# 宇宙天気ミニ講座
# （太陽編）

情報通信研究機構　電磁波研究所
電磁波伝搬研究センター　宇宙環境研究室
研究員　大辻　賢一

2021年11月30日　宇宙天気ユーザーズフォーラム

# 講演者プロフィール

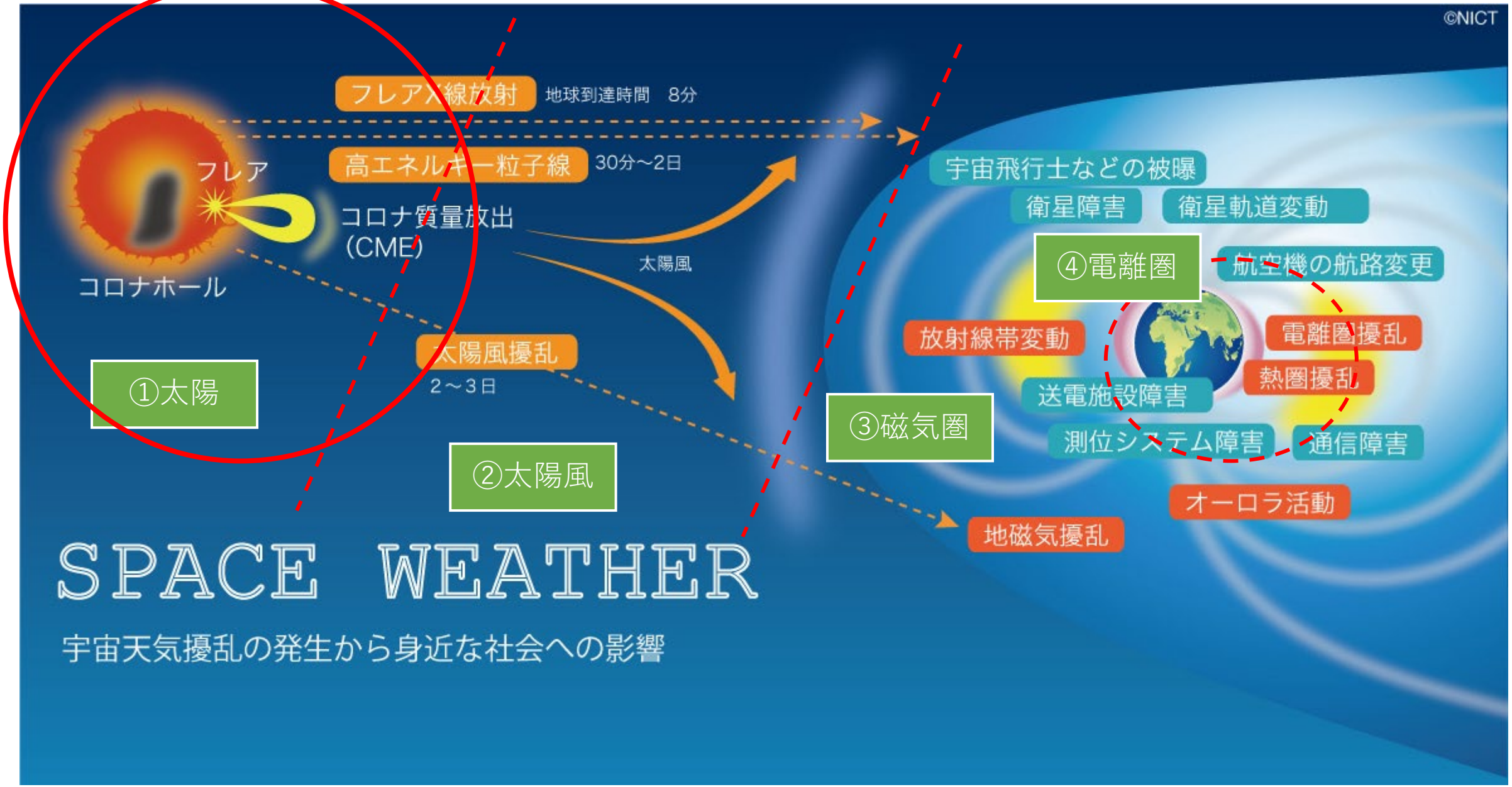
## 大辻（おおつじ）　賢一（けんいち）

国立天文台や京都大学飛騨天文台で研究員として太陽の観測を行う。

太陽の表面で発生する爆発現象「フレア」やそれに伴う「フィラメント噴出現象」について観測的な研究を行い、宇宙天気予報の精度向上を目指している。

つい先日、NHKの番組「コズミックフロント」にて、江戸時代の太陽黒点スケッチについて紹介。

# 宇宙天気の領域


©NICT
フレア
コロナホール
フレア X線放射
地球到達時間　8分
高エネルギー粒子線
30分～2日
コロナ質量放出
(CME)
太陽風
太陽風擾乱
2～3日
①太陽
②太陽風
③磁気圏
④電離圏
宇宙飛行士などの被曝
衛星障害
衛星軌道変動
航空機の航路変更
放射線帯変動
電離圏擾乱
熱圏擾乱
送電施設障害
測位システム障害
通信障害
オーロラ活動
地磁気擾乱
SPACE WEATHER
宇宙天気擾乱の発生から身近な社会への影響

# 最近の宇宙天気ニュース

JIJI.COM　新着記事　連載　特集　写真・動画　ランキング　202

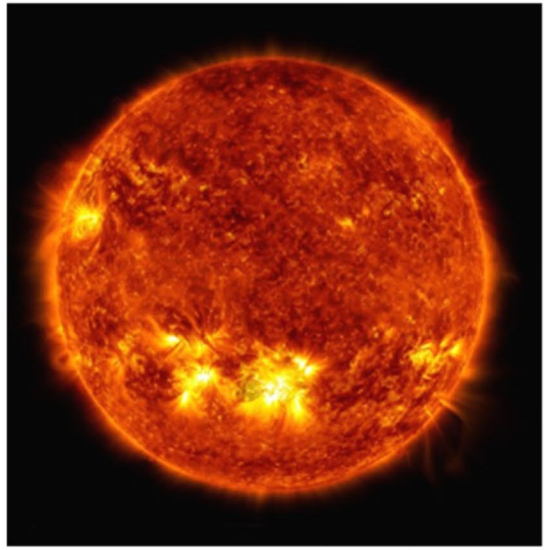
トップ　政治　国際　社会　経済　スポーツ　エンタメ　地域

時事ドットコムニュース ＞ 社会 ＞ 大規模な太陽フレア　短波通信など影響の恐れ

B!　コメント　小　中　大

## 大規模な太陽フレア　短波通信など影響の恐れ

2021年10月29日17時43分



太陽観測衛星ＳＤＯが撮影した大規模な太陽フレア（表面の爆発現象。画像中央下の明るい部分）。日本時間２９日午前０時３５分に発生した（ＮＡＳＡ提供）

Ads by Google
フィードバックを送信
広告表示設定

情報通信研究機構や米航空宇宙局（ＮＡＳＡ）は２９日、太陽で同日午前０時３５分（日本時間）に大規模なフレア（表面の爆発現象）が発生したと発表した。ＮＡＳＡは太陽観測衛星ＳＤＯが撮影した画像を公開した。

同機構は高エネルギー粒子の飛来などにより、短波通信や通信・放送衛星に障害が生じたり、全地球測位システム（ＧＰＳ）による高精度な測位の誤差が大きくなったりする恐れがあるとして、注意を呼び掛けている。

爆発で放出された太陽コロナ（上層大気）のガスは３０日午後から３１日に地球へ到来、通過する可能性がある。到来した場合は影響が数日間続くという。

2021年10月29日の時事ドットコムニュース

29日日本時間0時に太陽表面で大規模なフレアが発生

太陽から高エネルギー粒子などが飛来

短波通信や通信放送衛星に障害、GPS測位誤差が増大

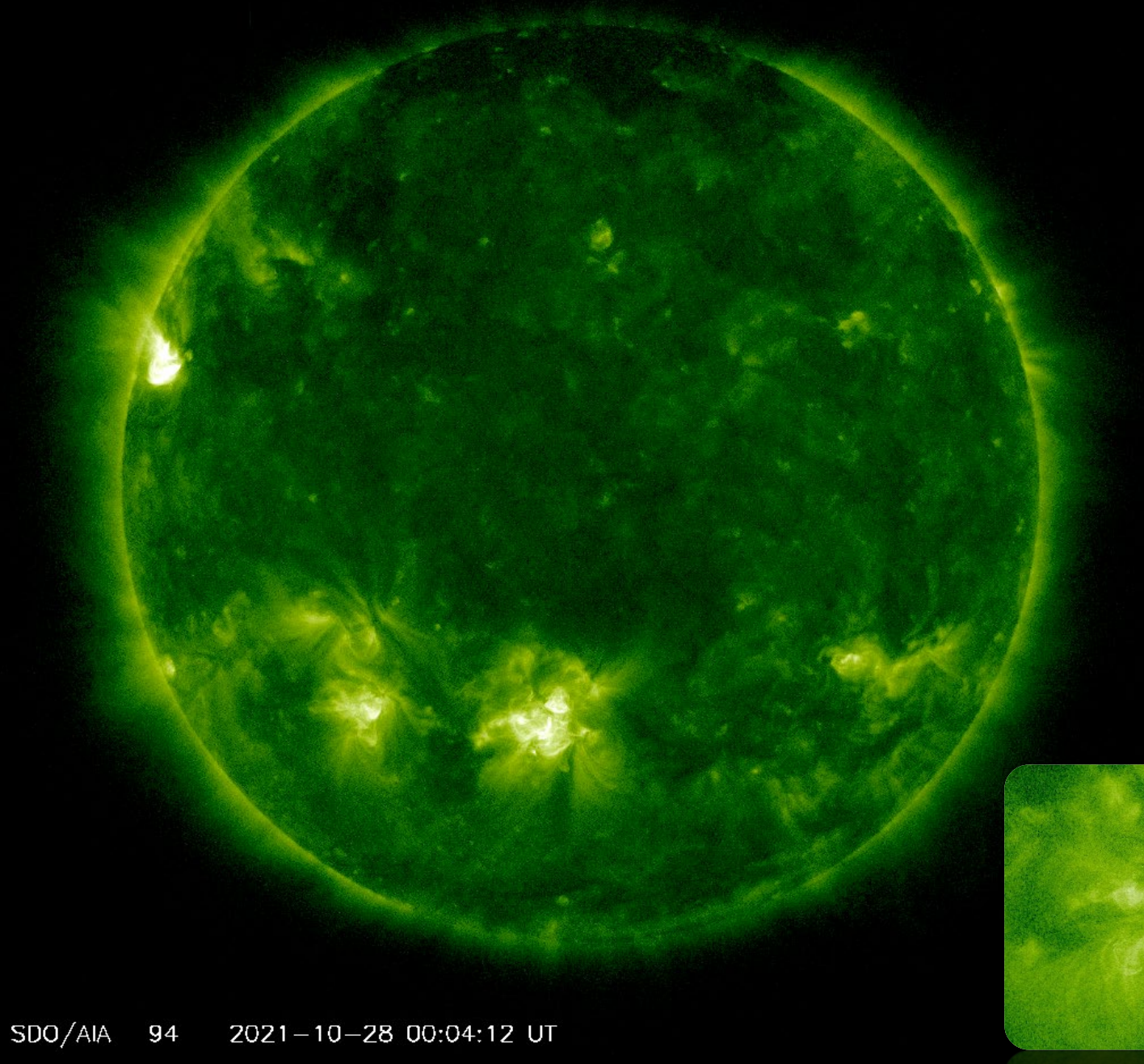
太陽が宇宙天気に及ぼす影響
・太陽フレア
・フィラメント噴出とコロナ質量放出
・コロナホールと高速太陽風
について解説します。

