

宇宙天気予報の最近の動向



国立研究開発法人情報通信研究機構

宇宙天気予報グループ

久保勇樹

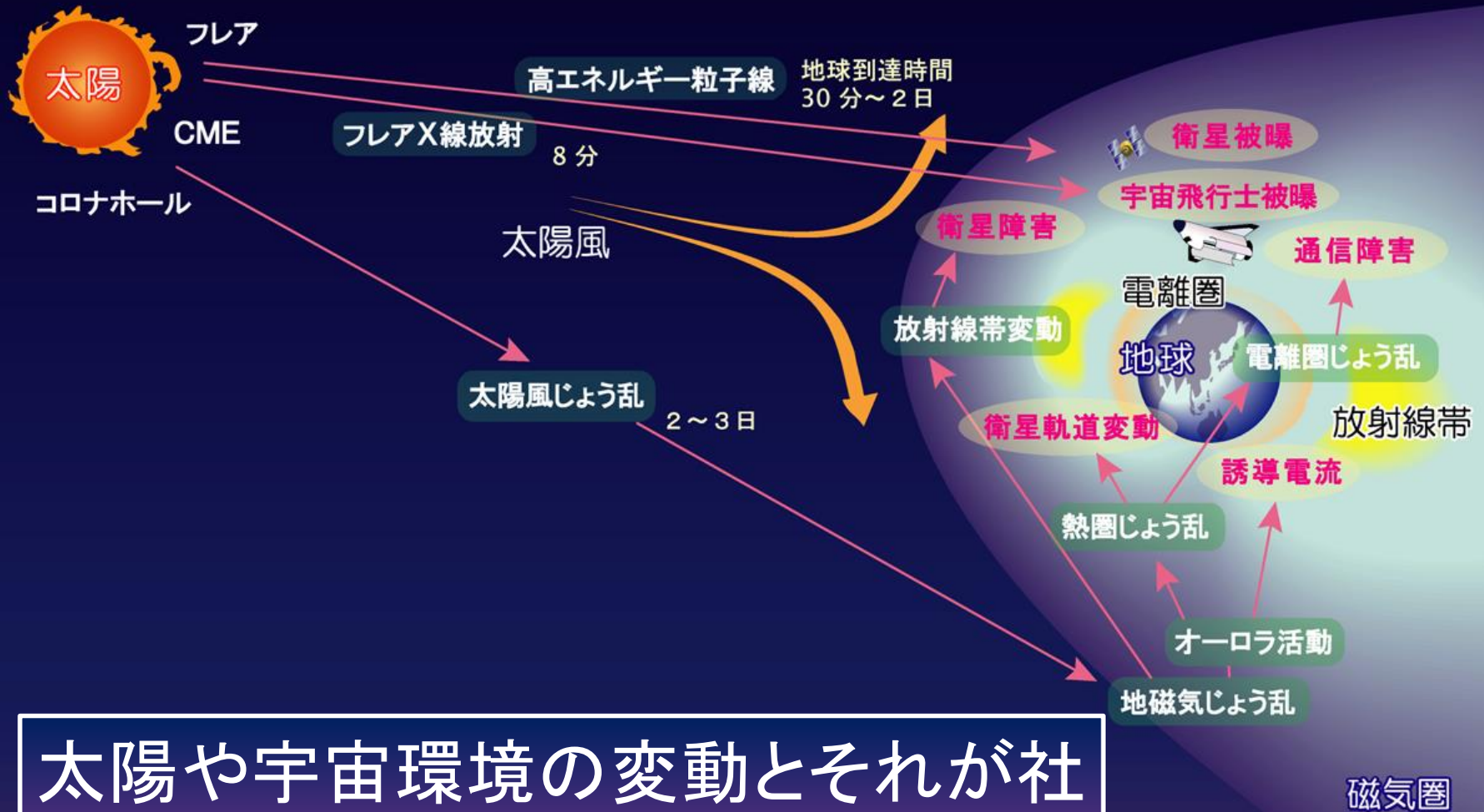
放送セミナー@広島コンベンションセンター(2024年3月7日)

