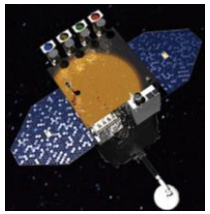
国立研究開発法人
情報通信研究機構

ユーザーズフォーラム
2017年7月5日@科学博物館

宇宙天気講座　太陽編



SDO衛星

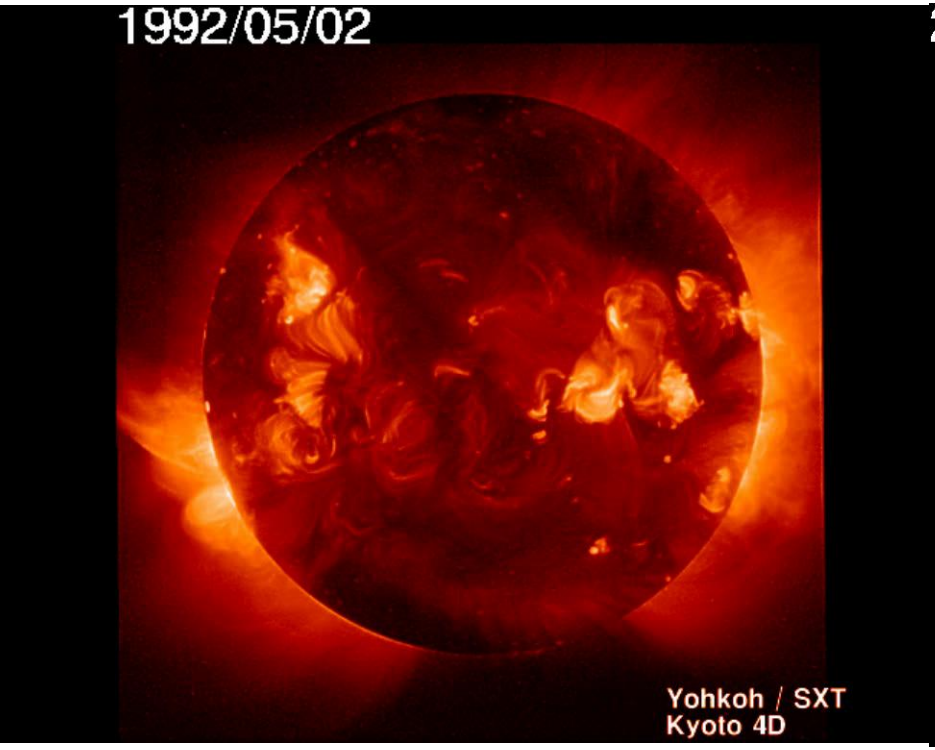
西塚直人

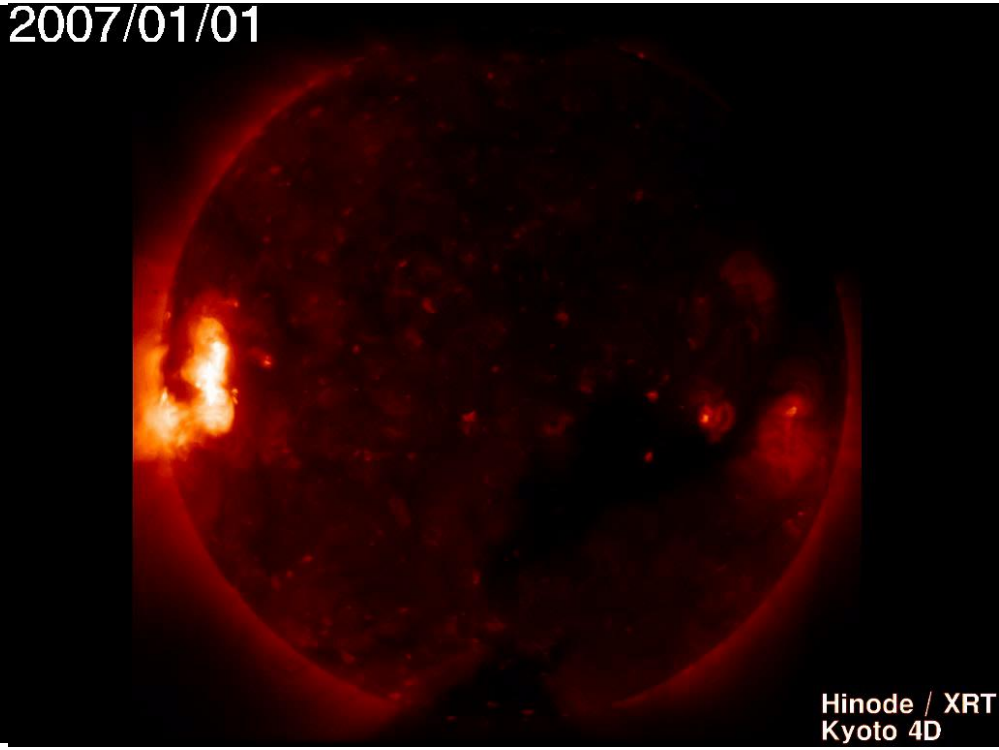
情報通信研究機構
電磁波研究所宇宙環境研究室

太陽フレアと宇宙天気

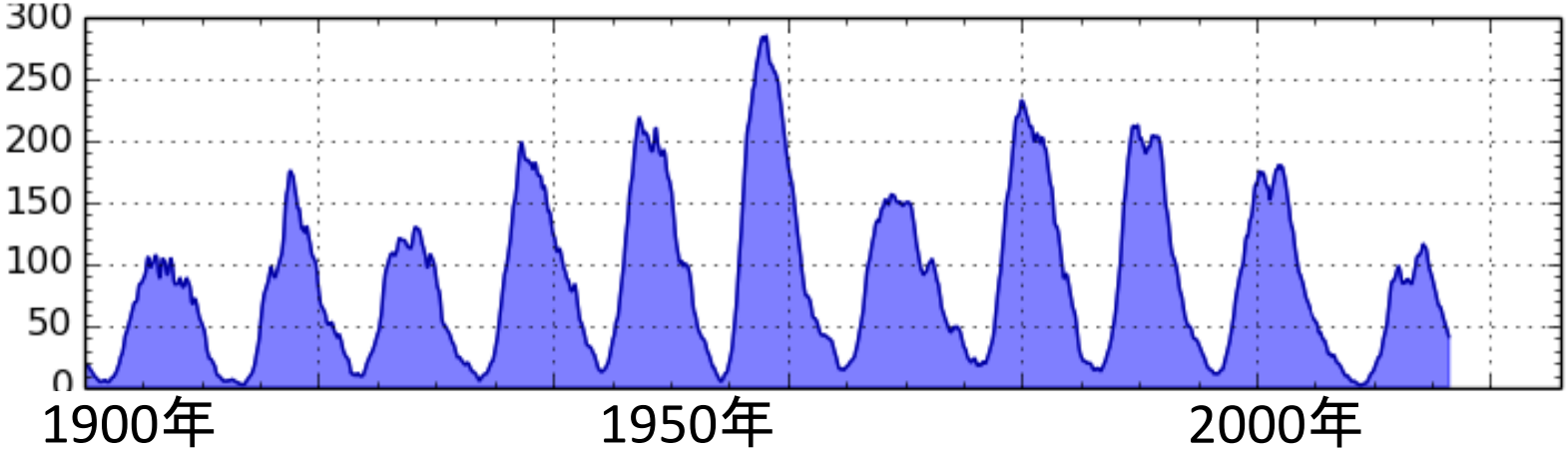
http://www.youtube.com/watch?v=HTPrwgP8oFY&feature=related

活動期（極大期）太陽活動の１１年周期平穏期（極小期）





黒点数の
11年周期
変動



* ベルギー王立観測所 (http://www.sidc.be/silso/yearlyssnplot)

