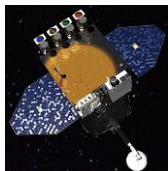
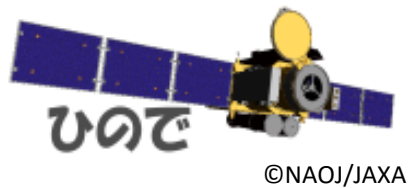


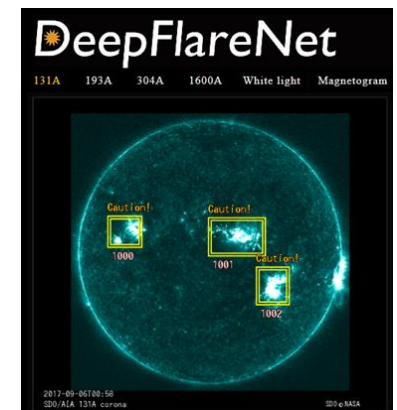
宇宙天気ミニ講座 太陽編



SDO衛星©NASA

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



<https://defn.nict.go.jp>

NICT宇宙天気予報

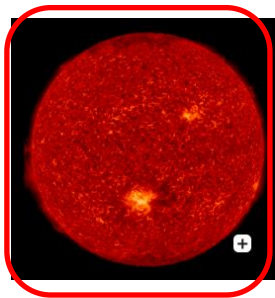
<https://swc.nict.go.jp/>



宇宙天気予報内容を配信
(1日2回更新)

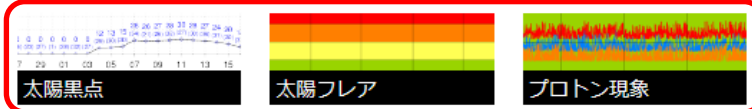
太陽活動から地球大気まで、
予報対象は様々。

- ▶ 太陽
- ▶ 地球磁気圏(静止衛星軌道)
- ▶ 電離圏(超高層大気)



太陽編

① 現況チャート(定常観測)



② 予測モデル(研究開発)



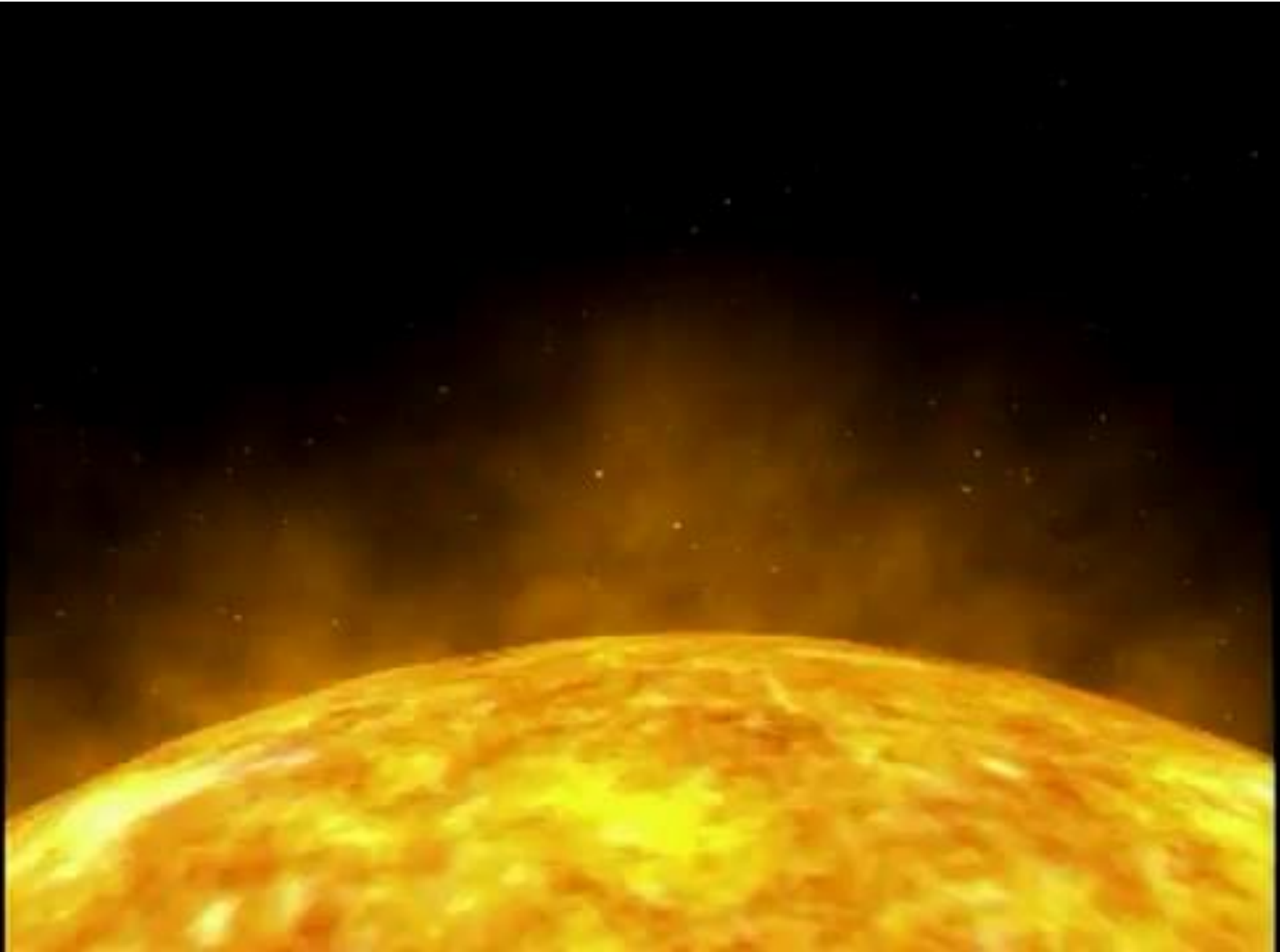
③ 観測データ公開



【ミニ講座の内容】

- どうやって見たらいいの？
(見方・使い方)
- 何が起こっているの？
(自然現象の理解)

太陽フレアと宇宙天気



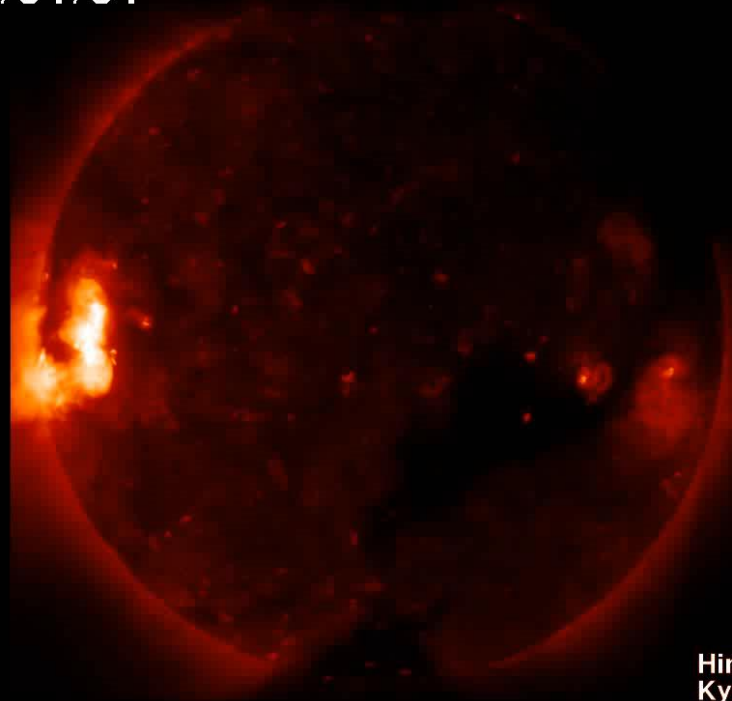
活動期(極大期) 太陽活動の11年周期 静穏期(極小期)

