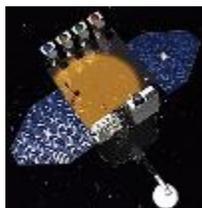


太陽フレア AI 予報と 宇宙天気予報への応用



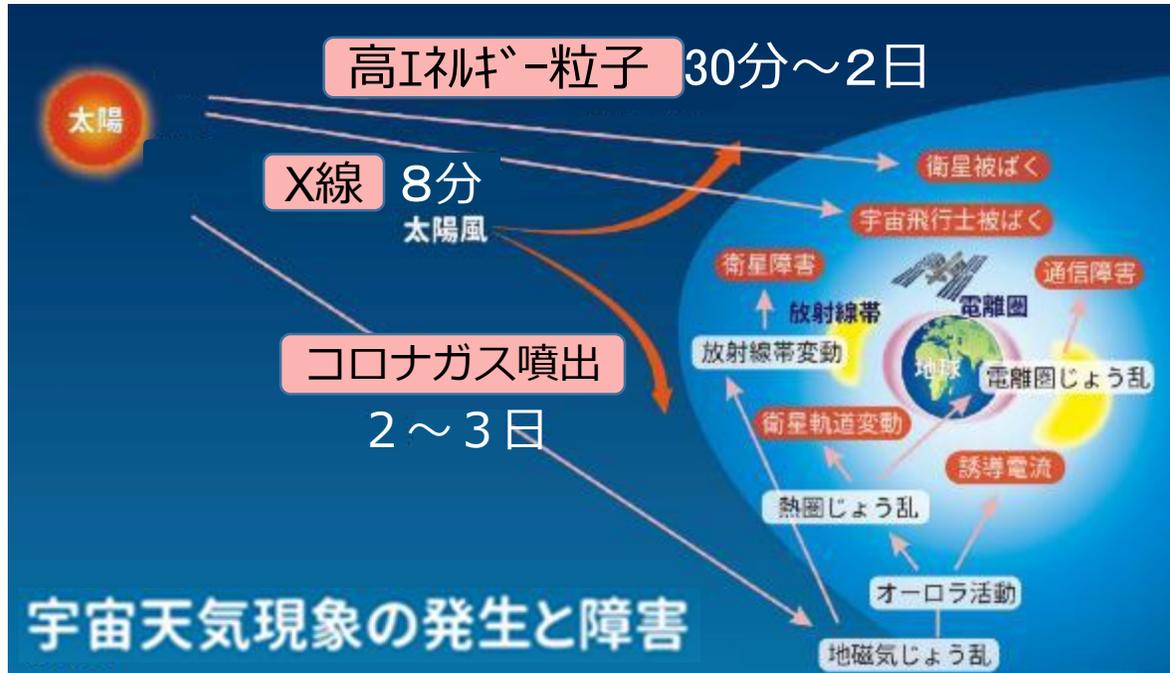
SDO衛星
©NASA

国立研究開発法人情報通信研究機構
電磁波研究所 宇宙環境研究室
西塚直人



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

宇宙天気による社会的影響



太陽**フレア**が源となって、

- X線, 紫外線
- 高エネルギー粒子(陽子・電子)
- コロナガス噴出, 太陽風擾乱

が地球に到来。
⇒ 巨大な**磁気嵐** (宇宙嵐)

社会インフラにも影響があり、
予報による早期**対策**が必要。

宇宙の安全利用

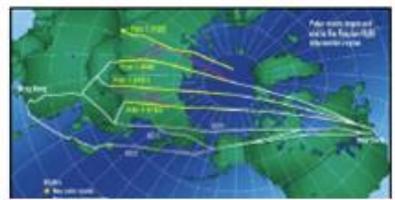
 **衛星運用・軌道影響**
(故障, 誤動作, 急な降下)

あすか衛星: 地磁気嵐時の大気圏通過で姿勢異常に(2000年)

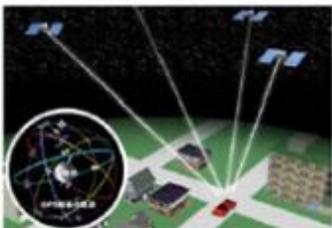
こがね衛星: 高エネルギー粒子の影響でセーフモードに移行(2003年)



 **航空ルートの変更**
(北極: 被ばく, 通信障害)



 **衛星測位の障害**
(GPS誤差, 受信障害)



宇宙利用が増大する現代社会において**宇宙天気予報**は必要なりスク管理

宇宙環境研究室・宇宙天気予報会議

毎日14時半に予報会議（昨年12月から24時間運用）
電離層(超高層大気・宇宙の入り口)・太陽電波の観測



予報室の様子



イオノゾンデ
(電離層観測装置)

バーチャルラボ紹介
も是非ご覧下さい

* 予報を出しているのは1日2回



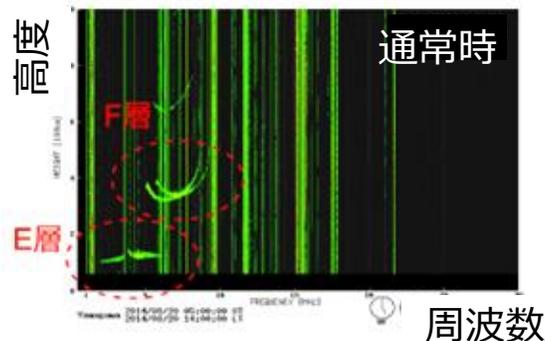
DSCOVOR衛星受信アンテナ



* ICAO
国際民間航空機関

NICT観測所 (宇宙環境を常時モニター)

プラズマバブル観測
レーダー(タイ, 2020.1~)

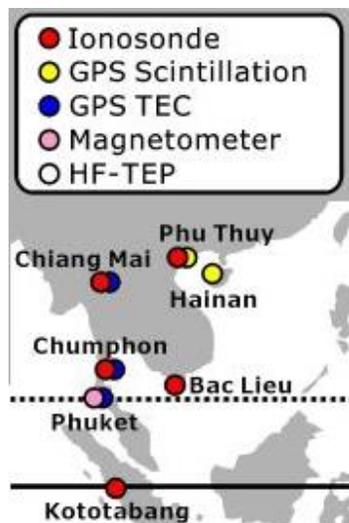


北海道
イオノゾンデ

東京(本部)