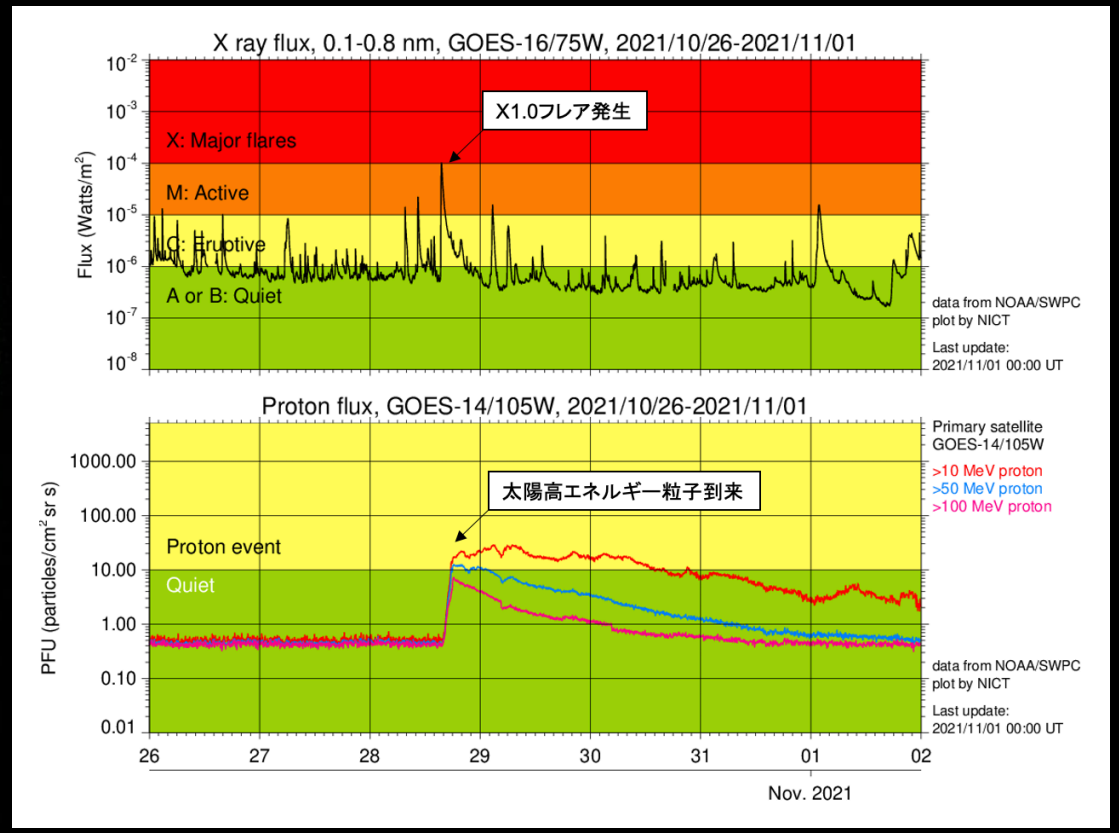
太陽フレア

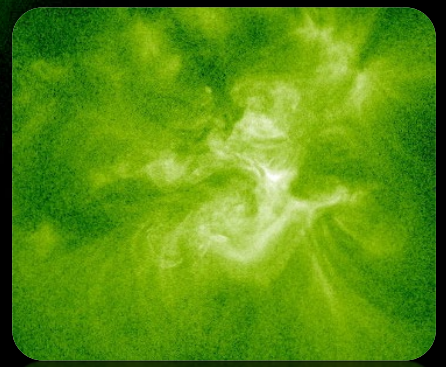
NASAの太陽観測衛星「SDO」による太陽全面動画
波長94 Åの極端紫外線で観測（先月末のX1.0フレア）