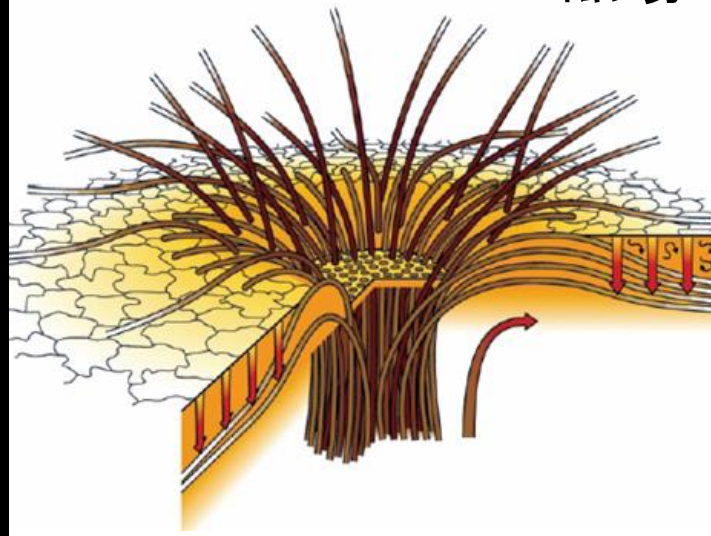
「ひので」衛星が見た黒点

Hinode

G-バンドフィルター, ひので可視光望遠鏡

対流（粒状斑）

磁場



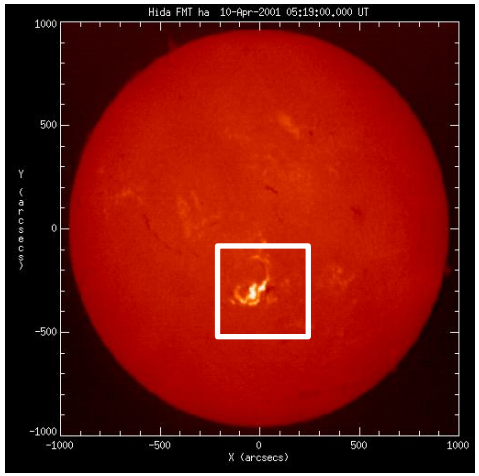
from Thomas & Weiss 2002 ARAA

太陽内部から磁場が浮上してきて黒点ができる。

地球の大きさ

太陽フレア

彩層1万度

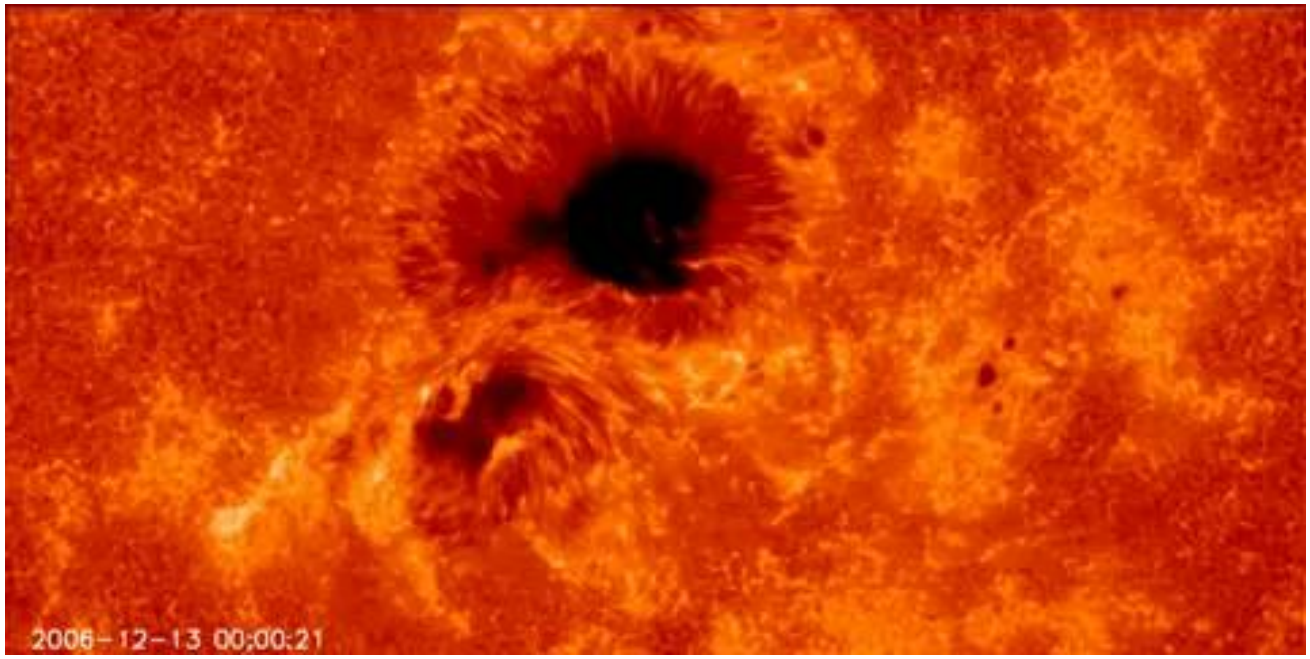


１９世紀中頃発見、黒点近傍で発生

サイズ～（1－10）万km

太陽系最大の爆発現象：水爆10万ー1億個）

発生メカニズムが1世紀以上謎



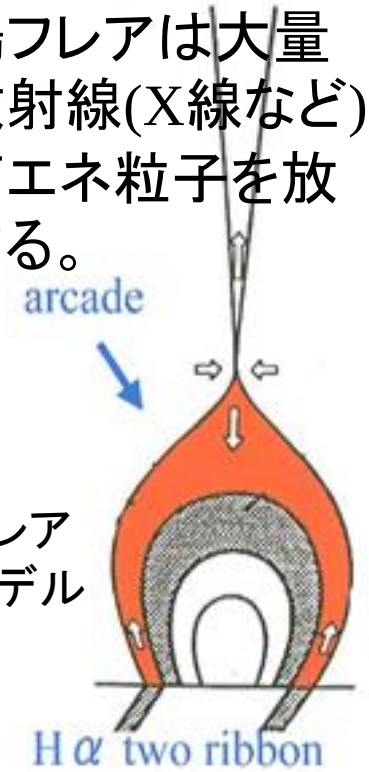
2006年12月13日　Xクラス・フレア

ひので可視光望遠鏡カルシウムフィルター

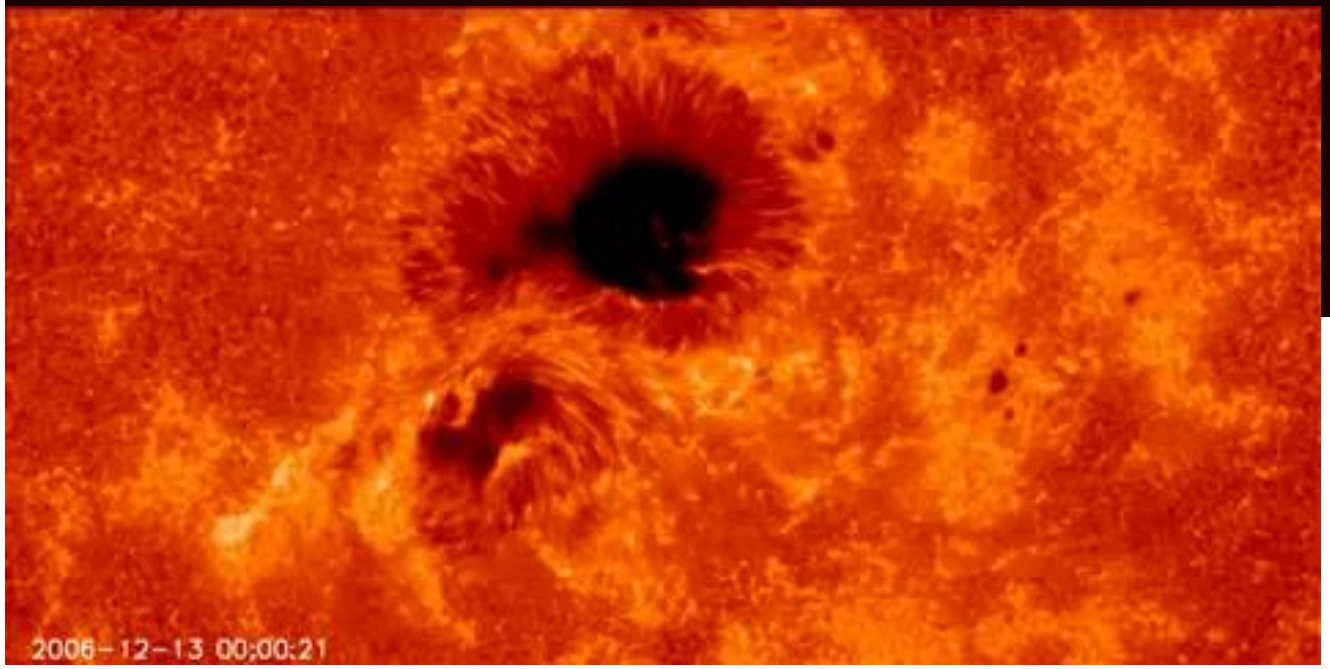
太陽フレア

右上図: **軟X線**→
2011年2月14日
Mクラス・フレア
ひのでX線望遠鏡
Ti polyフィルター

太陽フレアは大量の放射線(X線など)や高エネ粒子を放射する。



フレア
モデル