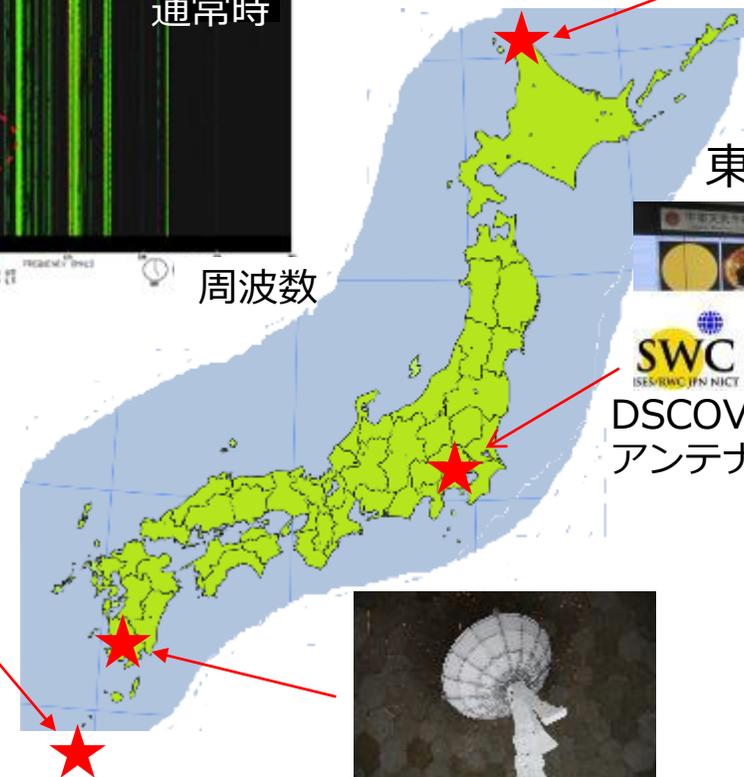
東南アジア
の国々



*東南アジアは研究観測目的



沖縄
イオノゾンデ
磁力計



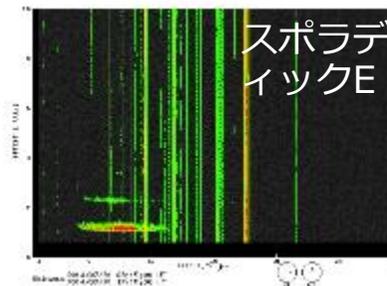
DSCOVR衛星受信
アンテナ、イオノゾンデ