目次

- 宇宙天気予報と太陽活動
- 宇宙天気災害事例
- 宇宙天気予報研究の最近の動向
- NICTの宇宙天気予報業務
- 宇宙天気予報の国際動向

宇宙天気予報と太陽活動

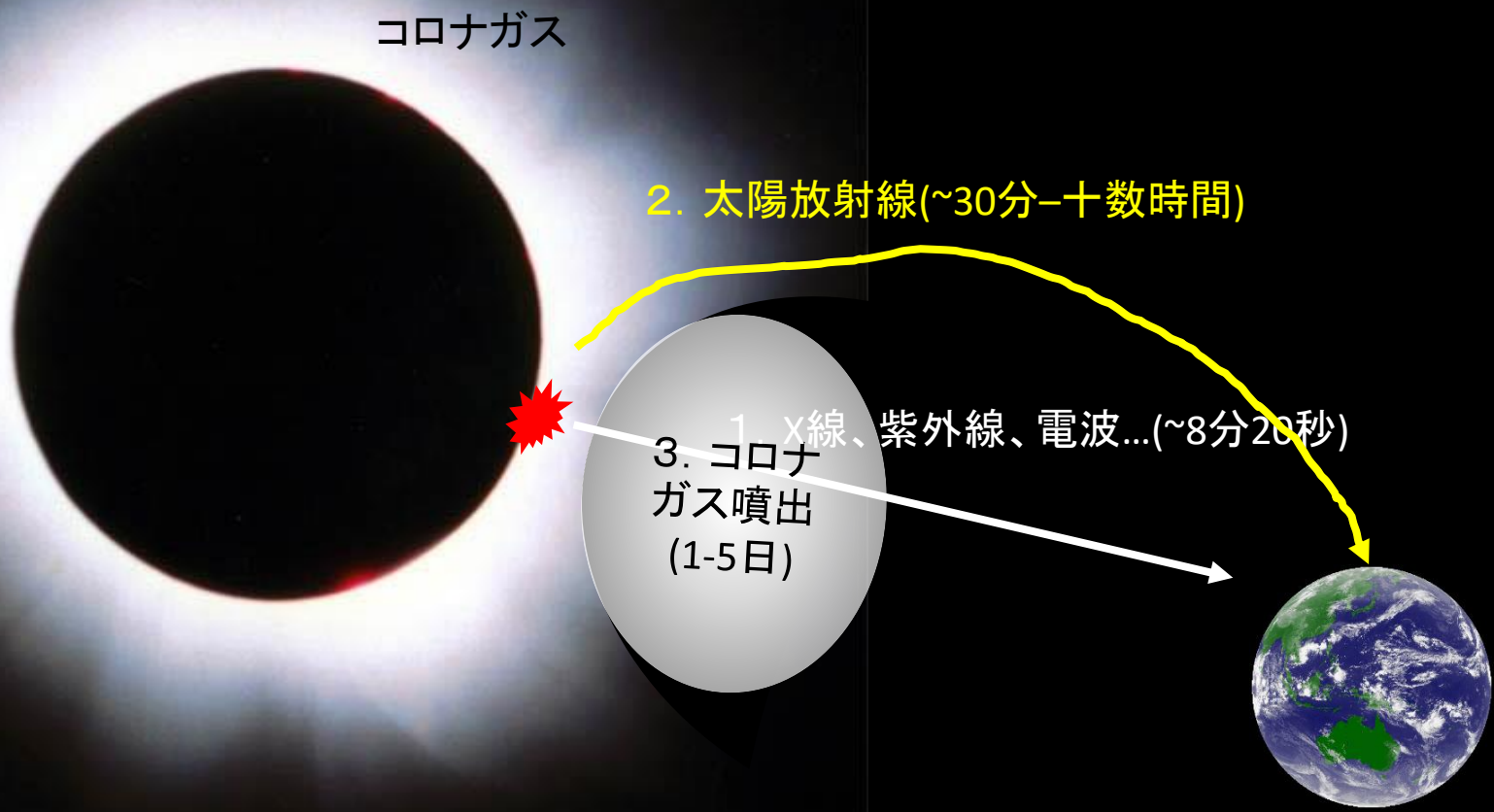
宇宙天気予報



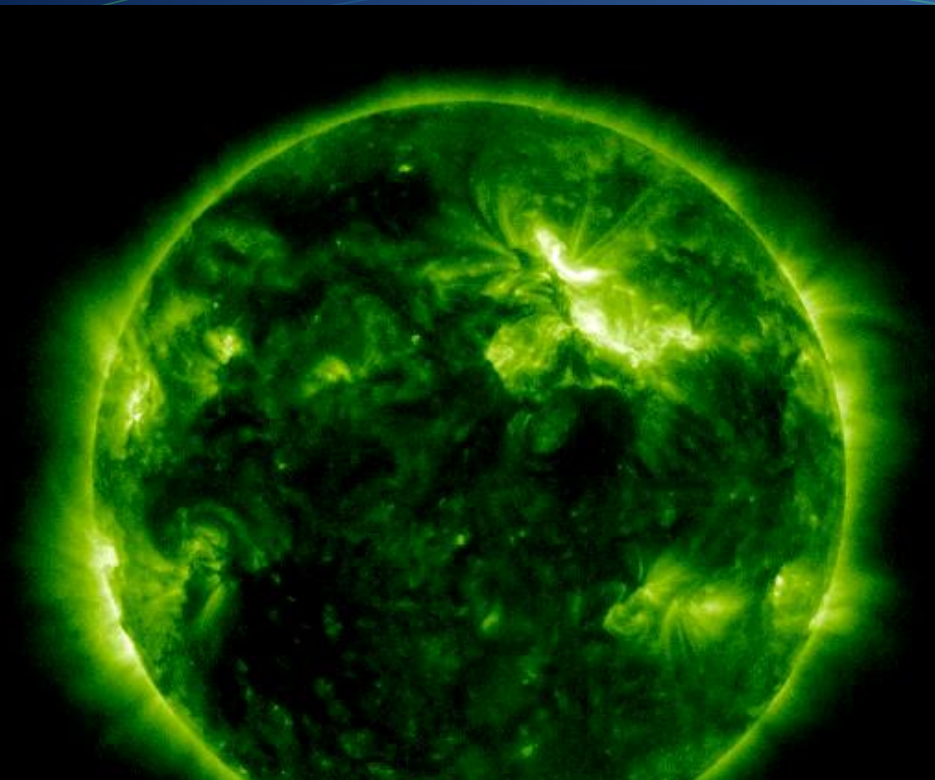
太陽や宇宙環境の変動とそれが社会生活に与える影響を予測する

宇宙環境じょう乱の発生から障害まで

太陽フレアとそれに伴う現象



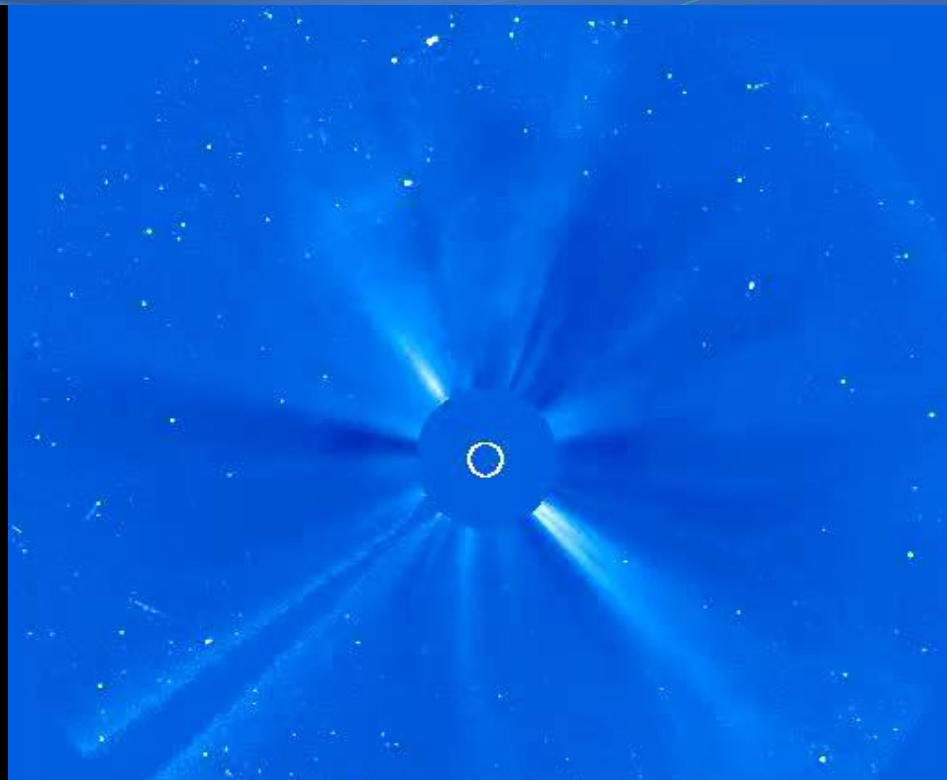
太陽フレア、コロナガス噴出



太陽フレアと呼ばれる太陽表面での爆発現象は、ほとんど黒点の周辺で起こる

SDO/AIA 94 2012-01-22 18:11:15 UT

<http://sdo.gsfc.nasa.gov/>



太陽フレアに伴ってコロナガスが噴出されることがある
2012/01/23 00:06

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

太陽活動と黒点の関係

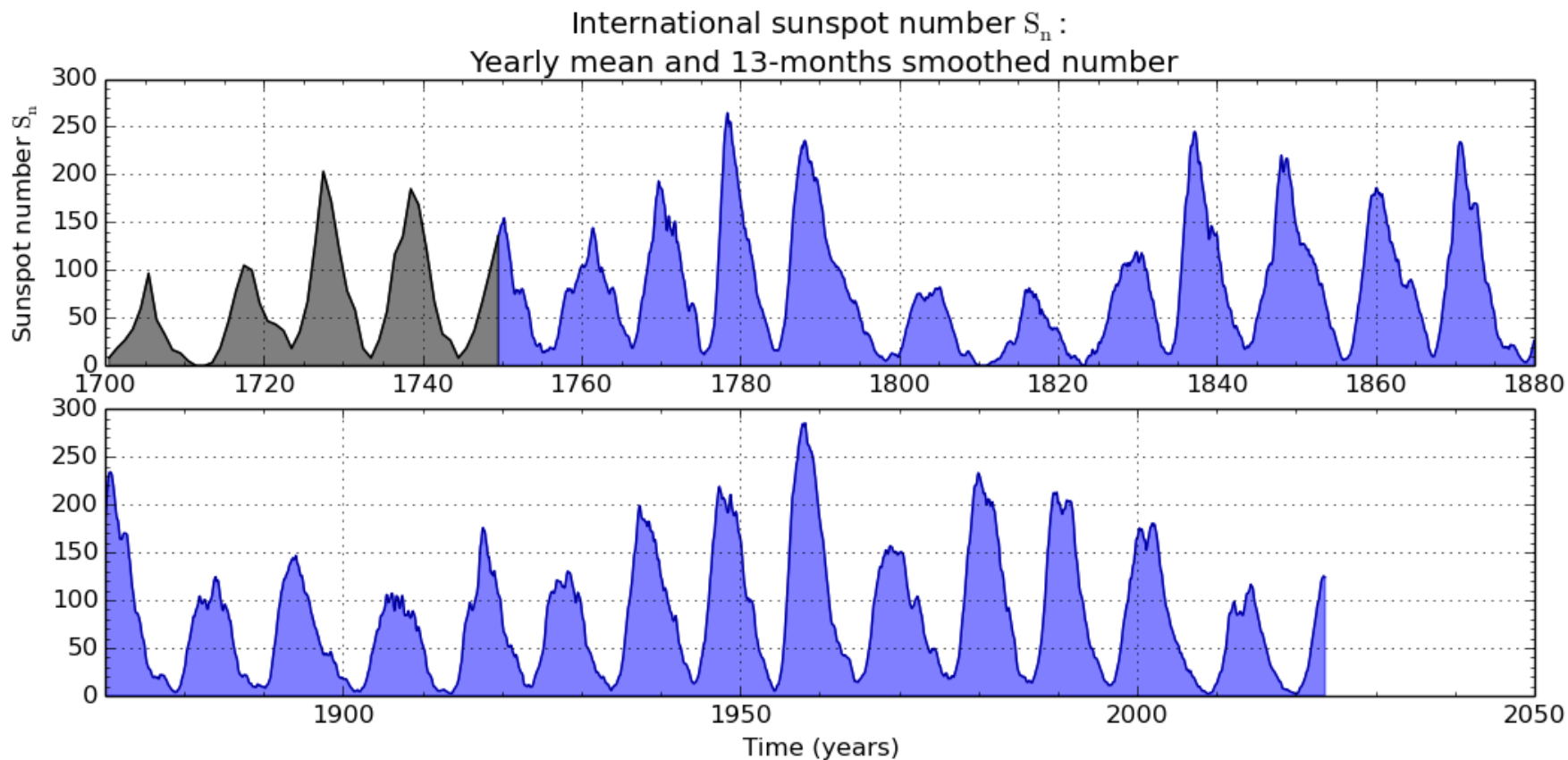
太陽フレアは、ほとんどの場合、黒点の周辺で起こる。



黒点数が多いと、太陽活動が活発。



太陽活動周期

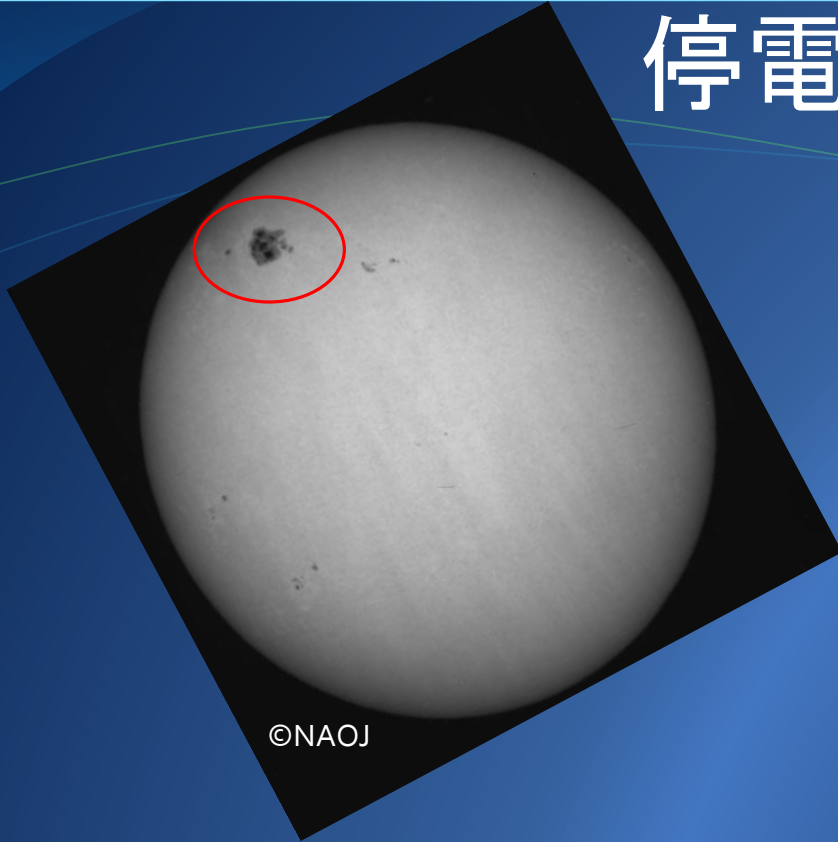


SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2024 March 1

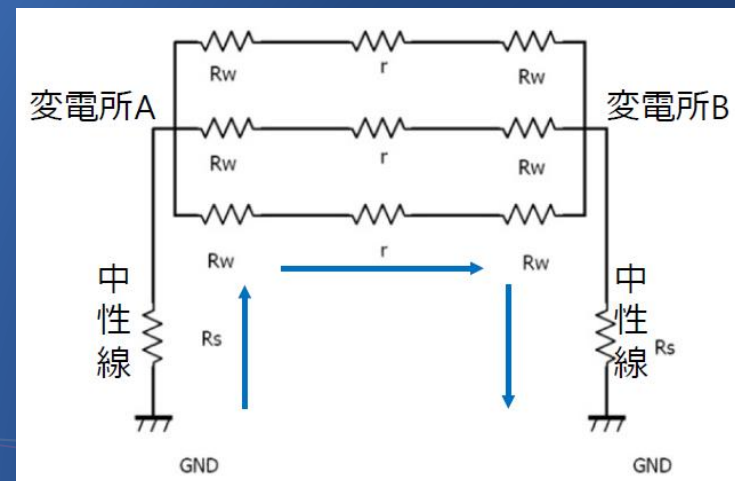
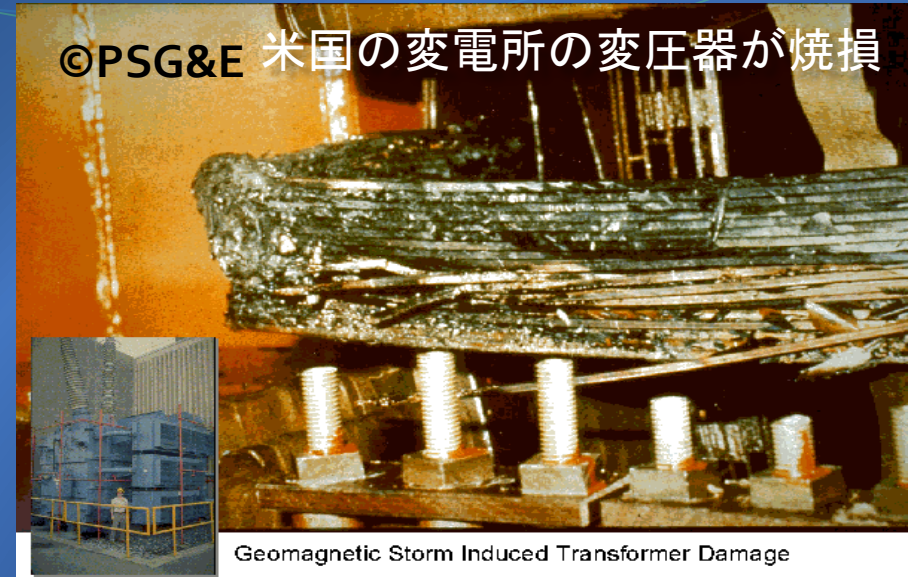
現在、太陽活動極大期間近

宇宙天氣災害事例

1989年3月13日 カナダ／ケベック州 停電が発生



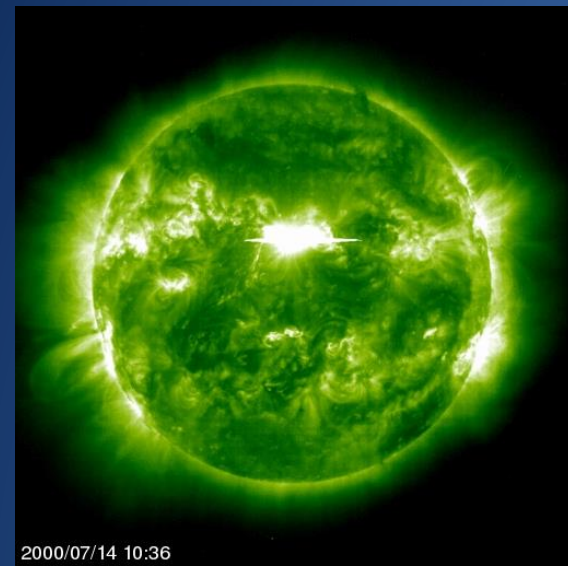
- 大規模太陽フレアが発生
- コロナガスが地球に衝突
- 地磁気嵐が発生
- 送電線に過剰な誘導電流が流れる
- 変電所の変圧器が焼損



2000年7月15日 宇宙空間

日本のX線天文衛星ASCAが制御不能

- 日本のX線天文衛星ASCAが姿勢制御不能となり運用終了
- 原因 太陽からのガスの塊が地球に衝突した



2000/07/14 10:36



2001.1.27 朝日新聞
「あすか」結局落下へ
太陽活動の影響で昨年夏から観測不能になっていた文部科学省宇宙科学研究所(宇宙研)のX線天文衛星「あすか」が回復せず、二月末から三月初めの間に落下することが、二十六日明らかになった。次世代の衛星を積んだM5ロケットの打ち上げも昨年二月に失敗しており、次の打ち上げまで約四年間、日本の「お家芸」であるX線天文学に空白が生じることになる。

2022年2月4日 宇宙空間 スターリンク衛星40機ほど消失

スペースXがスターリンク衛星40機を喪失 地磁気嵐の影響で運用高度へ移動できず大気圏再突入へ

秋山文野 | エキスパート | サイエンスライター/翻訳者 (宇宙開発)
2022/2/9(水) 17:52

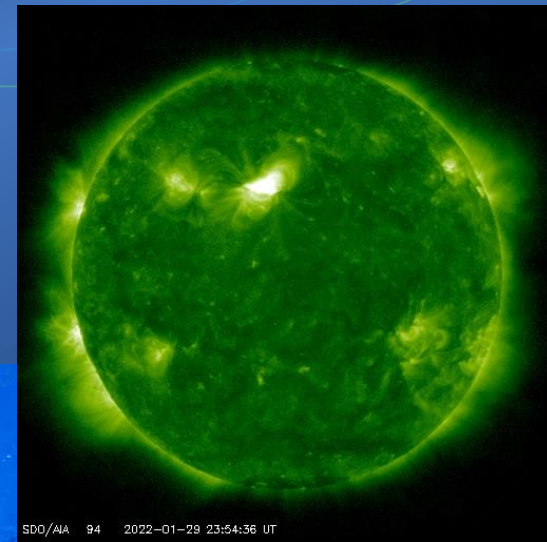


Credit : SpaceX

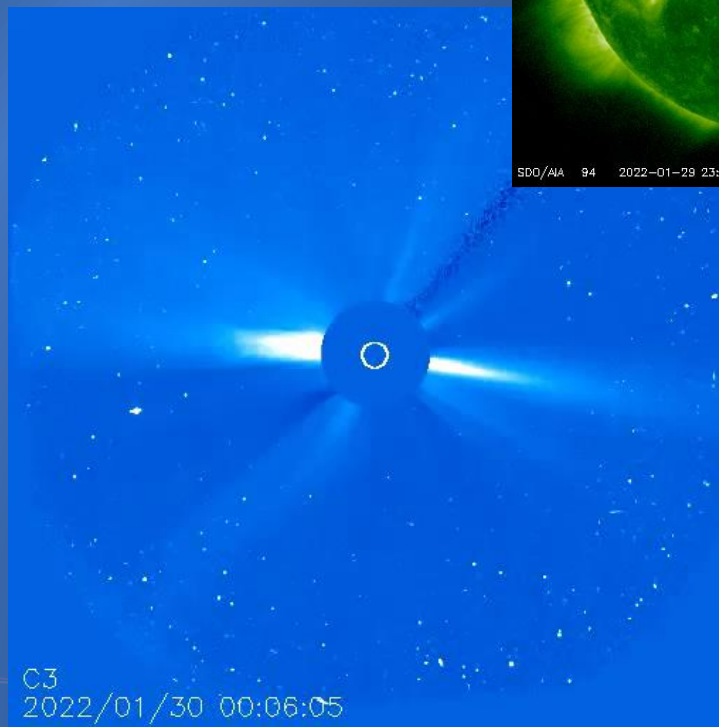
2022年2月8日、米スペースXは2月3日に打ち上げた通信衛星スターリンクの49機中、40機が地磁気嵐の影響で運用高度へ到達できず、大気圏に再突入すると発表した。スペースXは再突入は軌道の安全を守るための措置で、「衛星のスペースデブリ化を防ぐため」としている。

米国東部時間2月3日午後1時13分（日本時間4日午前3時13分）、スペースXはフロリダ州のケネディ宇宙センターから49機のスターリンク衛星を打ち上げた。衛星は近地点が高度210キロメートルの軌道に投入され、高度500キロメートルの運用高度まで移動する予定だった。

スペースXの発表では、米国時間で2月4日ごろに発生した地磁気嵐（強い磁気を帯びた太陽風と地球の磁場の相互作用で磁気圏の状態が乱される現象）のため、大気が加熱され密度が高まって衛星が受ける大気の抵抗が増加し、スピードが低下した。大気抵抗は、打ち上げ前より50パーセント増したという。日本の情報通信研究機構（NICT）は、2月4日に地磁気嵐発生時の臨時情報を発出している。

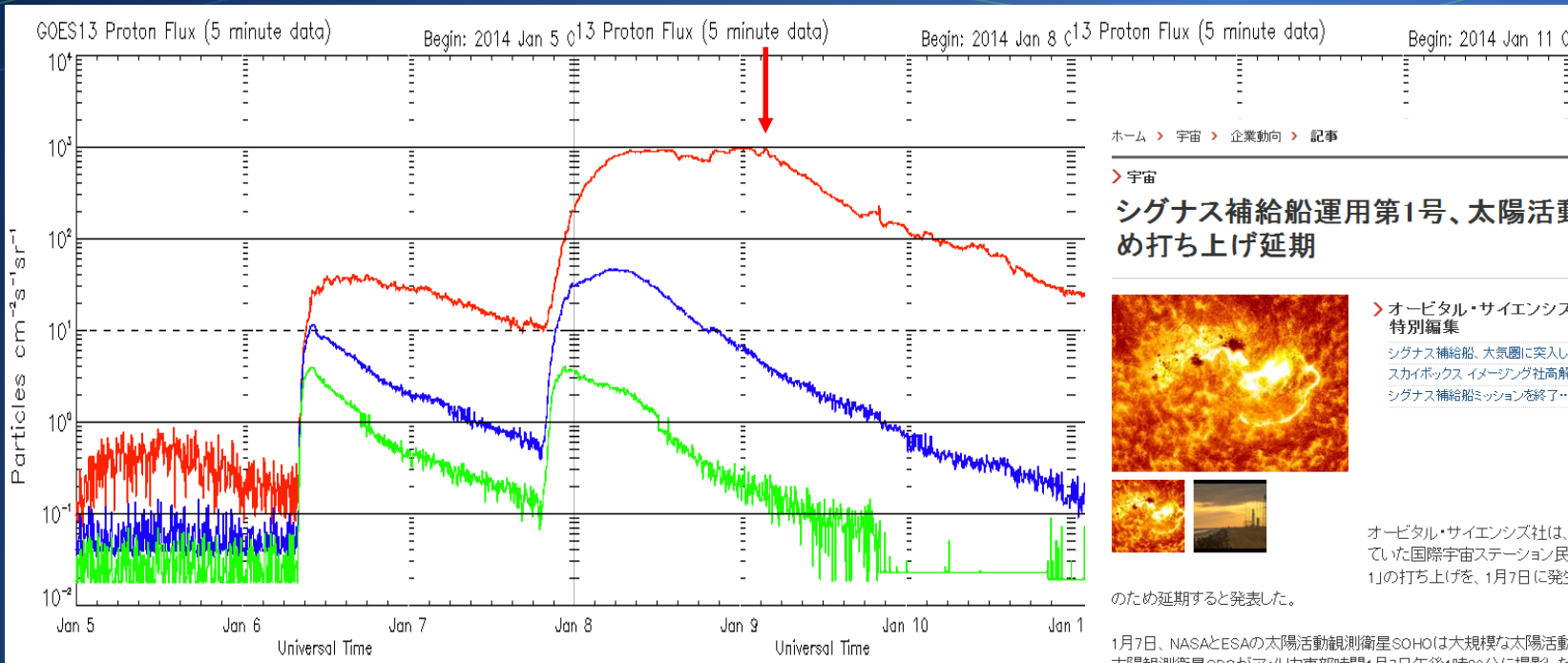


SDO/AIA 94 2022-01-29 23:54:36 UT



C3
2022/01/30 00:06:05

2014年1月8日 アメリカ ロケット打ち上げ延期



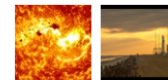
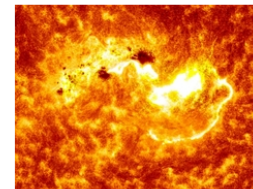
高エネルギー粒子の増加のため、電子機器の誤動作を懸念して打ち上げが延期された。