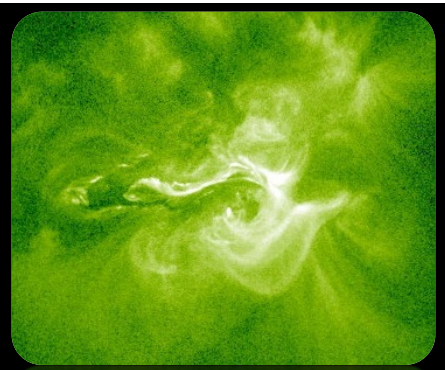
# 太陽の爆発現象　－　フレア

太陽からの放射(電波～X線、高エネルギー粒子)が短時間の間に急激に増大する現象。

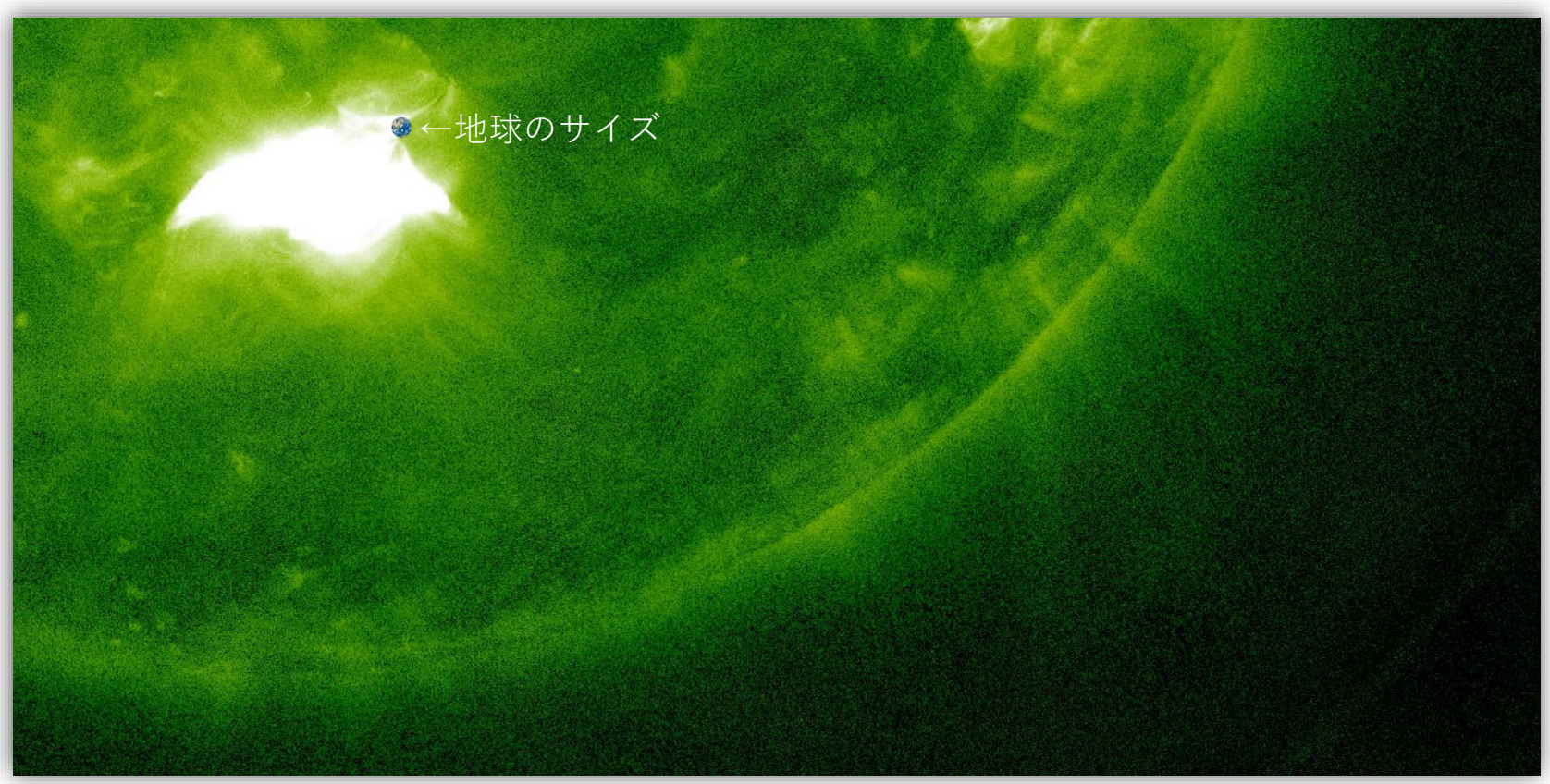




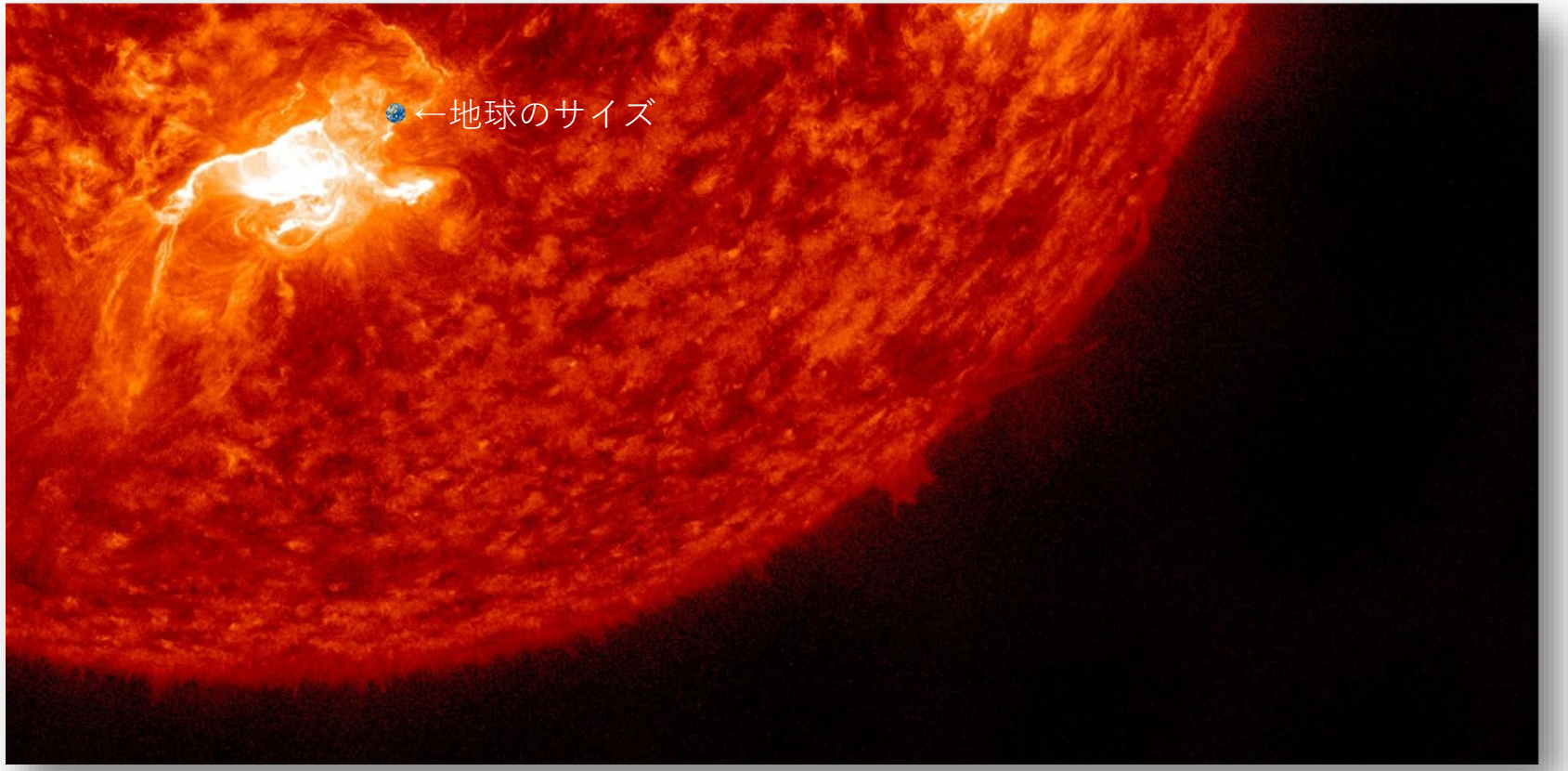
# 太陽フレアはどこで起きるか？




NASA/SDO

コロナ　100万度
　高度　数1,000km～

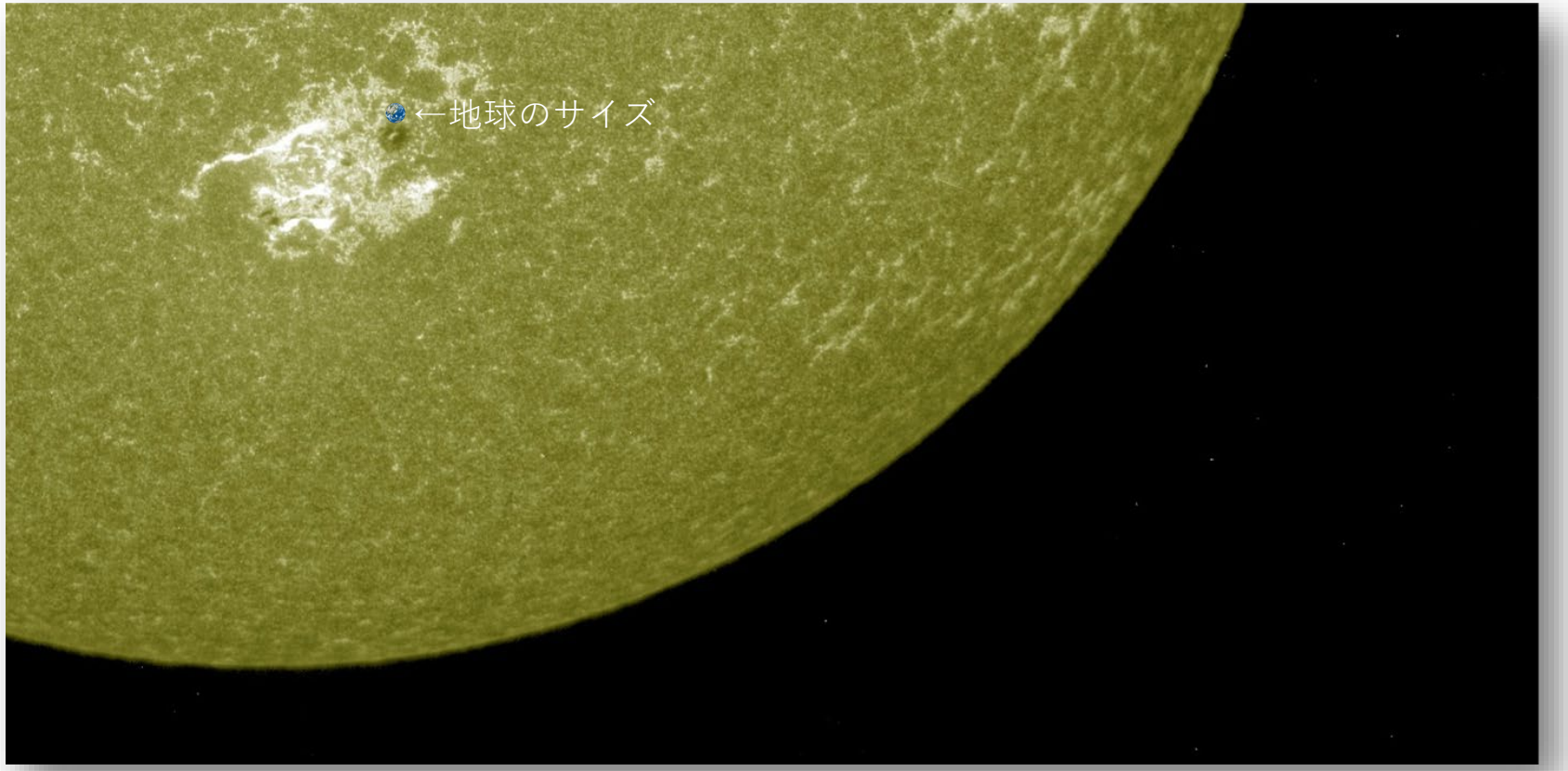
# 太陽フレアはどこで起きるか？




NASA/SDO

| | |
|---|---|
| コロナ | 100万度 |
| ↓高度 | 数1,000km～ |
| 彩層 | 1万度 |
| 高度 | ～2,000km |

# 太陽フレアはどこで起きるか？




NASA/SDO

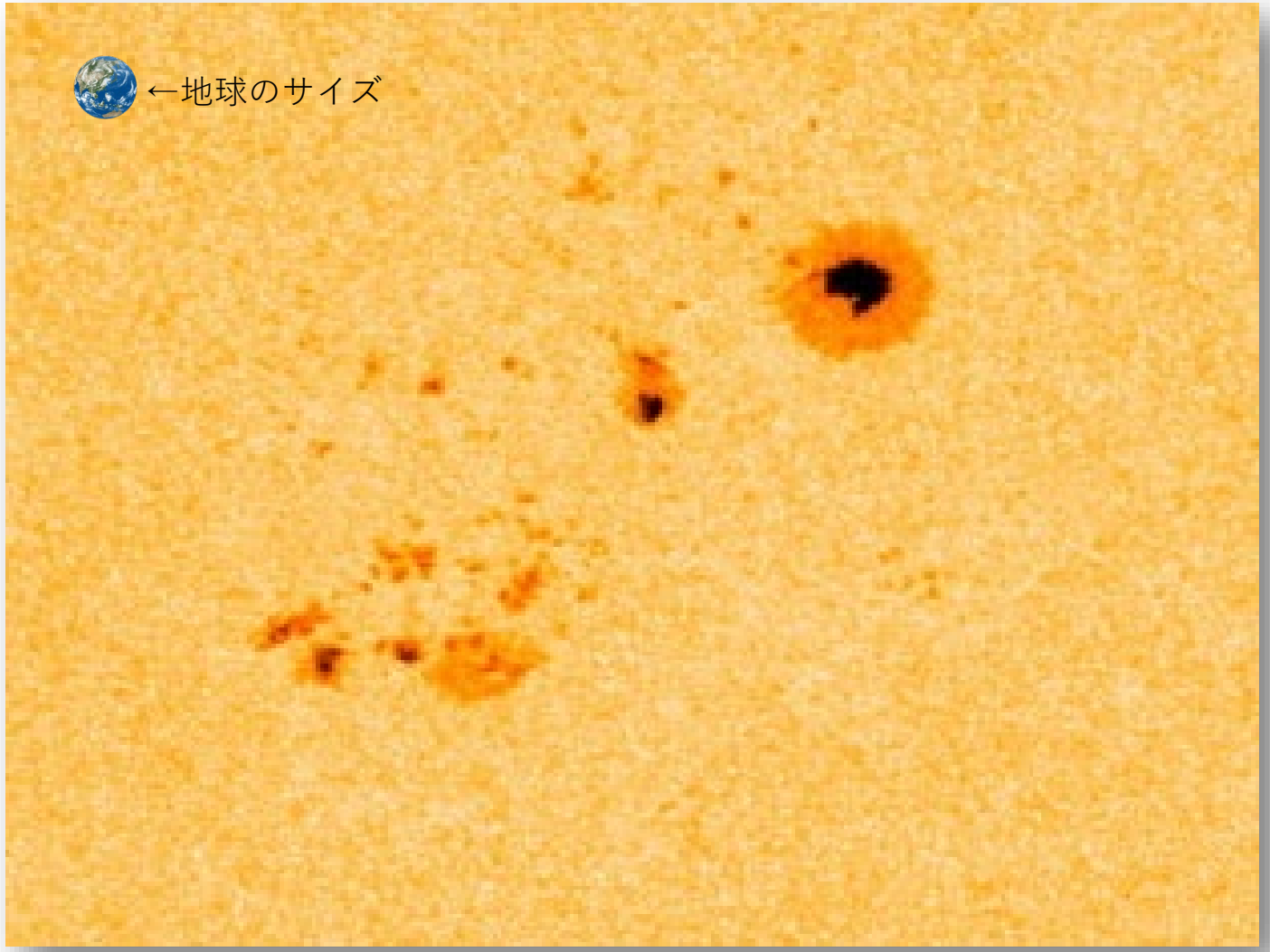
コロナ　100万度
↓高度　数1,000km～
彩層　1万度
↓高度　～2,000km
光球上部　4,000度
　高度　500km

# 太陽フレアはどこで起きるか？

NASA/SDO

コロナ　100万度
↓高度　数1,000km～
彩層　1万度
↓高度　～2,000km
光球上部　4,000度
↓高度　500km
光球　6,000度
太陽表面

# 太陽フレアのエネルギー源　ー　黒点




NASA/SDO

- 磁場が非常に強い領域
- 複雑な形状の黒点の集まりが出現すると、蓄積した磁器エネルギーが解放され大規模な太陽フレアが発生する。

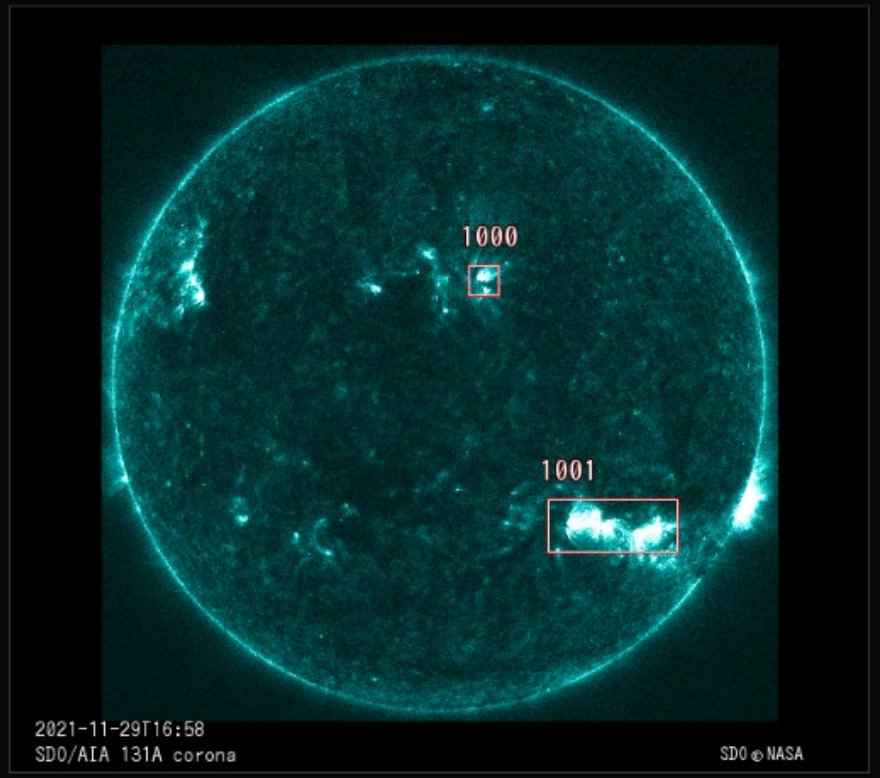
NICTでは、黒点の形状や磁場強度の時間変化から太陽フレアの発生を予測し、宇宙天気予報として情報提供を行っている。

https://swc.nict.go.jp/forecast/

# 深層学習を用いた太陽フレア予測 DeepFlareNet

Top DeFN DeFN-R

131A 193A 304A 1600A White light Magnetogram JAPANESE ENGLISH




| No. | X | M | C | 予測・コメント等 |
|---|---|---|---|---|
| 1001 | --% | 17% | 47% | フレアの発生確率は低い状態です。 |
| 1000 | --% | 1% | 7% | フレアの発生確率は低い状態です。 |