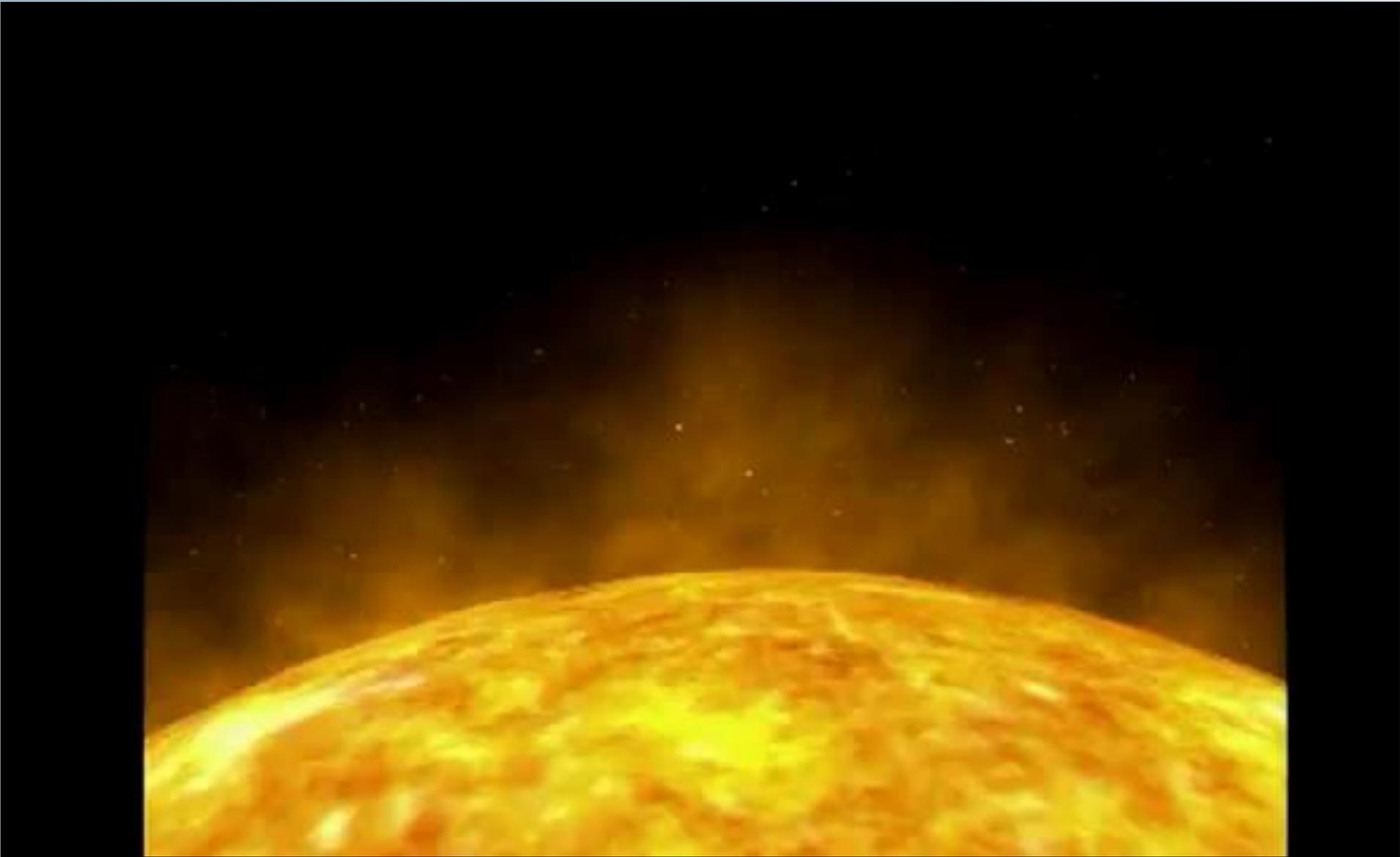
鹿児島, 山川(指宿)
太陽電波, イオノゾンデ



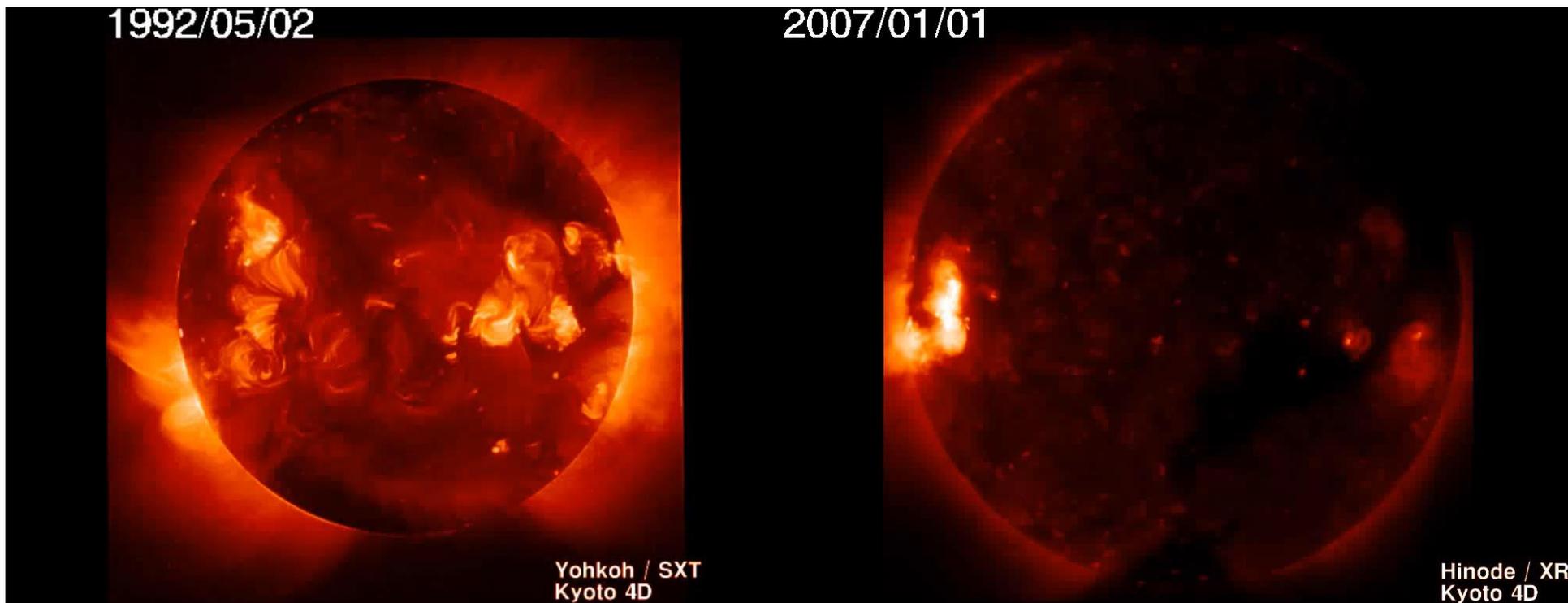
南極, 昭和基地
イオノゾンデ



太陽フレアと宇宙天気



太陽活動の11年周期



活動期
(極大期)

静穏期
(極小期)