ホーム > 宇宙 > 企業動向 > 記事

> 宇宙

2014年01月08日(木) 07時45分

シグナス補給船運用第1号、太陽活動活発化のため打ち上げ延期



> オービタル・サイエンス (Orbital Sciences) 特別編集

シグナス補給船、大気圏に突入して燃料廃棄してミッション終了… スカイボックス イメージング社高解像度地球観測衛星を2015年… シグナス補給船ミッションを終了…国際宇宙ステーションから離脱

オービタル・サイエンス社は、2014年1月8日に予定されていた国際宇宙ステーション民間補給機「シグナス Orb-1」の打ち上げを、1月7日に発生した太陽活動の活発化

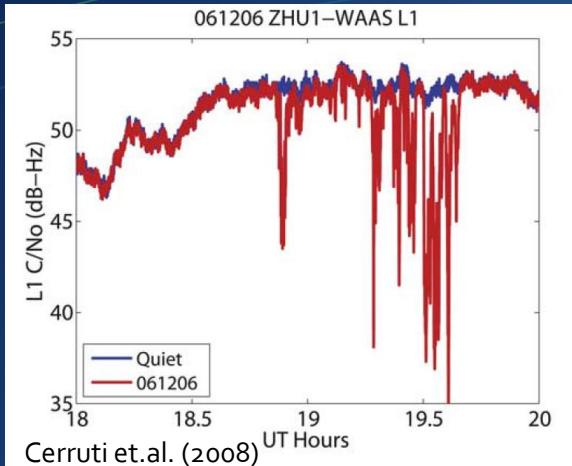
のため延期すると発表した。

1月7日、NASAとESAの太陽活動観測衛星SOHOは大規模な太陽活動を捉えた。また、NASAの太陽観測衛星SDOがアメリカ東部時間1月7日午後1時32分に撮影した映像には大規模な黒点が見られ、Xクラスの太陽フレアが発生したことが判明した。

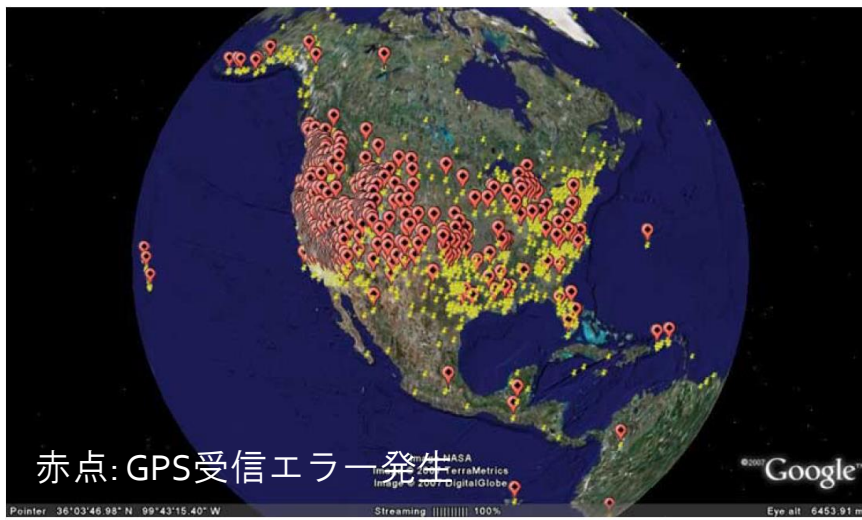
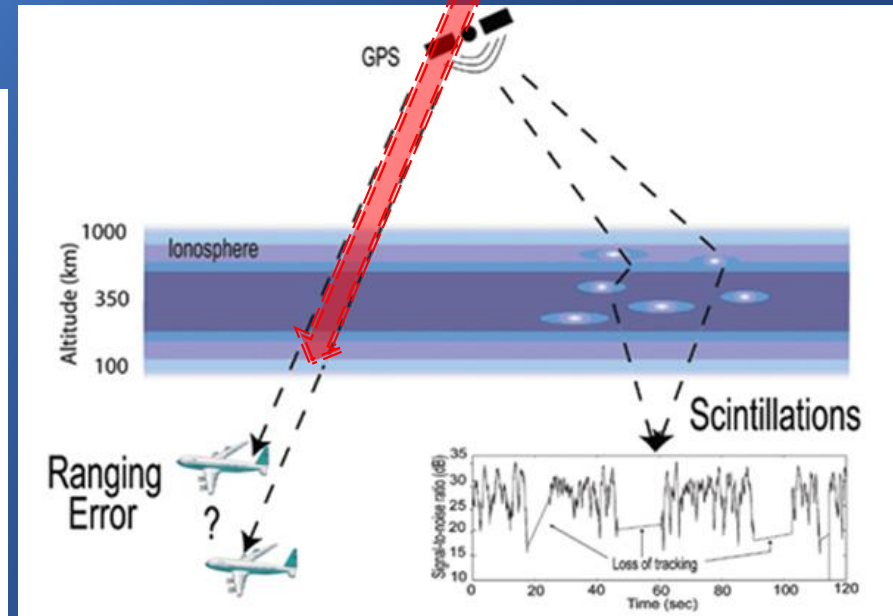
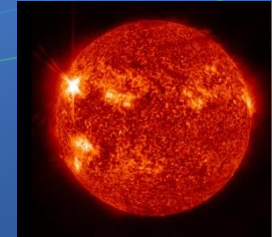
大規模な太陽フレアが発生すると、国際宇宙ステーションに到達する宇宙放射線の量も増大し、滞在中の宇宙飛行士は船内の壁の厚い場所へ退避するといった対応を迫られることがある。オービタル・サイエンス社は、アメリカ東部時間1月8日午後1時32分(日本時間1月9日午前3時32分)に予定していたシグナス補給船の打ち上げを延期した。

新しい打ち上げ日時は1月8日の時点では未定だが、翌9日(木曜日)中に打ち上げが可能な場合は午後1時7分(日本時間1月10日午前3時7分)となる。ISSへの到着は1月12日の午前となる予定だ。

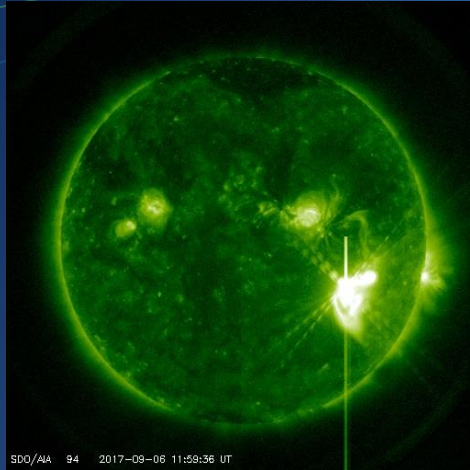
2006年12月6日 アメリカ他 GPS信号に太陽電波が混信



大規模な太陽電波バーストが起こると、GPSなどの電波と混信を起こすことがある。



2017年9月8日 日本 GPS測位誤差の増大



SDO/AIA 94 2017-09-06 11:59:36 UT

国土交通省
国土地理院
Geospatial Information Authority of Japan

9月6日に発生した太陽フレアのGPS測位への影響(速報)

お知らせ

平成29年9月6日に発生した大型太陽フレアに伴う、地球の電離層の乱れにより、GPSを用いた測位への影響が心配されています。ここでは、国土地理院が電子基準点で9月10日までに取得したGPS観測データ等に基づき、測位への影響について報告します。

まとめ

- カーナビやスマホなど一般の皆様が利用する測位方式では、9月8日の日中に、測位精度がかなり悪くなる時間帯がありました。
- 測量、地殻変動、ICT施工 (i-Construction) など専門家を利用する測位方式では、電離層の乱れの影響を受けにくい手法を使用しており、今のところ、大きな影響は確認されていません。

1. 電離層の乱れの影響を受けやすい、カーナビやスマホなど一般のGPS測位方式

これらについては既に報道されているところですが、つくば市にある電子基準点のデータを一般のGPS測位方式で解析して確認したところ、今回の太陽フレアによる電離層の乱れが起きる前の9月6、7日は、GPS測位の誤差は $\pm 2\text{m}$ (南北、東西)、 $\pm 5\text{m}$ (上下)程度でしたが、9月8日の日中(日本時間で10~15時頃)には、誤差が最大で7m(南北)、3m(東西)、15m(上下)程度に増えました。なお、現在は元の程度の誤差に戻っています(図1)。誤差の大きさや時間帯は地域によって変わりますので、上記の数値はあくまで一例ですが、当該時間帯においてカーナビやスマホなどを用いてGPS測位を行った場合には、大きな誤差を生じた可能性があります。

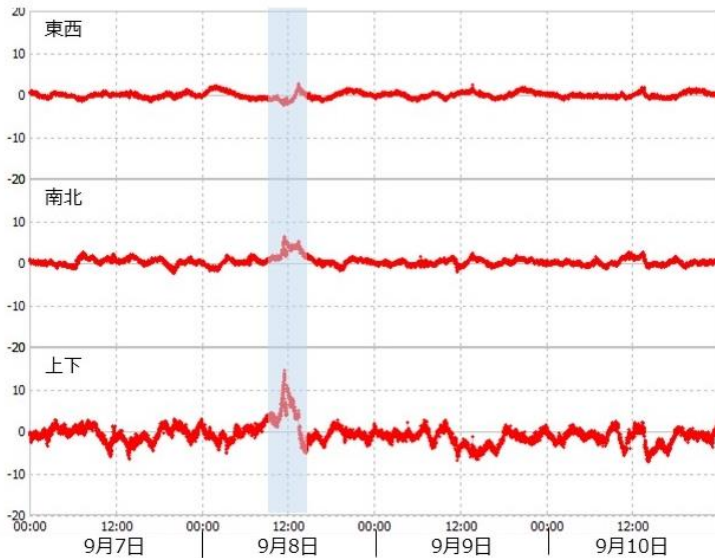


図1. 一般のGPS測位方式による位置の変化。電子基準点「つくば3」の30秒毎の測位結果の誤差(正しい値からのずれ)を示す。単位はm。つくばでは、9月8日の10~15時頃(日本時間)に大きな測位誤差が見られた。

誤差が最大で7m(南北)、3m(東西)、15m(上下)程度に増大→通常時の約3倍の誤差。

1994年2月22日 日本

NHK BS放送が中断

- NHK衛星放送が突然中断
- リレハンメルオリンピックスキージャンプ中継が中断
- 2時間あまりの間に300件を超える問い合わせや抗議の電話
- 原因 宇宙環境変動による放射線増加が原因で障害が発生

五輪中継BSが中断
20分後に復旧

二十二日午後九時十五分ごろ、リレハンメル冬季五輪競技を中継中のNHK衛星第一と、同第二のテレビ映像が突然映らなくなった。

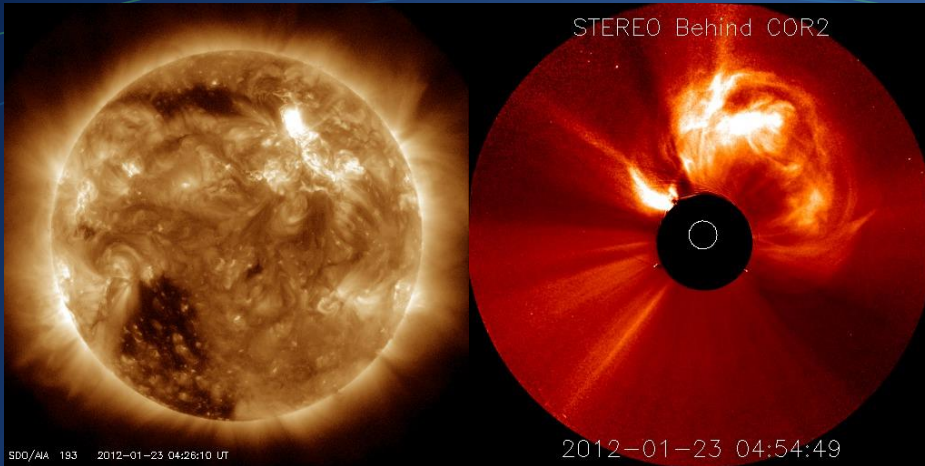
第二のチャンネルをそれぞれ、補完衛星BS-3bのハイビジョン用と空きチャンネルに切り替える措置を取り、約二十分後から相次いで復旧、同十時半までに完全に回復した。

中断当時、衛星第一では日本選手のメダルが期待されるリレハンメル冬季五輪のスキージャンプ団体競技が放映されている最中。中断を挟んで日本勢は銀メダルを勝ち取る活躍ぶりだったが、完全に中継を見られなかった視聴者からNHKに「どうなっているのか」などと問い合わせや抗議が殺到、問い合わせ件数は同十一時現在で三百件以上だった。

BS-3aは平成三年三月にも約一時間停波したことがあり、この時は太陽の黒点の異常が原因だった。

平成6年2月23日 北海道新聞

2012年1月23日 アメリカ他 民間航空機の飛行ルート変更



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

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

REUTERS EDITION: U.S.