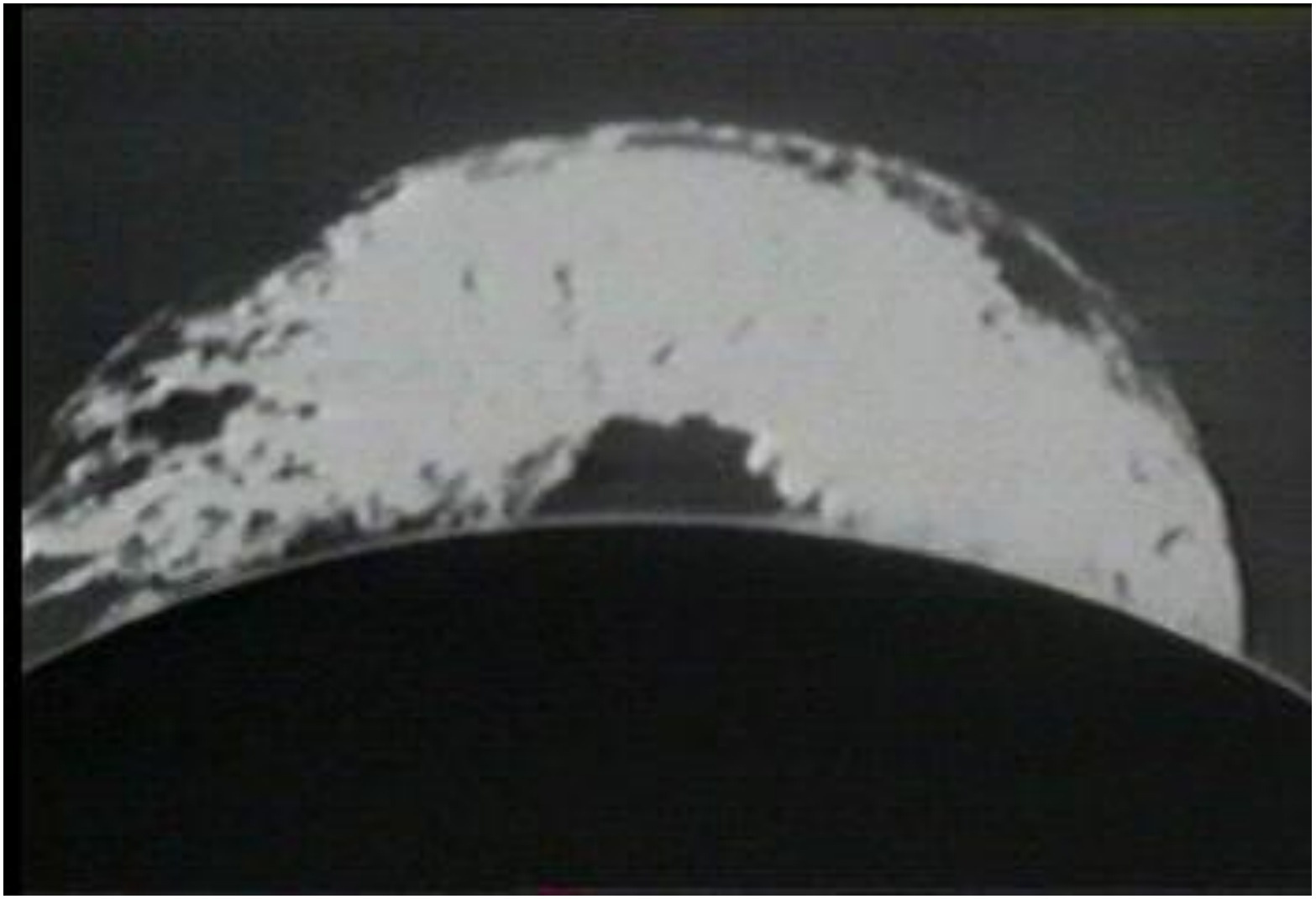


2006年12月13日　Xクラス・フレア
ひので可視光望遠鏡カルシウムフィルター

太陽プロミネンス(紅炎)噴出

（史上最大：1946年6月4日：米国HAO天文台）

地球の
大きさ



ヘリカルな螺旋状構造は磁場を表している。

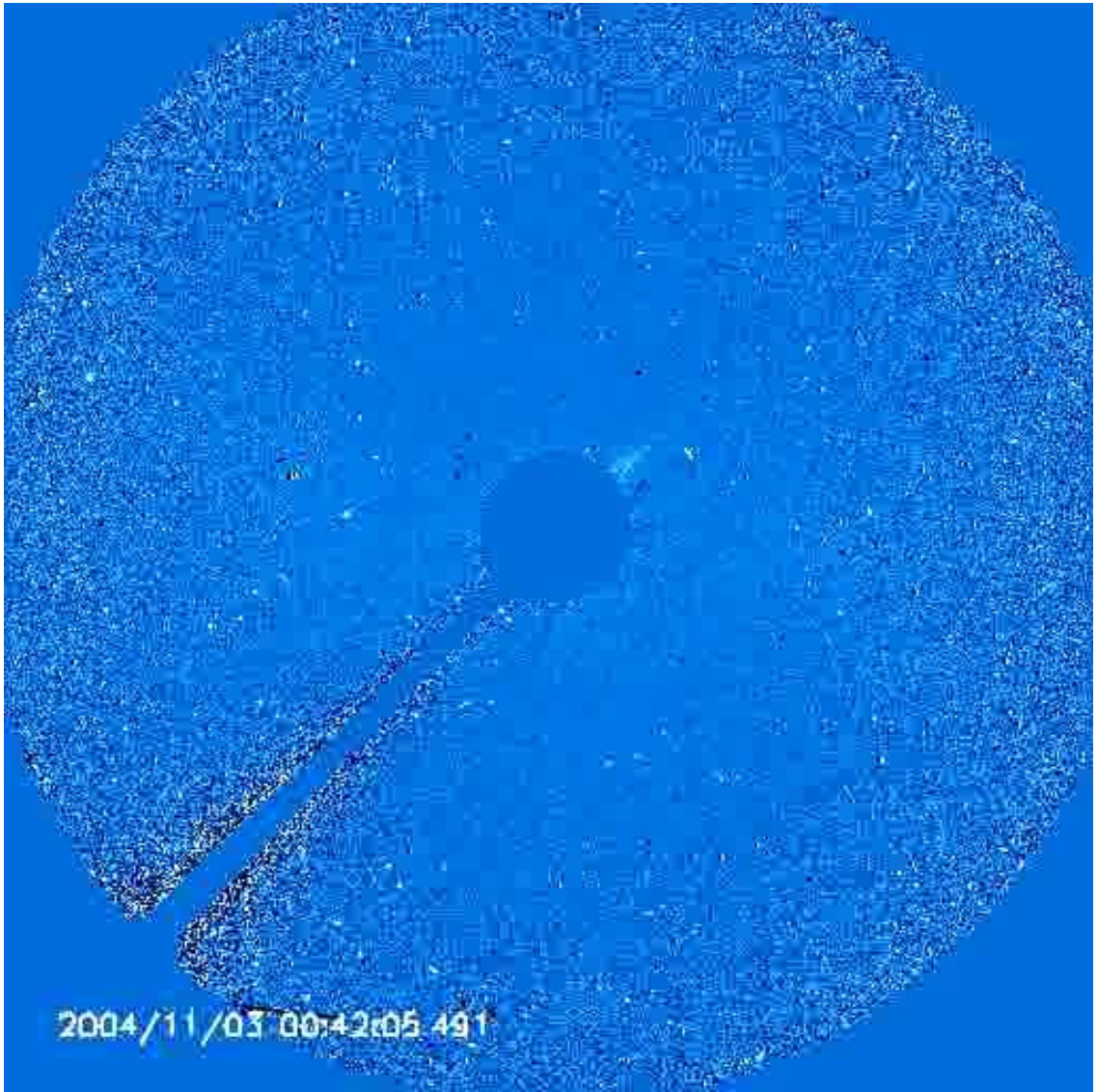
コロナ質量放出（CME）

（フレアにともなうコロナ・プラズマの噴出流＝＞地球に影響）

速度～秒速
100－1000km、
質量～10億トン
（SOHO／LASCO,
可視光／人工日食）

２－３日後に
地球に到達

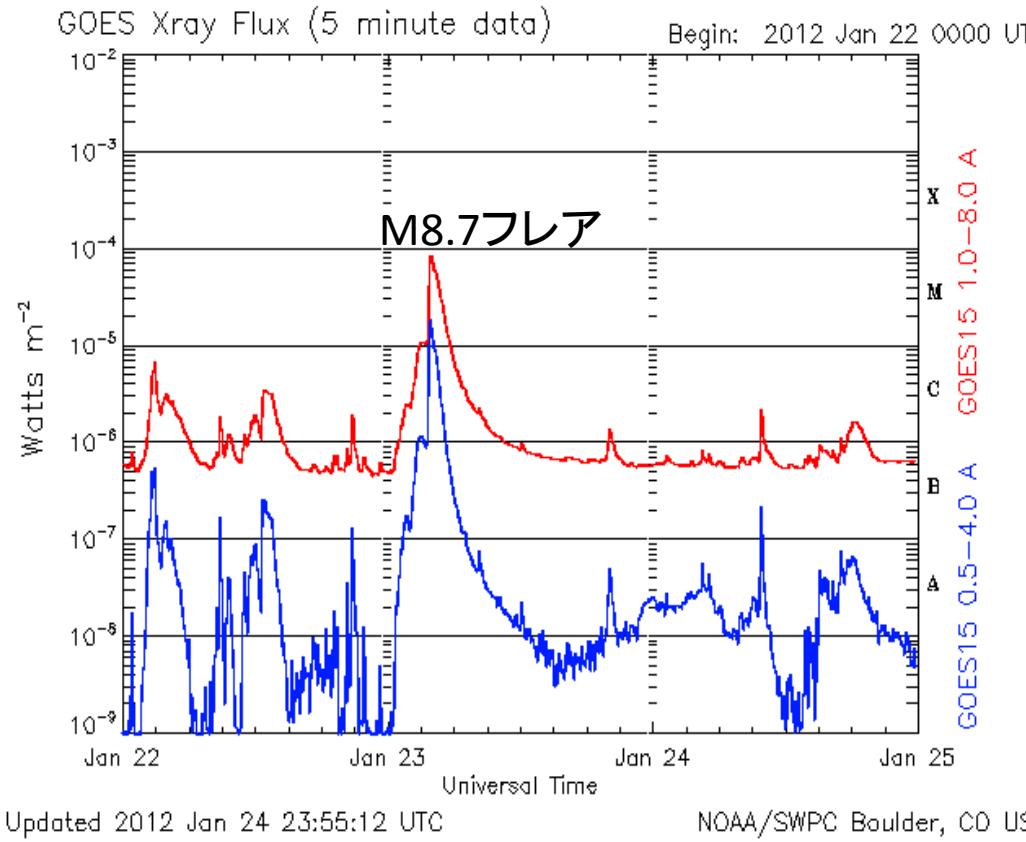
明るい太陽部分は→
円盤で遮蔽



太陽フレアに伴うX線

太陽フレアの規模はこの観測(赤線)から決められている。

フレアの規模	最大X線量Fx [W/m²]	発生頻度
X	$10^{-4} < Fx$	3回
M	$10^{-5} < Fx < 10^{-4}$	30回
C	$10^{-6} < Fx < 10^{-5}$	300回
B	$10^{-7} < Fx < 10^{-6}$	3,000回
A	$10^{-8} < Fx < 10^{-7}$	