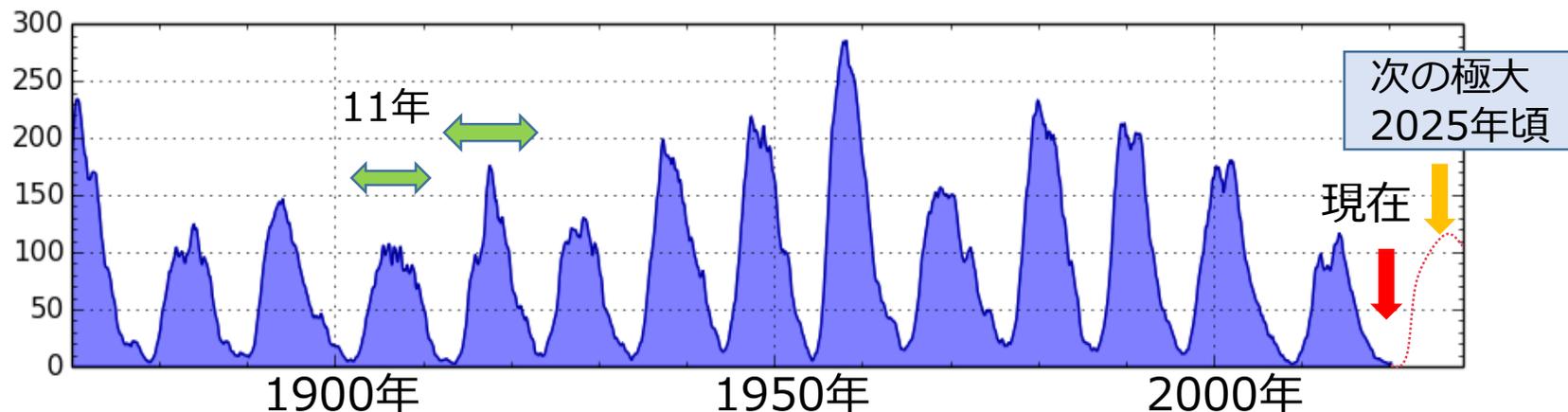
*ようこう衛星
軟X線望遠鏡

*ひので衛星
X線望遠鏡

Yohkoh / SXT
Kyoto 4D

Hinode / XRT
Kyoto 4D

黒点数の
11年周期
変動

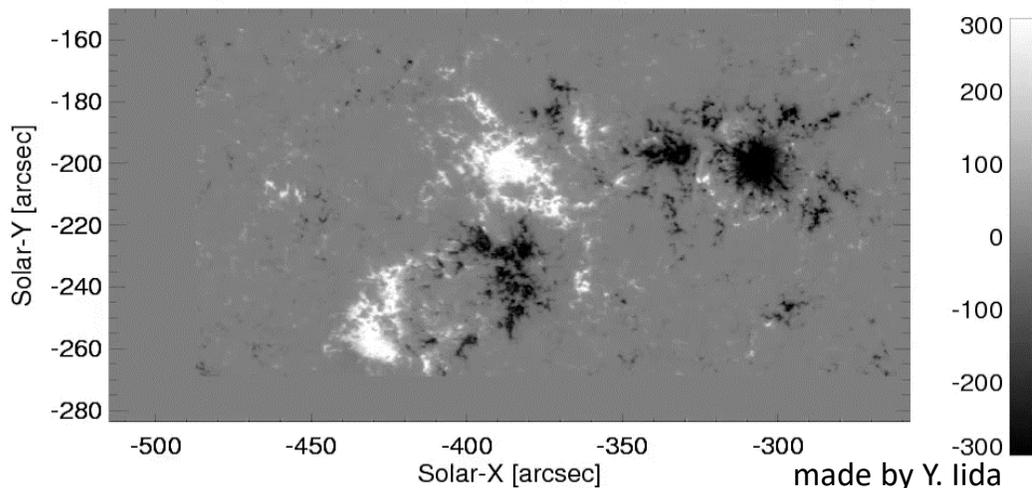


*ベルギー
王立観測所

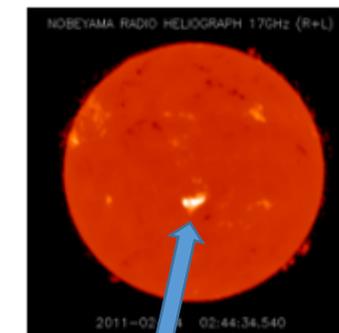
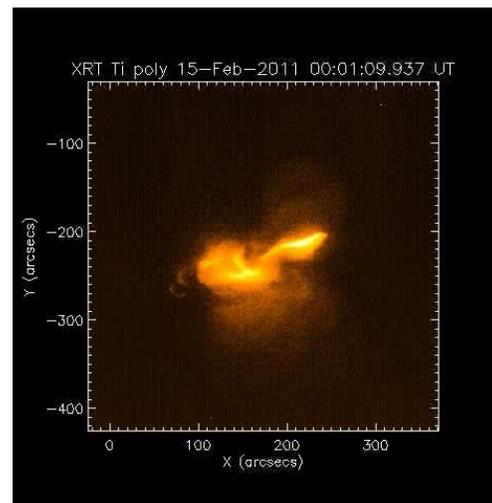
太陽フレアの発生と予測

黒点成長とエネルギー蓄積(Hinode/SOT)

2011-02-12 10:02:34 UT

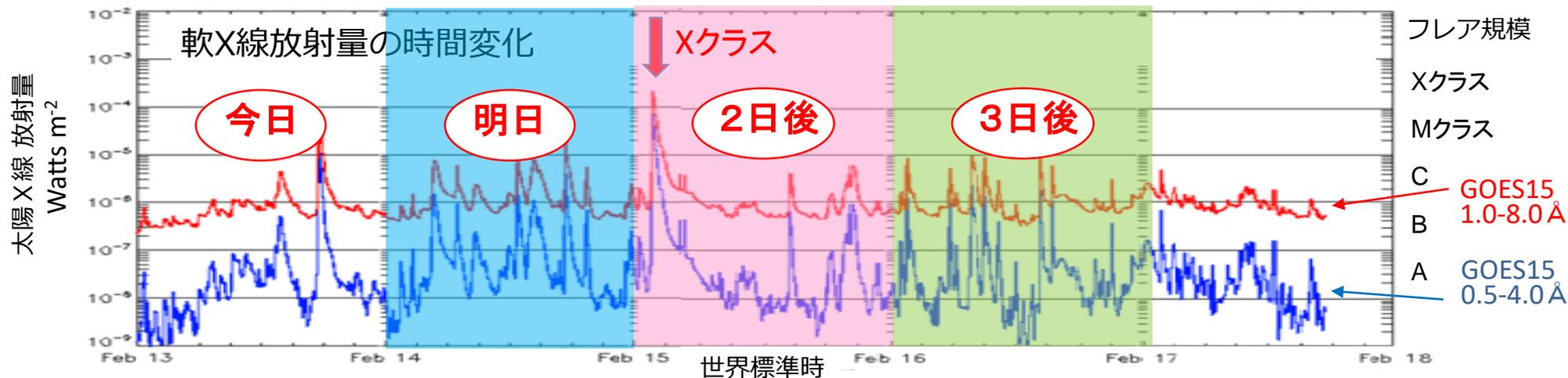


フレア観測(Hinode/XRT)



