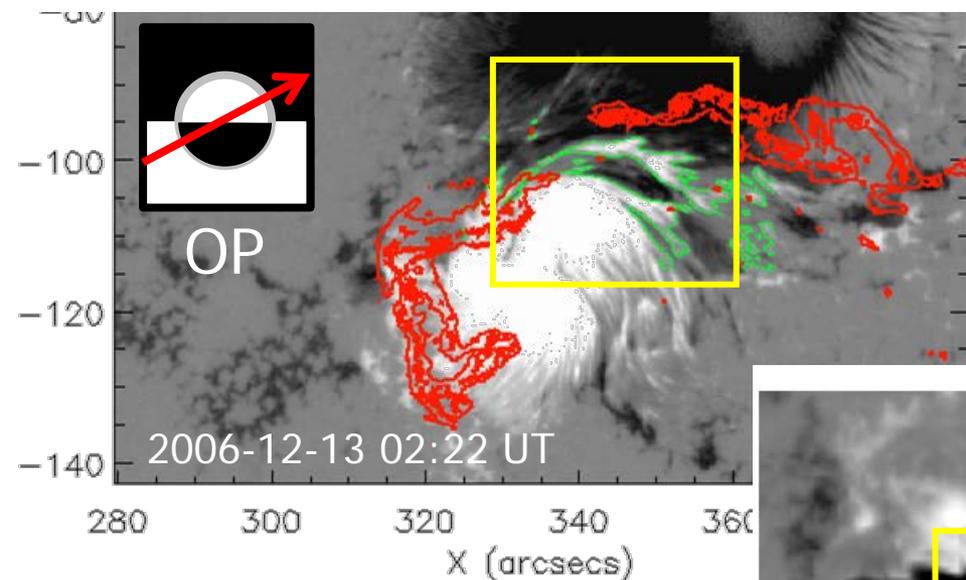
電流 I



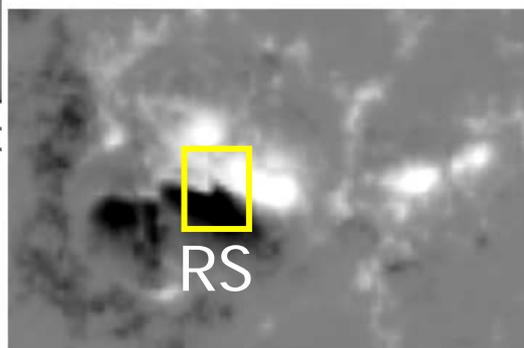
リコネクション



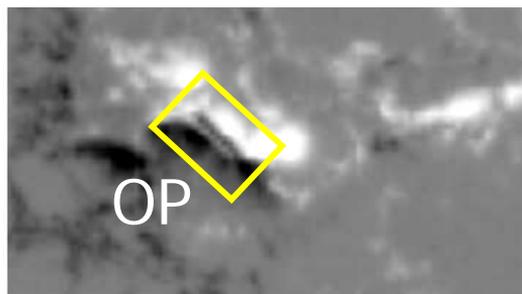
觀測的檢証



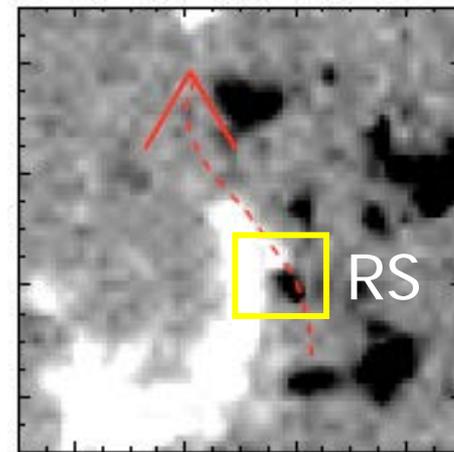
Zirin and Wang 1993



(k) 00-Jun-06 12:51:30



(q) 00-Jun-07 14:24:36
Kurokawa, Wang & Ishii 2002



Green, Kliem & Wallace 2011

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突きとめた。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りかねない。チームでは数年以内に「フレア予報」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磁力線が絡み合って起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、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。89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る太陽フレアを予測できるようにしたい」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。



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 | 144 | いいね! | 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ー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メカニズムをつかんだもので、フレア発生予測など、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・・・