Business Markets World Politics Tech Op

WestlawNext Hear what Ed and others are saying

"IT MEANS V PRODUCT A EDWARD DEUTSCH MCELROY, DEUTSCH

UNITED POLAR ROUTES

WASHINGTON CHICAGO BEIJING SHANGHAI OSAKA TOKYO

Delta diverts polar flights due to solar storm

おすすめ 21人がすすめています。Facebookにアカウント登録して、友達のおすすめてを見てみましょう。

Delta Air Lines

A Delta Air Lines jet takes off past a Northwest Airline jets parked at gates at the Minneapolis St. Paul International Airport in Minneapolis, Minnesota October 30, 2008. Credit: Reuters/Eric Miller

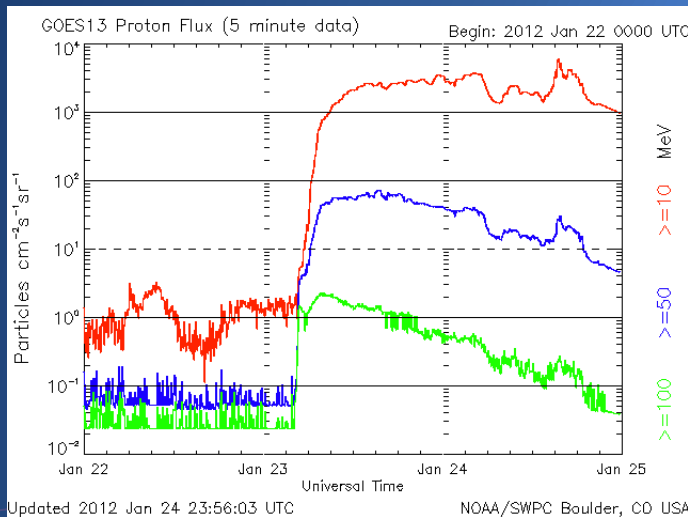
Tue Jan 24, 2012 3:56pm EST

(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"

Twitter RSS YouTube

Login or register Latest from My Wire



観測史上最大級の現象が起こったら？

経済損失の計算

Regions	Best	Worst
米国、カナダ	128,808	163,866
スカンジナビア、英国	28,903	37,210
独・仏・伊・瑞・澳	73,934	95,185
欧州全体	102,837	132,395
日本	41,746	53,745
豪州	7,617	9,806

Unit; 百万ドル

- 潜在的・地球レベルの影響は本計算に含んでいない
- 東日本大震災の経済損失: 100,000-250,000 (百万ドル)

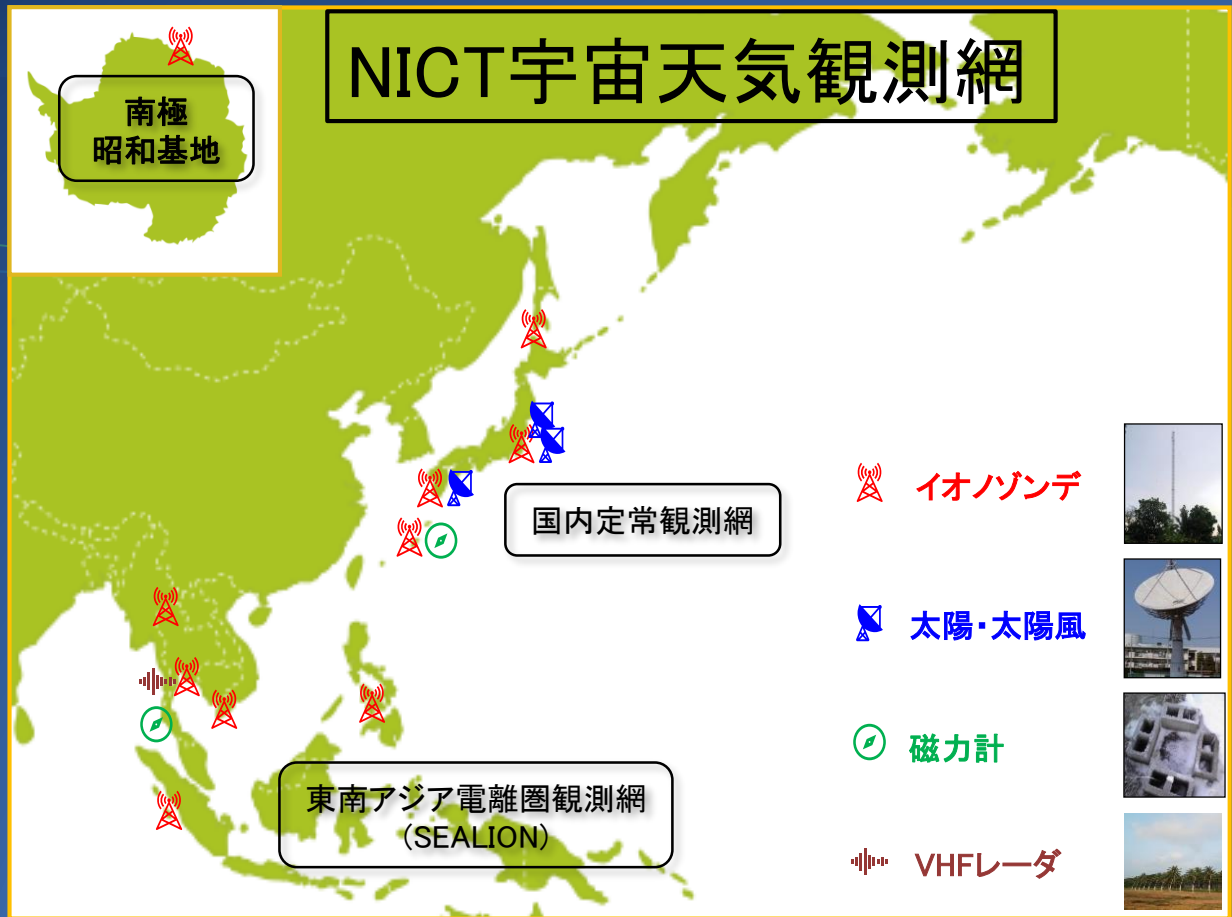
Reference: SWISS Re, Space Weather Workshop 2014, April 8-11, 2014, Boulder US.

宇宙天気予報研究の最近の動向

宇宙天気予報研究

- 現在を見る
 - 観測
- 未来を予測する
 - 数値シミュレーション
- 過去を振り返る
 - データ解析
- 社会に還元する
 - 情報発信

NICT宇宙天気観測網



現在を見る：観測

国内電離圏観測

電離圏の3次元変動を監視

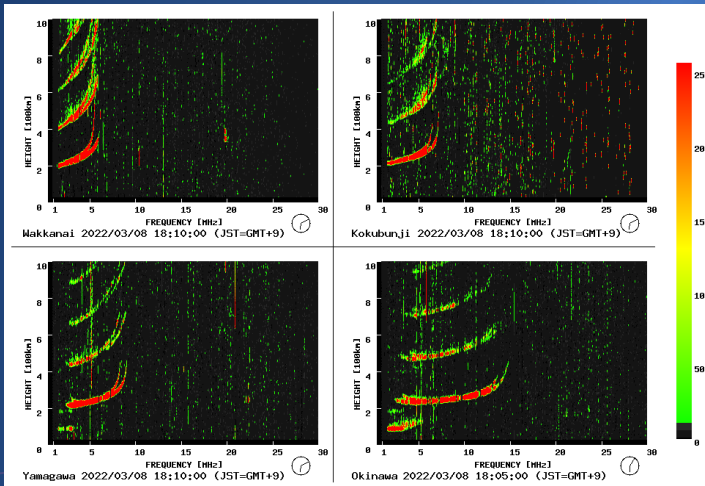
イオノゾンデ（稚内、国分寺、山川、沖縄）で電離圏を監視



イオノゾンデで高度方向、
GEONETで水平方向の電離圏
変動を知る。

GEONETデータで電離圏を監視

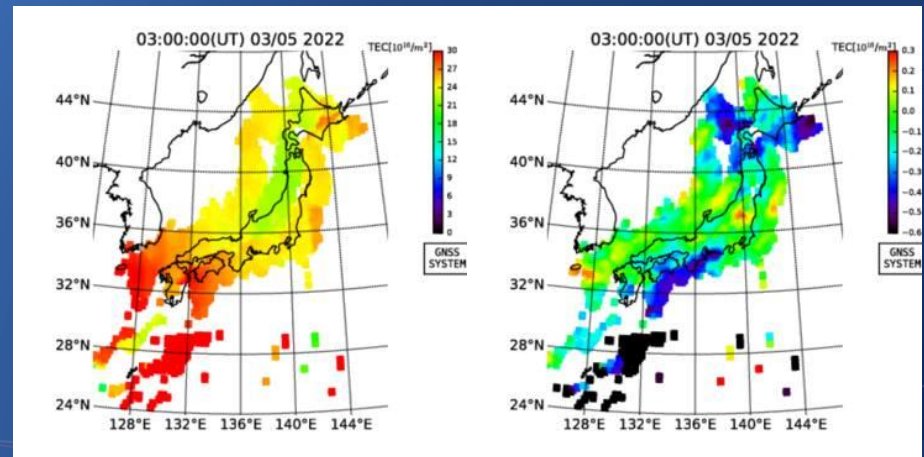
高度(100km)



周波数(MHz)

全電子数

全電子数変動成分



東南アジア電離圏観測

プラズマバブルの発生・伝搬を監視

東南アジア各国と協力しイオノゾンデを以下の場所に設置

- チュンポン (タイ)
- チェンマイ (タイ)
- バクリウ (ベトナム)
- コトタバン (インドネシア)
- セブ (フィリピン)



イオノゾンデアンテナ

タイと協力しVHFレーダーをチュンポンに設置

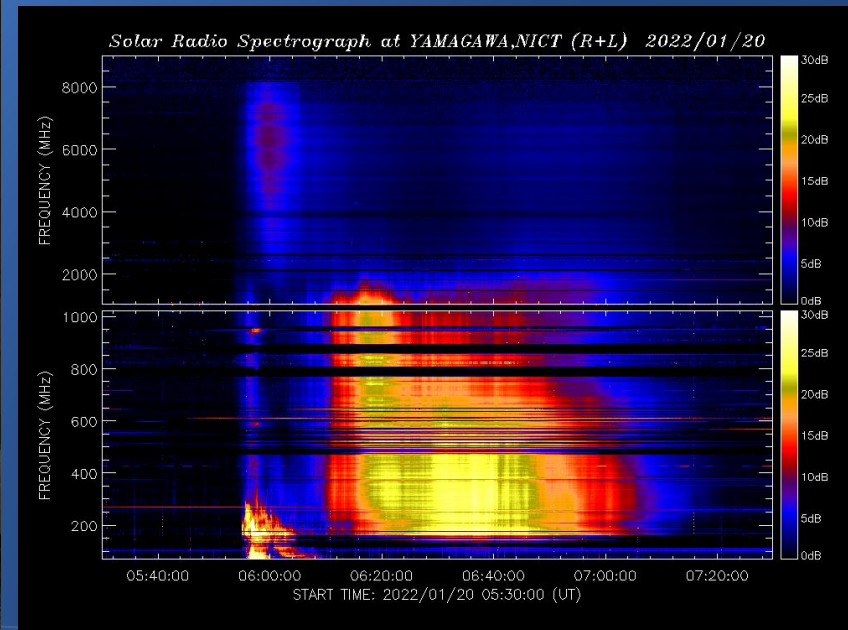
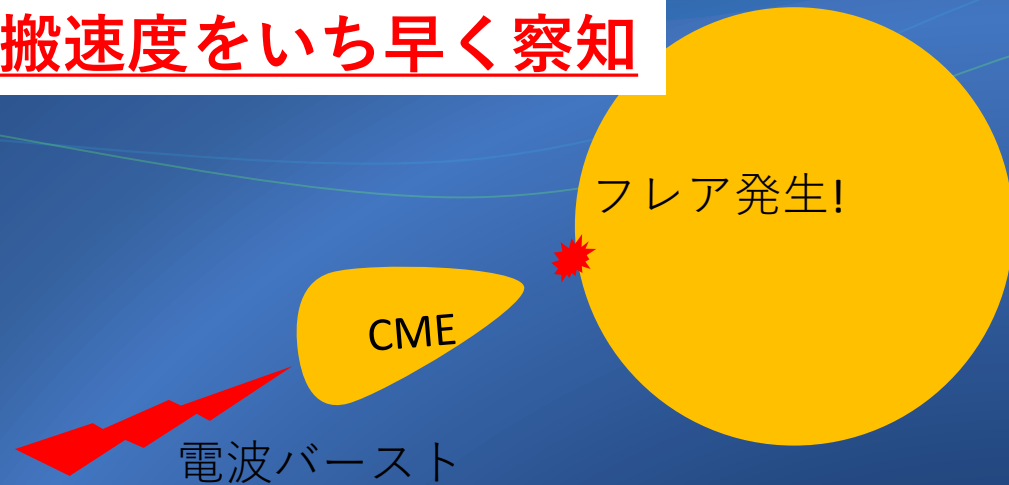


VHFレーダー@チュンポン (タイ)

太陽電波望遠鏡

太陽フレアやCMEの発生、伝搬速度をいち早く察知

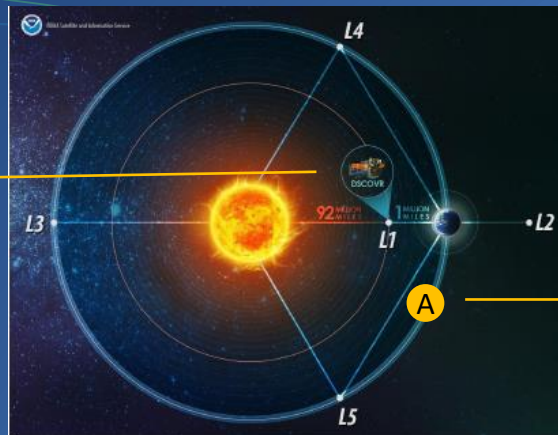
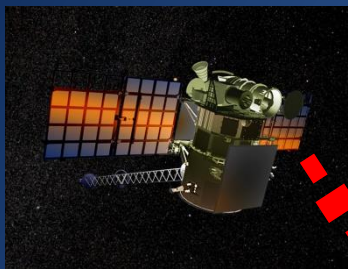
	山川太陽電波望遠鏡
周波数帯域	70 MHz～9.0 GHz
周波数分解能	31.25 kHz (70 MHz～1.0 GHz) 1.0 MHz (1.0 GHz～9.0 GHz)
時間分解能	8ミリ秒
偏波	右左偏波



太陽・太陽風観測衛星データ受信

24時間365日太陽風を監視

太陽風(嵐)を常時監視する
探査機DSCOVR (NOAA)



太陽-地球系を横から監視する
探査機STEREO (NASA)



DSCOVR地上局
(RTSW Net : 米、独、日、韓)

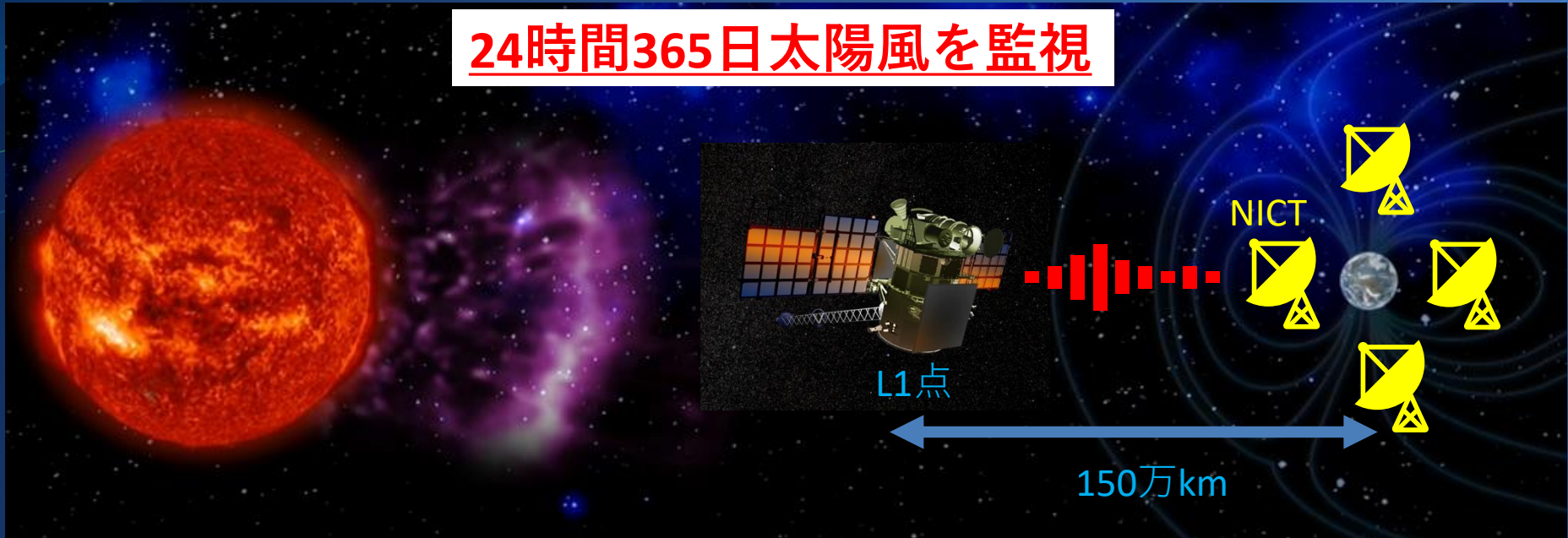


STEREO地上局 (米、独、日)