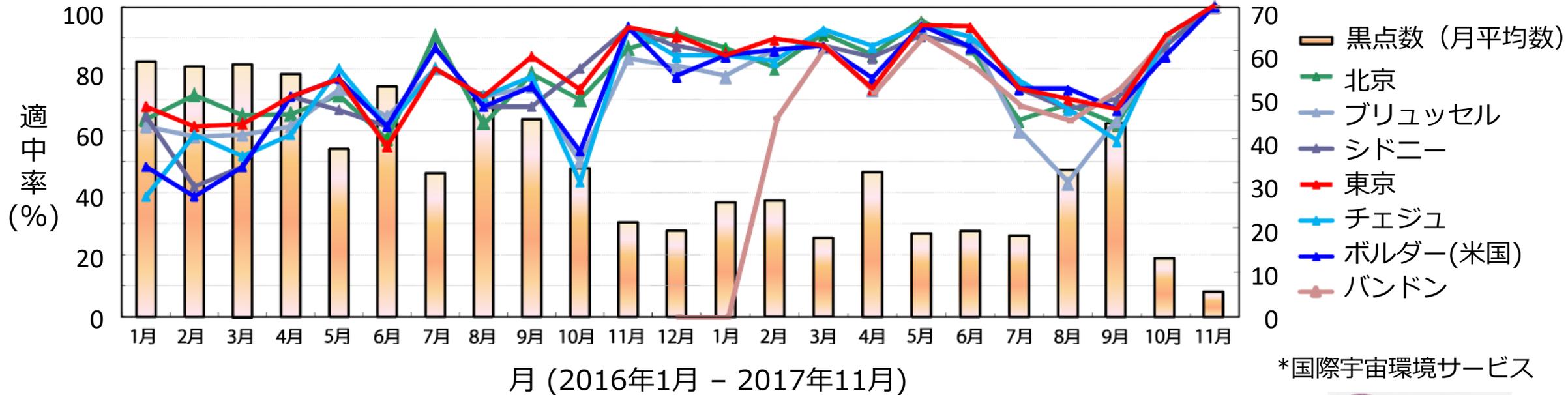
太陽フレア
(野辺山電波
ヘリオグラフ)

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



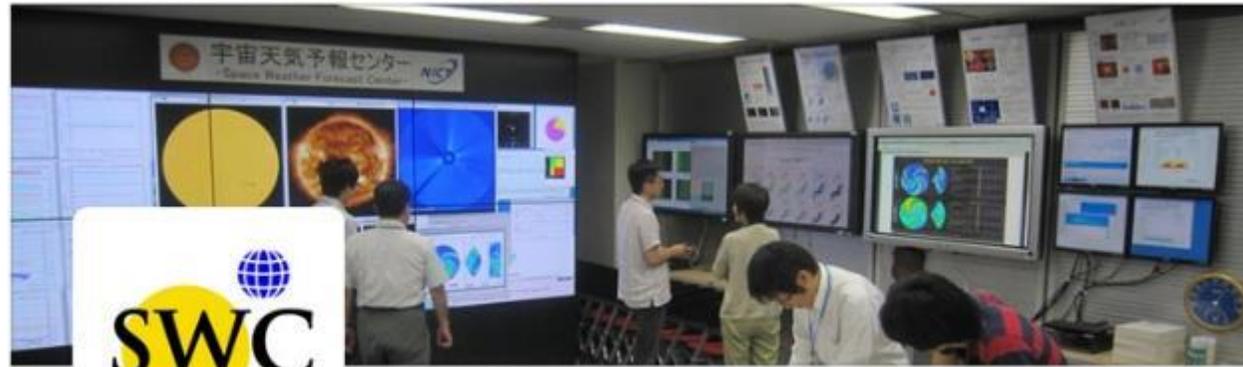
宇宙天気予報の現状

2016年1月～2017年11月 黒点数とフレア予測適中率



人手を介した予測:
適中率~40-80%

スキルスコア:
TSS~0.5
(-1.0 < TSS < 1.0)



NICT宇宙天気予報会議室の様子

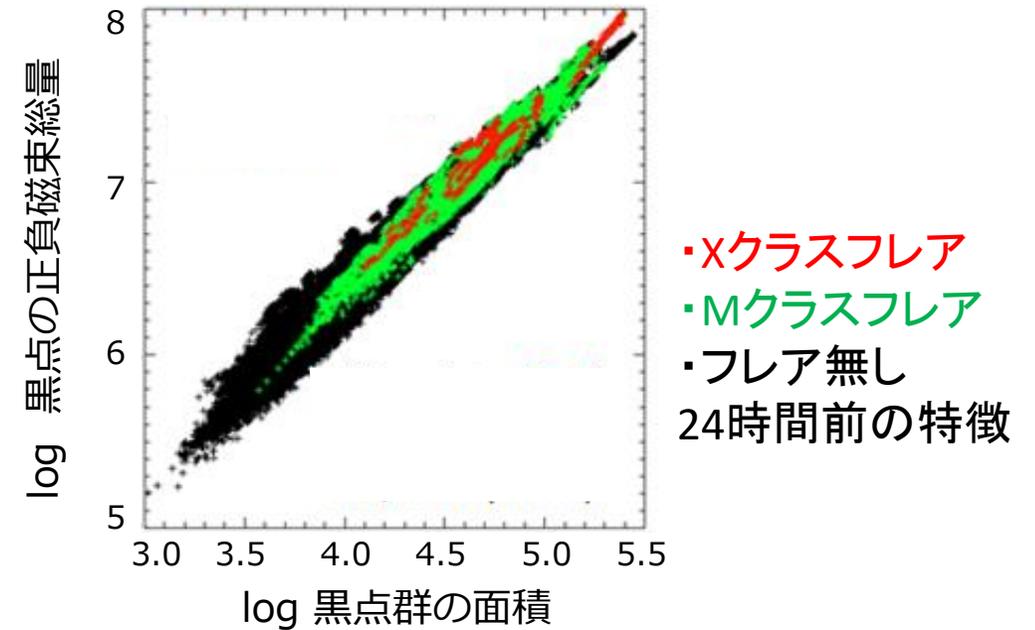


太陽フレア予測でのチェック点

人手による予報にて

① 白色光 ：	黒点面積、黒点形状 ($\alpha\beta\gamma\delta$)
② 軟X線 ：	フレア実績、背景値
③ 光球磁場 ：	磁気中性線の勾配・長さ 磁場構造の複雑性 磁気シア角, 浮上磁場
④ 彩層底部 ：	1600 Å 連続光での増光
⑤ リム観測 ：	東端領域の廻り込み