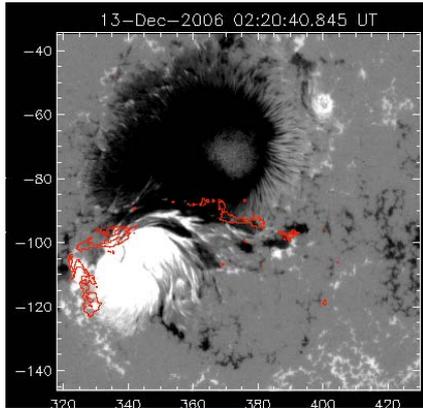
記事全文 >

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。

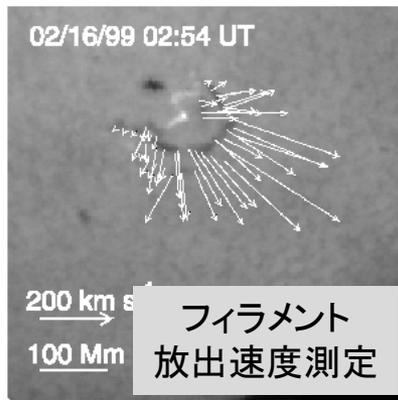
太陽嵐の予測と宇宙天気予報

衛星計画との積極的な連携研究

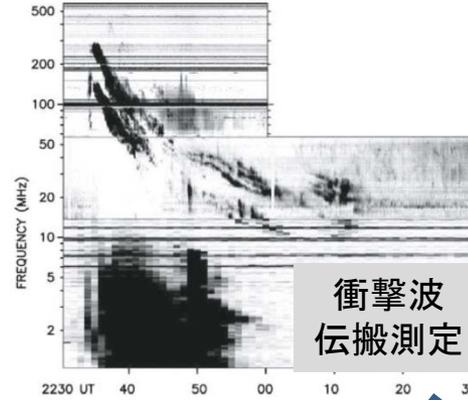
ひので、Solar-C
精密磁場観測



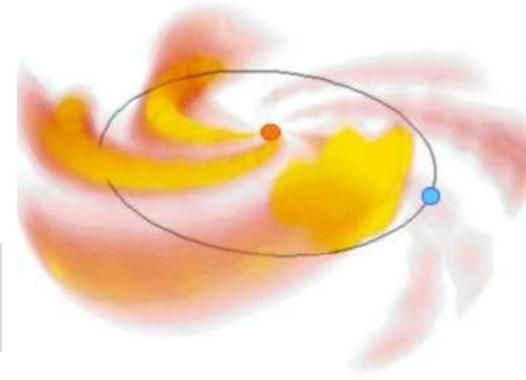
京大・NAOJ・茨城大
H α ドップラー測定



東北大・NICT
電波観測



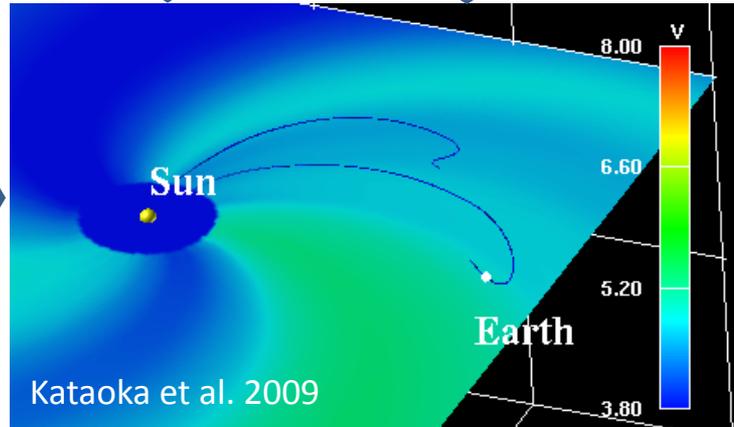
名大IPSシステム
太陽風の3次元構造観測



Kusano et al. 2012