※現在「Xクラス」フレアの予測は実施しておりません。

フレア発生確率 ≧Mクラス 17%

| No.1001 | |
|---|---|
| ≧X | --% |
| ≧M | 17% |
| ≧C | 47% |

| No.1000 | |
|---|---|
| ≧X | --% |
| ≧M | 1% |
| ≧C | 7% |

衛星観測によるリアルタイムの太陽情報を深層学習で構築されたネットワークに入力することで、今後24時間以内の太陽フレア発生予測を行う。

**より精度の高い太陽フレア予測**

余談ですが…

# 日本で初めて望遠鏡を用いて黒点を観測した人物

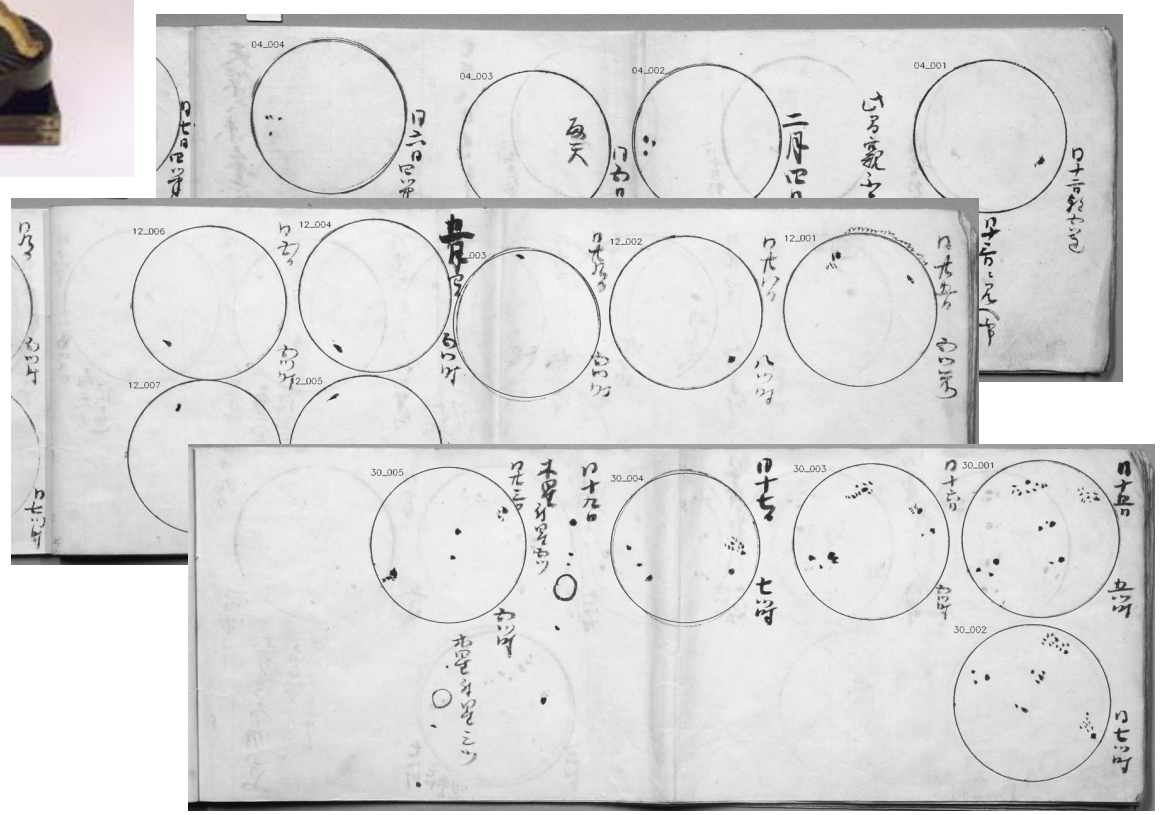
# 国友 一貫斎（1778-1840）

近江国国友村(現滋賀県長浜市国友町)
日本で最初の実用空気銃や反射望遠鏡を製作
月や惑星、太陽の観測

http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~tomita/vmuseum/kunitomo/kunitomo.html

国友望遠鏡
（グレゴリー式反射望遠鏡）
口径60mm　鏡筒長 334mm

# 一貫斎が天保年間に残した黒点スケッチ集



国友一貫斎

黒点スケッチ

天保6年10月10日

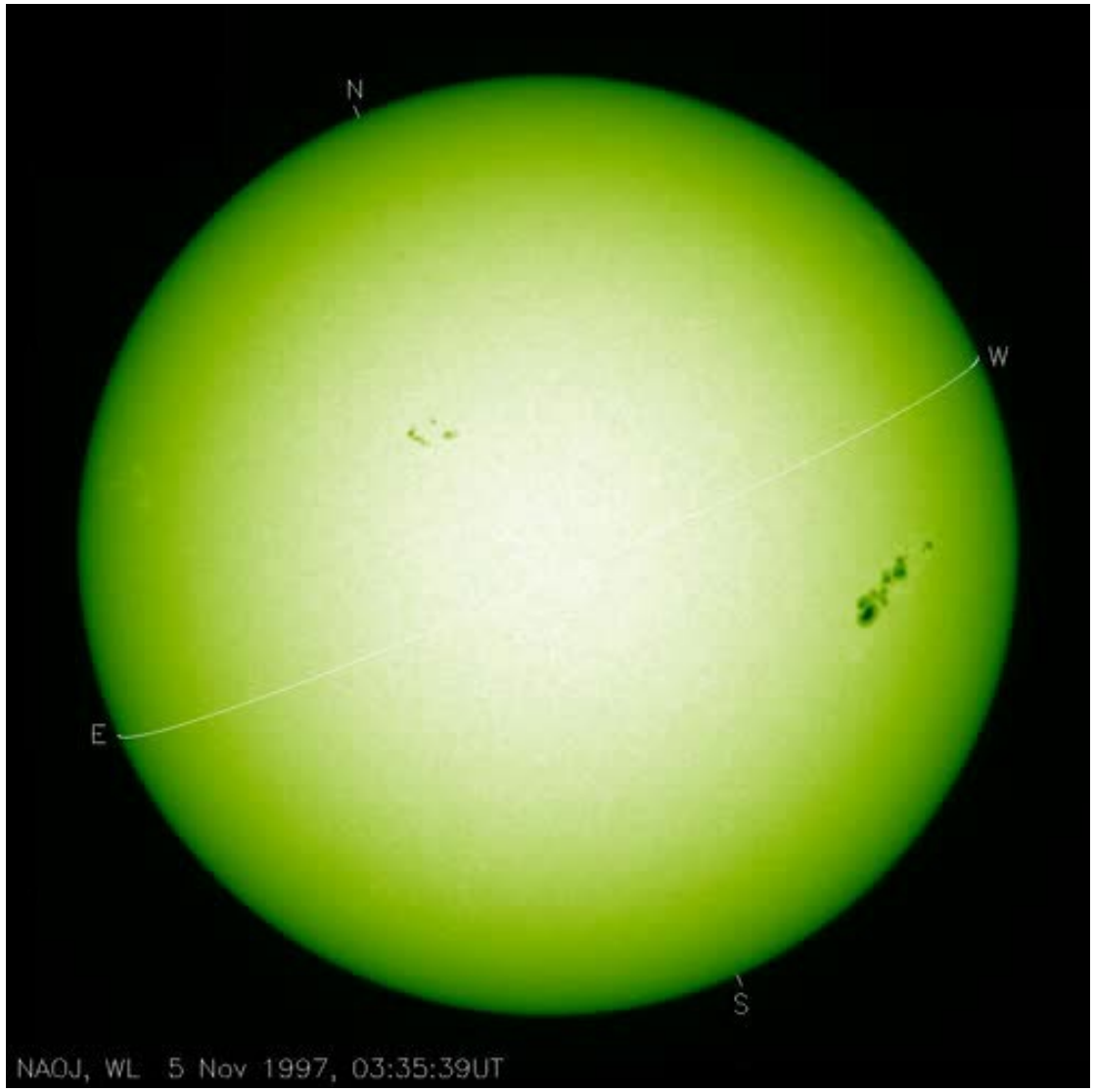
(1835年11月29日

Dagik

DAta-showcase system for Geoscience In Kml

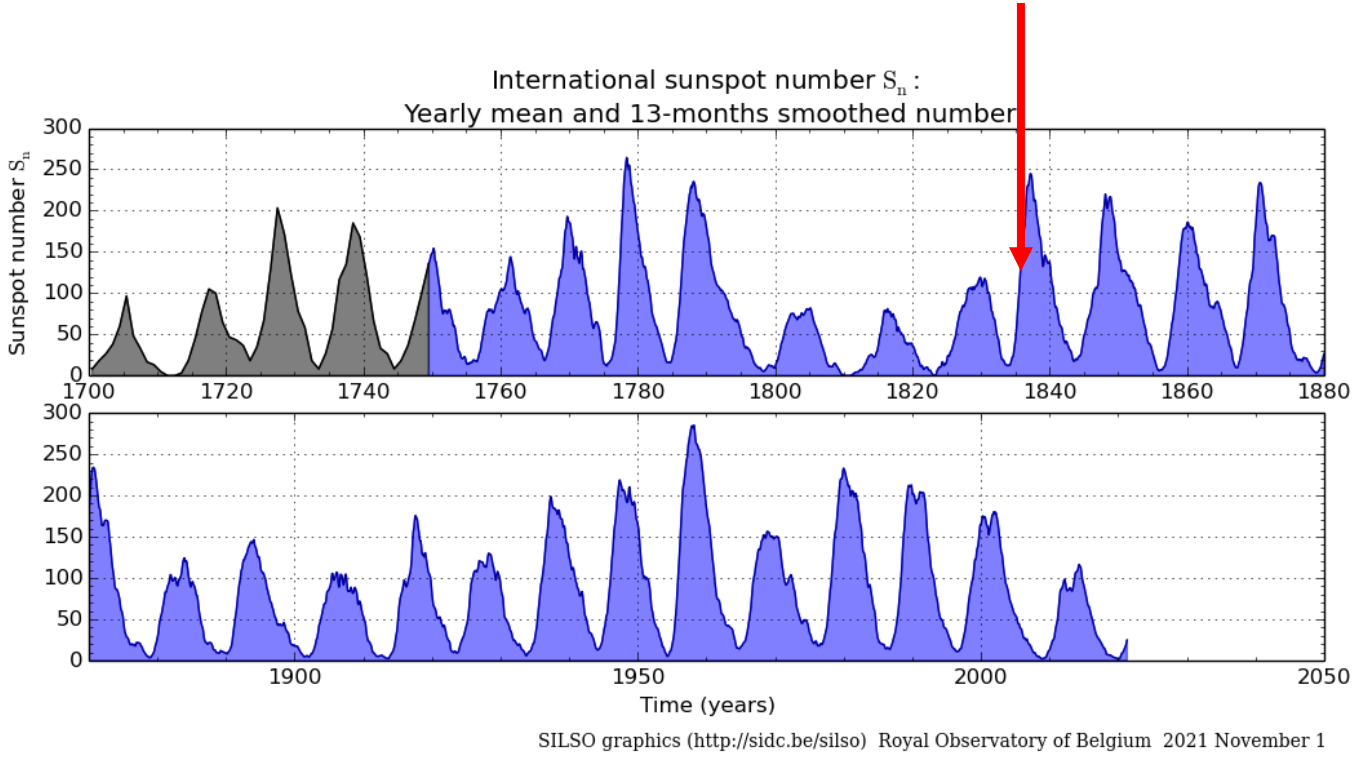
閑話休題…

# 太陽の11年活動周期と宇宙天気




国立天文台で観測された太陽黒点画像の早送り動画
(1997年～2014年)