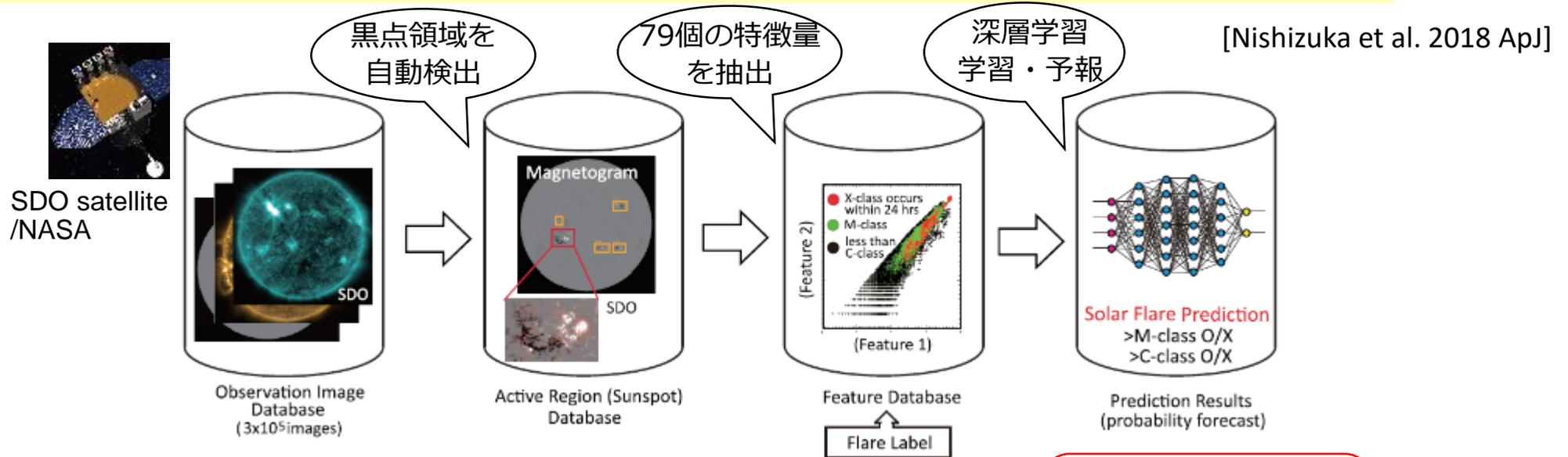
[Nishizuka et al. 2017]



- ・ (太陽だけでも) 観測データが膨大で、人の処理能力を超えている
- ・ 毎日の予報結果を、翌日以降へ効果的にフィードバックしたい
- ・ 自動的なリアルタイム予報(24時間運用)。誰でも予報できる/見てわかるシステム。
- ・ フレア発生を決める物理機構は何か？を統計的に解明する。

太陽フレア深層学習予測モデル

- ・ 深層学習を用いた予測モデルを開発。TSSを評価尺度に性能向上。
- ・ **ヒトの情報処理能力を超えて**、複雑なデータを分類&予測できる。
- ・ 予報**運用形式**のリアルタイムデータを用いた精度評価を行う。



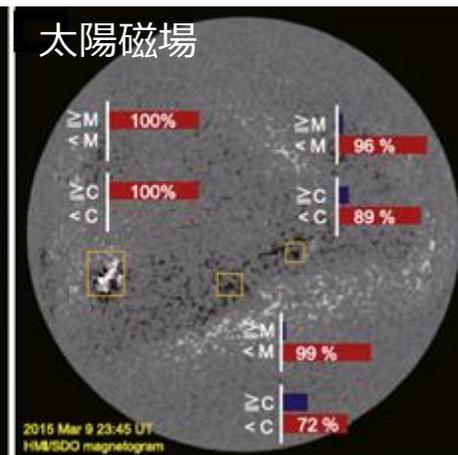
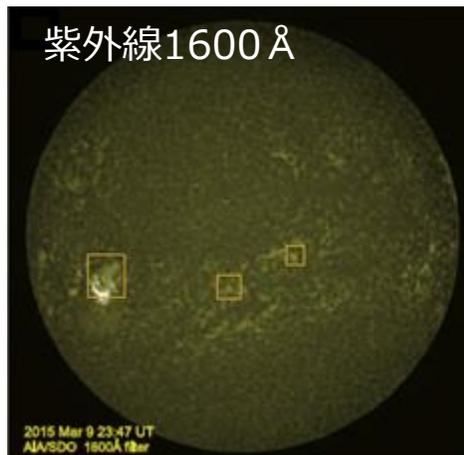
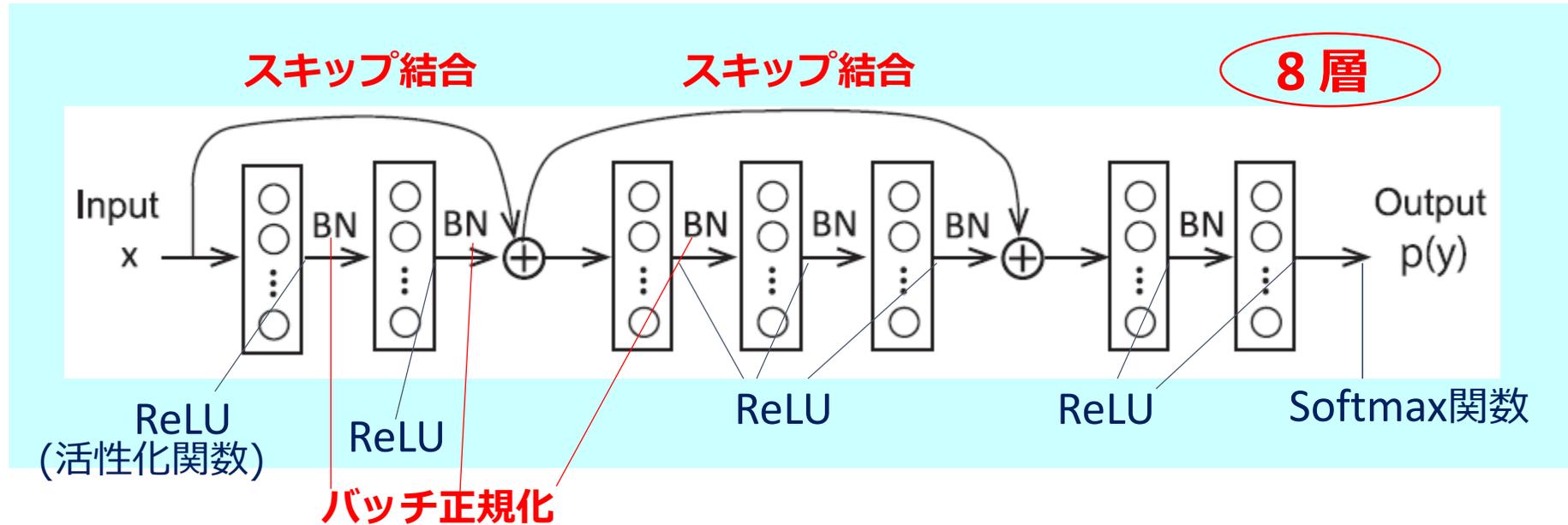
- ・ 過去6年分**30万枚**の太陽画像(4k×4k)で学習。
 - ・ 1日の衛星データ：**1.5TB**以上
- 人の処理能力を越えた膨大なデータ