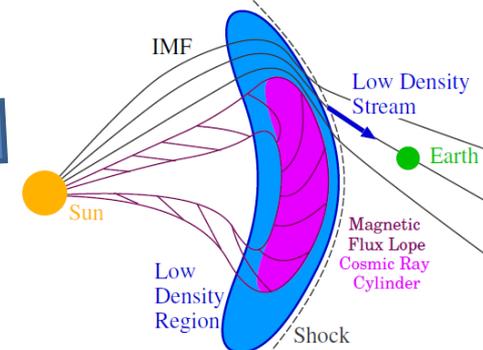


フレア予測計算

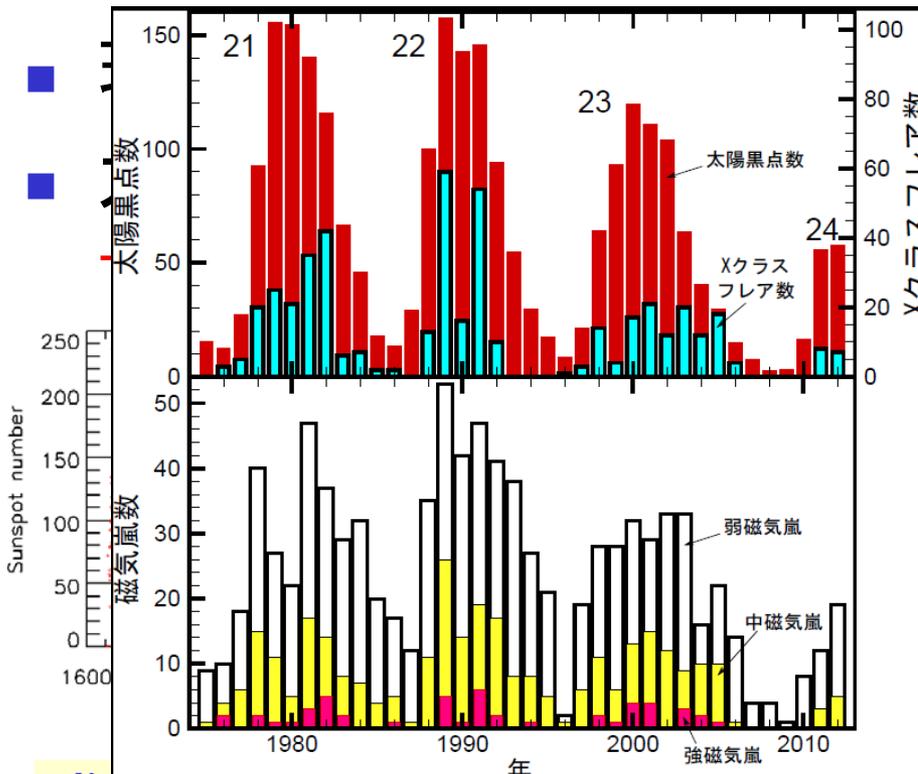


惑星間空間モデル

信州大ミュオン計測
宇宙線前兆現象の測定

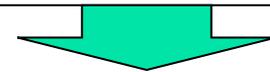


特異な太陽活動の兆候



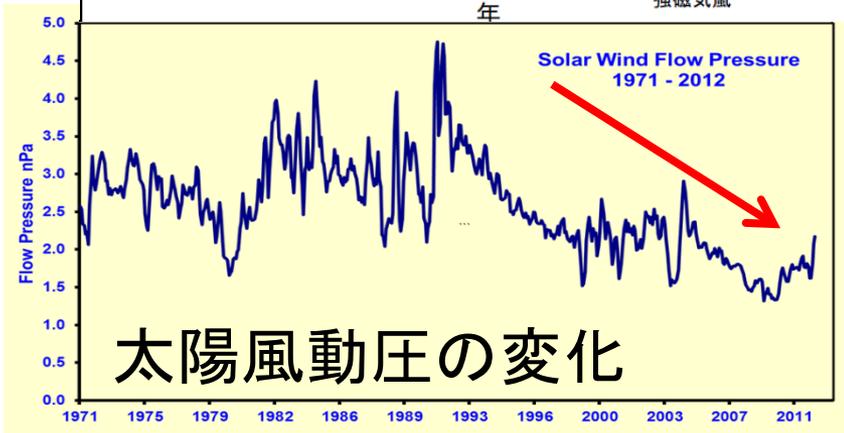
24は100年ぶりの低活動
過去20年間継続的に減少
宙線の増加

太陽活動が活発期から静穏期に急激に移行している可能性が高い。

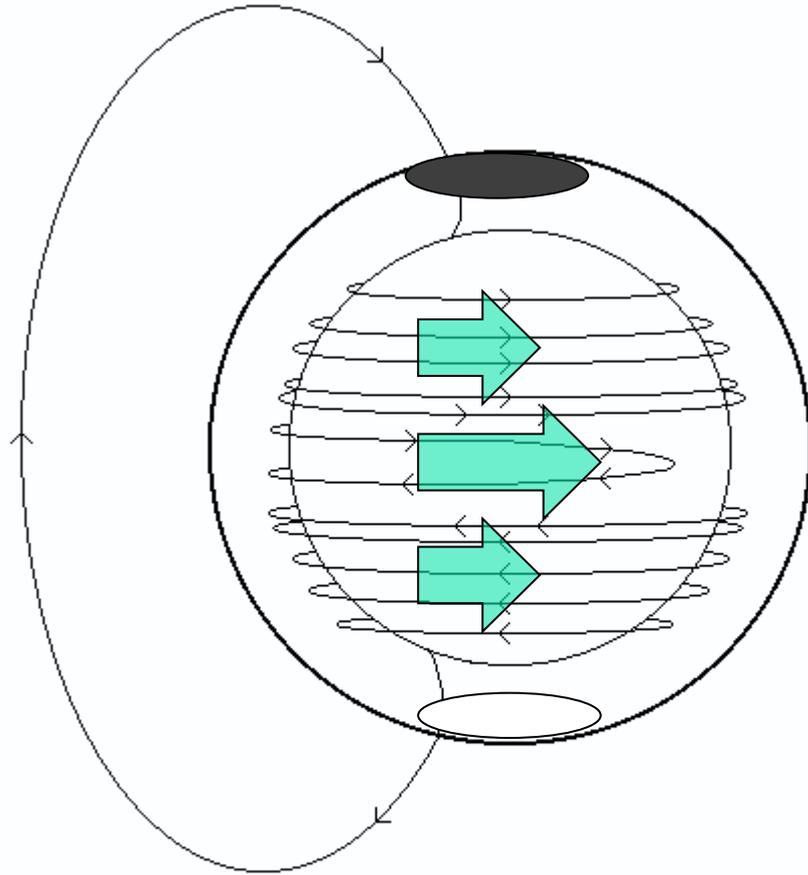


太陽黒点活動の未来予測

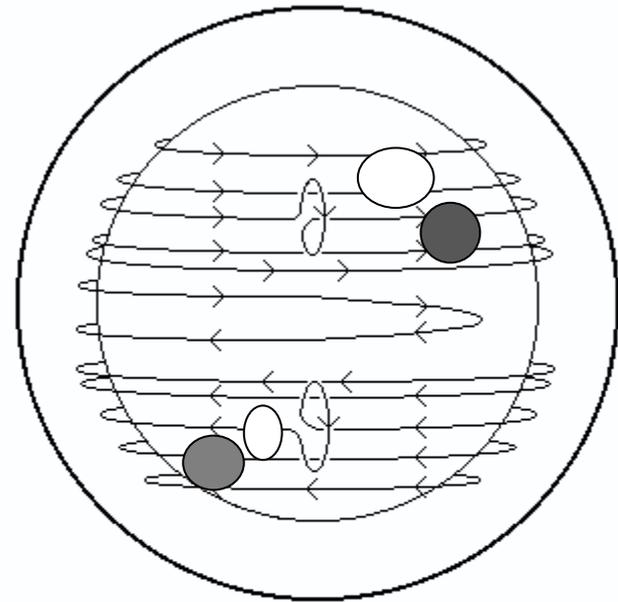
太陽ダイナモのメカニズム