一貫斎の観測時期




太陽表面に出現する黒点の数は約11年周期で増減を繰り返す。

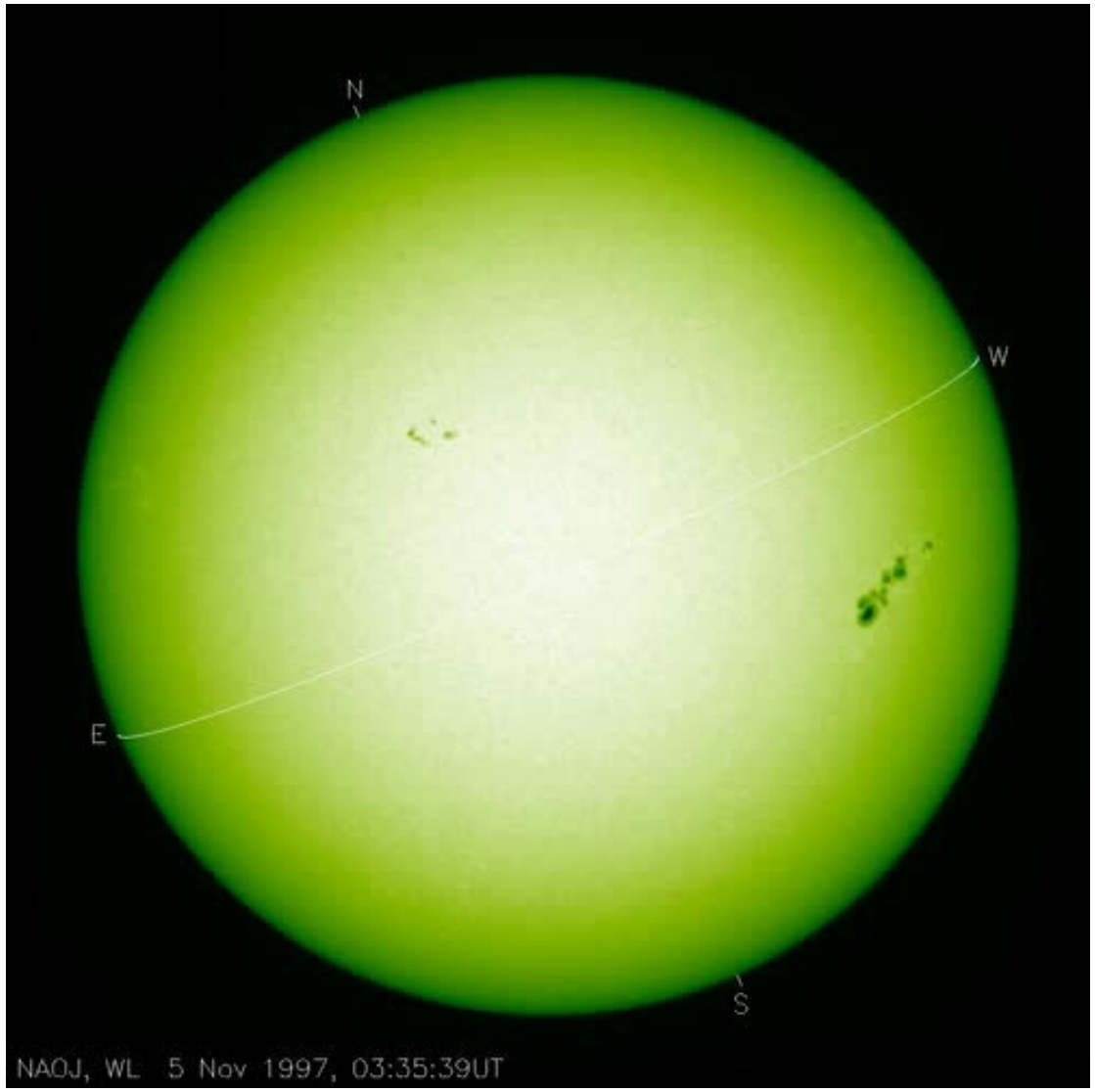
黒点の磁場がエネルギー源である太陽フレアの発生数も同様。

2021年11月現在、太陽活動度は上昇している途上にある。

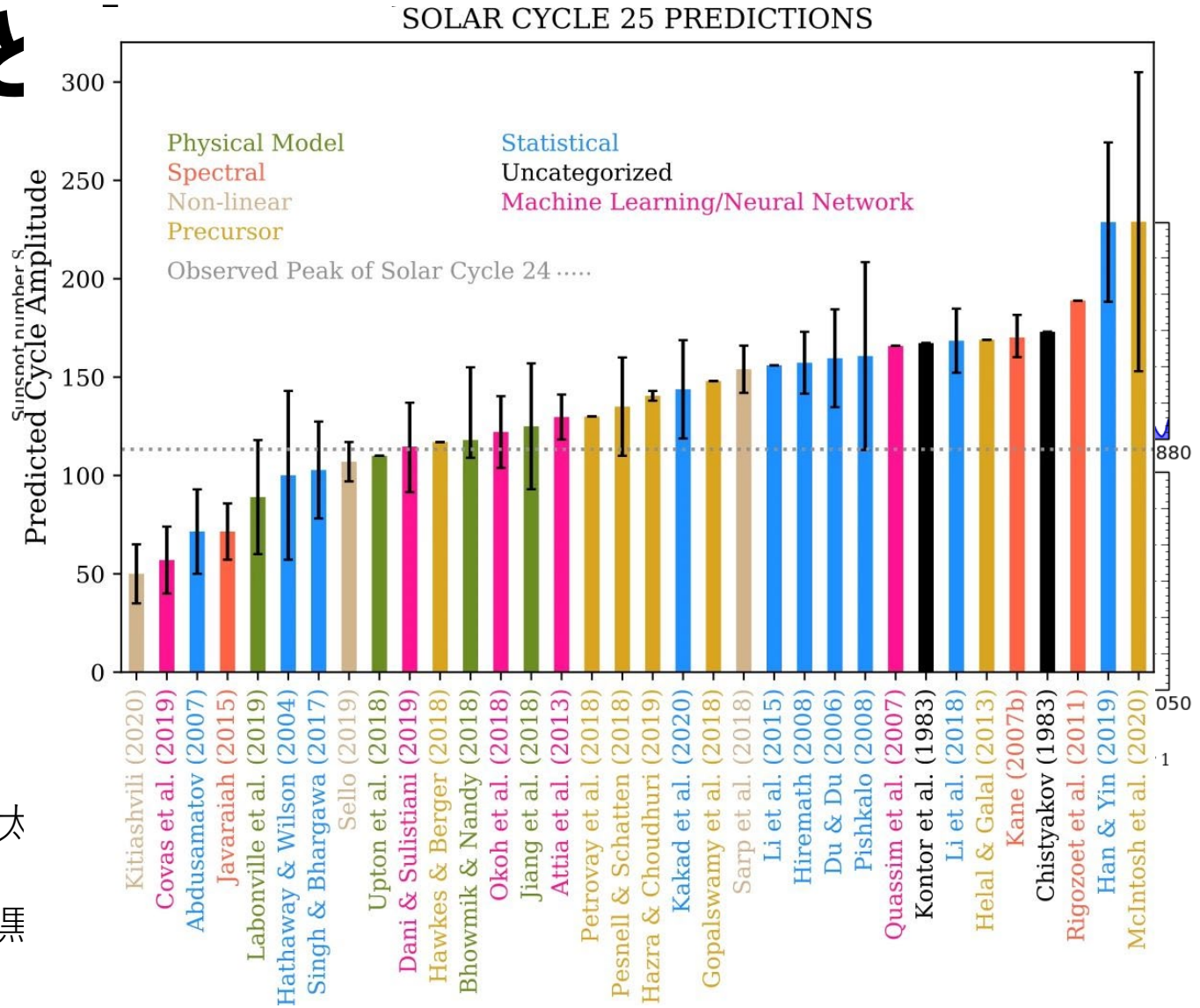
これから迎える太陽活動周期がどのようになるか、多くの研究者が予測を立てている。

閑話休題…

# 太陽の11年活動周期と




国立天文台で観測された太陽黒点画像の早送り動画
(1997年～2014年)




"Progress in Solar Cycle Predictions: Sunspot Cycles 24–25 in Perspective".
Sol Phys 296, 54 (2021).