次期太陽風監視衛星データ受信

24時間365日太陽風を監視



- 2025年2月打ち上げ予定。
- 米国NESDIS/NOAAが運用。
- 国際協力の下に24時間365日、探査機からリアルタイムデータを取得。
- NICTは国際協力（SWFO Antenna Network）へ参加。
- アンテナネットワーク地上局を鹿島宇宙技術センターに設置。



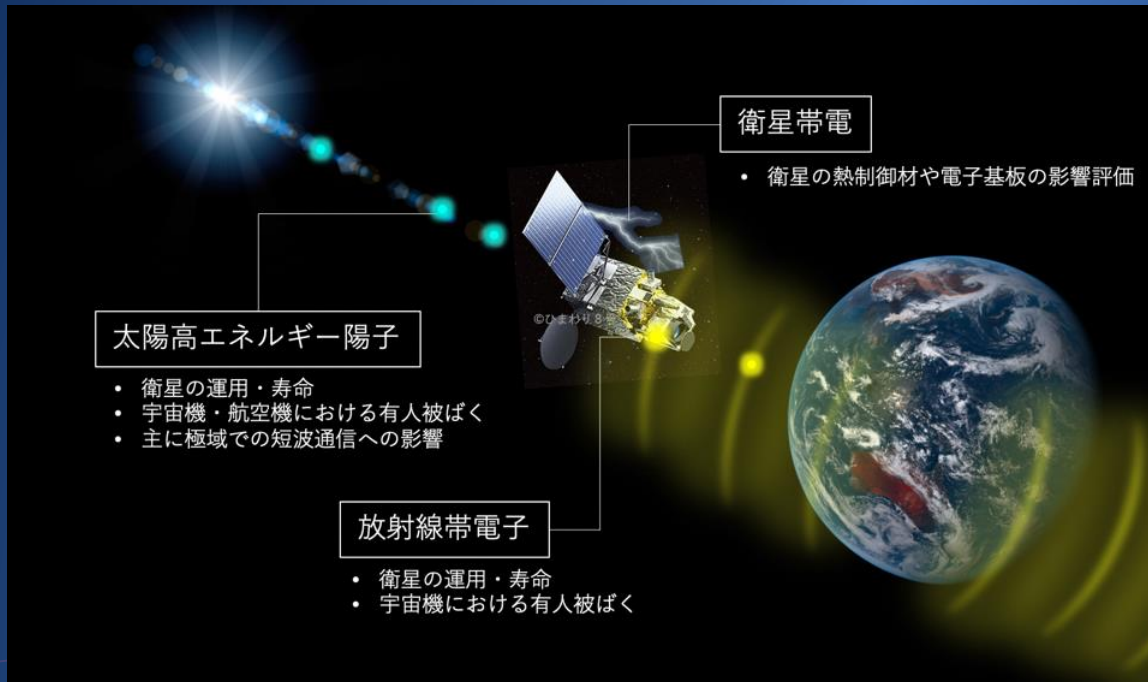
衛星搭載センサー(次期ひまわり)

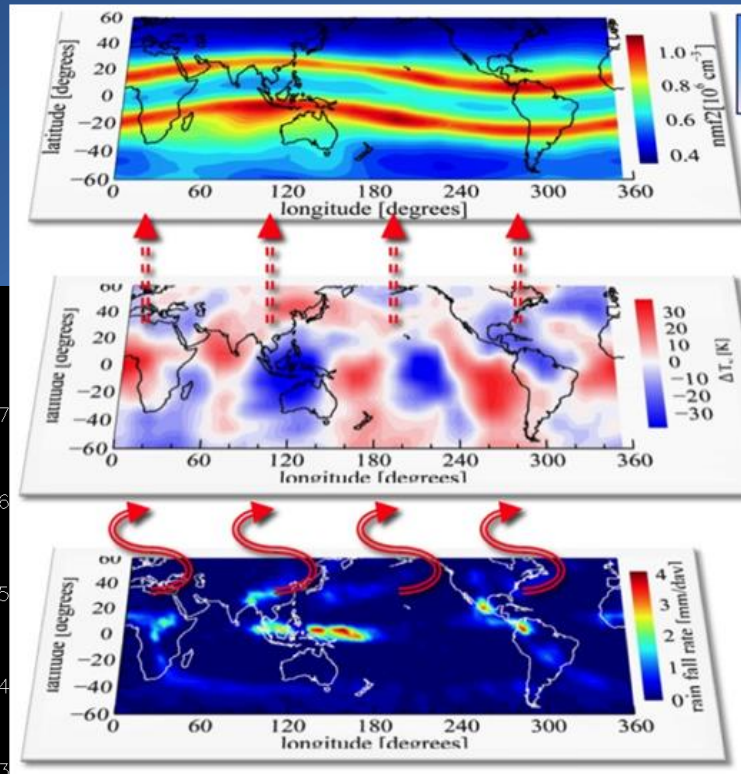
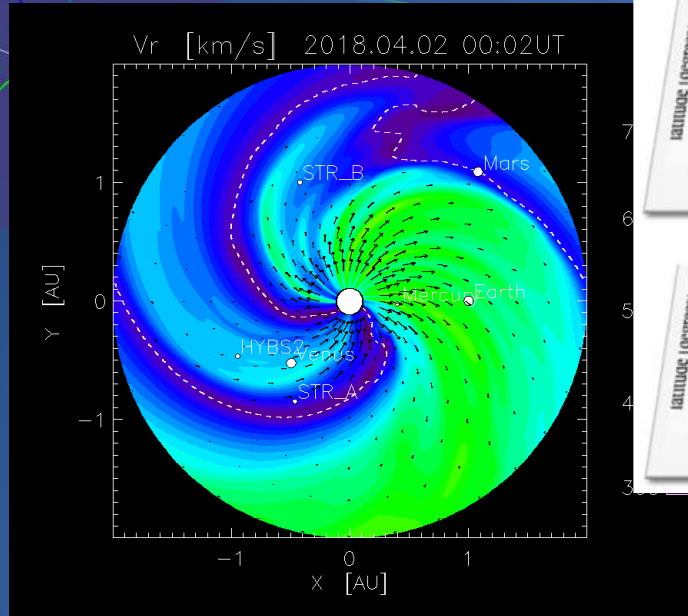
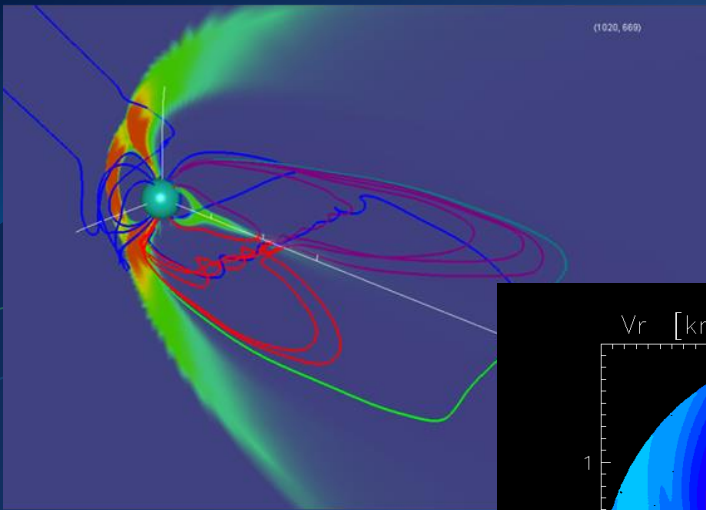
宇宙放射線状況を監視

2029年運用開始予定の気象衛星ひまわり10号、およびその後の11号(+...)への搭載を目指し、宇宙環境センサーを開発中。

2023年度までにエンジニアリングモデル製造、その後フライトモデル設計・製造へ

- **高エネルギー陽子**：衛星誤動作等の原因、航空機等被ばくの原因
- **放射線帯電子**：衛星帯電等の原因
- **衛星帯電**：実際の帯電量の評価

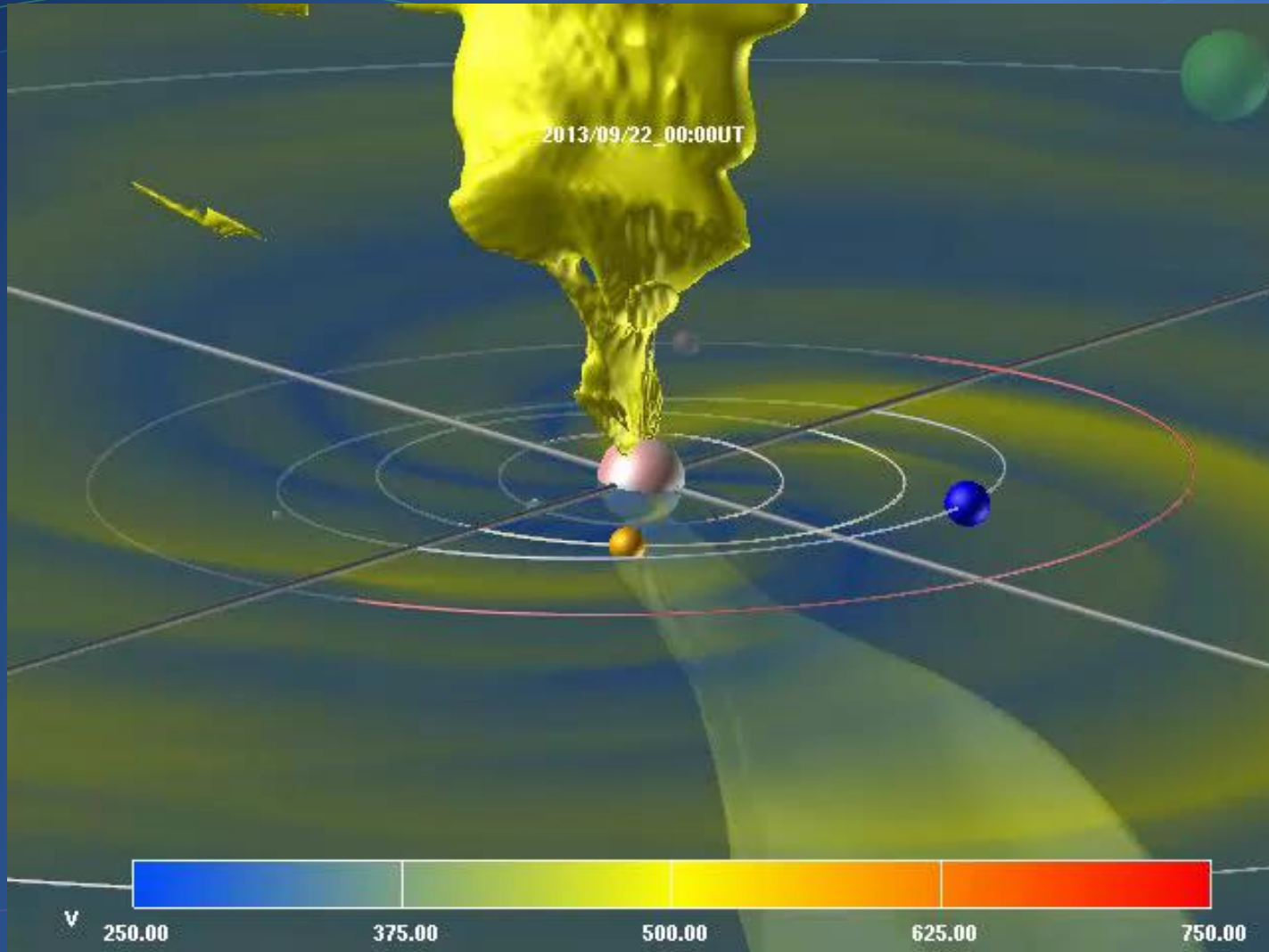




未来を予測する：数値シミュレーション

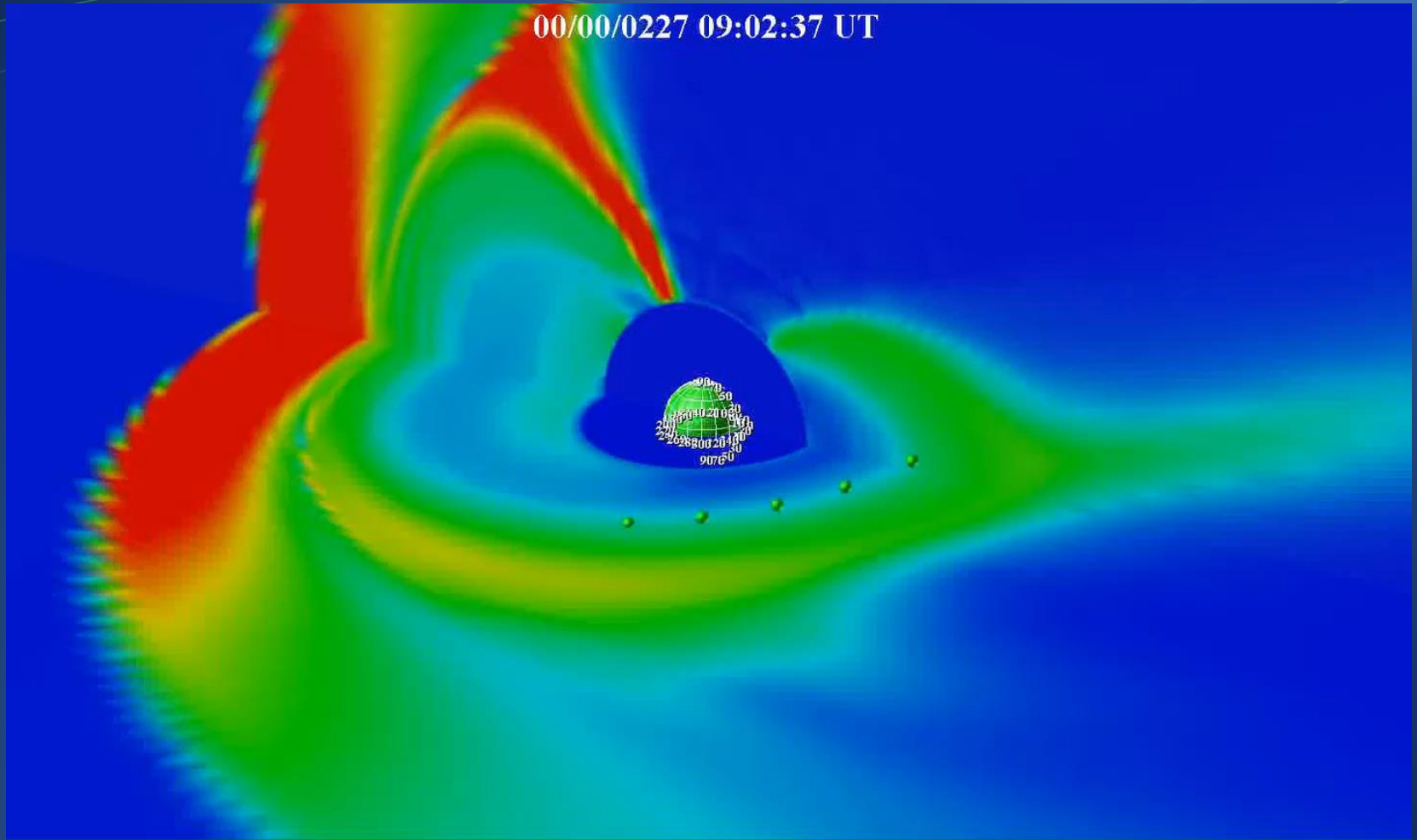
太陽嵐到来予測

©塩田大幸(NICT)