1992/05/02



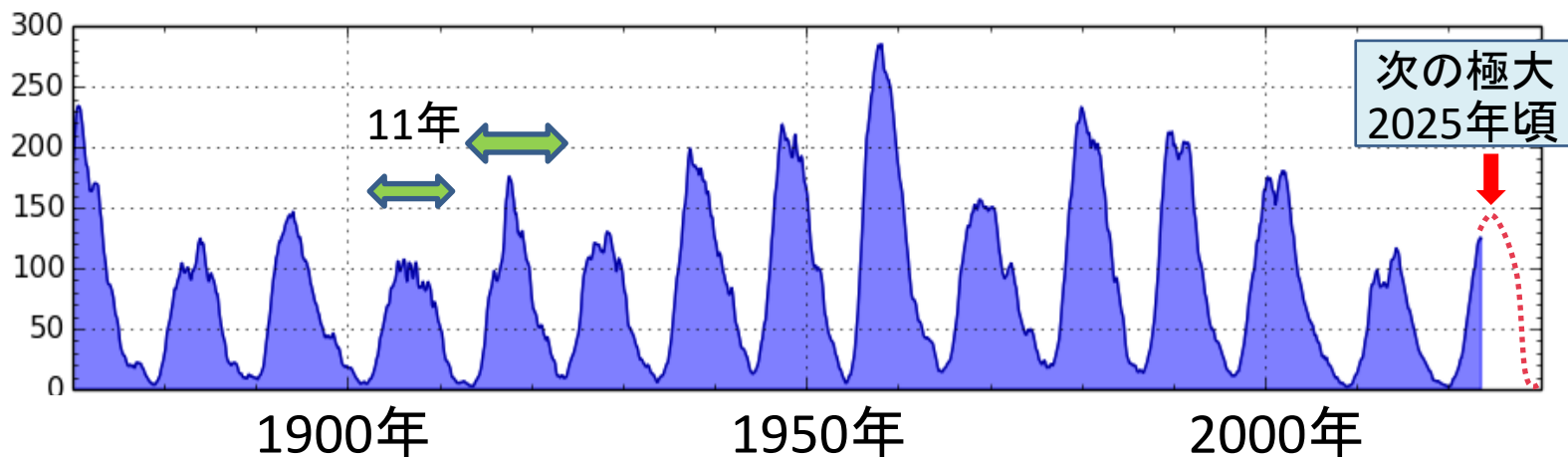
Yohkoh / SXT
Kyoto 4D

2007/01/01



Hinode / XRT
Kyoto 4D

黒点数の
11年周期
変動



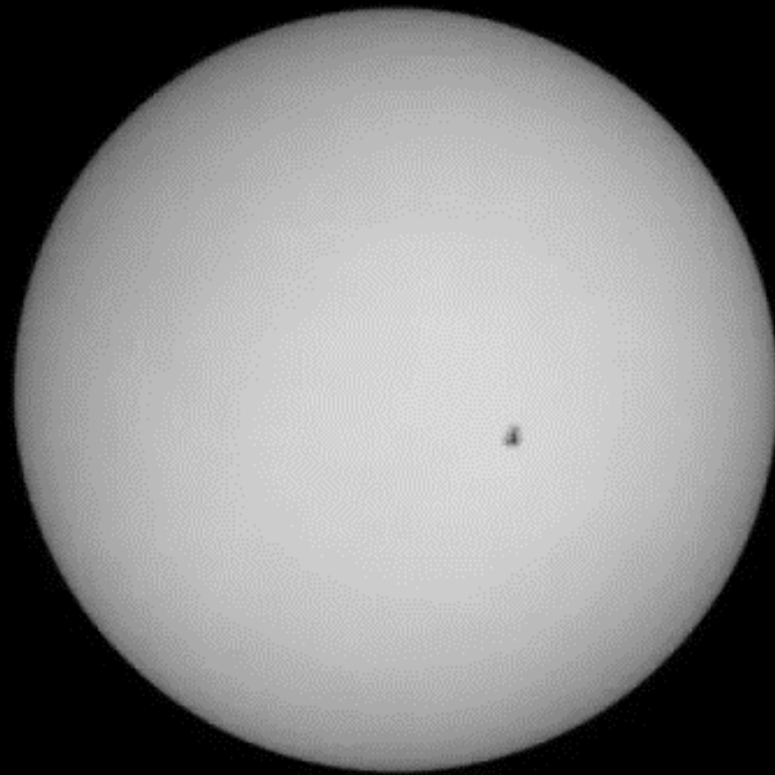
* ベルギー王立観測所 (<http://www.sidc.be/silso/yearlyssnplot>)

「ひので」衛星が見た黒点



Hinode

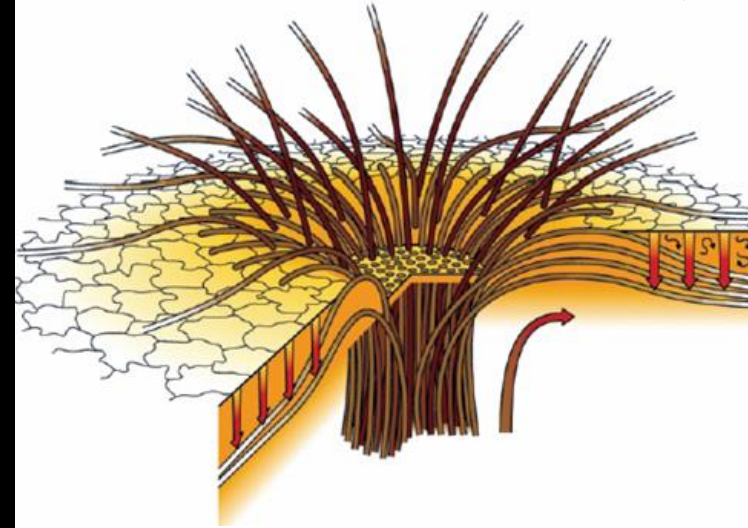
G-バンドフィルター, ひので可視光望遠鏡



対流(粒状斑)



磁場



from Thomas & Weiss 2002 ARAA

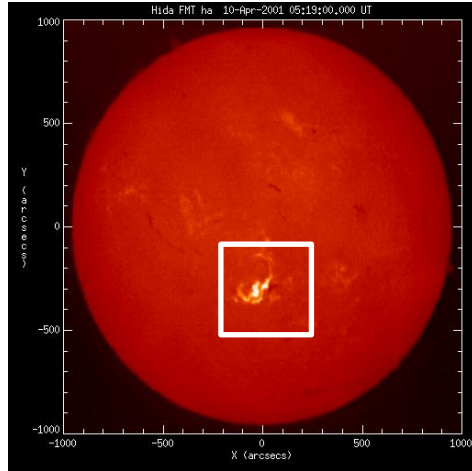
太陽内部から磁場が浮上
してきて黒点ができる。



地球の大きさ

171,000 km ©NAOJ/JAXA

彩層1万度



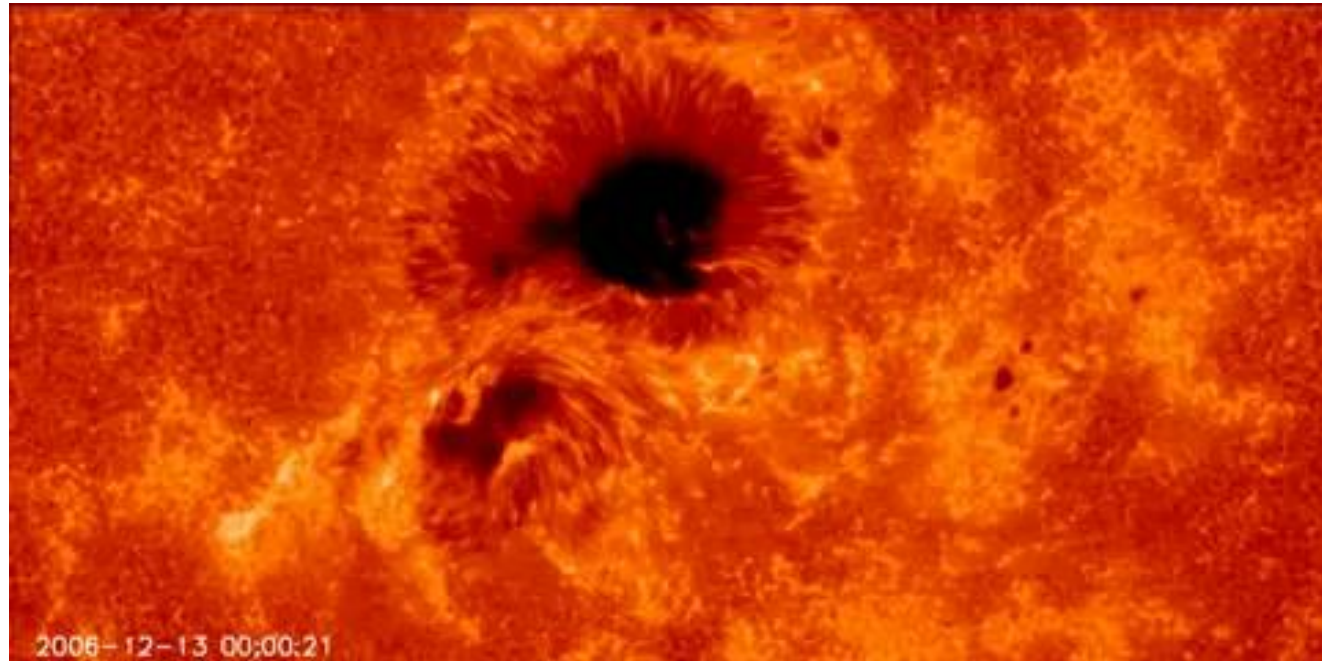
太陽フレア

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10万－1億個)

発生メカニズムが1世紀以上謎



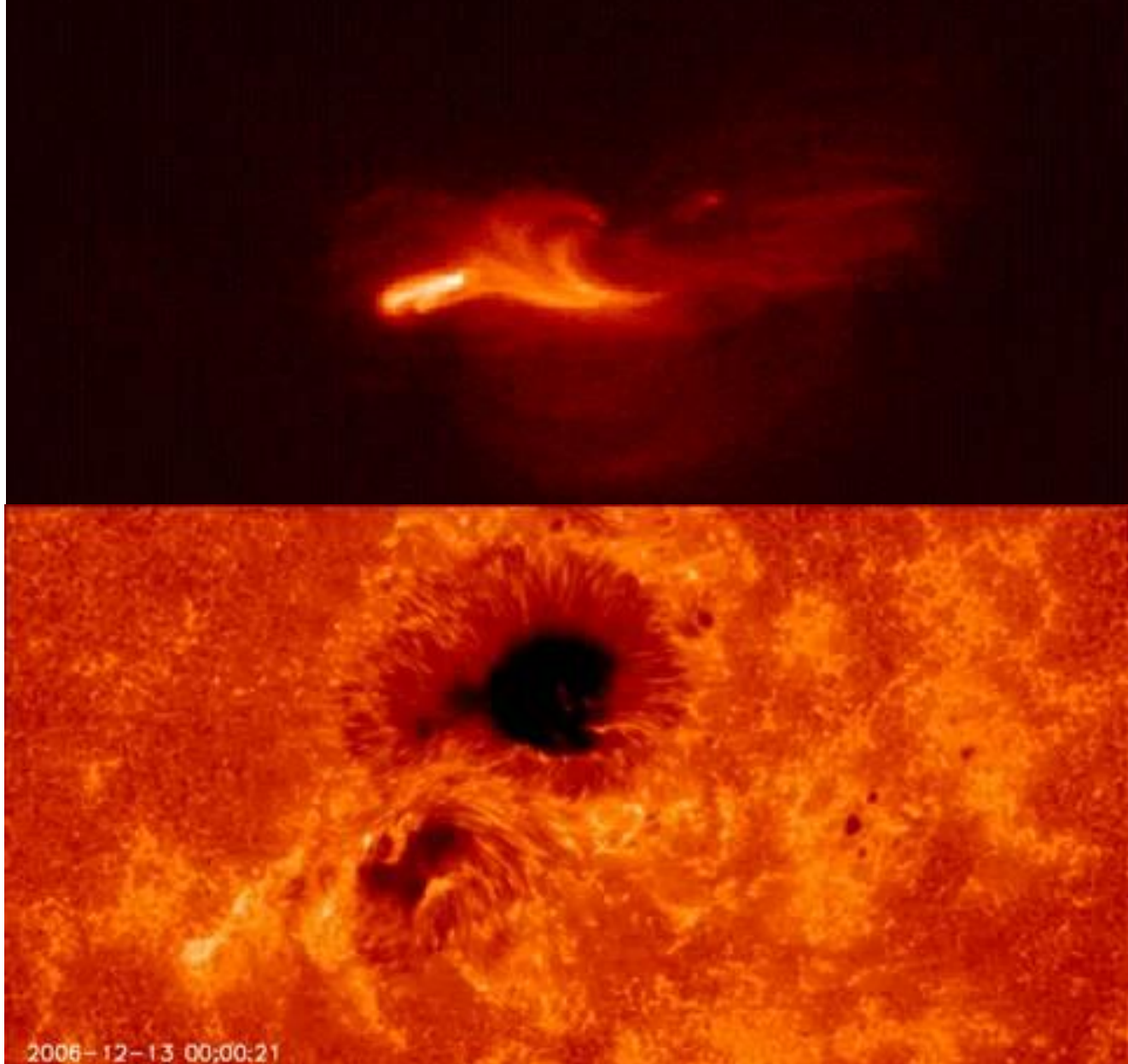
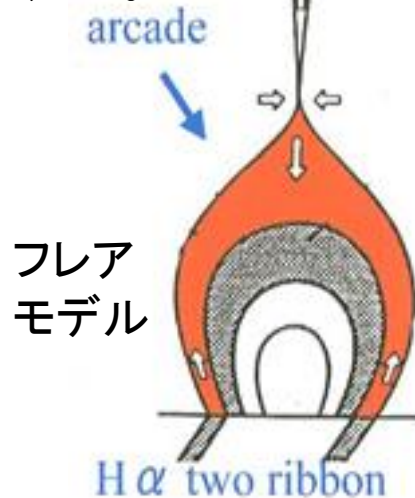
2006年12月13日 Xクラス・フレア