これから迎える太陽活動周期がどのようになるか、多くの研究者が予測を立てている。

# 太陽フレアによる人間社会への影響

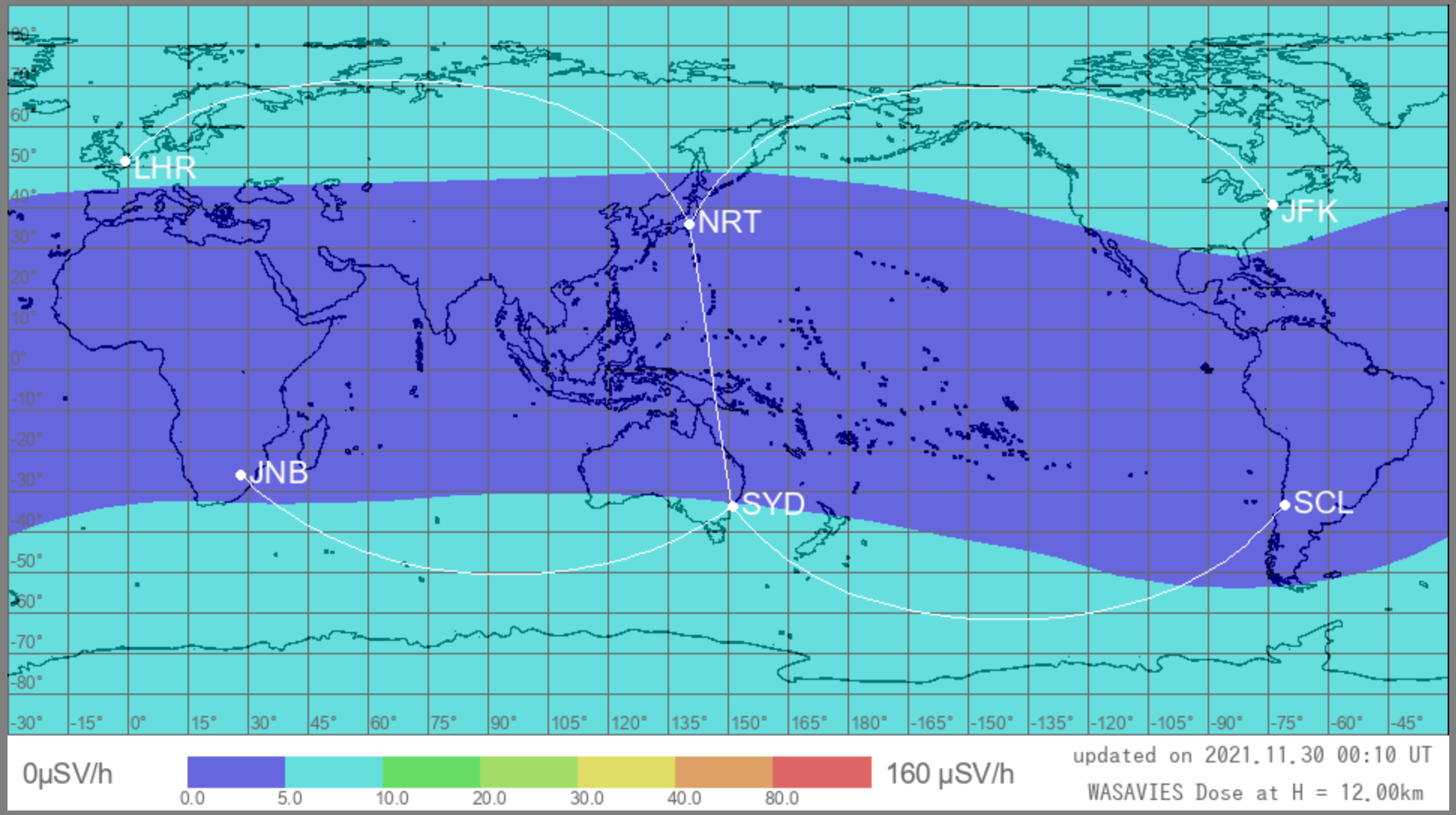
※太陽フレアが直接的に引き起こす影響

- X線、ガンマ線や高エネルギー粒子の放射量増大
  →宇宙飛行士や高空飛行中の飛行機への被ばく
- X線や紫外線放射量の増大による電離層中の電子密度増大
  →短波通信障害（デリンジャー現象）
- 衛星軌道における高エネルギー粒子密度増大
  →衛星障害

NICTでどのような情報を提供しているか

WASAVIES

# 航空機高度の宇宙線被ばく線量をリアルタイムで推定

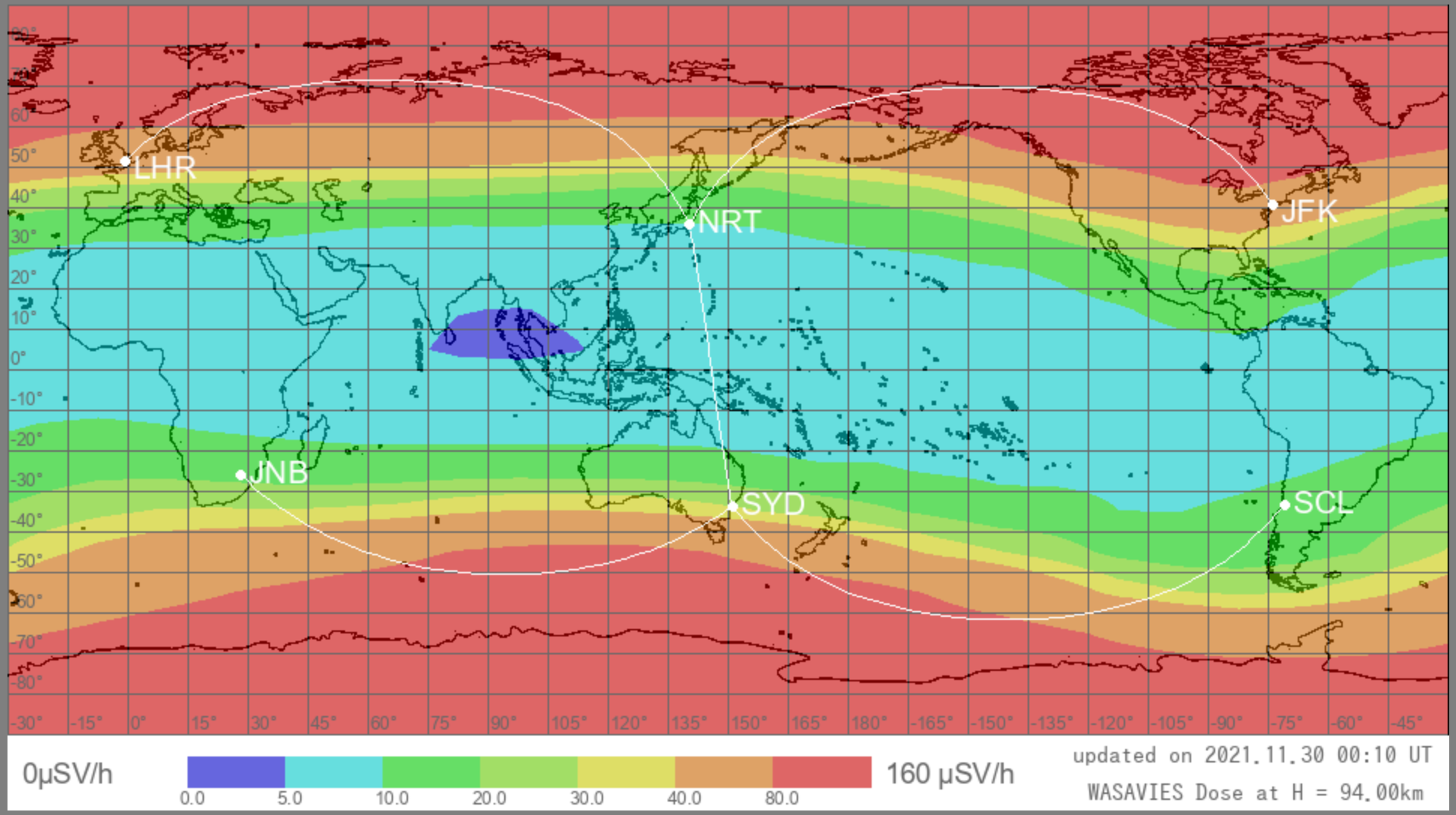



※１年間に受ける日本人の平均被ばく線量は5.98ミリシーベルト
（原子力安全研究協会調べ）

航空機高度　12,000m

WASAVIES

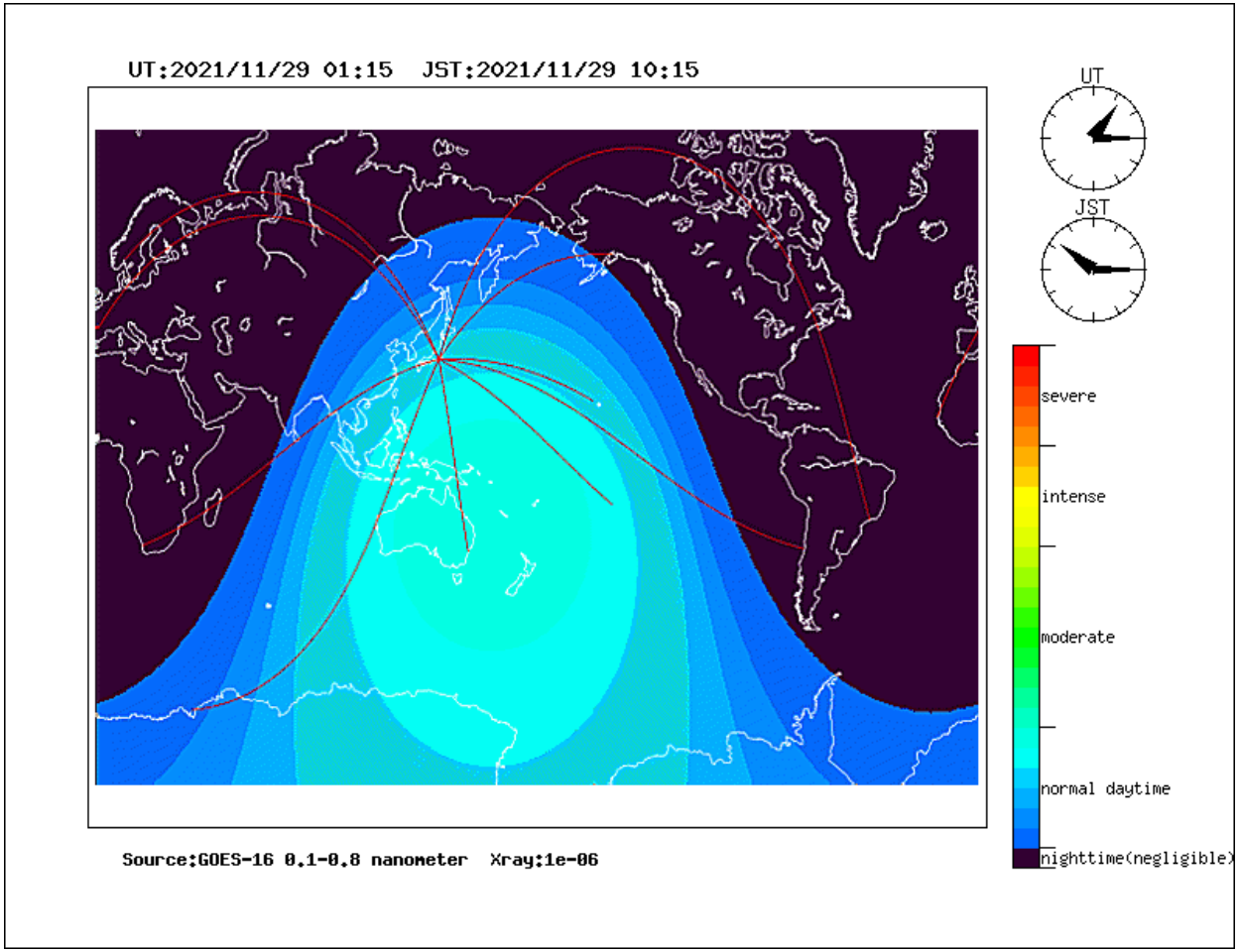
航空機高度の宇宙線被ばく線量をリアルタイムで推定




※１年間に受ける日本人の平均被ばく線量は5.98ミリシーベルト
（原子力安全研究協会調べ）

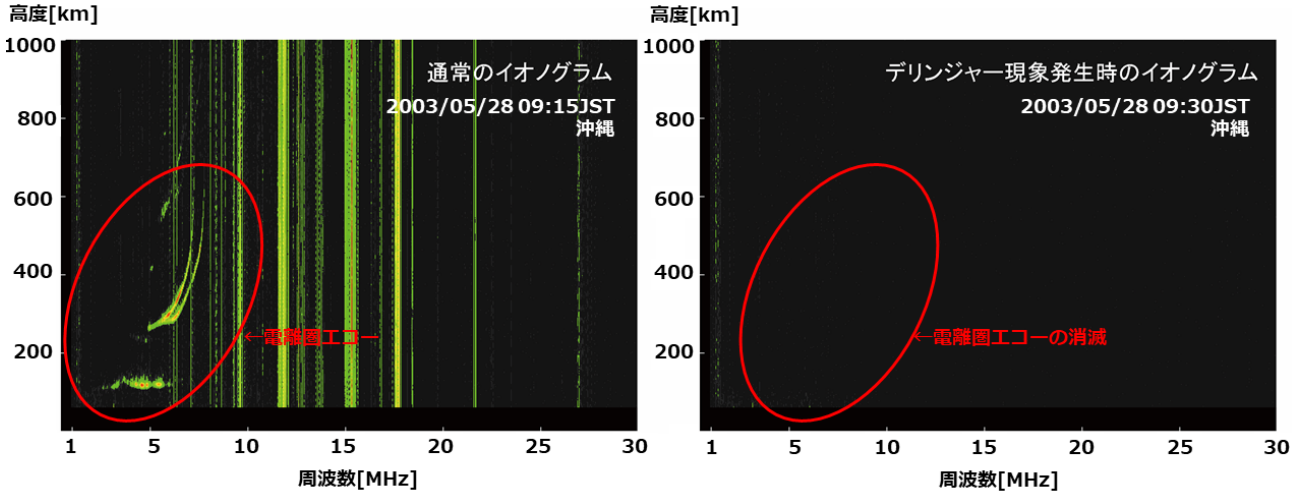
高度 94km

# デリンジャー現象のリアルタイムモニタリング




太陽からのX線放射強度のデータから、デリンジャー現象の発生状況をリアルタイムで公開している。

また、日本各地でのイオノグラム観測で、常時デリンジャー現象の発生をモニタリングしている。




詳しくは「電離圏編」で

# プロトン現象に関する臨時情報

太陽からの高エネルギー粒子密度が増大した際に自動的に速報が通知される。

Report of proton event 受信トレイ ×

**情報通信研究機構宇宙天気予報センター** no-reply@rwcj.nict.go.jp mhs3.iimc.kyoto-u.ac.jp 経由 10月29日(金) 2:52

To otsuji

2021年10月29日02時52分JST 通報
GOES-16 衛星の観測によると,
10月28日17時40分UTに、10MeV以上のプロトン粒子フラックスが1.3e+01PFUを越えました。
提供：国立研究開発法人 情報通信研究機構(NICT)