http://www.swpc.noaa.gov/

大規模なフレアが起こると、通常の100~1,000倍のX線が地球に降り注ぐ。
（地震と同じく1桁ごとにクラス分け）

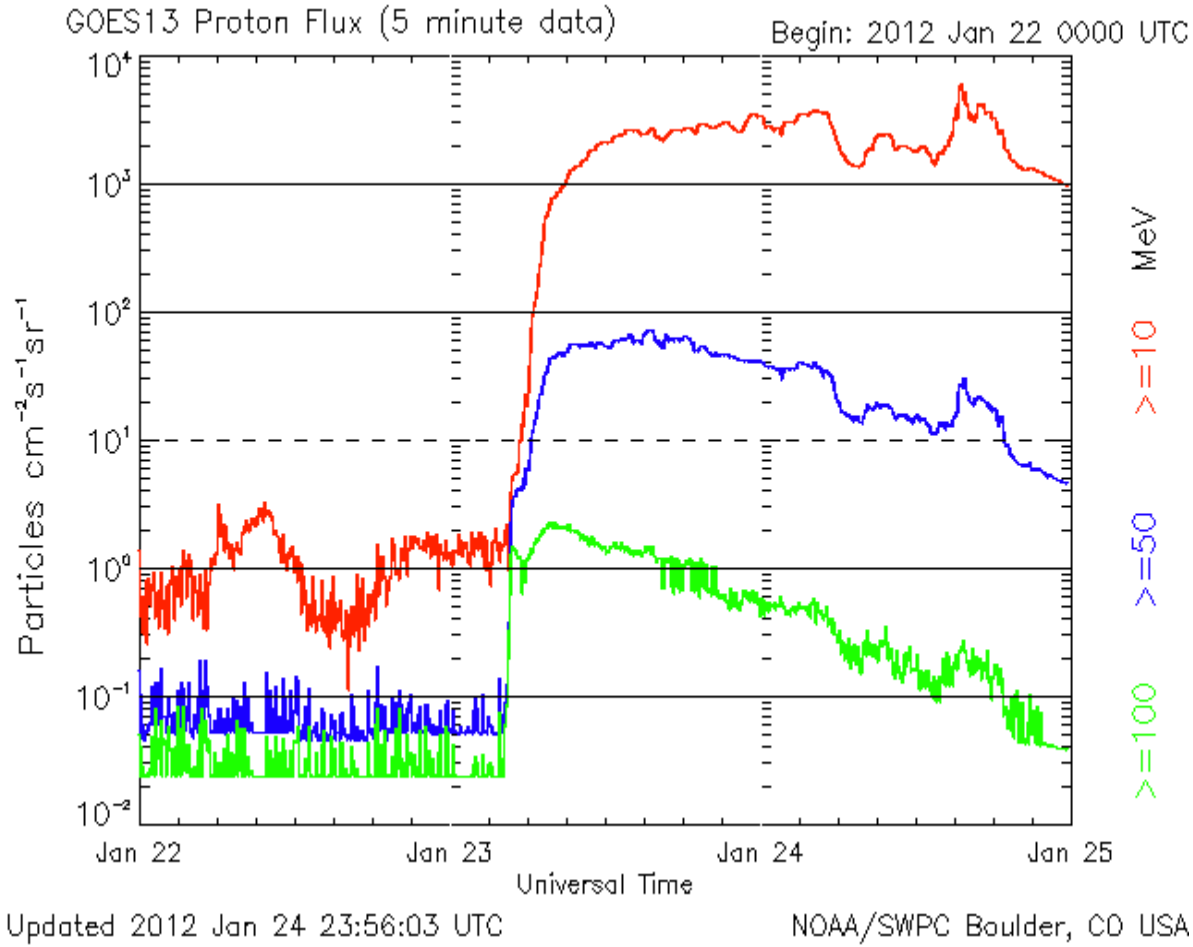
- デリンジャー現象（通信異常）

太陽からやってくる高エネ粒子(プロトン)

プロトンは水素の原子核。
太陽フレアに伴って加速されて
放出される。

・大きなプロトン現象時には
通常の1000～1万倍に。

- 宇宙飛行士, パイロットの**被曝**
- 短波**通信**の**途絶**（極冠吸収）
- 人工衛星の**誤動作**

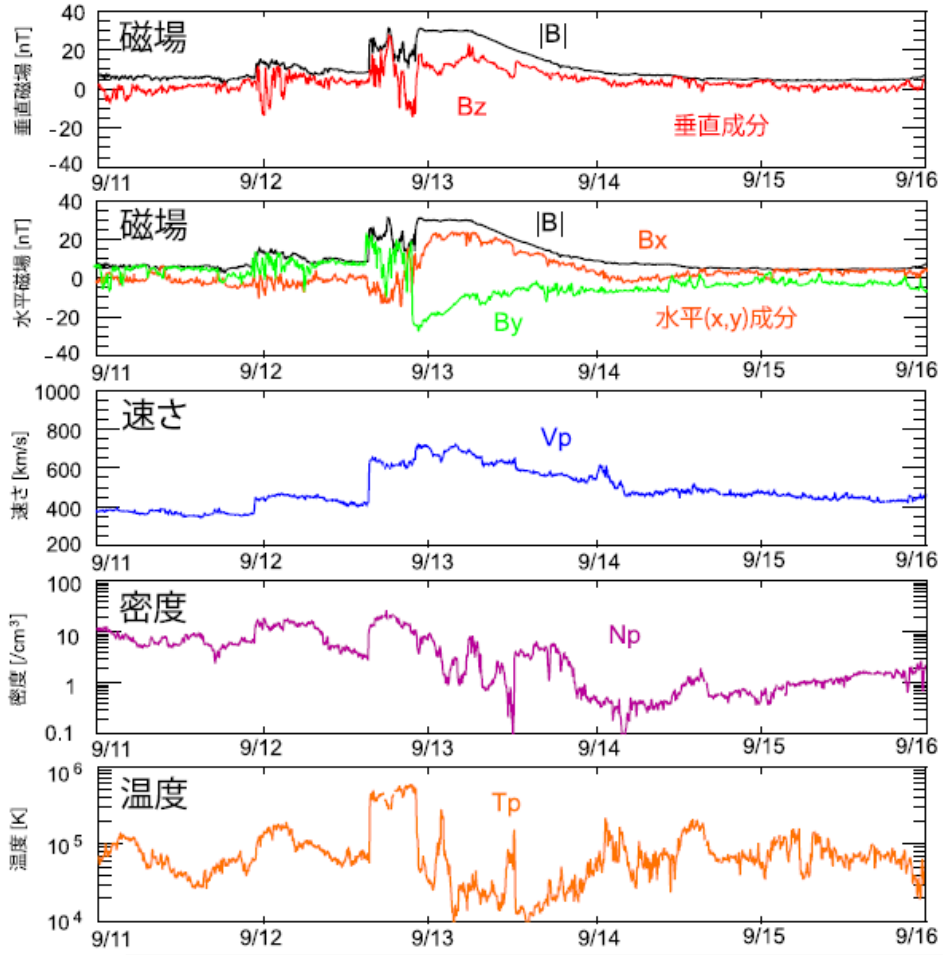


http://www.swpc.noaa.gov/

希薄なガスの定常的な流れ(太陽風)

太陽風は2－4日で地球に到達。
地球から150万kmの(月の4倍遠い)ところにあるACE, DSCOVR衛星を用い、直前(到達1－2時間前)に観測。

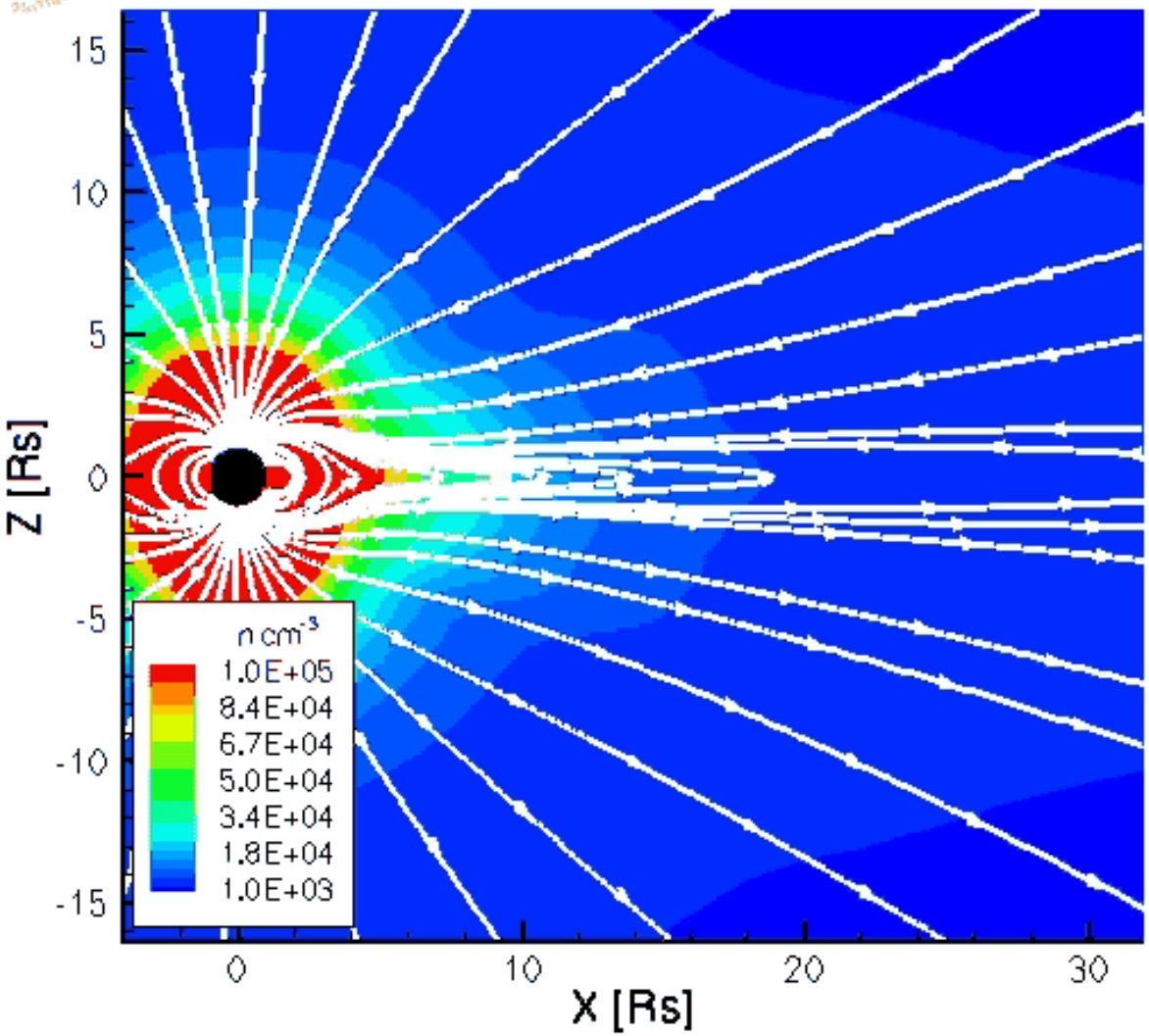
- **速度や密度、磁場の強さ**が分かる。
- 速い太陽風が地球に吹きつけると、地磁気が乱される。