解明



太陽ダイナモのモデル

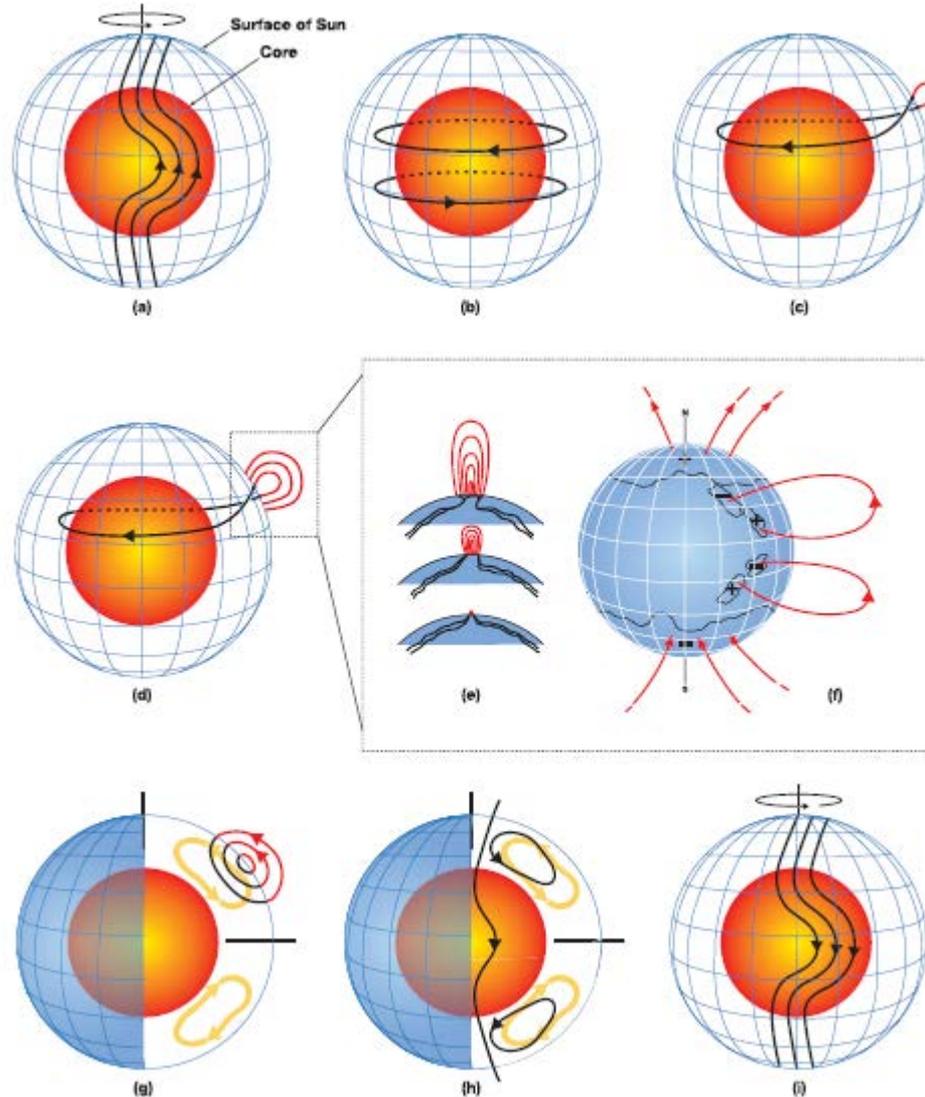


The ω -effect



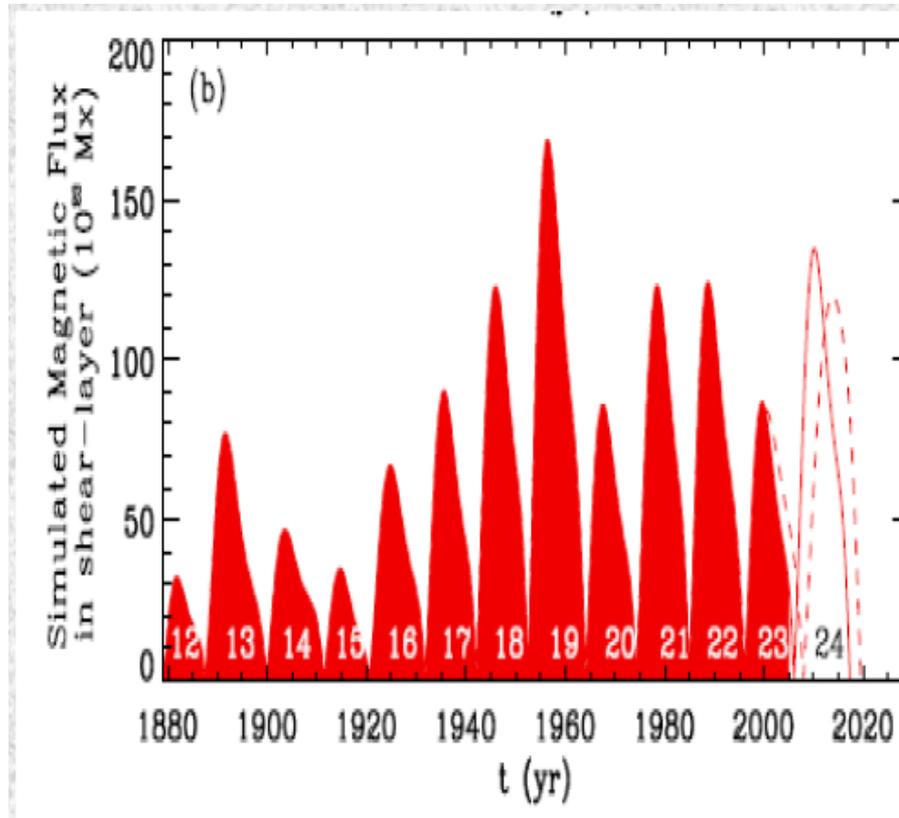
The α -effect

磁束輸送ダイナモモデル(仮説)

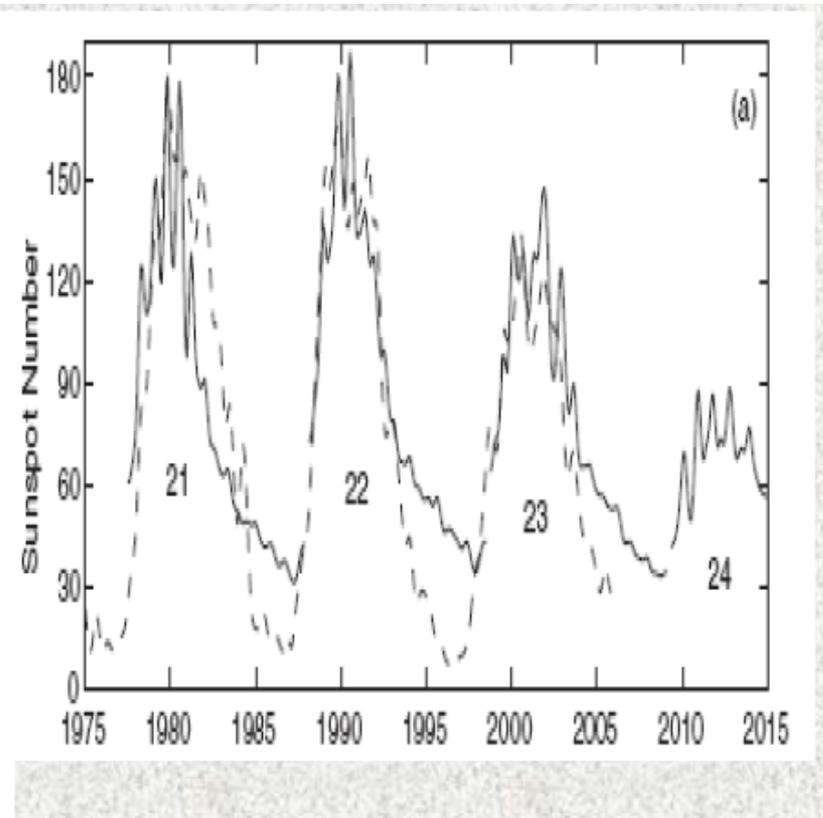


太陽活動の予測モデル

- 2つのほぼ同じ磁束輸送モデルは、過去の活動を共に再現するが、サイクル24(未来)の予測値は極端に異なる。



Dikpati et al. (2006)



Choudhuri et al. (2007)

Predicting Cycle 24

The Third Official Prediction Panel

D.A. Biesecker (NOAA/NWS/SWPC)