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。

フレア発生確率
≥Mクラス ○%
≥Cクラス ○%

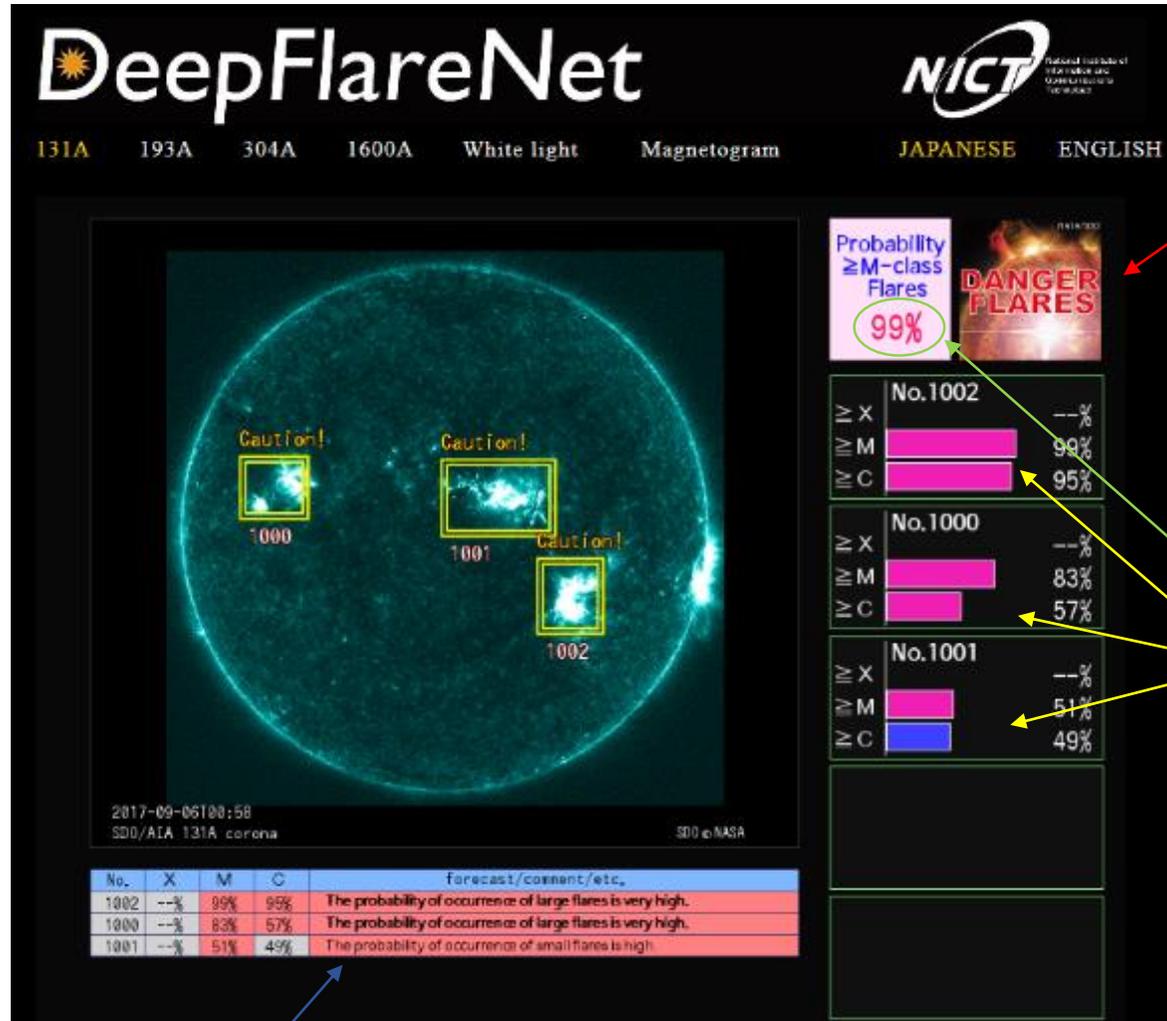
黒点ごとに
確率予報を出す

Deep Flare Net (DeFN) の構造



- 予測精度向上のための深層学習技法を採用 (スキップ結合: ResNet)
- 最後の層でフレア発生確率を計算。
 $P(y_1)$: Mクラス以上のフレアの発生確率
 $P(y_2)$: Mクラス以上が発生しない確率
→ 確率の大きい方を予報。

DeFNによる予報運用



警報マーク



危険 / 注意 / 静穏
天気予報みたいに (☀️☁️☔️)

太陽フレアの発生確率

- 太陽面上の全体で
- 各黒点ごとに
- 米国 JSOC (共同科学運用センター) から準リアルタイムデータを取得 (スタンフォード大学, LMSAL, NASA)
- 世界初の深層学習を用いたフレア予報運用システム (昨年4月にDeep Flare Net のウェブ運用を開始)

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

予報コメント

予測結果と評価

- 運用形式で評価するため、データベースを時系列分割した（2010-2014年を訓練用、2015年をテスト用とした）。評価にスキルスコア（TSS）を用いた。

		Observation	
		flare	no
Prediction	flare	TP	FP
	no	FN	TN

● **True Skill Statistic**
[by Hanseen & Kuipers '65]

$$TSS = \frac{TP}{TP + FN} - \frac{FP}{FP + TN}$$

TSS = 1 は100%適中
を意味する

★リアルタイム運用での評価結果 (2019年1月～2020年7月)