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

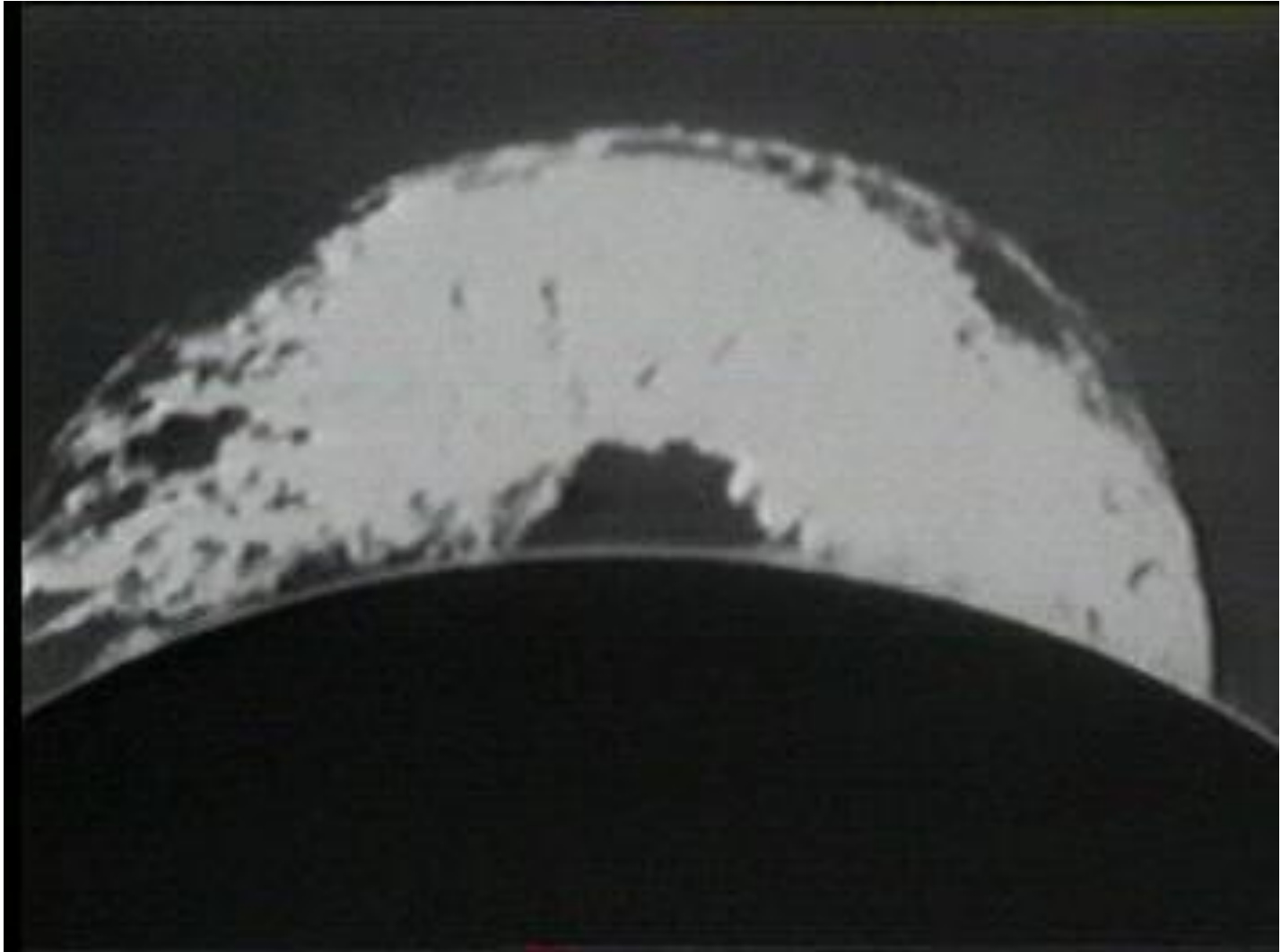
太陽フレアは大量
の放射線(X線など)
や高エネ粒子を放
射する。



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)

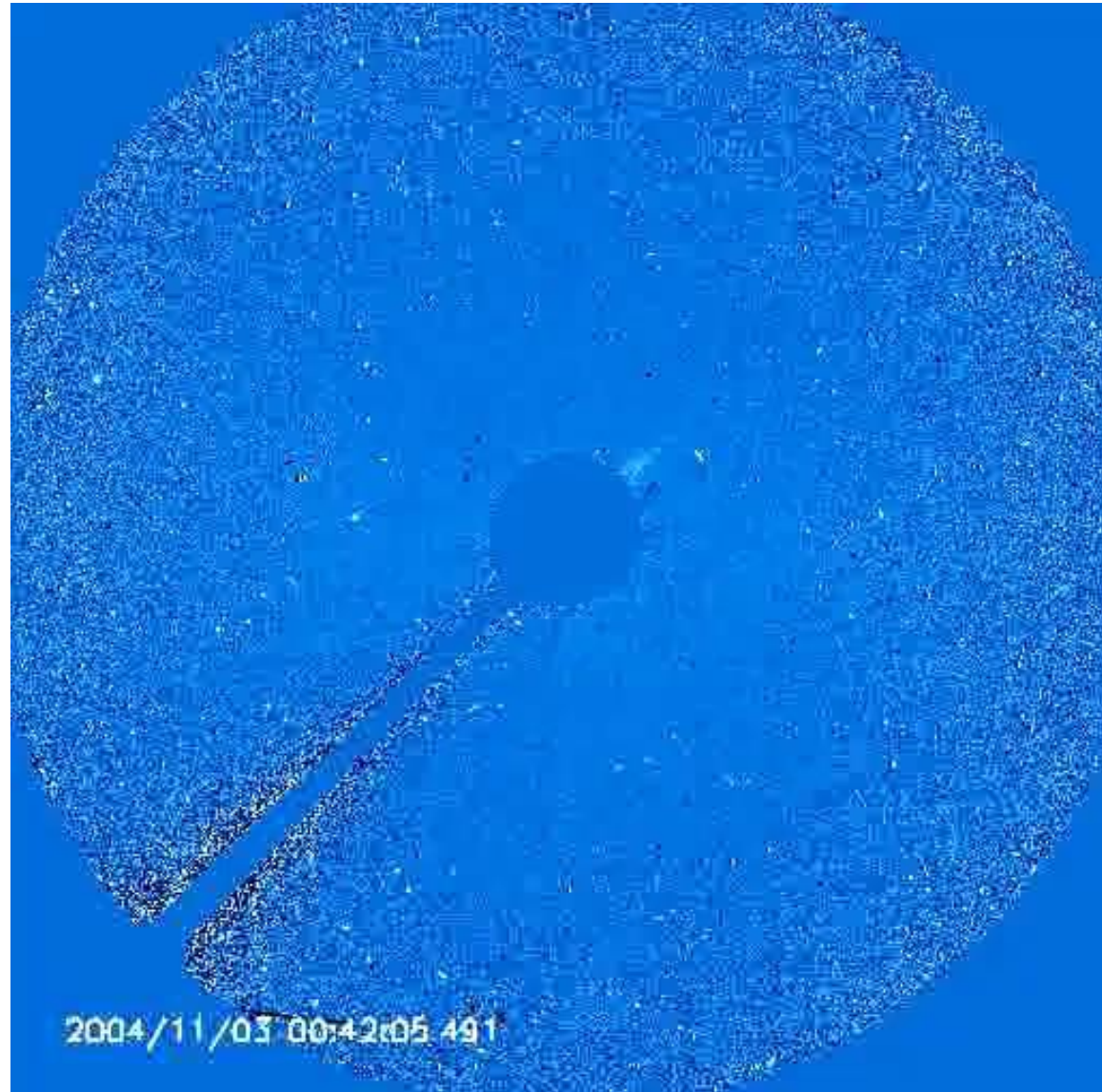
(フレアにともなうコロナ・プラズマの噴出流=>地球に影響)