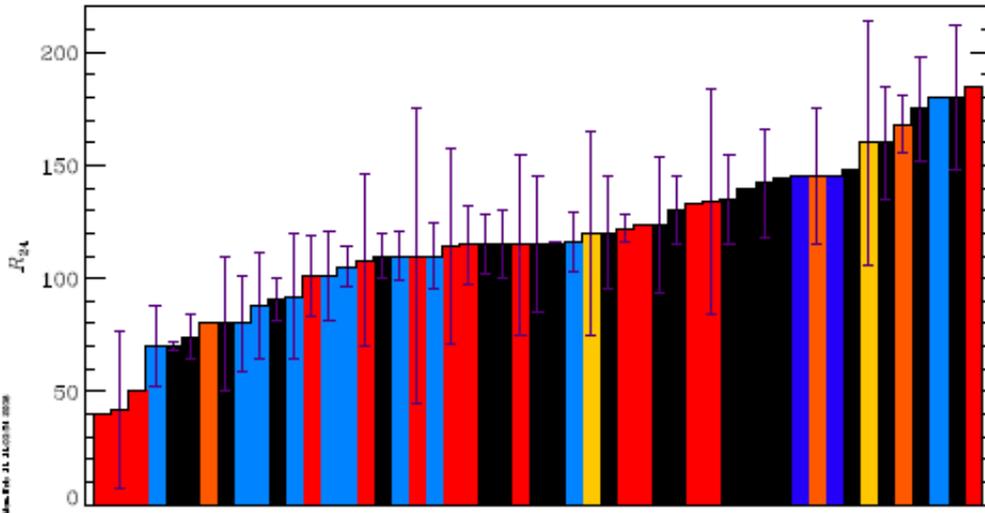
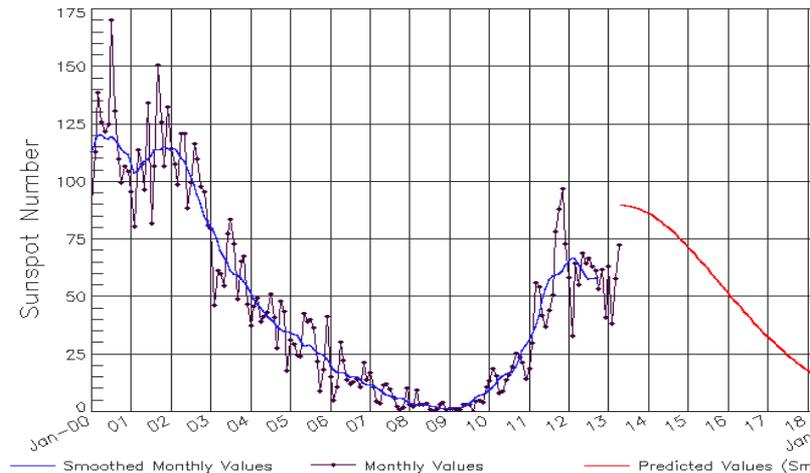


Table 2: Summary of Predictions for Solar Cycle 24

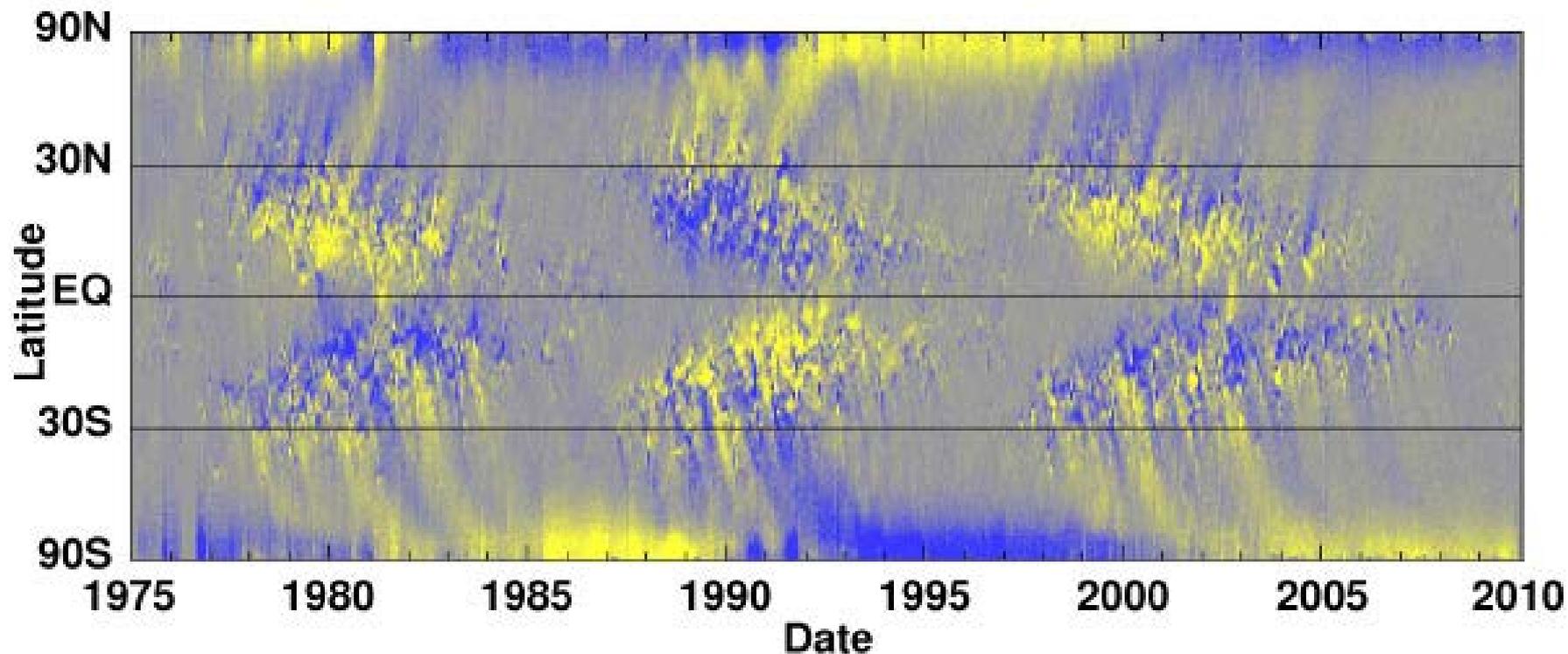
Category	Number	Average	Range
Combined	51	118 ± 34	40–185
Climatology (C)	14	107 ± 40	40–185
Recent Climatology (R)	2	140 ± 30	120–160
Physics-based Models (B)	3	131 ± 45	80–168
Spectral (S)	10	105 ± 30	70–180
Neural Network (N)	2	145	145–145
Precursor (P)	20	124 ± 30	70–180

- Climatology and Recent Climatology
- Spectral and Neural Network
- Precursor
- Physics Based

ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression
Observed data through Apr 2013