		Observation	
		flare	no
Prediction	flare	0	25
	no	0	491

TSS= none

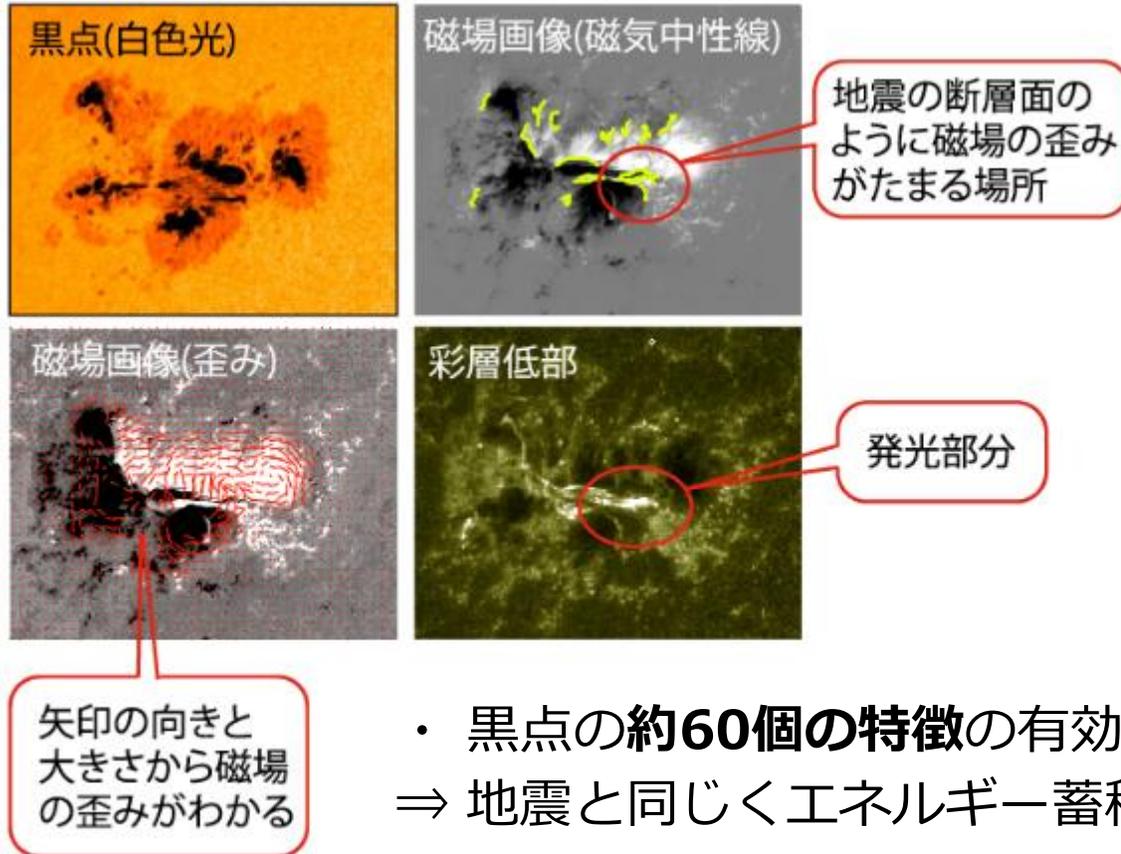
		Observation	
		flare	no
Prediction	flare	26	24
	no	4	463

TSS= 0.82

判別するための予報確率の閾値を50%から変えることで、信頼度等も制御可。
ユーザーの需要・目的に応じて、ユーザーはモデルを選択できる。

フレア予測に有効な黒点の特徴

AIによる特徴量分析で分かったこと



◆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。

宇宙天気情報が社会を守る

『社会インフラとの連携強化』そして『ビジネス化』へ

ユーザーニーズの例

- ① 安全快適な航空サービス提供のための宇宙天気情報。
- ② 衛星運用の効率化。帯放電対策。衛星・デブリ衝突回避。
- ③ 準天頂衛星高精度衛星測位サービスの誤差補正。
- ④ ISS民営化、宇宙滞在、月・火星の探査活動。放射線対策。
- ⑤ オーロラ予報



＜研究開発＞

① 地上観測

② 衛星観測

③ AI (データ駆動)

④ データ同化

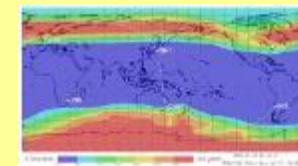
⑤ 数値予報

⑥ 予報運用業務

次期中期
重点項目

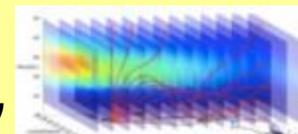
事業者と共にユーザーにわかりやすい情報提供

- 太陽放射線被ばく推定システム (ICAO利用)



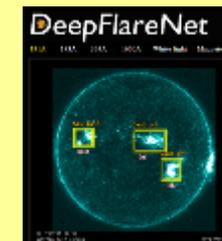
WASAVIES©NICT

- 電波伝搬シミュレータ



HF-START©NICT

- *フレアAI予報の既存ツールへの組込活用



*アイデア段階

宇宙天気予報の技術で、未来をより安心でより豊かなものへ

- 深層学習を用いた太陽フレア予測モデル Deep Flare Net (DeFN)を開発した。24時間以内に発生するフレアの黒点ごとの確率予報を可能とし、かつ人手を上回る予報精度(TSS=0.80)を達成することに成功した。
- 昨年4月にフレア予報運用システムDeFNのウェブ運用を開始した。今後ユーザーのフィードバックを頂きながら、改良していきたい。
- 太陽フレア予測が先鞭をつけて、宇宙天気予報のAI化の1つのモデルケースを作り出した。別プロジェクトにて電離圏嵐予測のAI化も進行中。今後はAIの技術を他の分野に応用することを検討している。
- AI予報は宇宙環境研究室の次期中期重点項目にも据えられた。AI予報の駆動者として、これからも精進して参ります。