磁気嵐予測

©久保田康文(NICT)

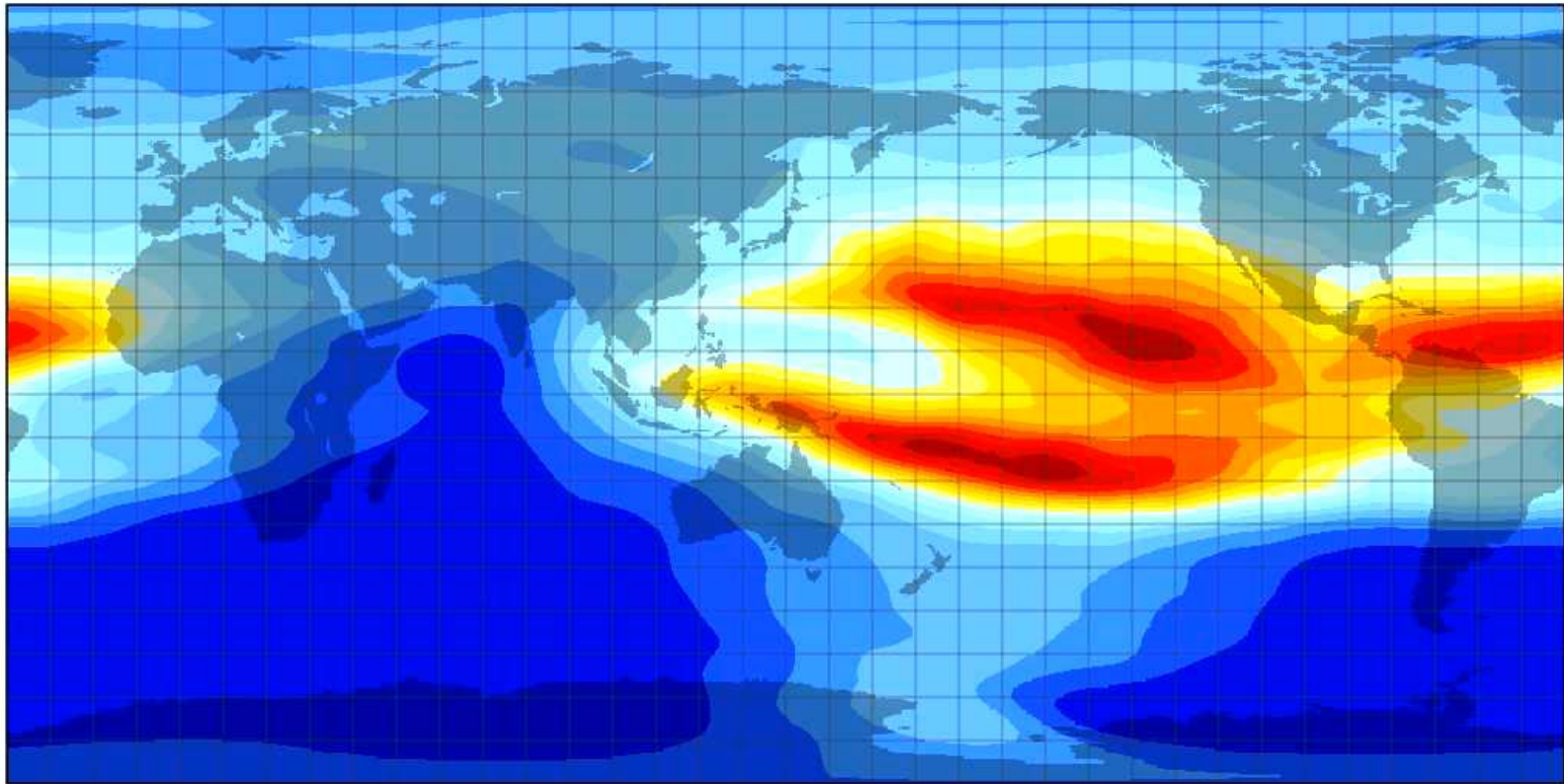


電離圈擾乱予測

©陣英克(NICT)

O+ particle density

Time: 2015-05-31 02:15:00 +0200



O+ particle density (m-3)

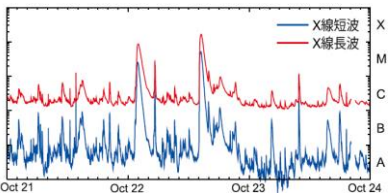


Data Min = 6.7E+09, Max = 1.3E+12

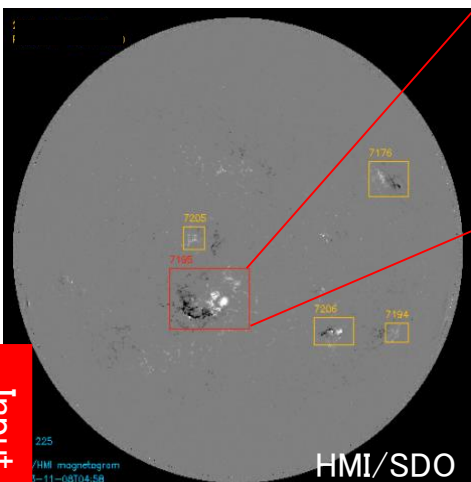
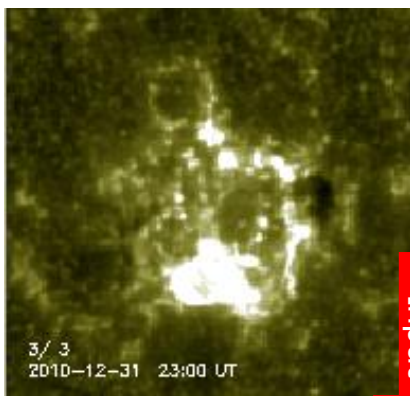
過去を振り返る：データ解析

AIフレア発生予測

Used data



30万枚以上の太陽画像から60種以上の特徴量を抽出



Input



Output

DeepFlareNet

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

フレア発生確率 Mクラス 1% QUIET

IV X	no sunspot	—%
IV M		1%
IV C		1%

2019-05-09T08:58 SDO/AIA 193A corona SDO e NASA

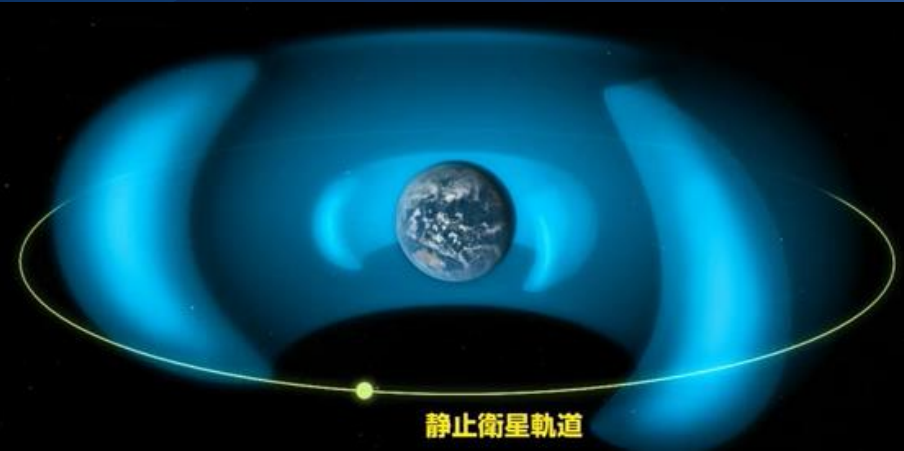
No.	X	M	C	予測・コメント等
				現在太陽面上に活発な黒点はありません。太陽活動は穏やかです。

※現在「Xクラス」フレアの予測は実施しておりません。

Deep learning techniques

AI放射線帯電子予測

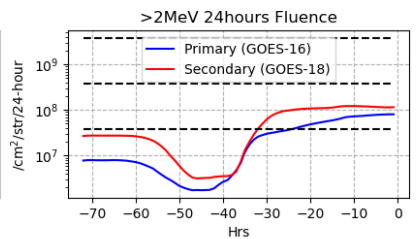
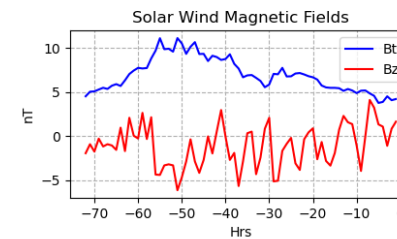
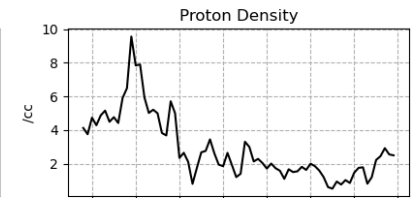
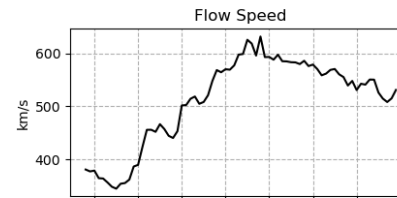
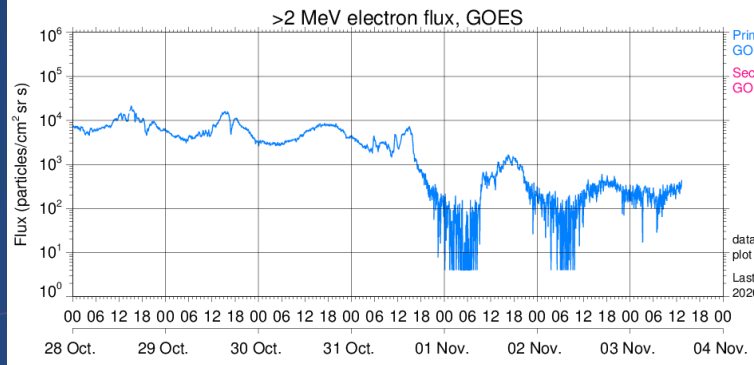
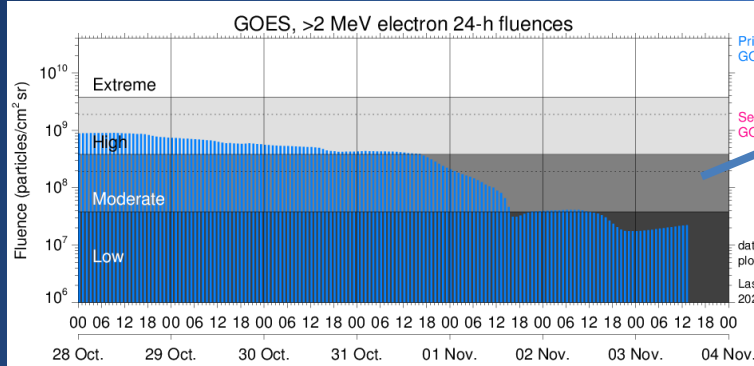
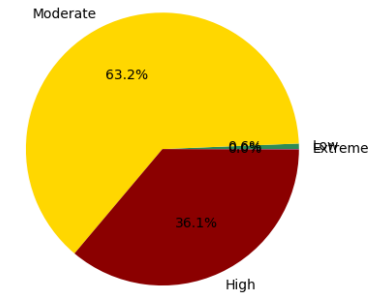
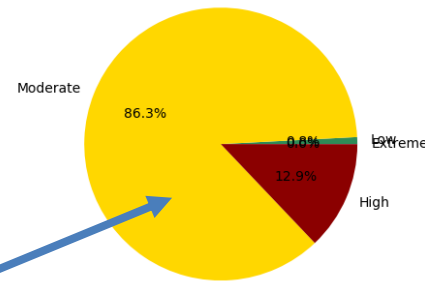
24時間後の4レベルの発生確率