ACE, DSCOVR衛星のデータ受信アンテナは米・独・日・韓にある。
日本はNICT小金井本部で受信。

太陽フレア・太陽風と地磁気嵐

University of Michigan
Manchester et. al.
2003



宇宙
天気
予報

NICTの宇宙天気情報

太陽編

NICT宇宙天気情報センター

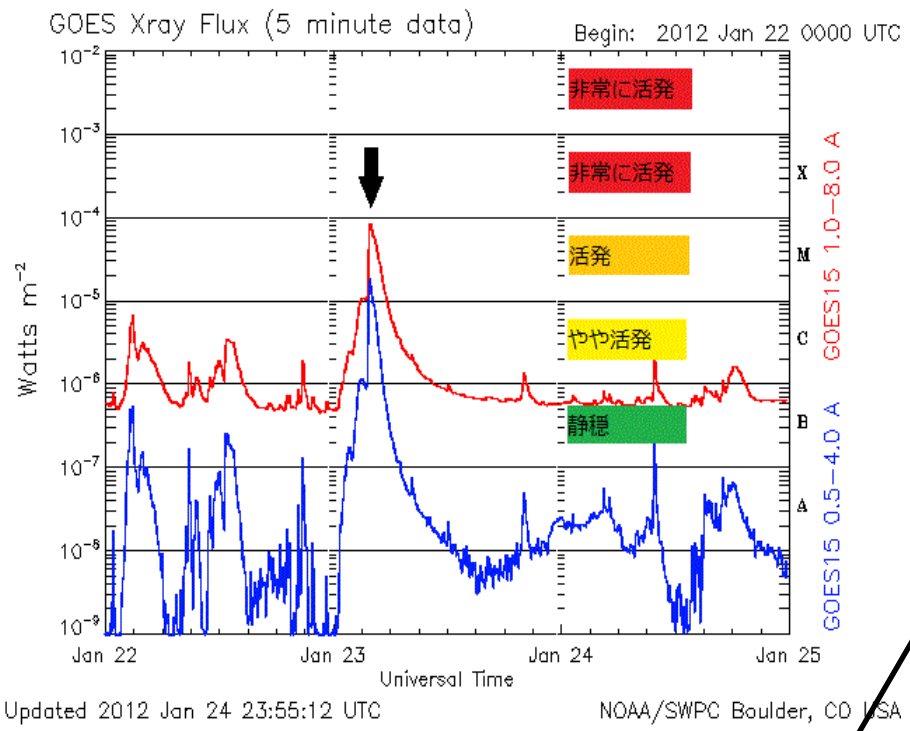
http://swc.nict.go.jp/contents/

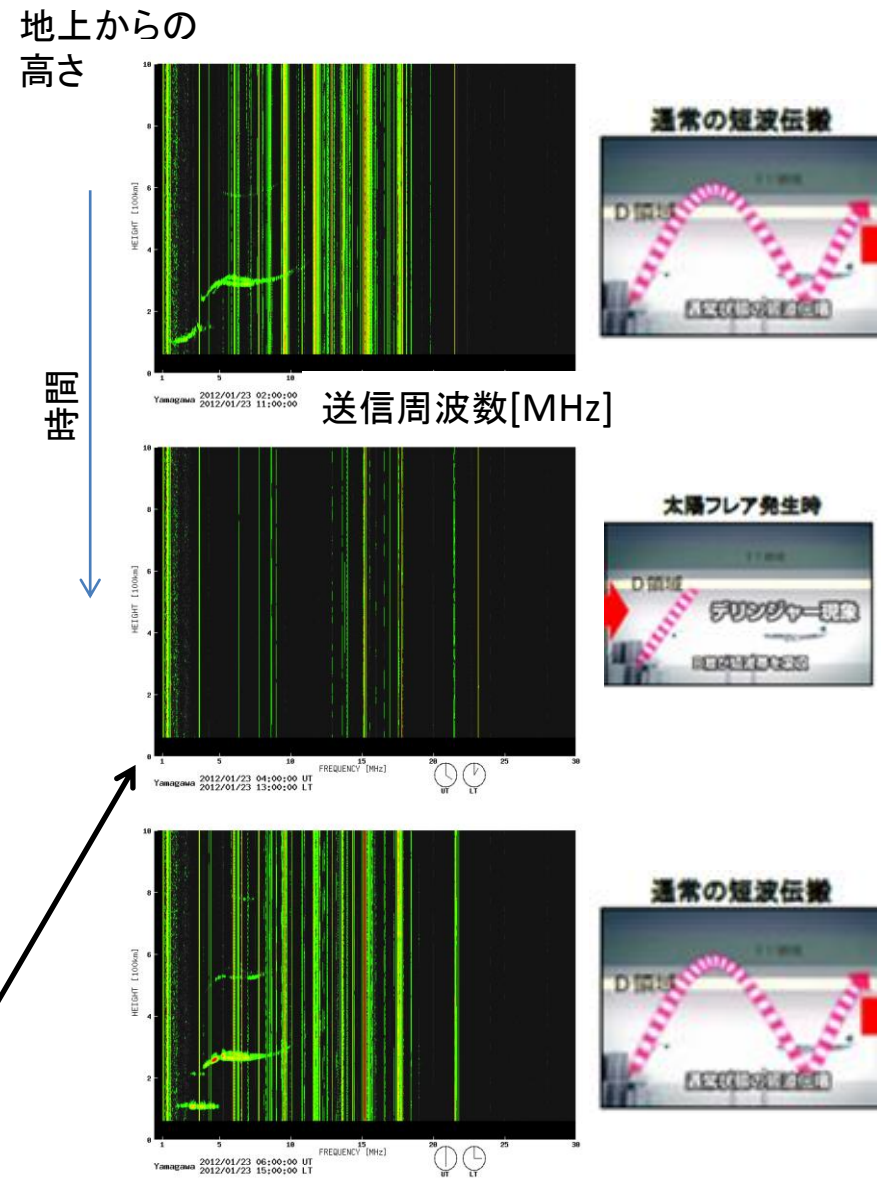
太陽関連の予測

- 太陽フレア
- プロトン粒子
- 地磁気嵐
- デリンジャー現象

太陽フレア予報

今後１日間に発生すると予想される
最大の太陽フレアの規模の予報

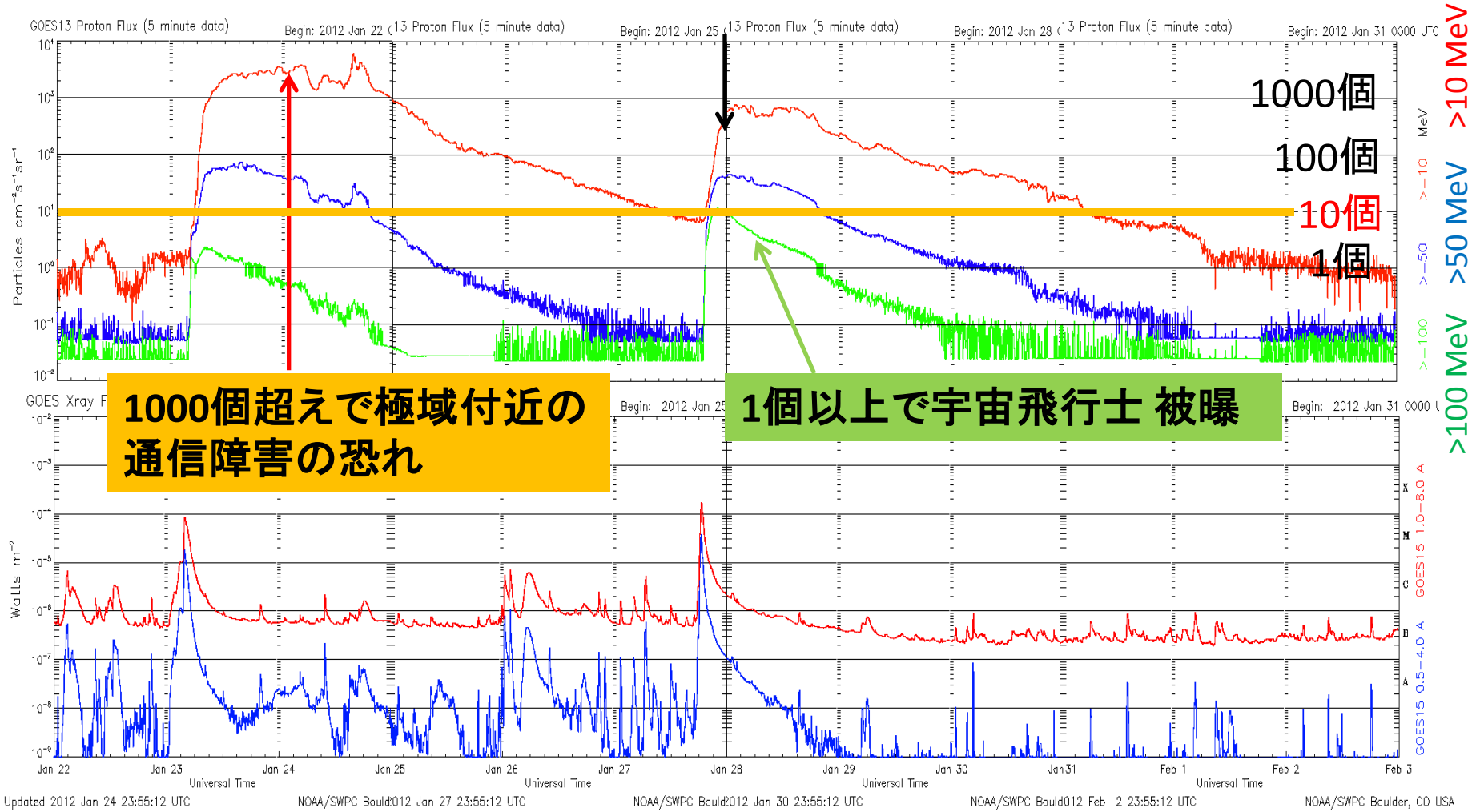




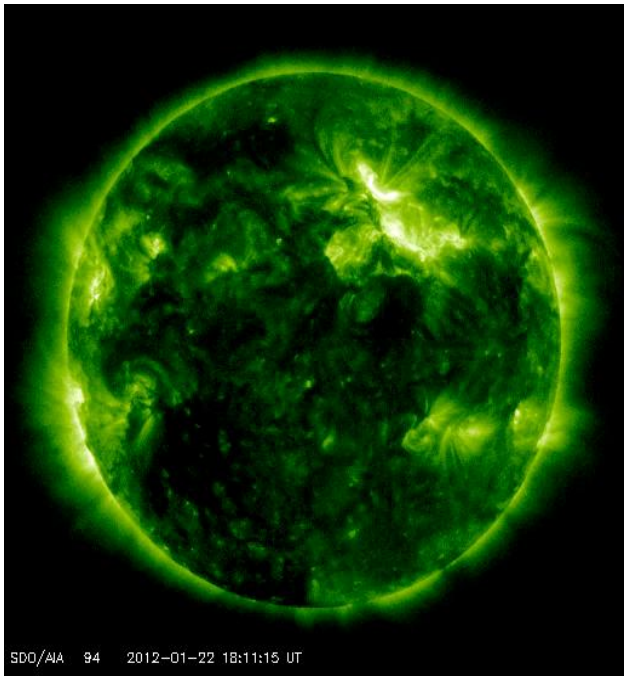
太陽フレア予報が活発、非常に活発の場合
→　デリンジャー現象（短波通信障害）が起こる可能性が高い。

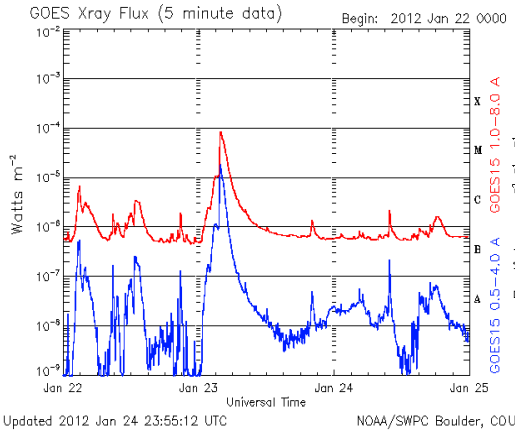
プロトン現象情報

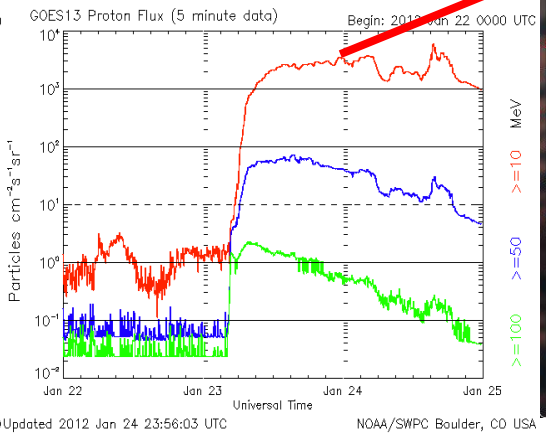
赤線（10MeV以上のエネルギーのプロトン）がオレンジ線（**10個** cm^{-2} s^{-1} sr^{-1}）を超えると、プロトン現象発生。100個、千個、1万個を超えた場合、臨時情報が発令！