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



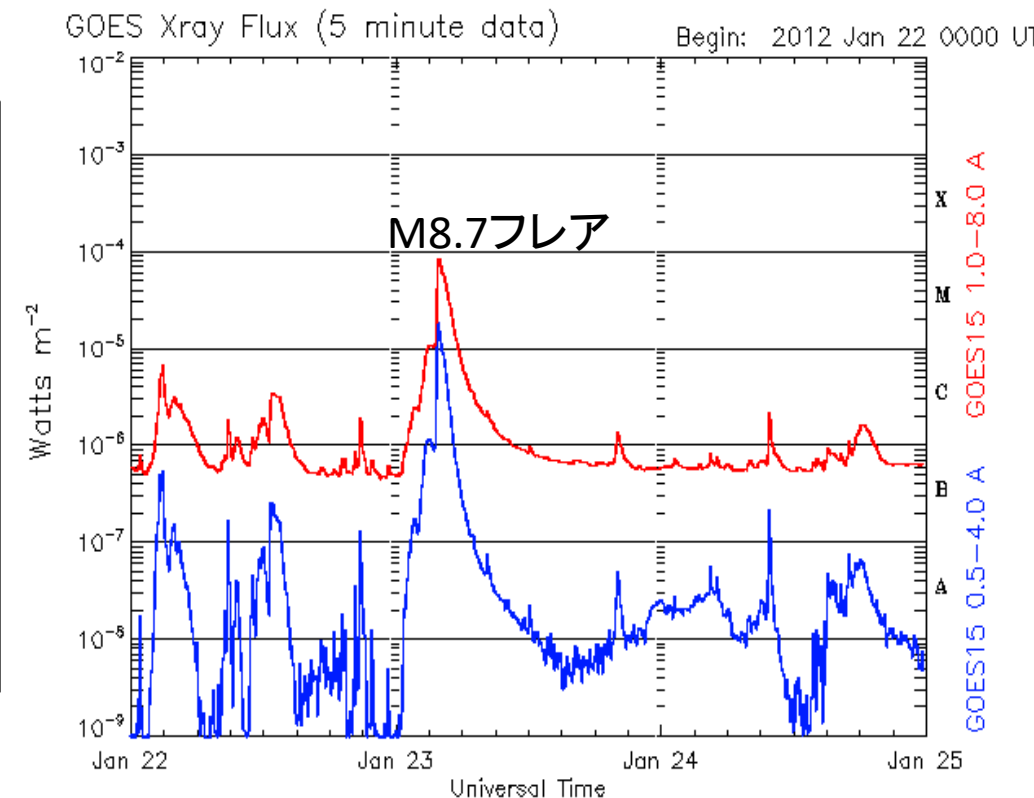
太陽フレアに伴うX線

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/m ²]	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	$10^{-8} < Fx < 10^{-7}$	

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)