太陽磁場の構造と変化



西暦

← 第21周期 →

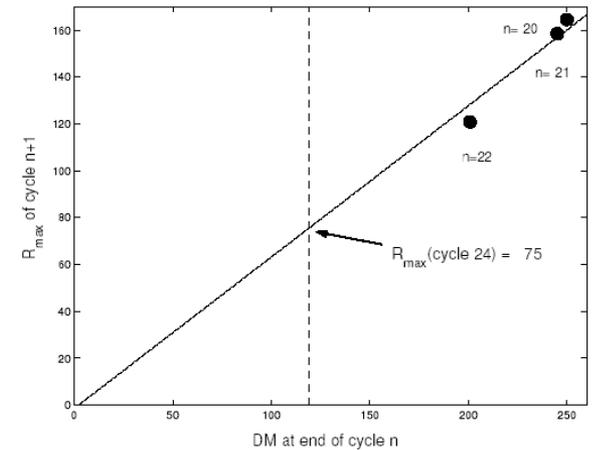
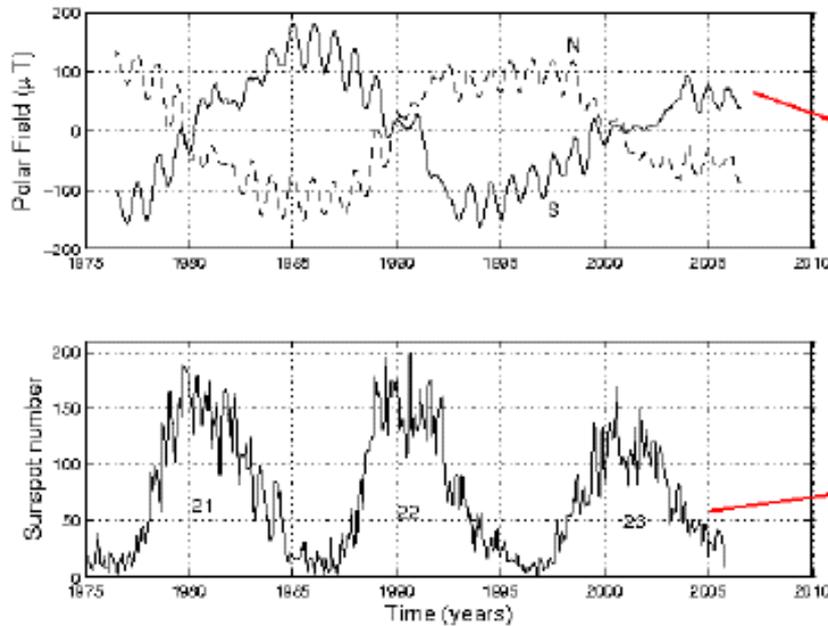
← 第22周期 →

← 第23周期 →

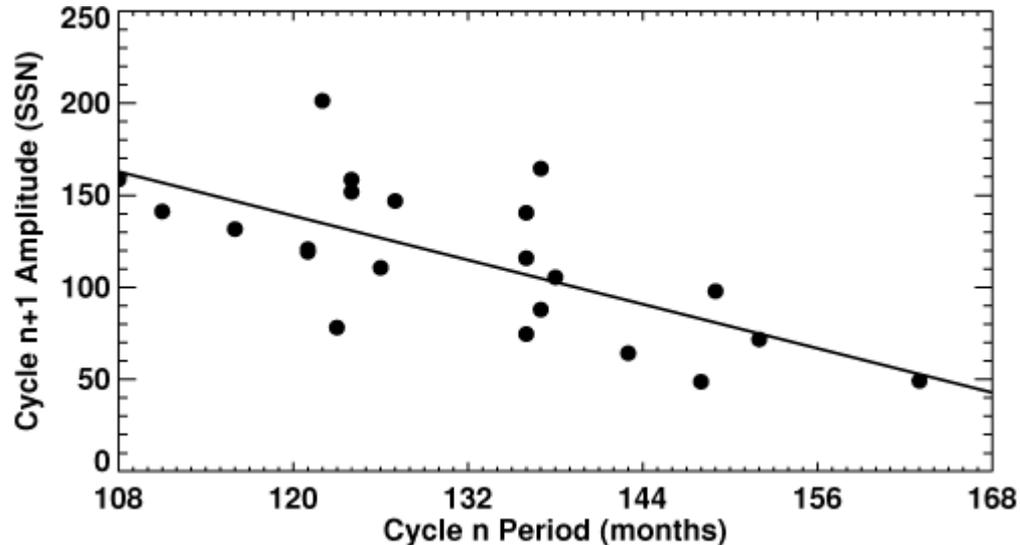
太陽磁場のバタフライ図

太陽極域磁場と黒点

- Prof. Choudhuri提供



太陽周期と黒点活動の関係



- Figure 27: The Amplitude–Period Effect. The period of a cycle (from minimum to minimum) plotted versus following cycle amplitude for International Sunspot Number data from cycles 1 to 22. This gives an inverse relationship between amplitude and period shown by the solid with $Amplitude(n+1) = 380 - 2 \times Period(n)$.

太陽活動と気候変動

Kirkby 2007

北半球平均気温

Mann et al. 1998, 1999
 Moberg et al. 2005
 Pollack & Smerdon 2004
 Dahl-Jensen et al. 1998