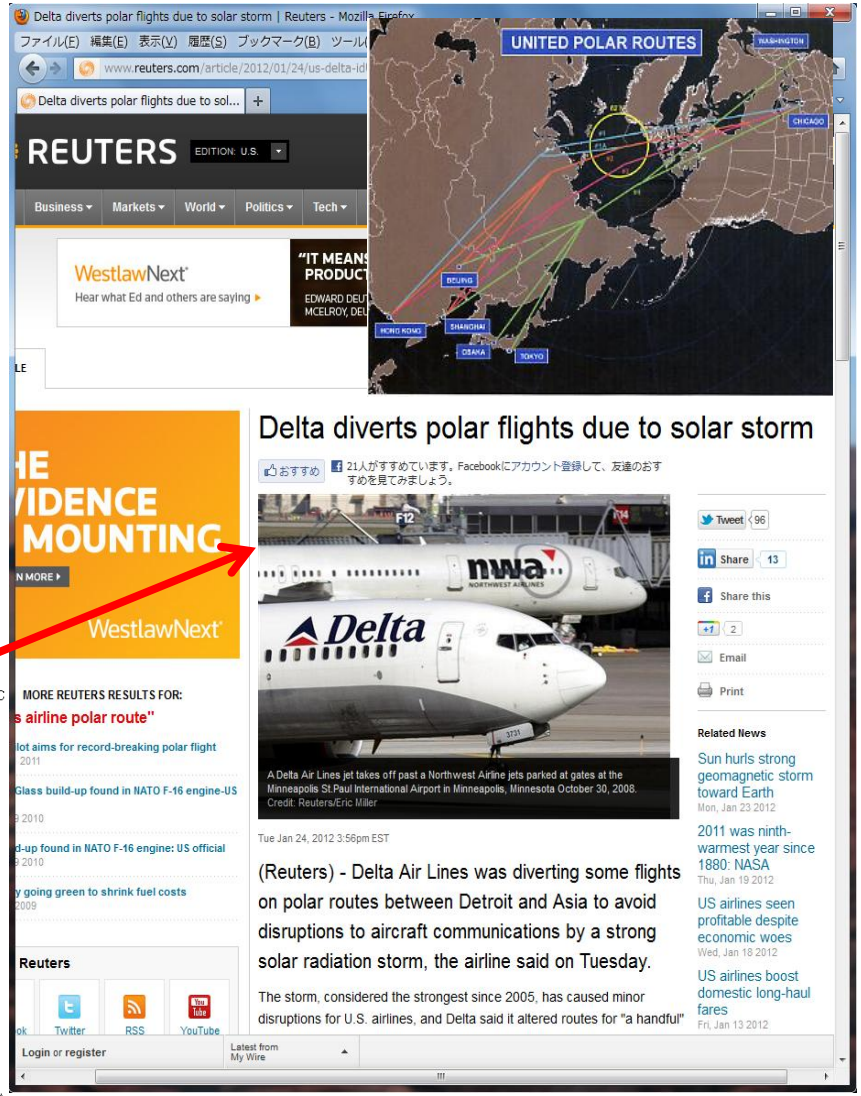


2012/1/23 民間航空機が飛行ルート変更







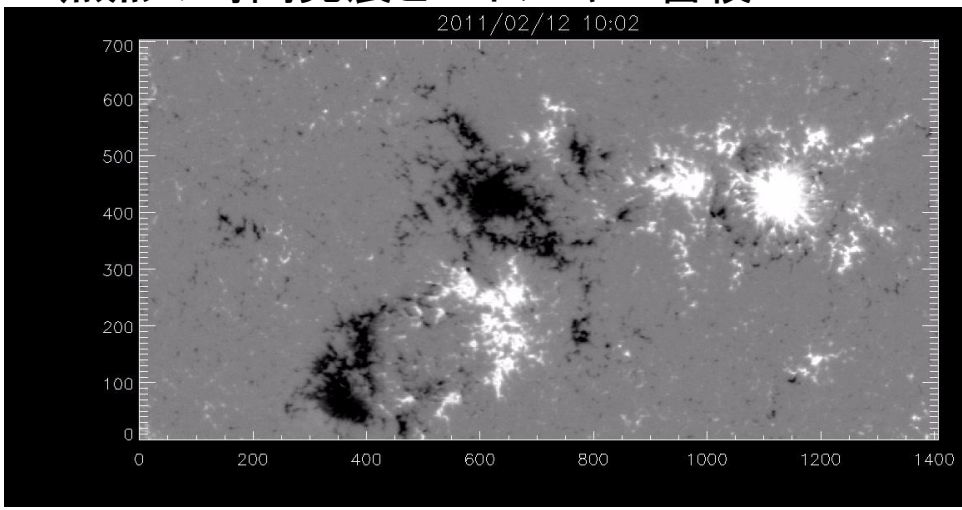


AI技術を用いた太陽フレア予測

開発編

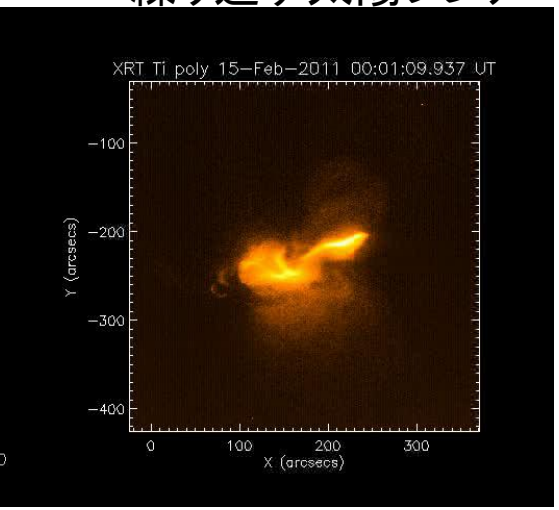
■太陽フレアの監視と予測

黒点の時間発展とエネルギー蓄積

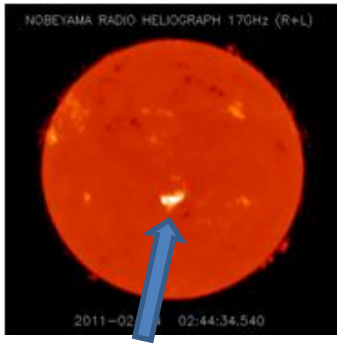


Hinode/SOT Stokes-V (B-field) (c) Dr. Y. Iida

繰り返す太陽フレア

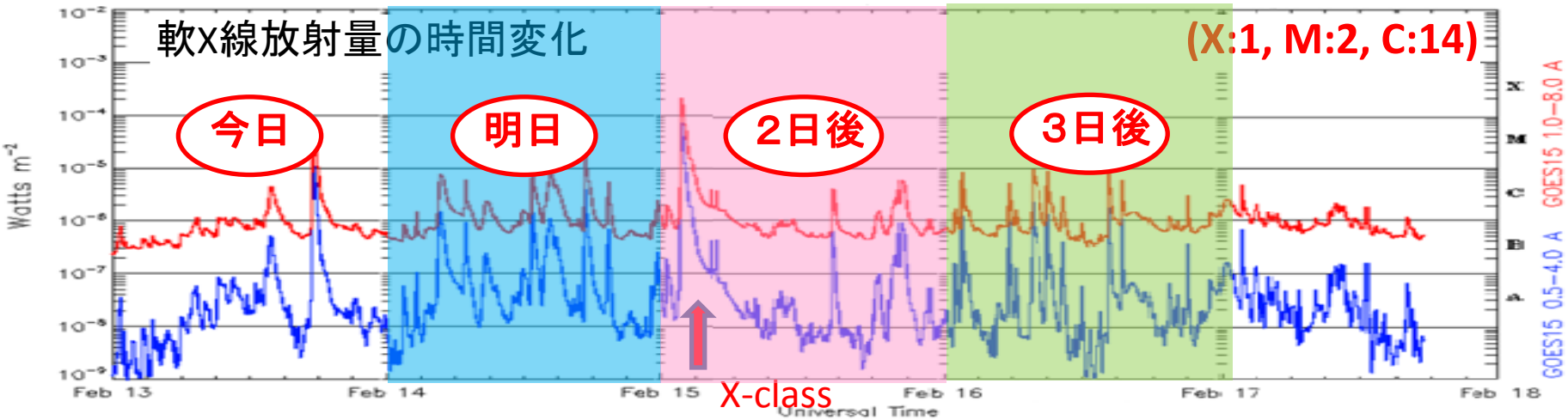


XRT/Hinode Ti poly filter



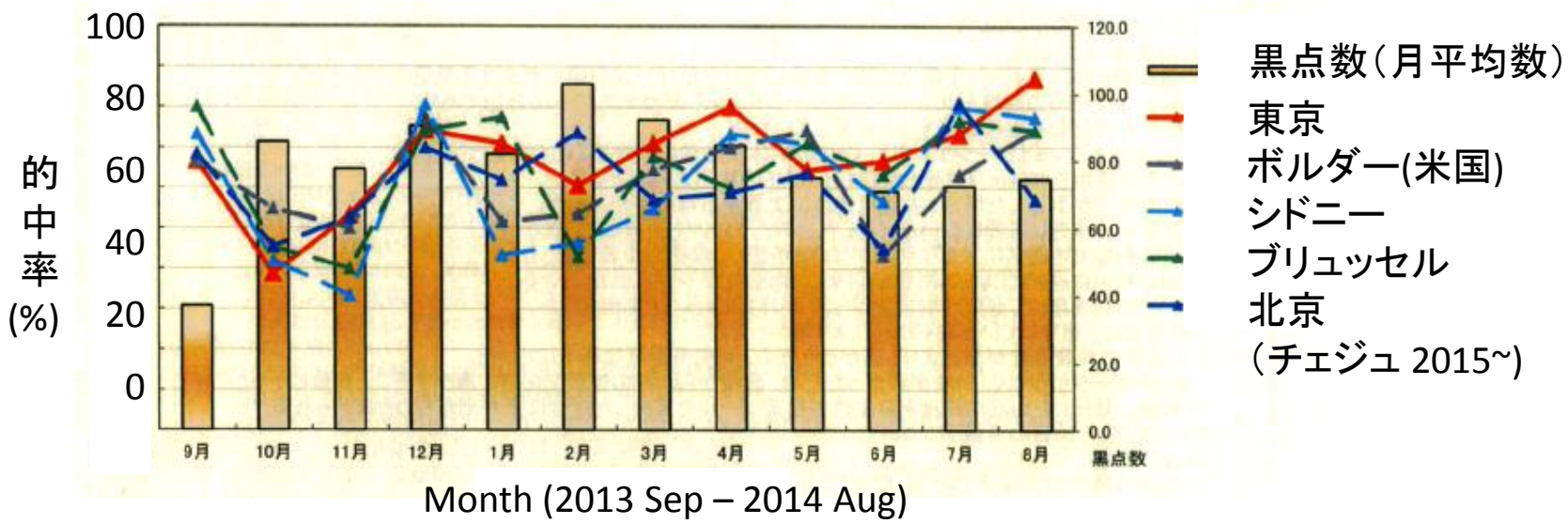
太陽フレア・電波
(NoRH data)

これから1日間に、最大どの規模のフレアが発生するのか？を予測する



■ 宇宙天気予報(フレア予測)の現状

2013年9月 ~ 2014年8月 黒点数とフレア予測適中率



人手を介した予測:
的中率~60-80%

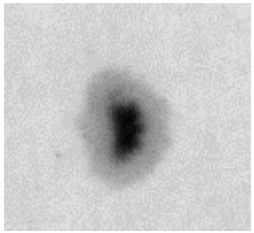
スキルスコア:
TSS~0.5
（-1.0 < TSS < 1.0）

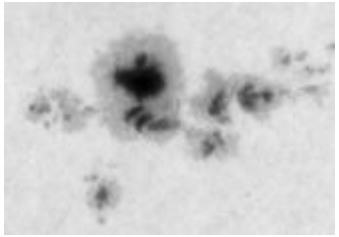
■AI技術を用いた太陽フレア予測モデル開発

(Nishizuka et al. 2017 ApJ論文掲載、1月プレスリリース)

Yohkoh, 軟X線

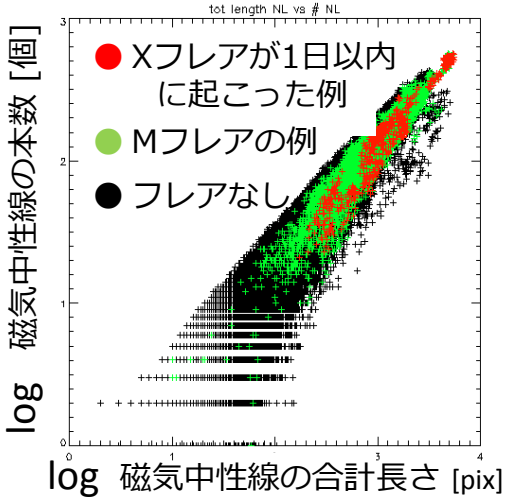
1日の衛星データ：1.5TB以上
→人の処理能力を越えた膨大なデータ

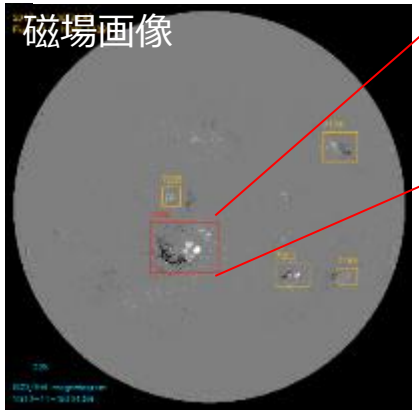


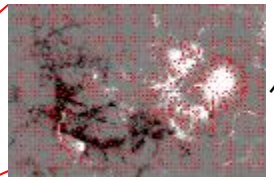


単純な黒点:穏やか　　複雑な黒点:フレア起きる！

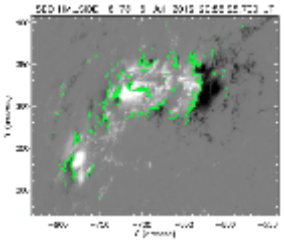
・・・のような判断を、AIにさせる。







ベクトル磁場



磁気中性線

学習データ：過去6年分の**30万枚**の太陽画像(4k×4k)。黒点領域を自動検出し、特徴量を抽出。

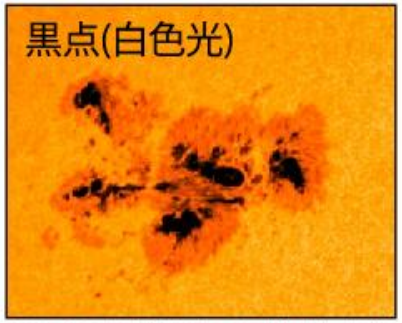
機械学習

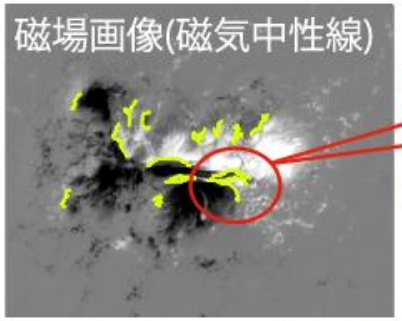
従来：TSS＝0.5
↓
A.I.: TSS=0.89
（TSS=1 で100%的中）