Updated 2012 Jan 24 23:55:12 UTC

NOAA/SWPC Boulder, CO US

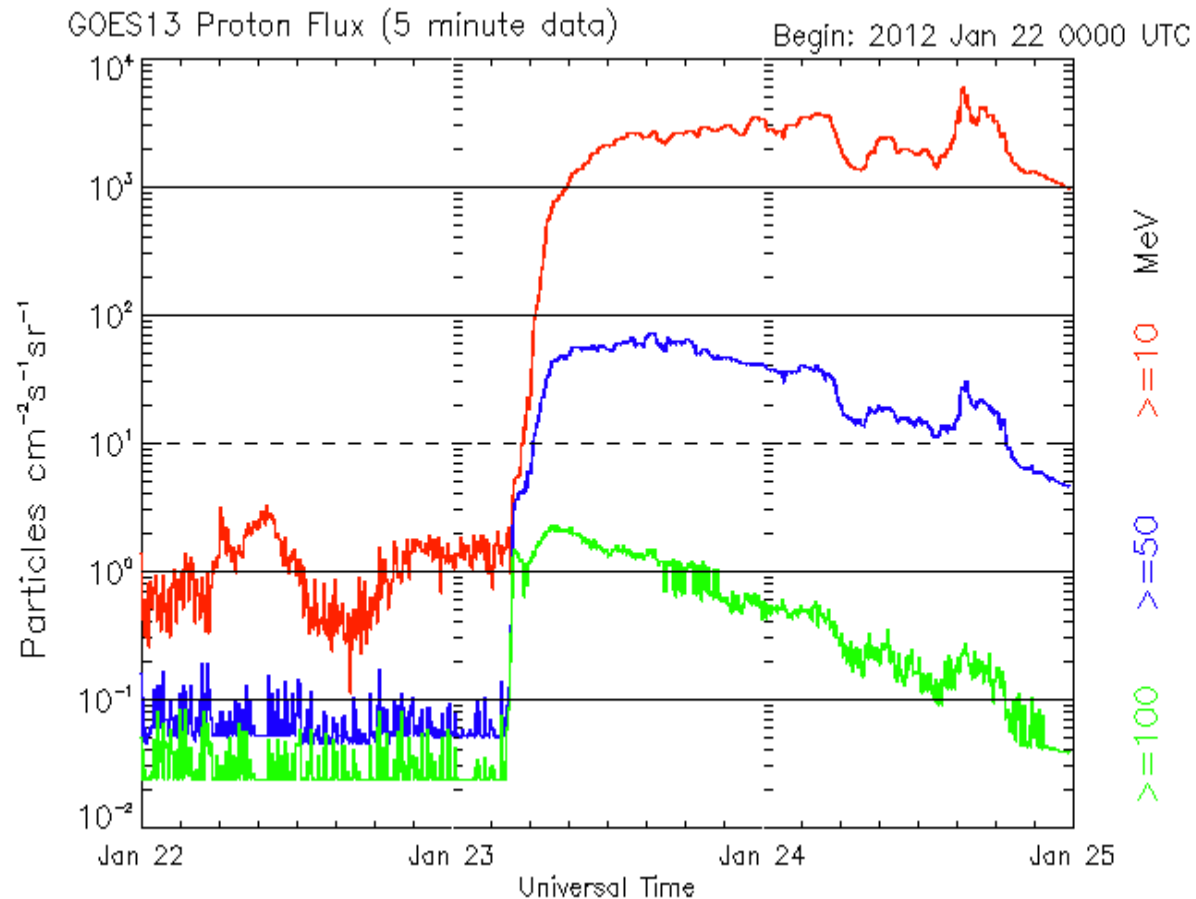
<http://www.swpc.noaa.gov/>

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**



Updated 2012 Jan 24 23:56:03 UTC

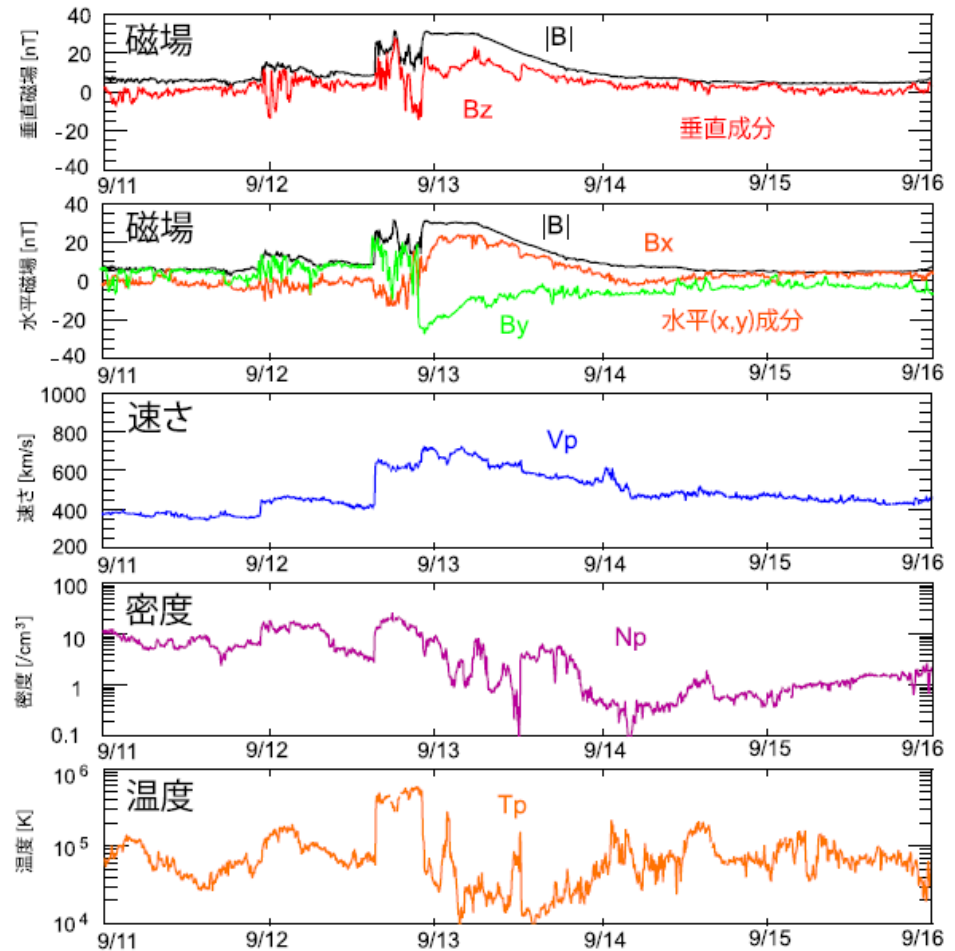
NOAA/SWPC Boulder, CO USA

<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。

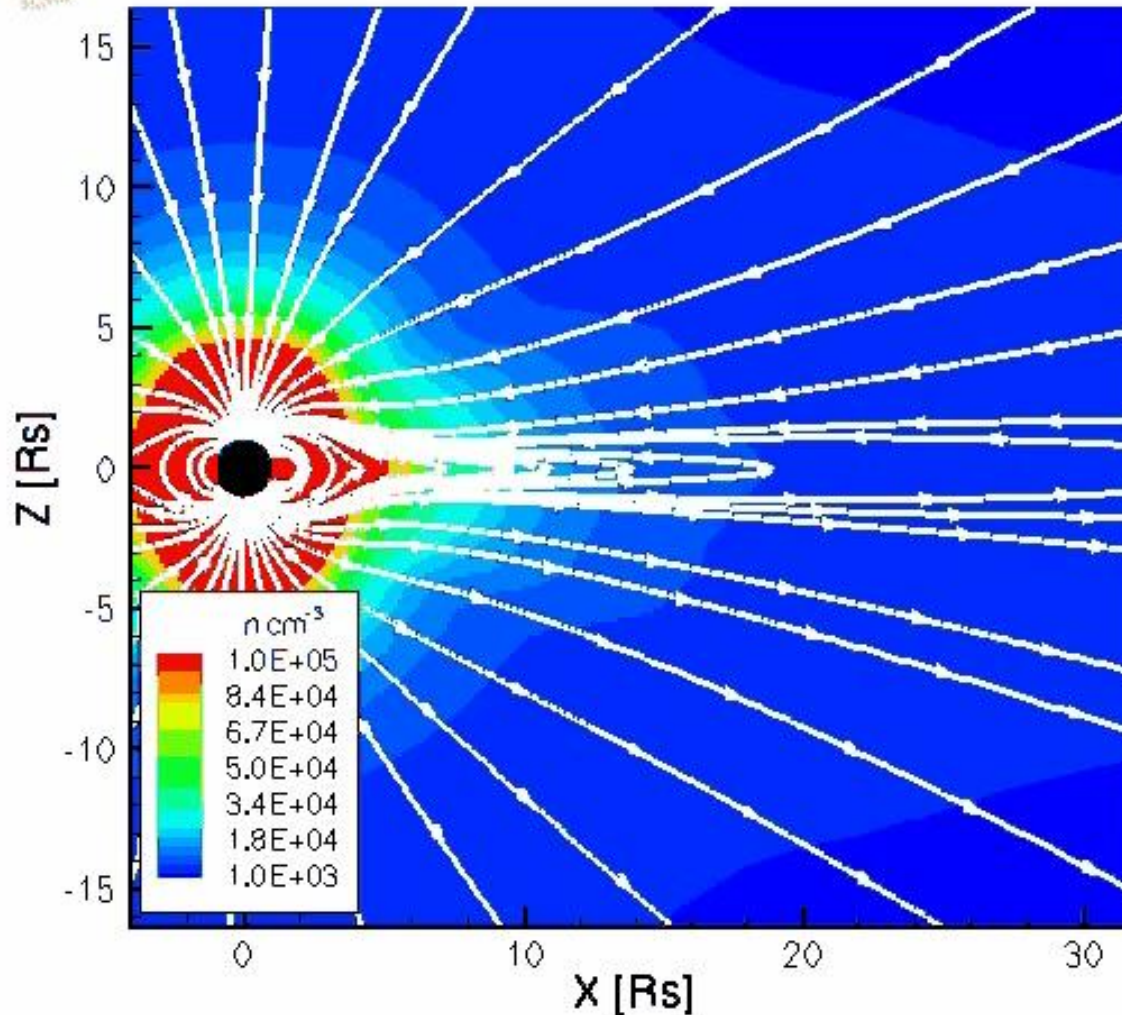


ACE, DSCOVR衛星のデータ受信アンテナは米・独・日・韓にある。
日本はNICT小金井本部で受信。

太陽フレア・太陽風と地磁気嵐

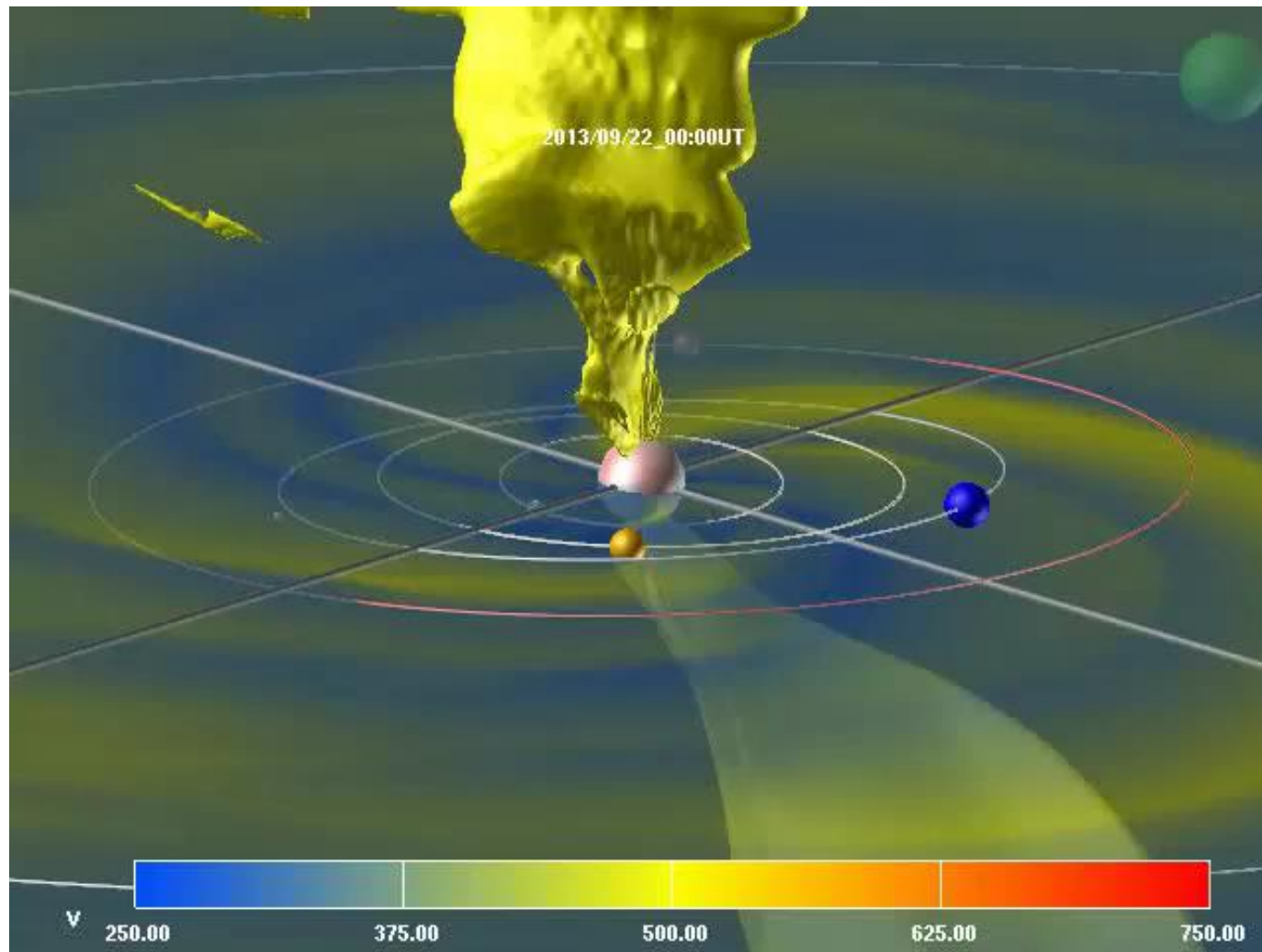


University of Michigan
Manchester et. al.
2003



宇宙天気予報

2013～2014年の太陽風(宇宙嵐)



Shiota et
al. 2014

NICTの宇宙天気情報

太陽編

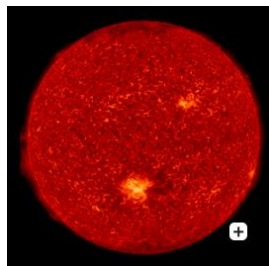
NICT宇宙天気予報

<https://swc.nict.go.jp/>

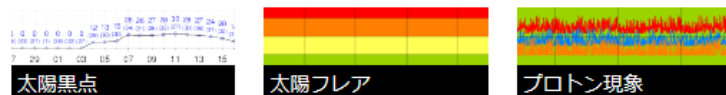


太陽関連の予測

- ▶ 太陽フレア
- ▶ プロトン粒子
- ▶ 地磁気嵐
- ▶ デリンジャー現象 (通信異常)



① 現況チャート(定常観測)



② 予測モデル(研究開発)