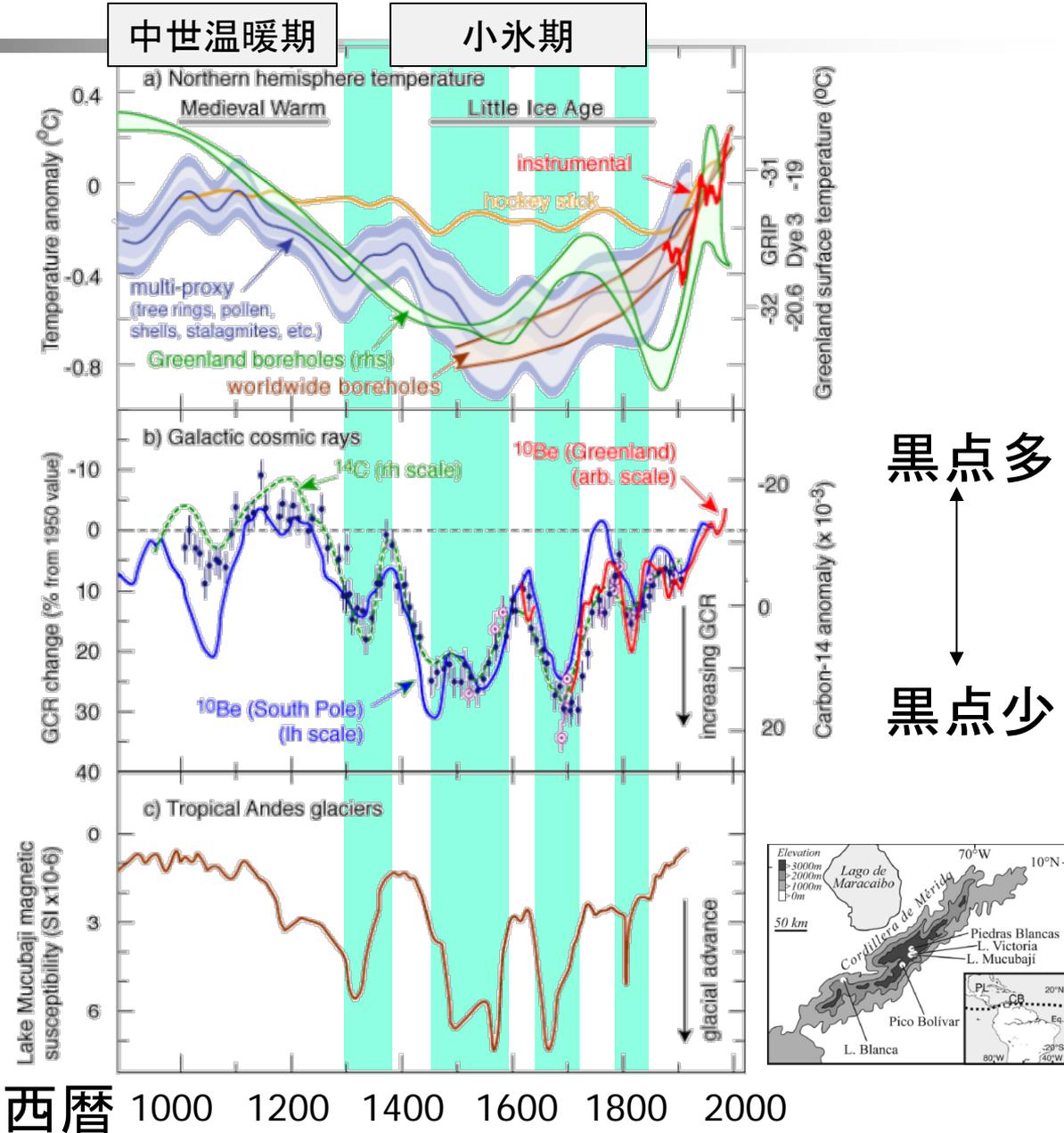
宇宙線生成核種

$\Delta^{14}\text{C}$ (太陽活動指標)

Stuiver and Quay 1980
 Klein et al. 1980
 Raisbeck et al. 1990
 Usoskin et al. 2002

熱帯アンデス氷河

Polissar et al. 2006



数千年スケールの太陽と気候

Neff et al. (2001)