下記のリンク先でイベントのプロットが御覧になれます。
http://mobilep.nict.go.jp/flare-proton/flare-proton_week.html

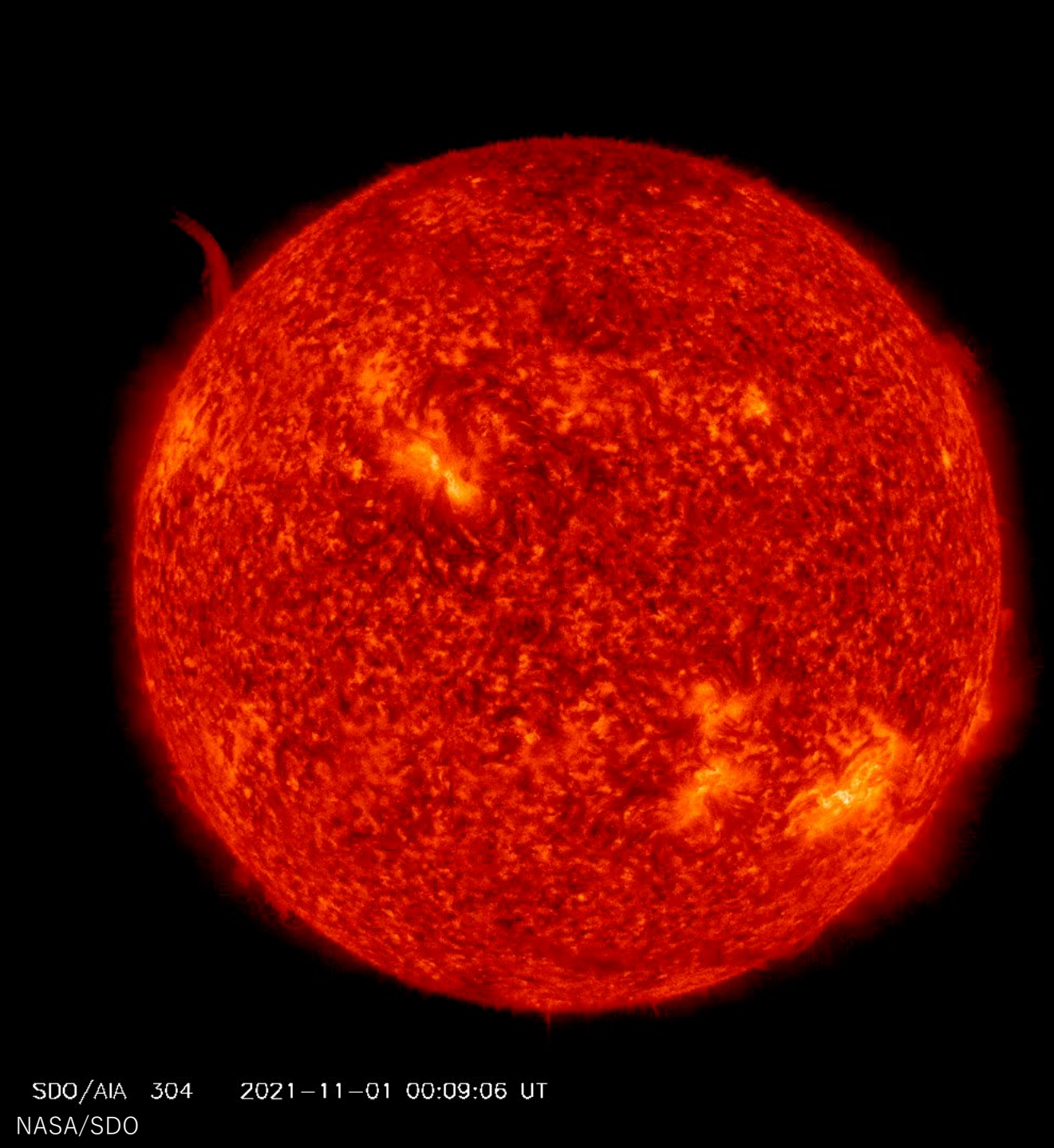
---
※利用者情報の変更・解除はコチラ／Unsubscribe or change user information
https://service.sugumail.com/nict/m/u/i/d84bb12c170f0514a5dd244595401b2a
...

# 太陽フレアにＮＩＣＴがどう対応しているか

- NICTは衛星観測などのリアルタイムデータを昼夜監視し、太陽フレアの発生予測を行っている。
- 深層学習などの最新技術も取り入れ、太陽フレア予測の精度向上を日々目指している。
- 太陽フレアに伴う被ばくやデリンジャー現象、高エネルギー粒子に対しても、NICTの宇宙天気予報HP（https://swc.nict.go.jp/）でのリアルタイム通知に加え、メールによる臨時情報の発信も行い、ユーザーのもとへいち早く必要な情報を届けるよう努めている。

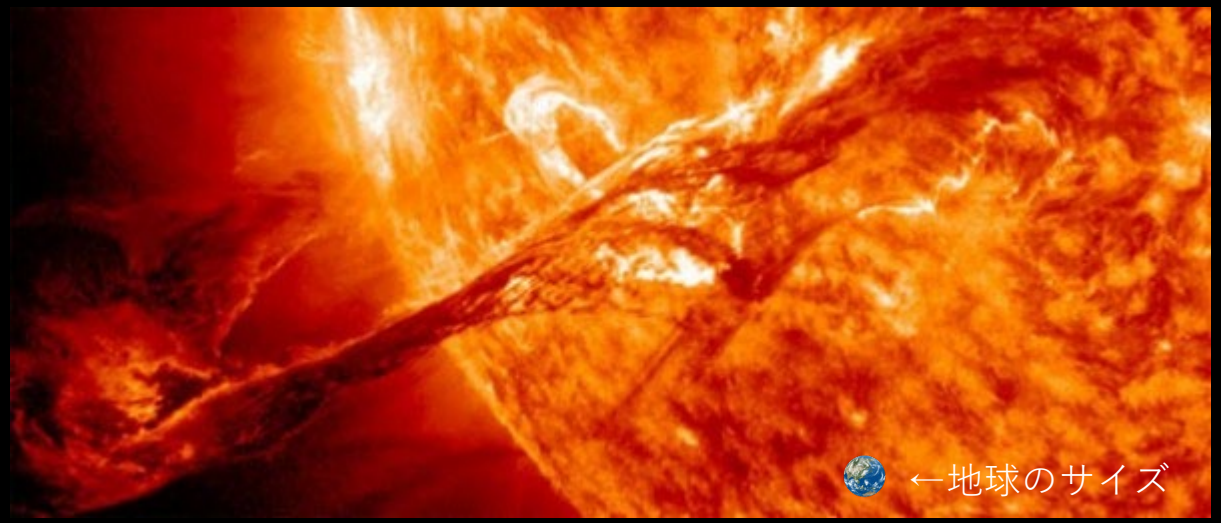
# フィラメント噴出現象
# ＆
# コロナ質量放出

# フィラメント噴出現象




太陽大気中に浮かぶプラズマの塊(フィラメント)が宇宙空間に向けて噴出する現象。
フレアに付随して発生する場合もあるが、黒点が存在しない場所(静穏領域)のフィラメントが噴出する場合もある。