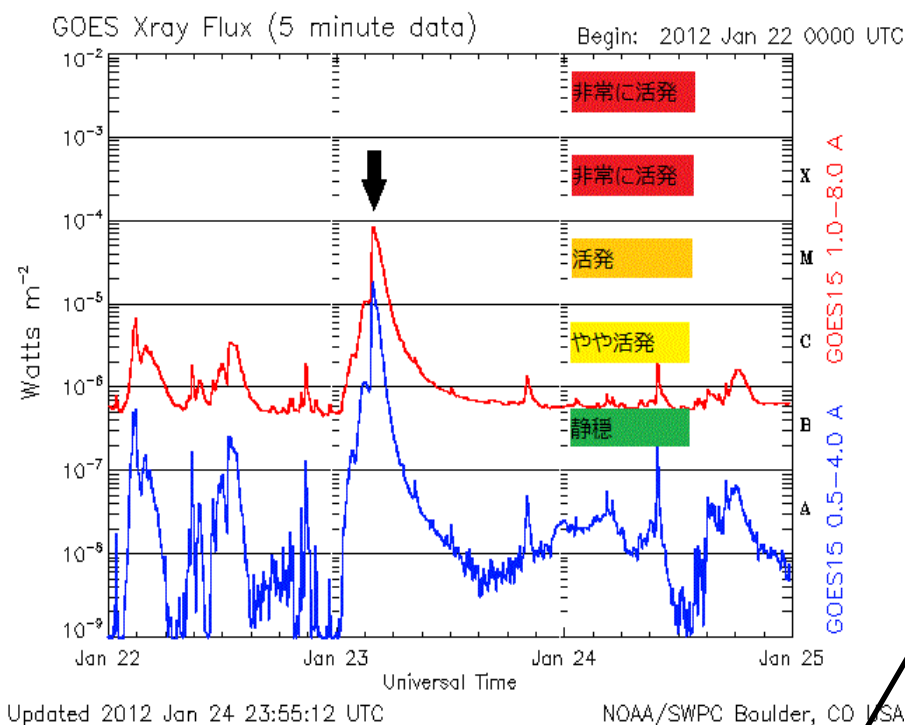


③ 観測データ公開



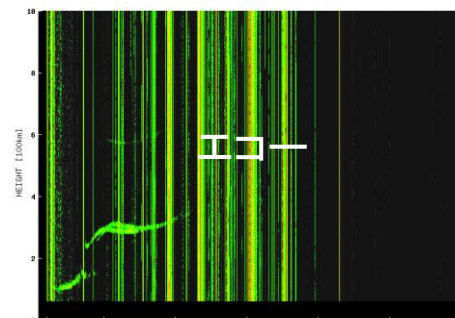
太陽フレア予報

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

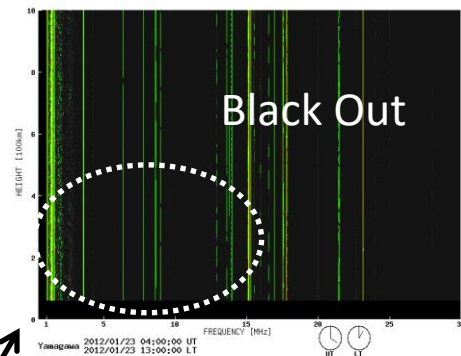


地上からの
高さ

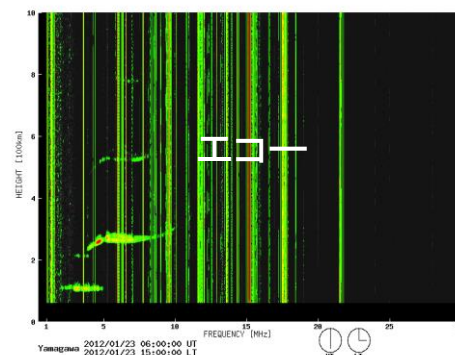
時間



通常の短波伝搬



太陽フレア発生時



通常の短波伝搬



太陽フレア予報が活発、非常に活発の場合

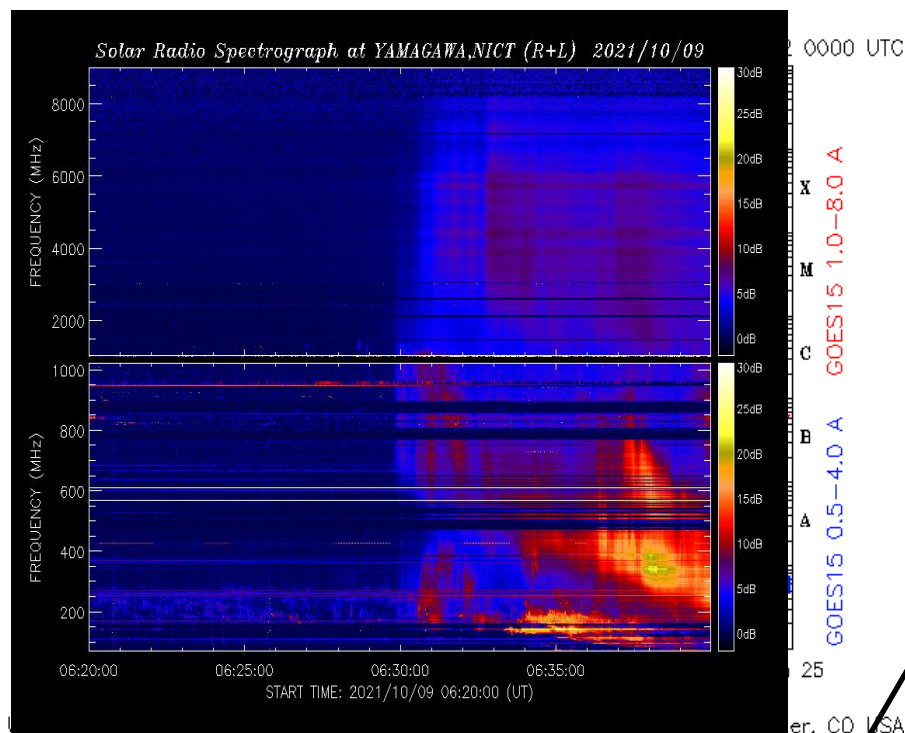
→ デリンジャー現象(短波通信障害)が起こる可能性が高い。

→ 太陽電波バーストによる通信ノイズの増大。

※詳しくは
電離圏編

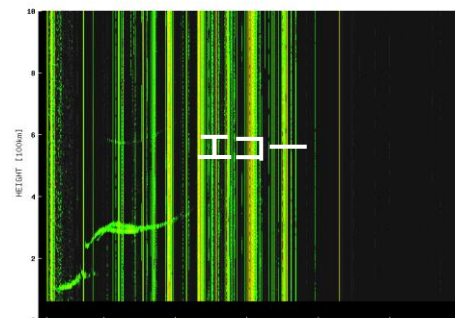
太陽フレア予報

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



地上からの
高さ

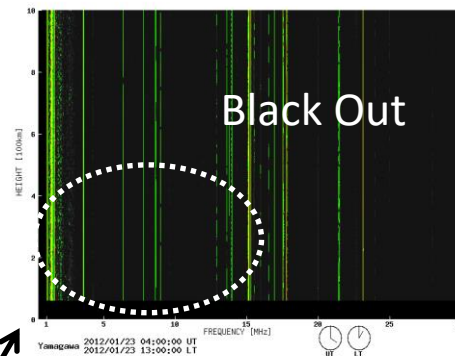
時間



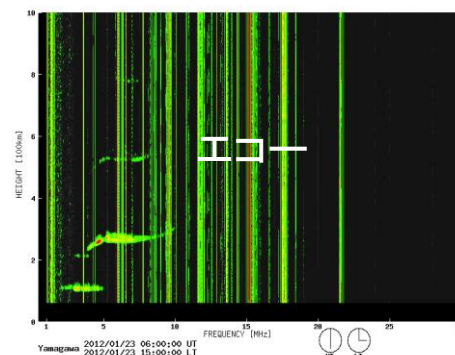
通常の短波伝搬



送信周波数[MHz]



太陽フレア発生時



通常の短波伝搬



太陽フレア予報が活発、非常に活発の場合

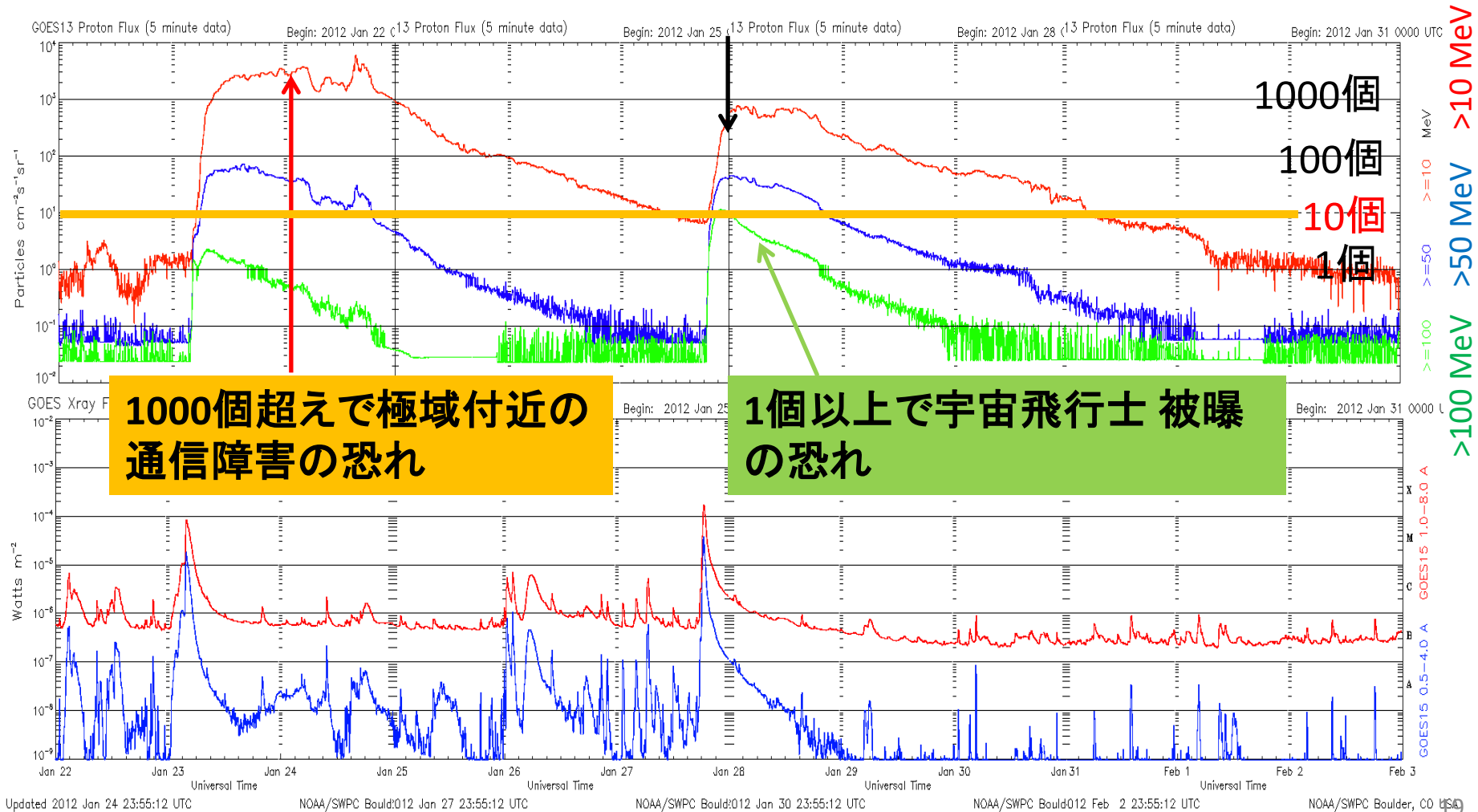
→ デリンジャー現象(短波通信障害)が起こる可能性が高い。

→ 太陽電波バーストによる通信ノイズの増大。

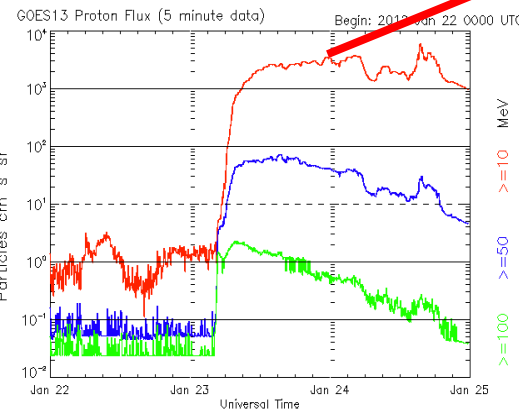
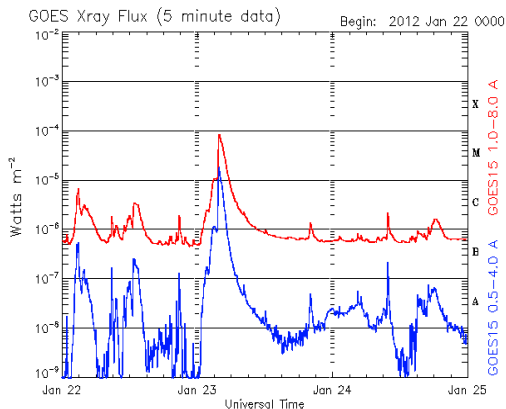
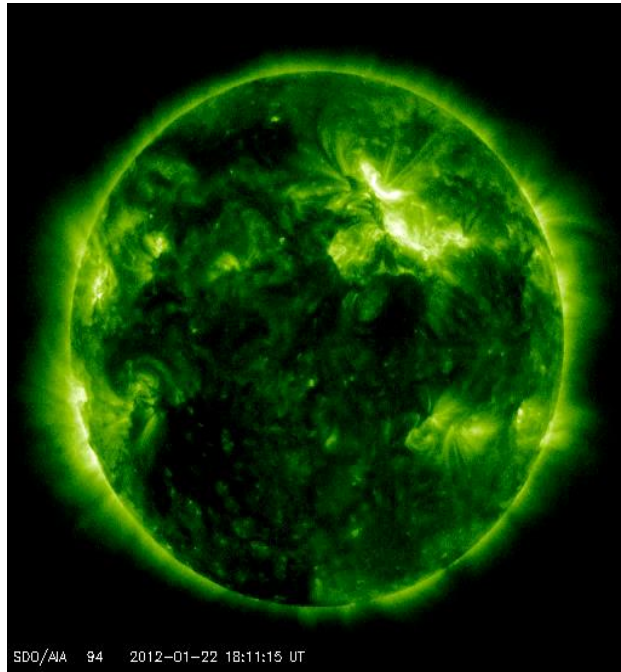
※詳しくは
電離圏編