$\delta^{18}\text{O}$: 降水活動の指標
北オマーンの洞窟内石筍



$\Delta^{14}\text{C}$: カリフォルニアの年輪解析

数十年から千年規模までの様々なスケールで強い相関

太陽黒点活動

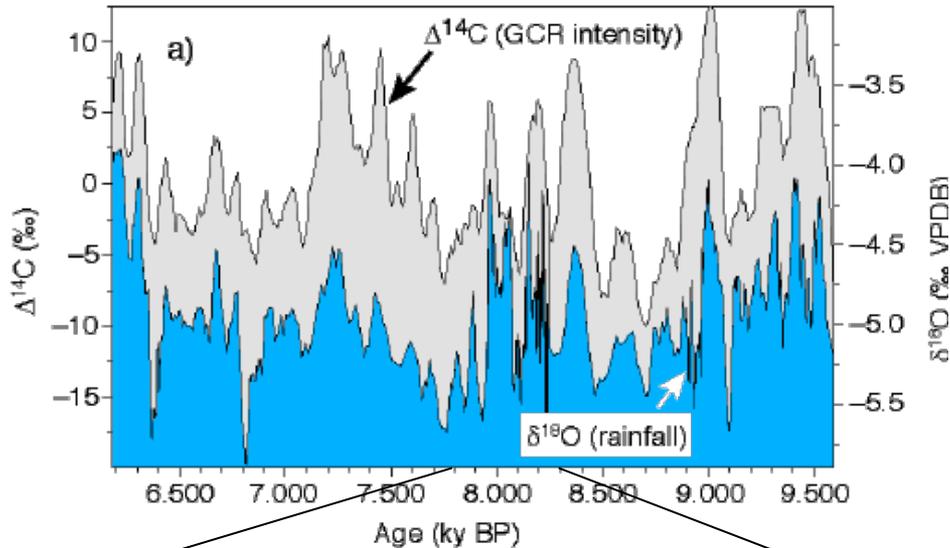
相関関係



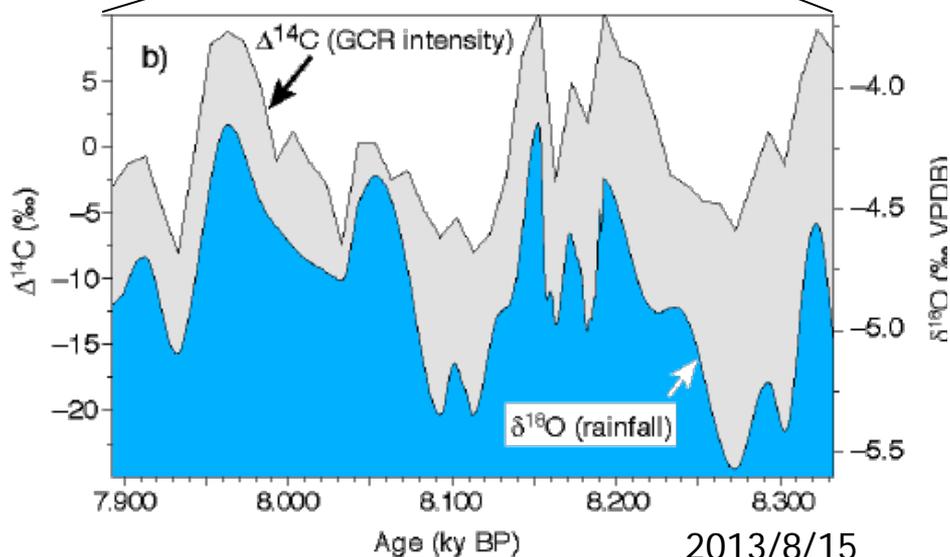
気候変動

偶然か？必然か？

↑ 太陽黒点活動に伴う宇宙線流束変動



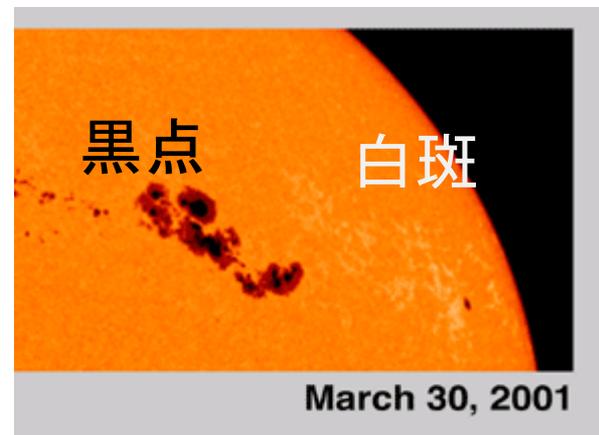
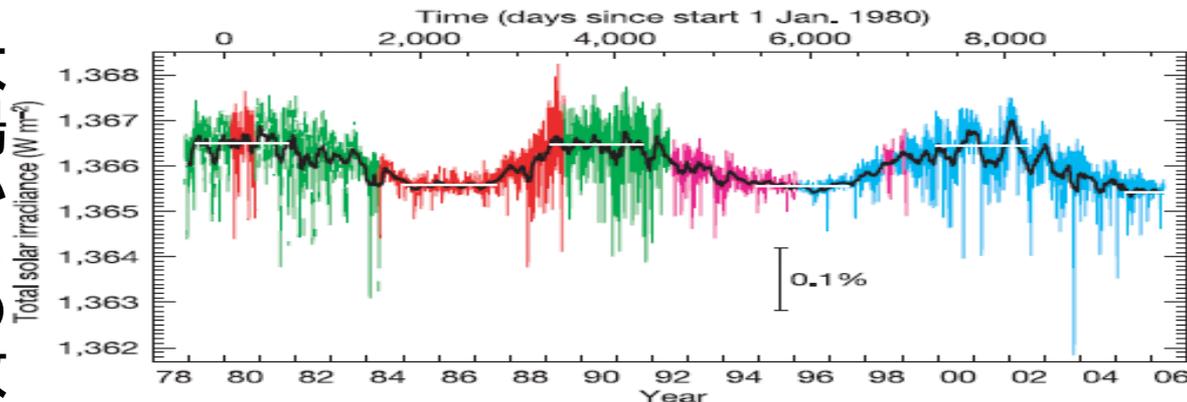
↑ 降水量減少



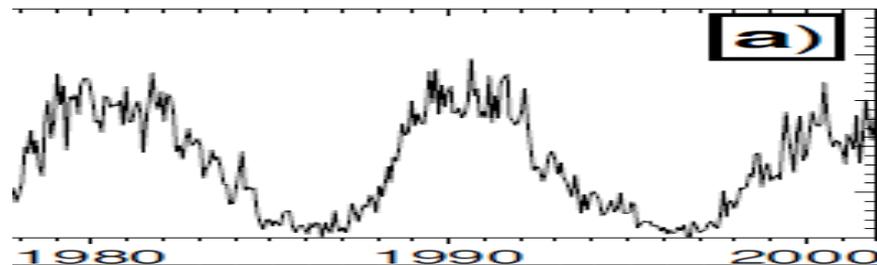
↑ 降水量減少

黒点活動に伴う様々な変化

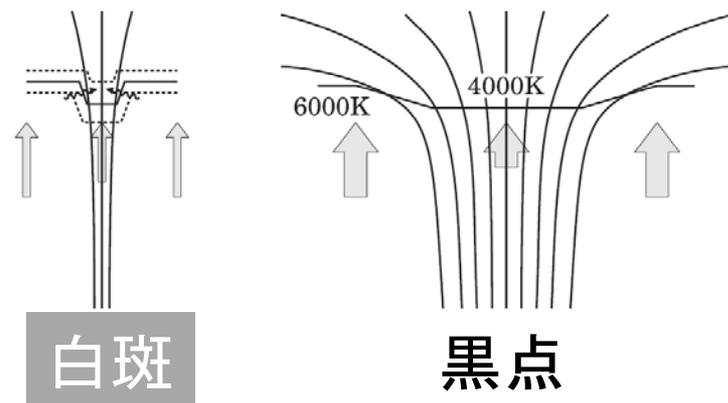
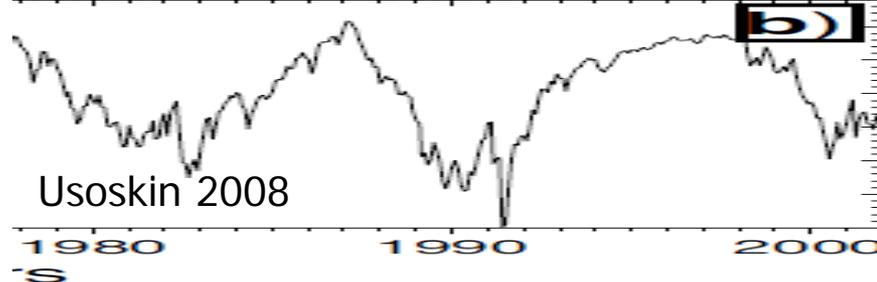
太陽からの放射



sunspot
黒点



GCR
銀河
宇宙線



放射強度、磁場、宇宙線などはいずれも
黒点活動と同期して変動する。

白斑と黒点の違い

太陽の気候影響メカニズムは？

太陽ダイナモ

黒点・磁場活動

放射強度 (TSI)
放射スペクトル (SSI)

太陽風
太陽圏磁場

太陽面爆発
(フレア・CME)

高エネルギー粒子

銀河宇宙線
太陽変調

それぞれの過程がどのように地球気候に影響しているのかはまだ良く分かっていない。

予測することの重要性

- 未来を予測することの重要性
- 科学的理解のための重要性



- 予測の方法
 - 経験的予測法
 - 周期性の発見、予兆現象の発見、相関現象の発見
 - 第1原理的予測法
 - 第1原理に基づく時間発展の結果として未来を予測する

予測と近代科学

■ ハレー彗星



エドモンド・ハレー(1656年10月29日 - 1742年1月14日)

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。