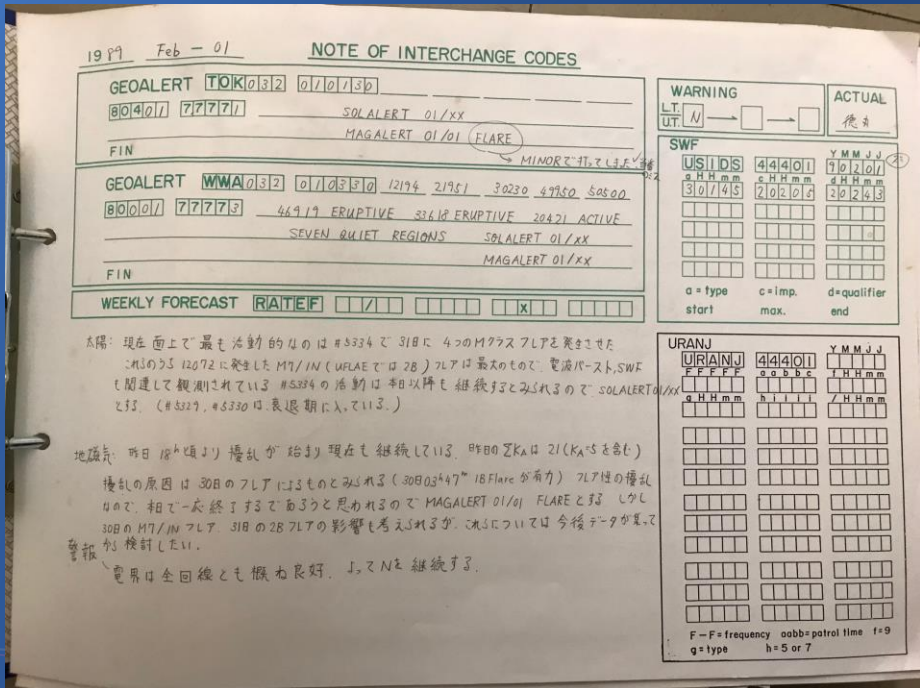
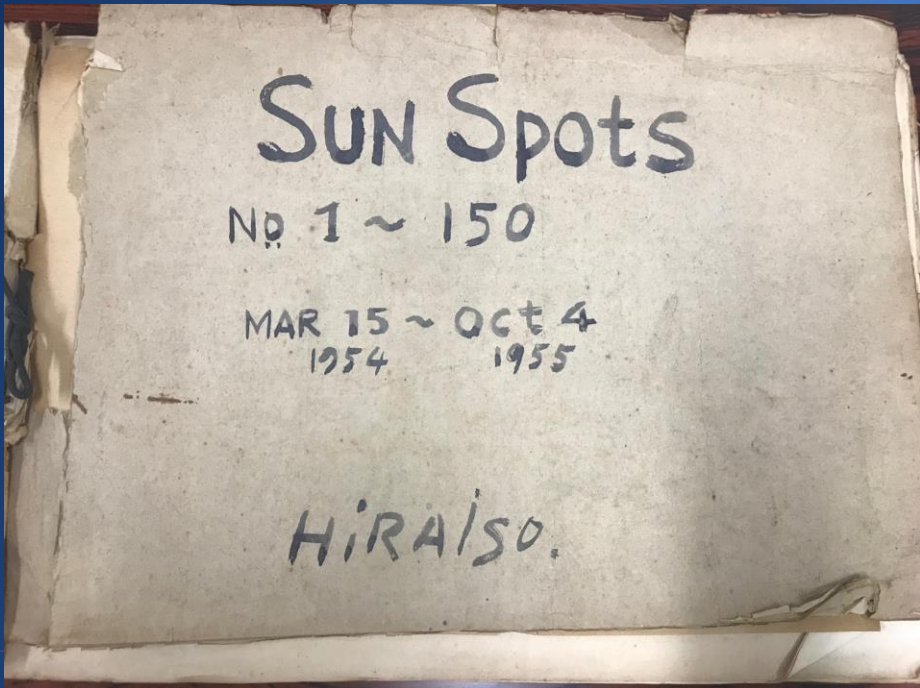
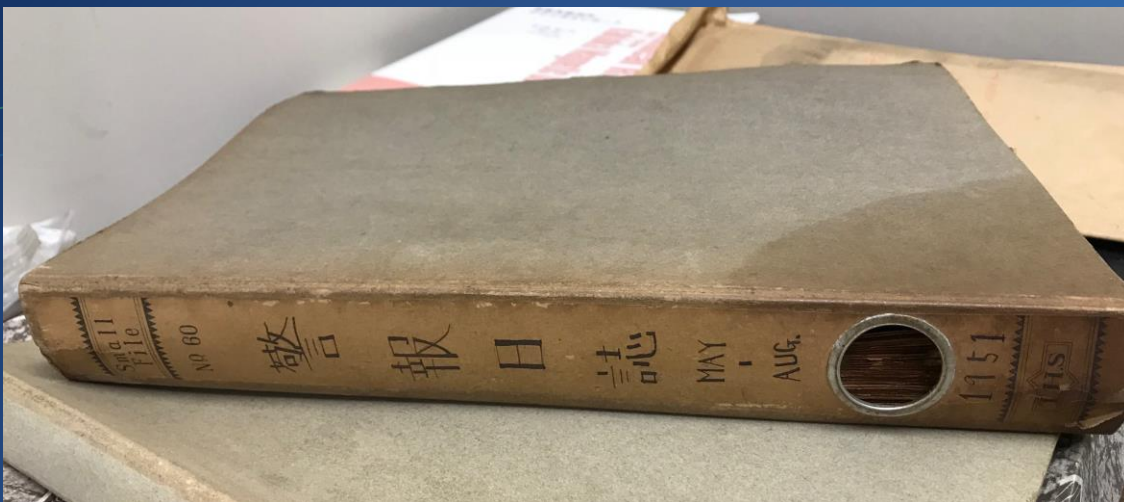
Fluence Level Probability
Plot UT: 2023-10-31 02:30:30 Lead Time: 24 hrs

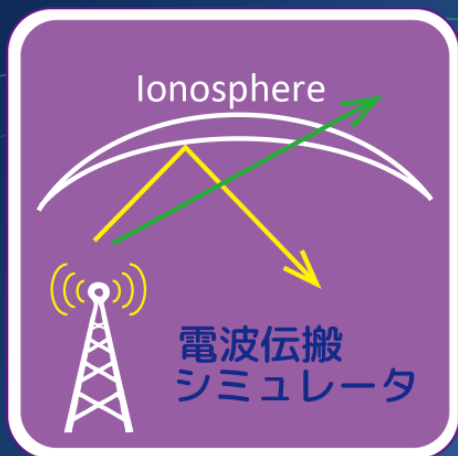
GOES-Primary (GOES-16)
Low: 0.82% Slightly High: 86.27%
High: 12.90% Very High: 0.01%

GOES-Secondary (GOES-18)
Low: 0.65% Slightly High: 63.22%
High: 36.09% Very High: 0.04%



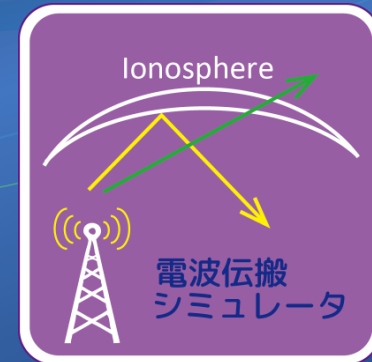
過去データ再生





社会に還元する：情報発信

電波伝搬シミュレータ HF-START



hfstart.nict.go.jp

- 電離圏中の電波の伝搬を追跡するシミュレーション
- 電離圏擾乱予測シミュレーションで再現された電離圏情報を用いることで電波伝搬予想になる。

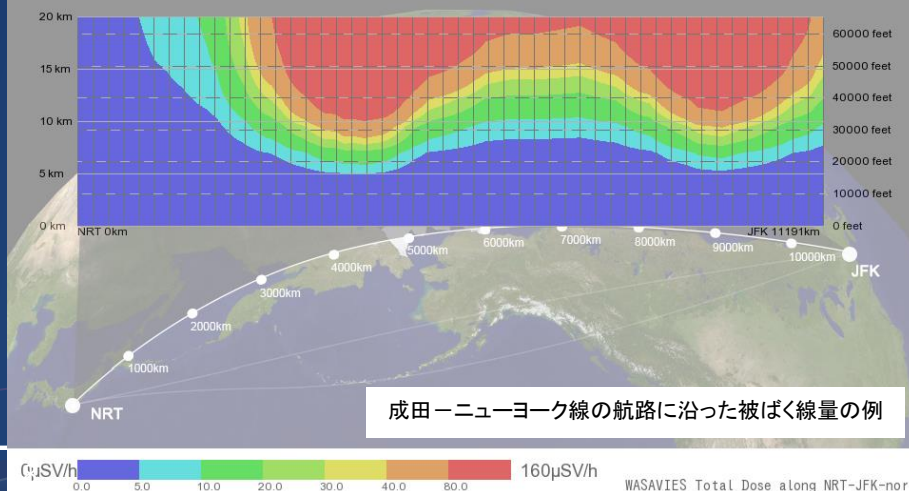
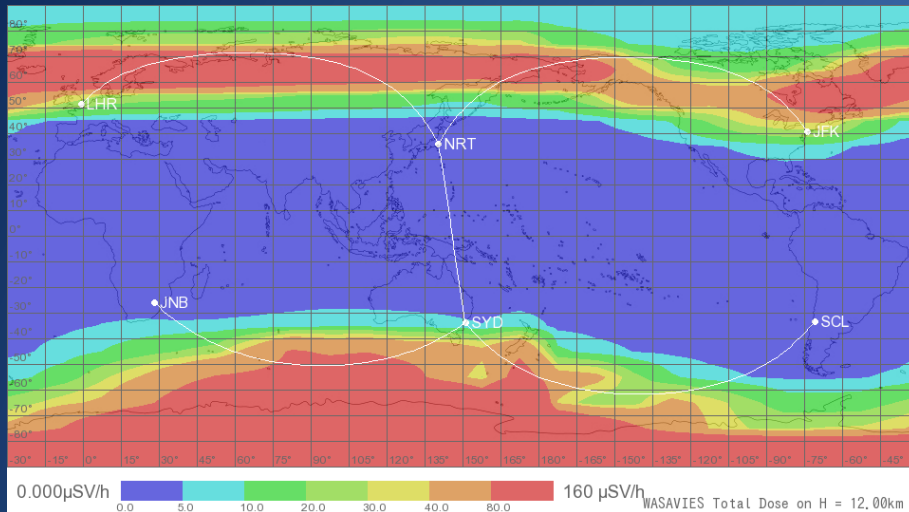
太陽放射線被ばく警報システム

WASAVIES

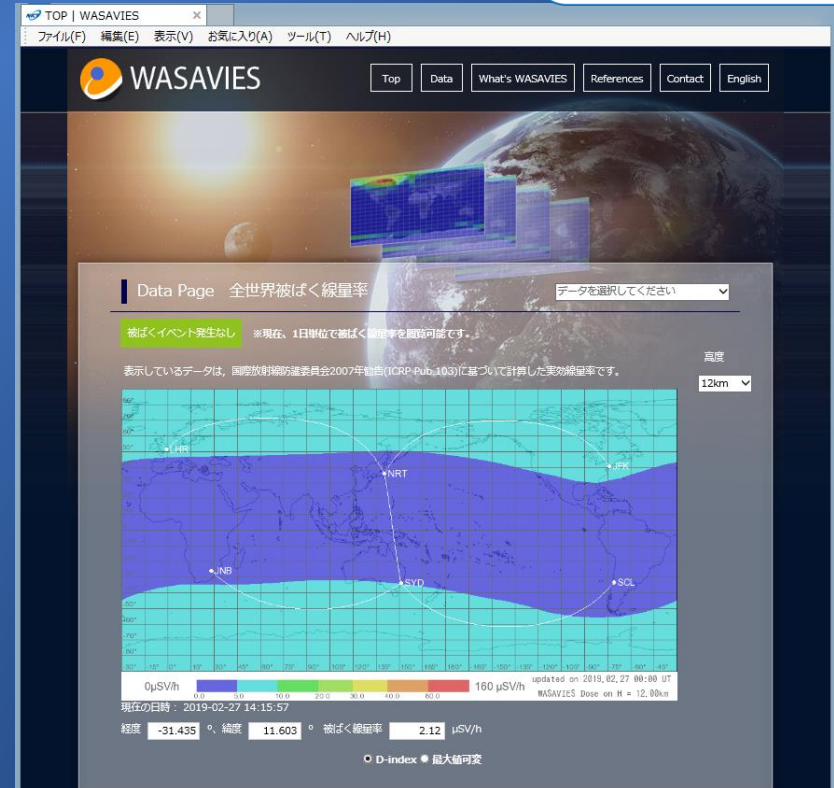
- 地球上のあらゆる場所での宇宙放射線による被ばく線量をリアルタイムに計算。



wasavies.nict.go.jp



成田ーニューヨーク線の航路に沿った被ばく線量の例



衛星帯電評価システム SECURES



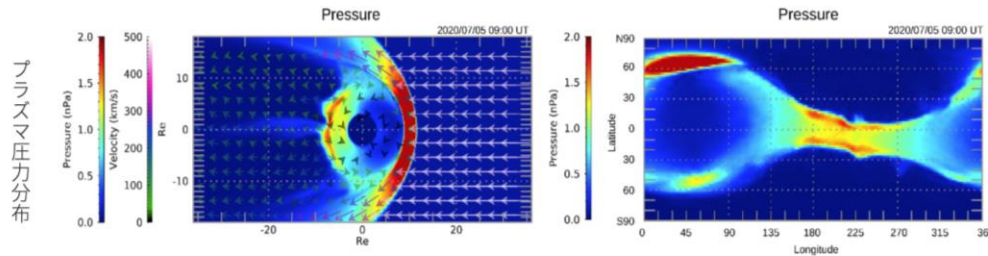
Space Environment Customized Risk Estimation for Satellite (SECURES)
 Realtime Assessment of Satellite Surface Charging at Geosynchronous Region
 by Global Magnetosphere Simulation and Spacecraft Surface Charging Analysis Model

開始日付: 2020/07/05/

開始時間: 09:00

SM座標系
磁気圏赤道面

地理座標系
静止軌道球面(6.6 [R_E])展開図



プラズマ圧力分布

再生 停止 表示日時: 2020年07月05日 09:00

パラメータ				
経度 [°]	緯度 [°]	プラズマ密度 [1/cc]	プラズマ圧力 [nPa]	プラズマ温度 [keV]
220.0	-18.0	1.000	1.622	11.098
日陰=1 (Scientific Satellite)		モデル衛星2 (Commercial Satellite)		
日照=0	表面電位 φ _{sc} [V]	表面電位最大値 φ _{MAX} [V]	フレーム電位 φ _{FRAME} [V]	帯電電位 [V]
1	-8700	-5600	8100	2500

プラズマ環境データは、磁気圏MHDシミュレーションにより計算されたものです。

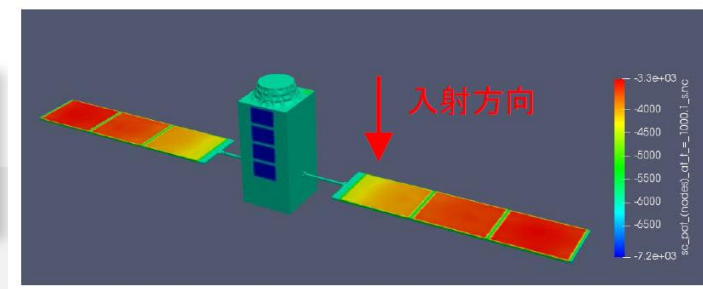
衛星電位は、シミュレーションで算出されたプラズマ環境データを用いた、衛星帯電計算モデルによる推定値です。

本システムの基盤研究は、科学研究費補助金 新学術領域研究「太陽地球圏環境予測：我々が生きる宇宙の理解とその変動に対応する社会基盤の形成(PSTEP)」の枠組みのもと、大阪府立大学、宇宙航空研究開発機構、情報通信研究機構の協力で実施されました。(参考文献：Nagatsuma, T., Nakamizo, A., Kubota, Y., Nakamura, M., Koga, K., Miyoshi, Y., and Matsumoto, H. Development of space environment customized risk estimation for satellites (SECURES). Earth Planets Space 73, 26 (2021).)



aer-nc-web.nict.go.jp/ssc/

みちびき衛星の帯電状況



- 磁気圏内での典型的な衛星の表面帯電量を評価するシステム
- 地磁気嵐予測シミュレーションとつなげることでリアルタイムに情報を発信
- 人工衛星ごとにカスタマイズすることで個々の衛星の帯電量予測情報になる

宇宙天気予報・警報の発信



情報通信研究機構
宇宙天気予報センター
International Space Environment Service, Regional Warning Center Japan
地球近傍の宇宙環境に関する情報を提供しています。

2018/10/10 09:10 更新

臨時情報
【放射線帯電子】
静止軌道における2MeV以上の電子の24時間フルエンスが、10月9日15時UTに高いレベルに達しました。
[詳しくはこちら](#)

予報
2018/10/10 15:00 JST ~ 2018/10/11 14:59 JST

太陽領域		磁気圏領域		電離圏領域		
静穏	静穏	静穏	非常に高い Lv.4	静穏	静穏	活発 Lv.3
太陽フレア	プロトン現象	地磁気擾乱	放射線帯電子	電離圏画	アライメント現象	衛星障害

社会システムとの関わり

今日の宇宙天気
2018/10/10 15:00 JST 更新
太陽活動は静穏でした。引き続き今後1日間、太陽活動は静穏な状態が予想されます。地磁気活動はやや活発でした。今後数日間、地磁気活動は静穏な状態が予想されます。10月10日0時10分UTに放射線帯電子の臨時警報を発令しました。
[詳しくはこちら](#)