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 $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1}$)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



Delta diverts polar flights due to solar storm | Reuters - Mozilla Firefox

www.reuters.com/article/2012/01/24/us-delta-id...

REUTERS EDITION: U.S.

Business Markets World Politics Tech

WestlawNext Hear what Ed and others are saying

"IT MEANS PRODUCT" EDWARD DELU MCELROY, DEL

UNITED POLAR ROUTES

Delta diverts polar flights due to solar storm

21人がすすめています。Facebookにアカウント登録して、友達のおすすすめを見てください。

Twitter 96

Share 13

Share this

Print

Related News

Sun hurls strong geomagnetic storm toward Earth Mon, Jan 23 2012

2011 was ninth-warmest year since 1880: NASA Thu, Jan 19 2012

US airlines seen profitable despite economic woes Wed, Jan 18 2012

US airlines boost domestic long-haul fares Fri, Jan 13 2012

MORE REUTERS RESULTS FOR: airline polar route

not aims for record-breaking polar flight 2011

Glass build-up found in NATO F-16 engine-US 2010

up found in NATO F-16 engine: US official 2010

going green to shrink fuel costs 2009

Reuters

Twitter RSS YouTube

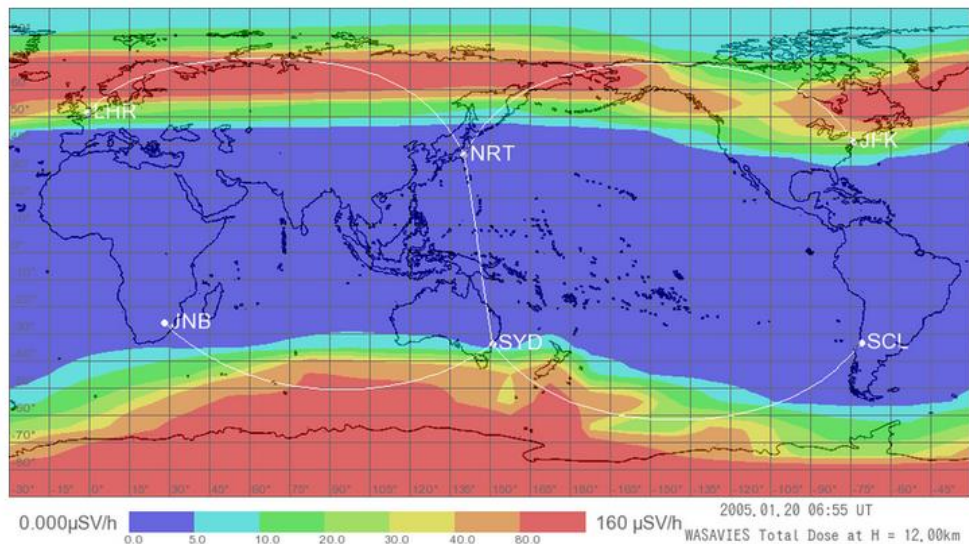
Login or register Latest from My Wire

(Reuters) - Delta Air Lines was diverting some flights on polar routes between Detroit and Asia to avoid disruptions to aircraft communications by a strong solar radiation storm, the airline said on Tuesday.

The storm, considered the strongest since 2005, has caused minor disruptions for U.S. airlines, and Delta said it altered routes for "a handful"

※最近ロシア上空を迂回して極域ルートを通る機会が増えているので、より注意が必要。

2012/1/23 民間航空機が飛行ルート変更



Delta diverts polar flights due to solar storm | Reuters - Mozilla Firefox

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) 履歴(S) ブックマーク(B) ツール

www.reuters.com/article/2012/01/24/us-delta-id...

Delta diverts polar flights due to solar storm

REUTERS EDITION: U.S.

Business Markets World Politics Tech

WestlawNext Hear what Ed and others are saying

"IT MEANS PRODUCT" EDWARD DELU MCELROY, DEL

UNITED POLAR ROUTES

Delta diverts polar flights due to solar storm

おすすめ 21人がおすすめです。Facebookにアカウント登録して、友達のおすめを見てみましょう。

Twitter 96

Share 13

Share this

Print

Related News

Sun hurls strong geomagnetic storm toward Earth Mon, Jan 23 2012

2011 was ninth-warmest year since 1880: NASA Thu, Jan 19 2012

US airlines seen profitable despite economic woes Wed, Jan 18 2012

US airlines boost domestic long-haul fares Fri, Jan 13 2012

MORE REUTERS RESULTS FOR: airline polar route

not aims for record-breaking polar flight 2011

Glass build-up found in NATO F-16 engine-US 2010

up found in NATO F-16 engine: US official 2010

going green to shrink fuel costs 2009

Reuters

Twitter RSS YouTube

Login or register

Latest from My Wire

(Reuters) - Delta Air Lines was diverting some flights on polar routes between Detroit and Asia to avoid disruptions to aircraft communications by a strong solar radiation storm, the airline said on Tuesday.

The storm, considered the strongest since 2005, has caused minor disruptions for U.S. airlines, and Delta said it altered routes for "a handful"

※最近ロシア上空を迂回して極域ルートを通る機会が増えているので、より注意が必要。

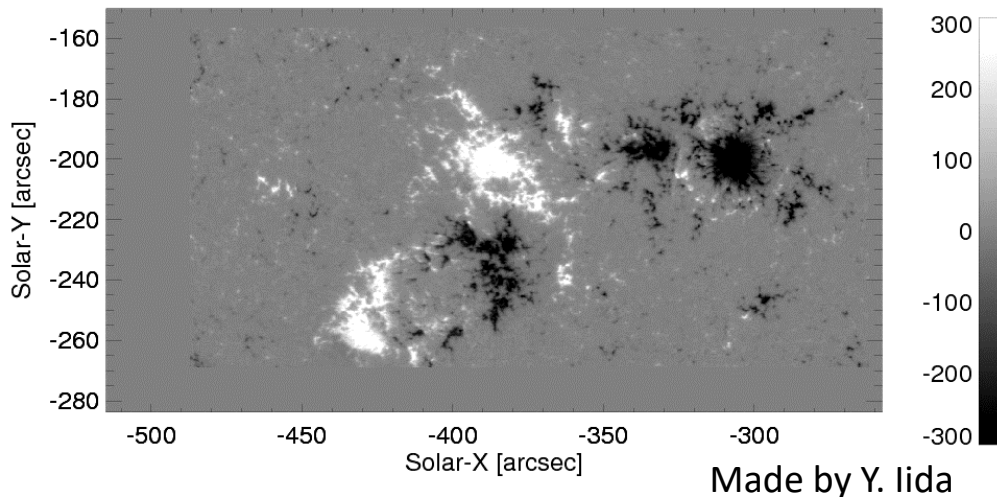
AI技術を用いた太陽フレア予測

開発編

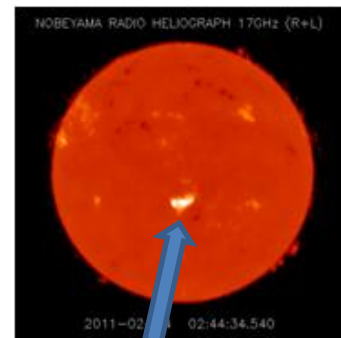
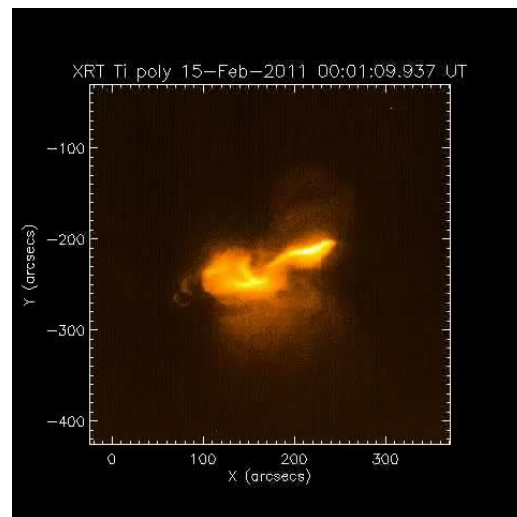
■ 太陽フレアの発生と予測

黒点成長とエネルギー蓄積(Hinode/SOT)