・機械学習とビッグデータで、太陽フレアの発生予測を**８割へアップ**
・AI技術が太陽フレア予測にも有効であることを実証(過去データに対して)

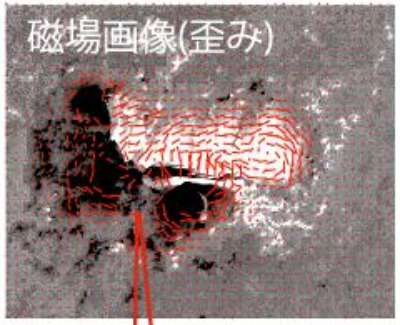
AIによる分析で分かった

■フレア予測に有効な黒点の特徴

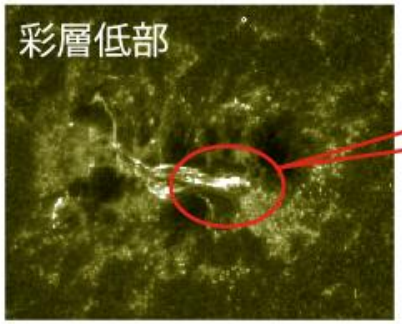




地震の断層面のように磁場の歪みがたまる場所



矢印の向きと大きさから磁場の歪みがわかる



発光部分

◆黒点の特徴の重要度ランキング

1	太陽フレアの発生実績
2	磁気中性線の長さ・本数
3	磁場の強さ・磁束量
4	彩層低部の発光
5	磁場の歪み具合
6	時間変化の度合い

・黒点の**約60個の特徴**の有効性を比較した。

⇒ 地震と同じくエネルギー蓄積とトリガー現象が鍵！

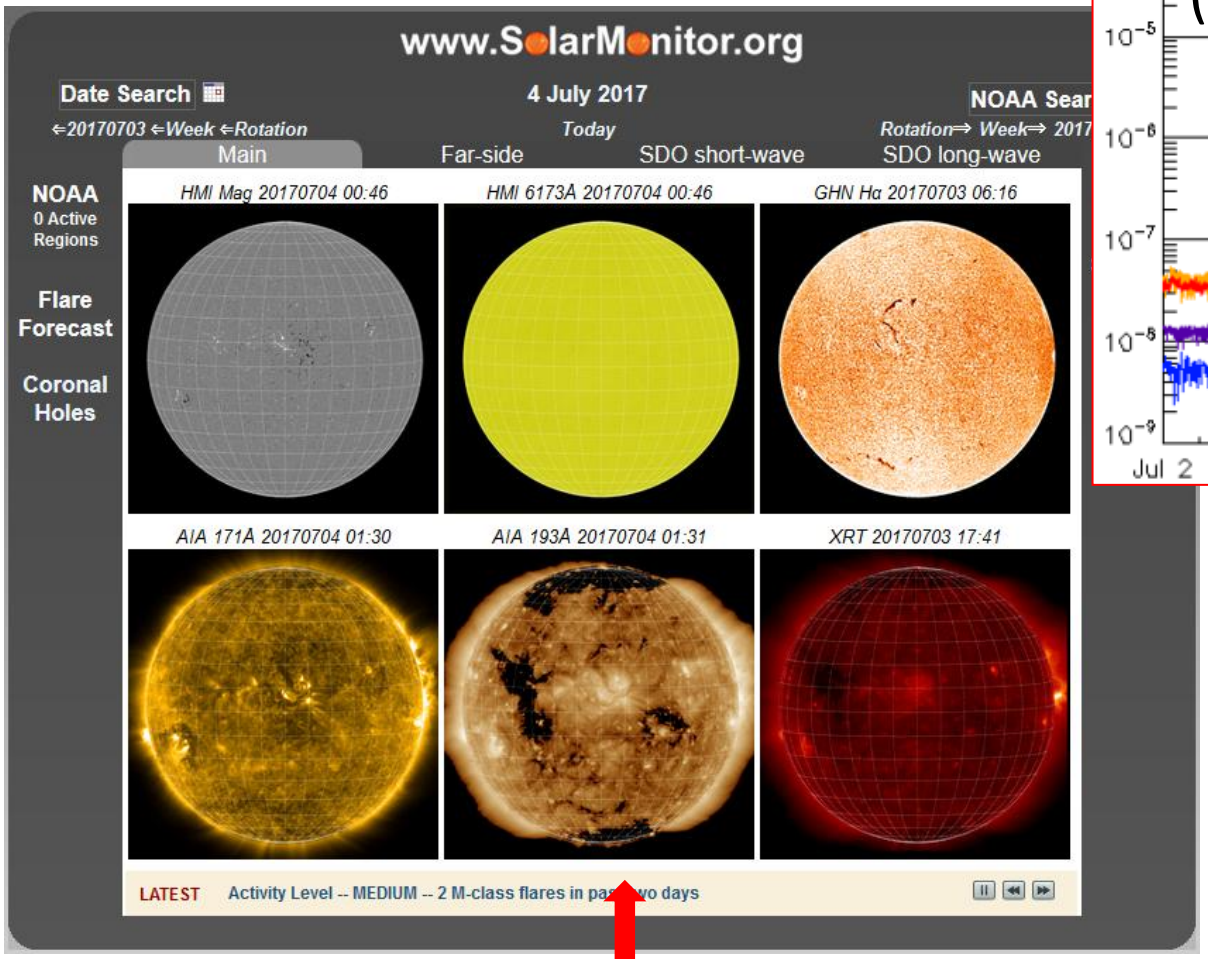
★いまだに解明されていない太陽フレアの発生メカニズムを解明する鍵が得られた。

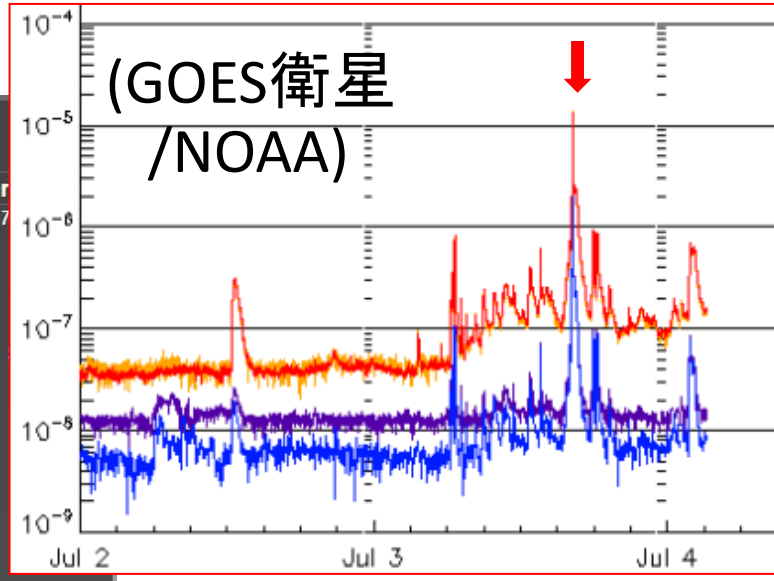
まとめと今後

- 太陽活動は宇宙天気の源であり、フレアやCME、高エネルギー粒子(プロトン)などを発生する。
- 太陽フレアを予測することで、従来よりも早い予報が可能になり、宇宙天気の影響による災害の早期対策へ貢献できる。
- 従来人手による予測を行ってきたが、様々な大量の観測データが利用できるようになった現在、AI技術を用いた太陽フレア予測手法の有効性が示された。
- 太陽フレア予測モデルがリアルタイムでより精度の高い予測情報として活用されるよう、今後検証しながら実用化を進めていきたい。

今日の太陽活動

http://www.solarmonitor.org





軟X線モニター

西のリム(端)の
活動領域がやや活発化！
M1.3フレア発生。

無黒点状態。コロナホールが東西の赤道付近にある(今後、高速太陽風に注意)

[プレスリリース] 宇宙天気予報の精度を上げる技術の開発！（1月26日）

▸プレスリリース

ツイート　いいね！ 2

印刷

宇宙天気予報の精度を上げる技術の開発

～機械学習とビッグデータで、太陽フレアの発生予測を8割へアップ～

2017年1月26日

国立研究開発法人情報通信研究機構

ポイント

- 機械学習とビッグデータを用いた手法が、太陽フレアの予測にも有効であることを実証
- いまだに解明されていない太陽フレアの発生メカニズムを解明する鍵が得られた
- 従来よりも早い予報が可能になり、宇宙天気の影響による災害の早期対策へ貢献

NICTは、電磁波研究所及び先進的音声翻訳研究開発推進センターにおいて、機械学習とビッグデータを用いた予測モデル開発により、宇宙天気予報の精度を格段に上げることに成功しました。

NICTでは宇宙天気予報を毎日配信していますが、予報精度の向上が長年の課題でした。今回、複数の機械学習の手法を太陽観測データ解析に応用することで、大量の情報処理による統計的な太陽フレアの予測を可能にしました。その結果、従来の人の手による5割程度の手法に比べると、8割を超える世界トップクラスの精度まで予測精度を上げることができました。また、太陽フレア発生前に現れる特徴を、統合的に機械学習によるデータ分析から明らかにしました。そのことにより、太陽フレアの謎を解く鍵が得られたとともに、従来の一日一回の予報からリアルタイム予報への道が拓け、宇宙天気の影響による災害に対して、より早期の対策準備ができるように実用化を進めます。

この成果は、米国の専門誌「*The Astrophysical Journal*」に、1月25日（水）（日本時間1月26日（木）午前2時）に掲載されます。なお、本研究の一部は、JSPS科研費（JP15K17620）の助成により実施されました。

http://www.nict.go.jp/press/2017/01/26-1.html

図1: 宇宙天気予報Webサイト>
http://swc.nict.go.jp/contents/index.php

西塚ら Astrophysical Journal 2017 論文掲載