多くの場合、次に説明するコロナ質量放出を伴う。

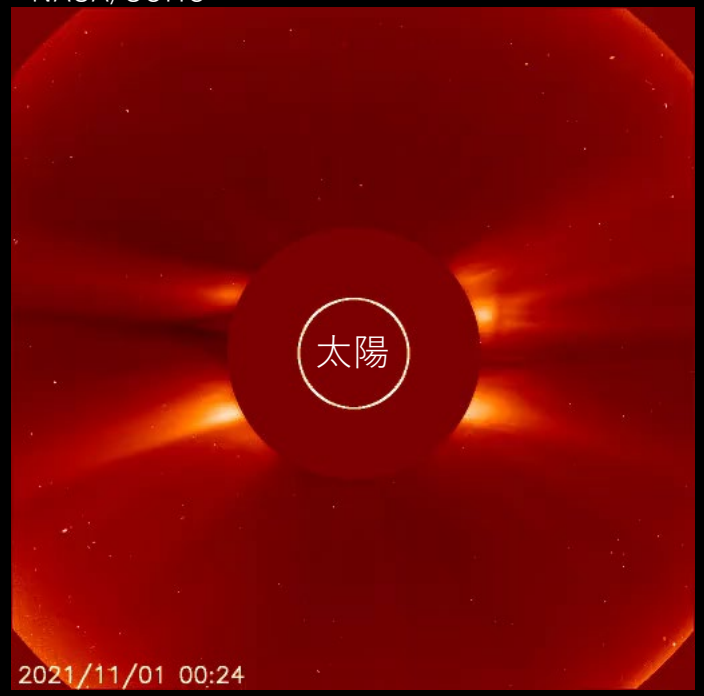


# コロナ噴出現象（CME）

太陽コロナガスが、磁力線を引き連れて宇宙空間へ噴出する現象。フィラメント噴出現象に伴って発生することが多い。

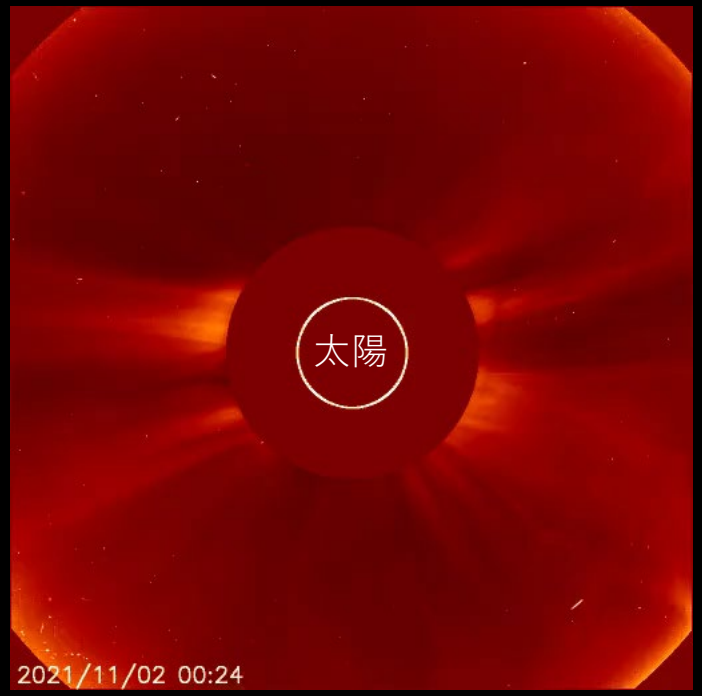
地球方向に噴出したコロナ噴出現象は、地磁気嵐を引き起こす可能性がある。

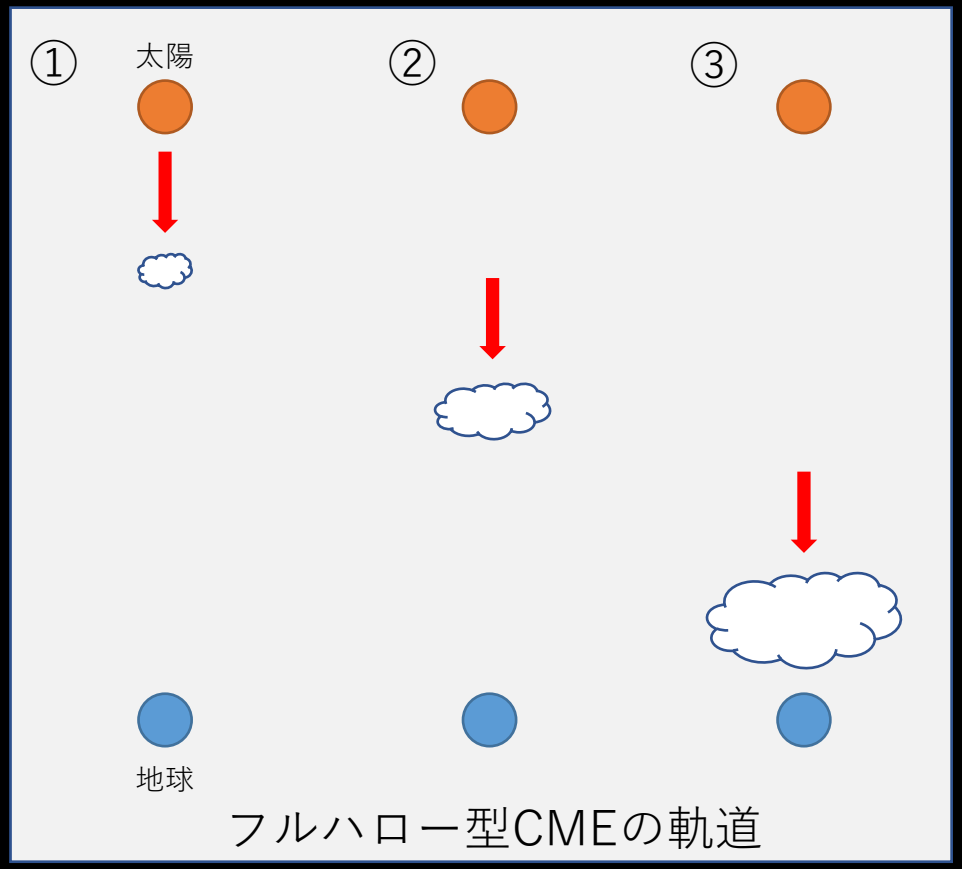
NASA/SOHO




2021年11月1日に発生したCME

2021年11月2日に発生したCME
「フルハロー型CME」



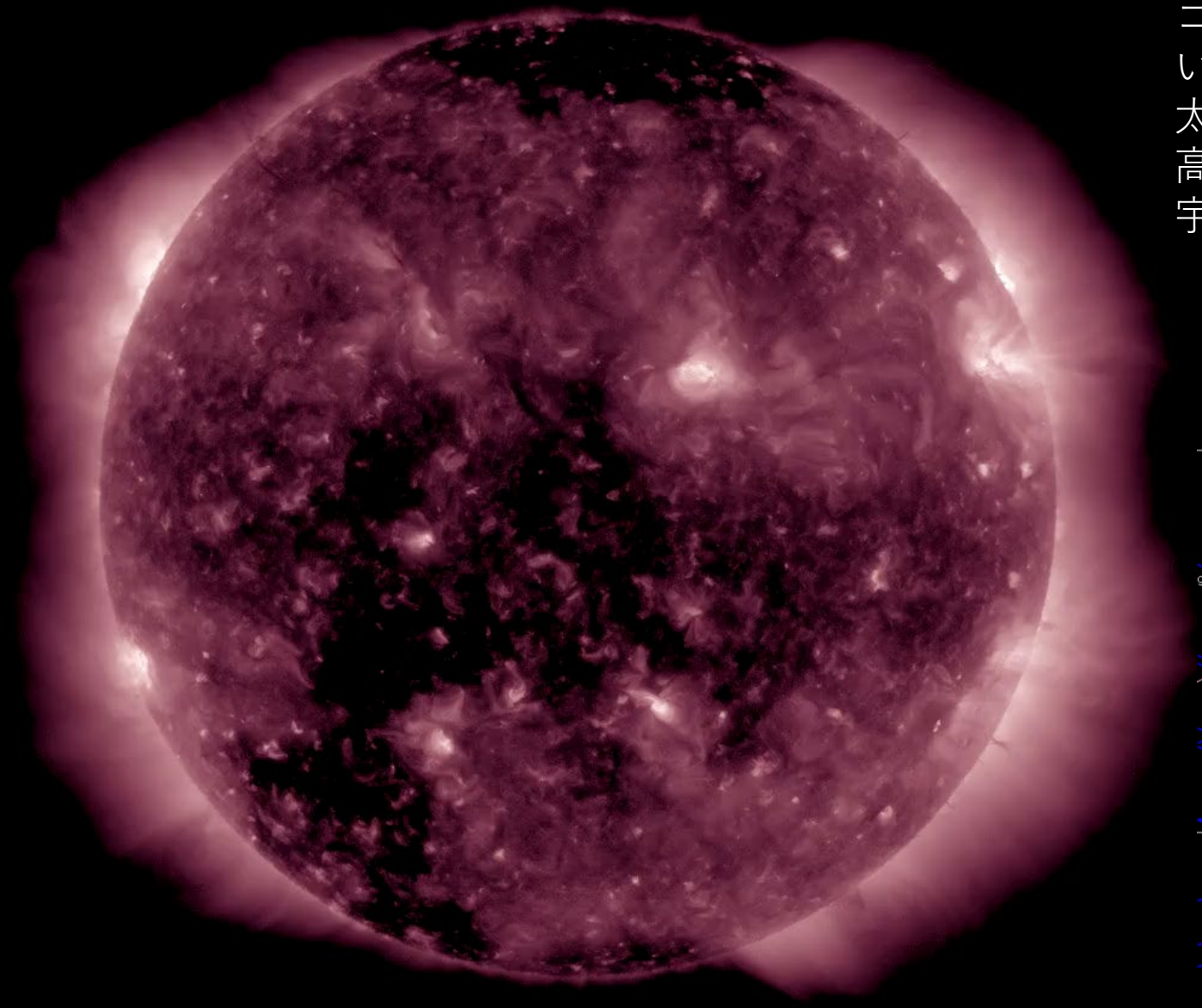

フルハロー型CMEの軌道

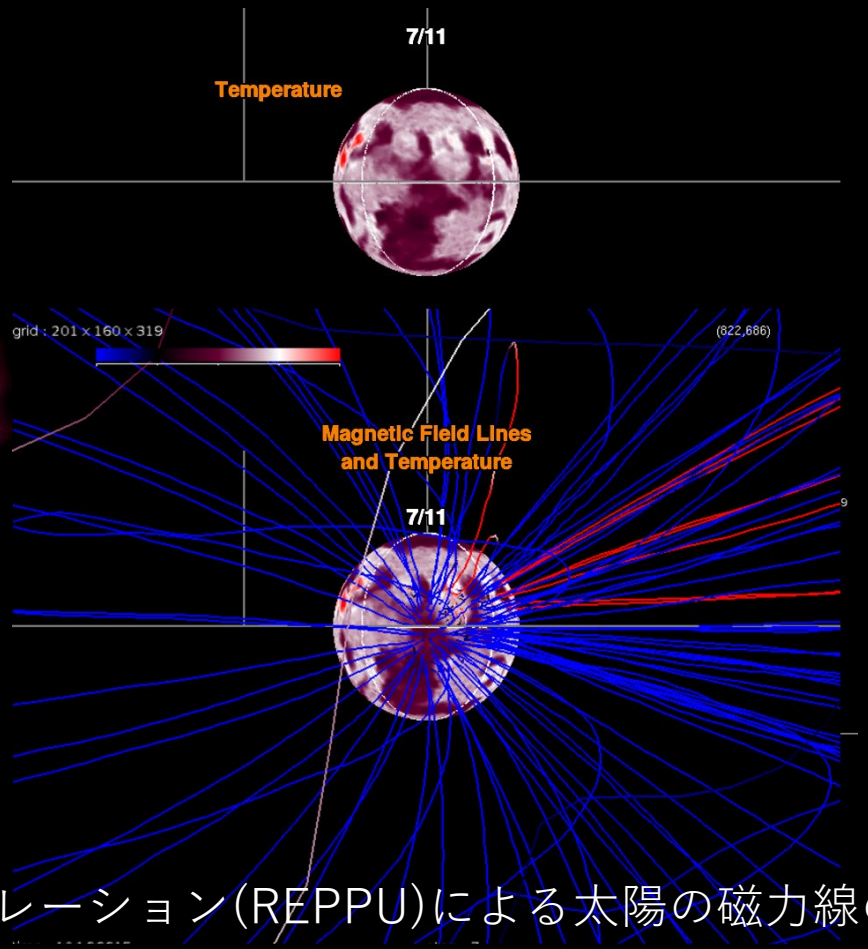
詳しくは「太陽風編」で

コロナホール

# コロナホール

X線で観測できる太陽大気に、あたかも大きな黒い「穴」が開いているように見える現象。
コロナホールでは太陽の磁場が宇宙空間に向けて開いており、コロナガスは磁力線にとらわれずに高速太陽風として宇宙空間へ流れ出すことができる。
高速太陽風の到来予測および地磁気への影響予測も、宇宙天気予報にとって重要な要素である。




シミュレーション(REPPU)による太陽の磁力線の再現

# まとめ

- 「太陽編」ということで、宇宙天気の最上流となる太陽で発生する現象について解説。
- 太陽フレア
  - 太陽で発生する爆発現象。黒点の磁場エネルギーが源。
  - 黒点形状や磁場の観測データから、深層学習も用いて精度の高い太陽フレア予測を達成しつつある。
  - 被ばくやデリンジャー現象、高エネルギー粒子の到来についても、NICTの宇宙天気予報HPでの通知に加え、臨時情報でリアルタイムの情報提供を行っている。
- 太陽で発生するその他の現象（詳細は次の「太陽風編」にて）
  - フィラメント噴出現象
    - 太陽大気中に浮かぶプラズマの塊(フィラメント)が宇宙空間に向けて噴出。
  - コロナ質量放出
    - コロナガスが太陽の磁力線を伴って放出される現象。
    - 地球に直撃した場合、地磁気嵐が発生する可能性がある。
  - コロナホール
    - 太陽からの高速なプラズマ流「高速太陽風」の源。
    - やはり地磁気嵐を引き起こす要因のため、精度の高い予測が不可欠。

ありがとうございました。