2011-02-12 10:02:34 UT

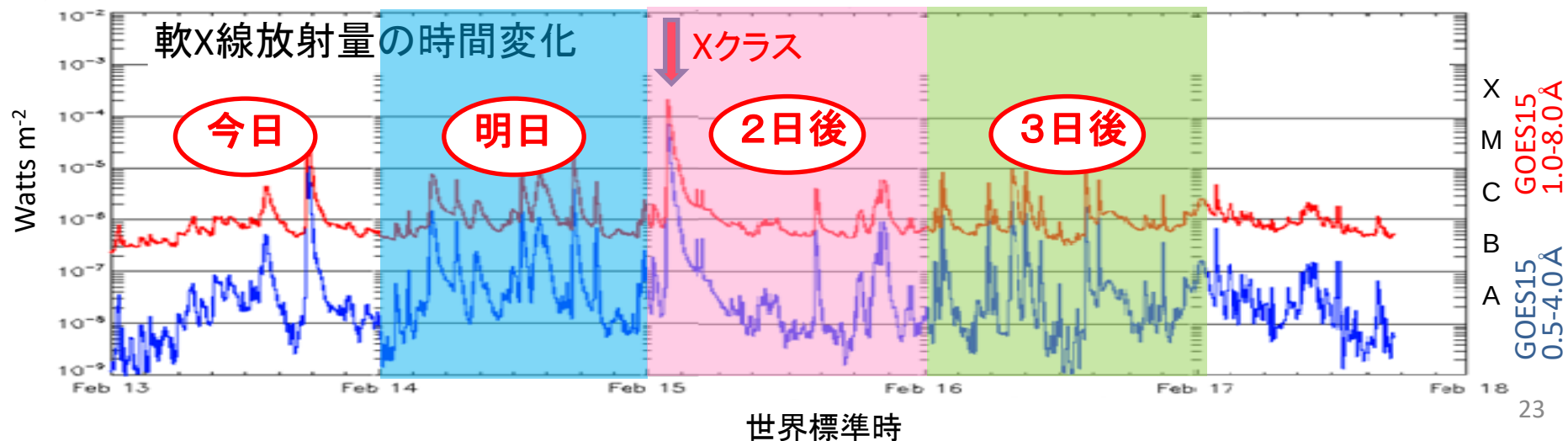


フレア観測(Hinode/XRT)



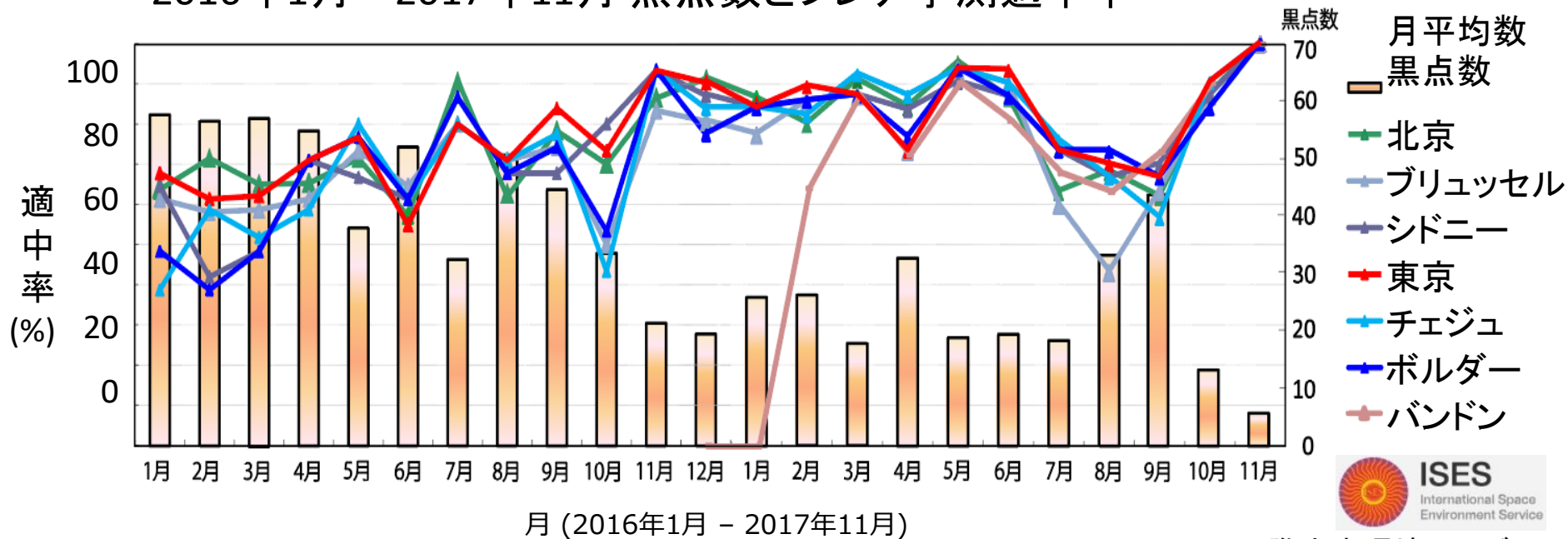
太陽フレア
(野辺山電波
ヘリオグラフ)

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



■ 宇宙天気予報の現状

2016年1月～2017年11月 黒点数とフレア予測適中率



*国際宇宙環境サービス

人手を介した予測:
的中率~40-80%

スキルスコア:
TSS~0.5
(-1.0 < TSS < 1.0)



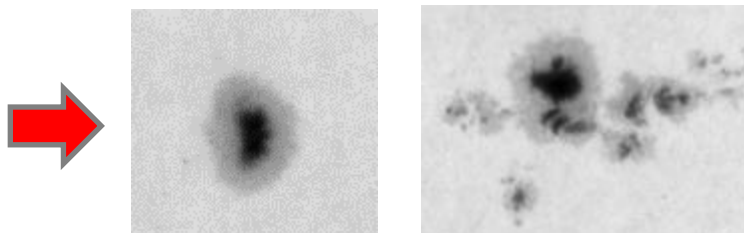
■ AI技術を用いた太陽フレア予測モデル開発

Deep Flare Net (Nishizuka et al. 2018,2020 ApJ論文掲載)
Nishizuka et al. 2021 EPS論文掲載



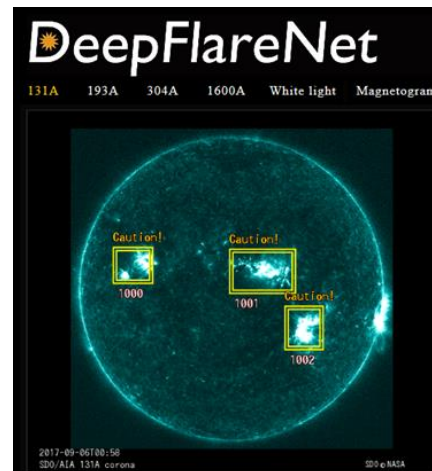
Yohkoh, 軟X線

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

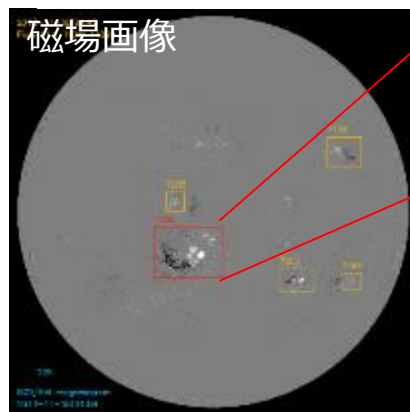


単純な黒点:穏やか 複雑な黒点:フレア起きる！
・・・のような判断を、AIにさせる。

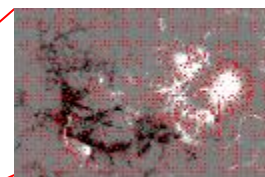
深層
学習



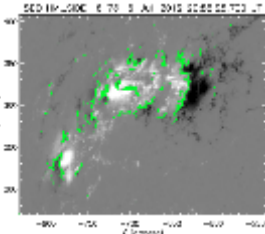
学習データ：過去6年分の
30万枚の太陽画像
(4k×4k)。黒点領域を自
動検出し、特徴量を抽出。



磁場画像



ベクトル磁場



磁気中性線

従来: TSS=0.5



A.I.: TSS=**0.89**

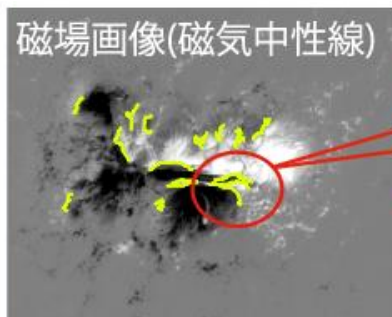
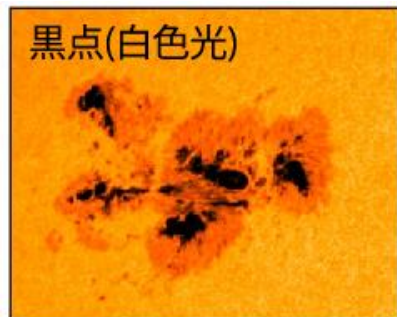
(TSS=1 で100%的中)

予報運用ウェブ
公開 (2019.4～)

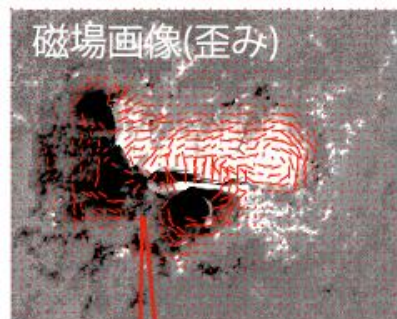
- ・深層学習とビッグデータで、太陽フレアの発生予測を**8割へアップ**
- ・AI技術が太陽フレア予測にも有効であることを実証。現在、運用利用中

AIによる分析で分かった

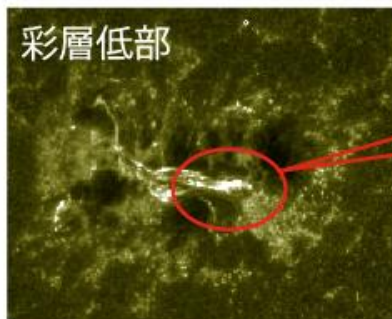
■フレア予測に有効な黒点の特徴



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原因であり、フレアやCME、高エネルギー粒子(プロトン)、電波バーストなどを発生する。
- 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(深層学習)を用いた太陽フレア予測手法の有効性が示された。現在、*Deep Flare Net*による予報をウェブ公開中。(ライセンス先企業も募集中)
- 太陽放射線被ばく推定システム*WASAVIES*も2019年運用を開始し、ICAO(国際民間航空機関)に情報提供中。
- リアルタイムのより精度の高い予報情報として活用されるよう、ユーザー意見も取り入れながら今後さらに改良していきたい。