トピックス
2018/10/01 14:00 JST 更新
第5回アジア・オセアニア宇宙天気連合 (AOSWA) ワークショップがインドネシアで開催されました
[詳しくはこちら](#)

- 24時間365日、宇宙天気現象の監視をしています。
- 毎日2回、宇宙天気予報を発信しています。

NICTの宇宙天気予報業務

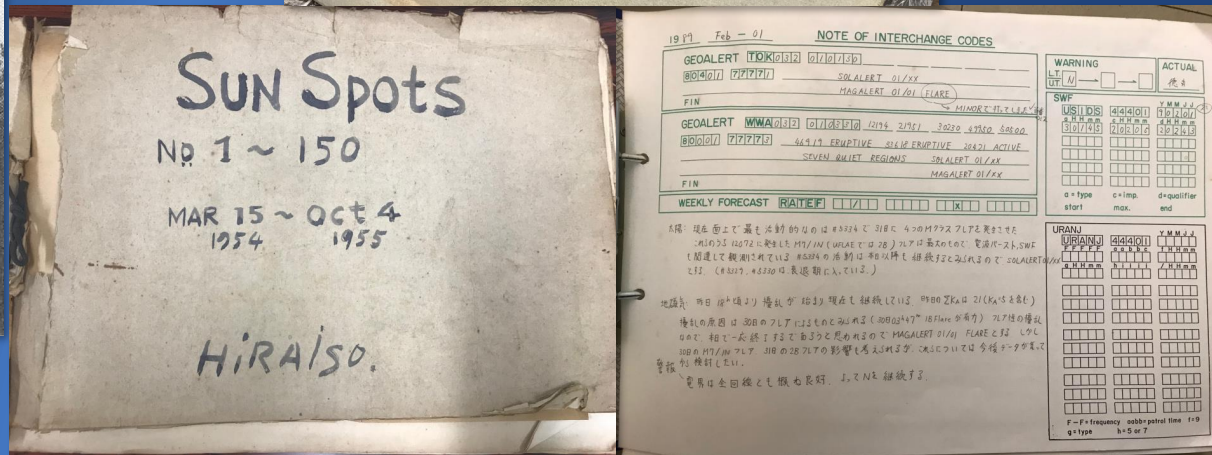
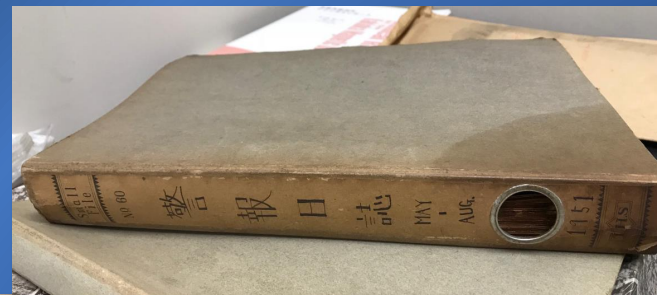
宇宙天気予報業務(1950年代～)

- 1940年代後半から1950年代前半、郵政省電波研究所において、短波通信障害を事前に利用者に知らせるため、「電波伝搬警報」の発信を開始
 - 1932年、電離層観測開始
 - 1952年、太陽電波観測開始



平磯における200MHz太陽電波観測(1952)

Isobe & Yamashita (1994)



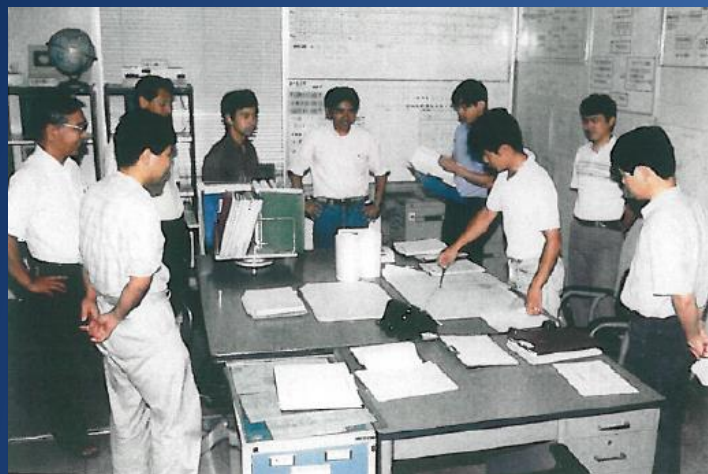
1950年代の短波伝搬警報の記録

宇宙天気予報業務(1988～)

- 電波伝搬警報が宇宙天気予報に発展
- 年間365日、休まず宇宙天気予報を発信
- 予報情報は国際宇宙環境サービス(ISES)加盟各国とウルシグラムコードを用いて交換
 - ISES: 宇宙天気予報を発信している運用機関の組織

国際宇宙環境サービス(ISES)。現在、21ヶ国が加盟している

1990年頃の宇宙天気予報会議



宇宙天気予報業務(2019～)

- 宇宙天気予報センター副局開設(2019/3)
- ICAO宇宙天気センター開設(2019/11/7)
- 宇宙天気予報業務24時間運用開始(2019/12/1)
- 電離圏観測装置冗長化



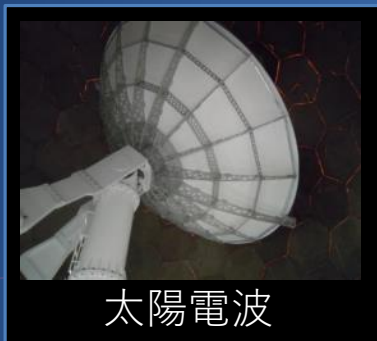
電離圏



副局



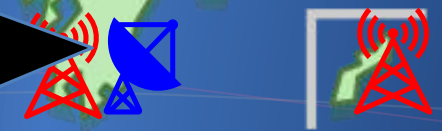
主局



太陽電波



太陽風



現在の宇宙天気予報

- 日報：2回/日
- 週報：1回/週
- 臨時情報：随時
- イベント自動通報：随時

The screenshot shows the homepage of the International Space Environment Service (ISES) Regional Warning Center Japan. The main content area is titled '予報' (Forecast) and covers the period from 2021/10/30 15:00 JST to 2021/10/31 14:59 JST. It features several forecast cards for different space weather phenomena:

- 太陽フレア (Solar Flare):** Shows '活発' (Active) with a level of Lv.3.
- プロトン現象 (Proton Event):** Shows '継続' (Continuing) with a level of Lv.3.
- 地磁気擾乱 (Geomagnetic Storm):** Shows '非常に活発' (Very Active) with a level of Lv.4.
- 放射線帯電子 (Radiation Belt Electrons):** Shows '静穏' (Quiet).
- 電離圏風 (Ionospheric Wind):** Shows '活発' (Active) with a level of Lv.2.
- アークライト現象 (Aurora Light Phenomenon):** Shows '%やや高い' (Slightly High) with a level of Lv.2.
- オーロラ観測 (Aurora Observation):** Shows '活発' (Active) with a level of Lv.3.

Below the forecast cards, there is a '現在の太陽' (Current Sun) section with three images: '黒点 (光球)' (Sunspot (Photosphere)), 'プロミネンス (彩層)' (Prominence (Chromosphere)), and 'フレア (コロナ)' (Flare (Corona)).

swc.nict.go.jp

運用日	365日
運用時間	24時間
日報	00:00-01:00UTC 12:00-13:00UTC
週報	12:00-13:00UTC(金曜日)
臨時情報	イベント発生時(24時間)
イベント自動通報	イベント発生時(24時間)
ウェブサイト予報更新	06:00-07:00UTC

臨時情報、イベント自動通報

臨時情報(手動配信)

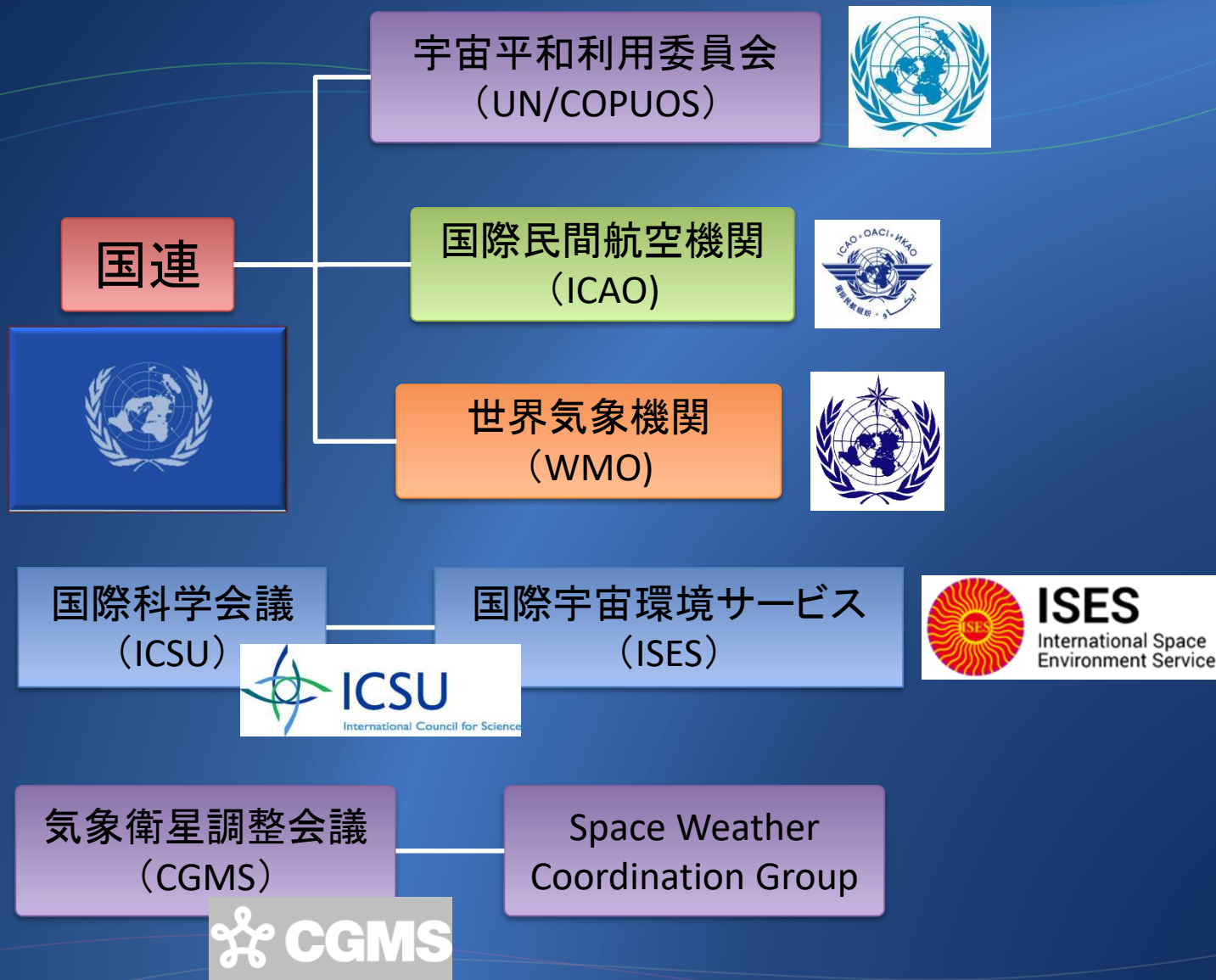
- 太陽フレア
 - Mクラス以上で継続時間が長いフレア発生時
 - Xクラス発生時
- CME
 - 上記フレアに伴いFull-halo CME(地球への影響が確実視される)が発生した時
- プロトン現象
 - プロトン現象発生時(10, 100, 1,000, 10,000PFU)
- 地磁気嵐
 - 地磁気嵐発生時(気象庁地磁気観測所による判断)
- 放射線帯電子
 - 高いレベル、非常に高いレベル到達時

イベント自動通報

- 太陽フレア
 - Mクラス以上発生時
- プロトン現象
 - プロトン現象発生時(10, 100, 1,000, 10,000PFU)
- 放射線帯電子
 - 高いレベル、非常に高いレベル到達時

宇宙天気予報の国際動向

宇宙天気関係国際組織

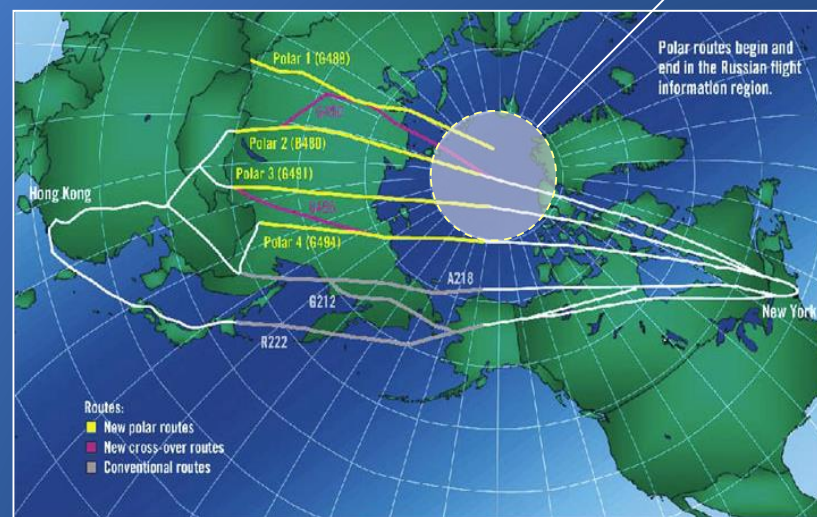


宇宙天気情報の航空機運航への利用

- 国際民間航空条約第3附属書: 航空機の運行責任者等に提供しなければならない気象情報を規定。
- 第3附属書の第78次改訂(2018年)において宇宙天気情報が規定された。
- 宇宙天気情報が航空運航に不可欠な情報として使用されている。



短波通信のみが可能な領域



ICAO宇宙天気センター

米国

欧州連合

日豪仏加連合

中露連合

国連防災機関 (UNDRR)

HAZARD INFORMATION PROFILES

Supplement to :
UNDRR-ISC Hazard Definition
& Classification Review -
Technical Report

UNDRRが2021年10月に公表したハザードリストの中に、宇宙天気に関わる4つの災害が含まれている。

Hazard Information Profiles - Supplement to UNDRR-ISC Hazard Definition & Classification Review - September 2021

HAZARD TYPE			
Identifier	Hazard Cluster	Specific Hazard	Page Number
EXTRATERRESTRIAL			
ET0001	Extraterrestrial	Airburst	159
ET0002	Extraterrestrial	Geomagnetic Storm (including energetic particles related to space weather, and solar flare radio blackout [R Scale])	162
ET0003	Extraterrestrial	UV Radiation	164
ET0004	Extraterrestrial	Meteorite Impact	167
ET0005	Extraterrestrial	Ionospheric Storms	169
ET0006	Extraterrestrial	Radio Blackout	171
ET0007	Extraterrestrial	Solar Storm (Solar Radiation Storm) (S Scale)	174
ET0008	Extraterrestrial	Space Hazard / Accident	177
ET0009	Extraterrestrial	Near-Earth Object	179

米国では...

宇宙天気を地震や津波と並べ、米国戦略的国家危機評価 (US Strategic National Risk Assessment) の一つとして検討

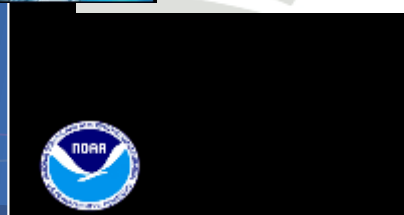
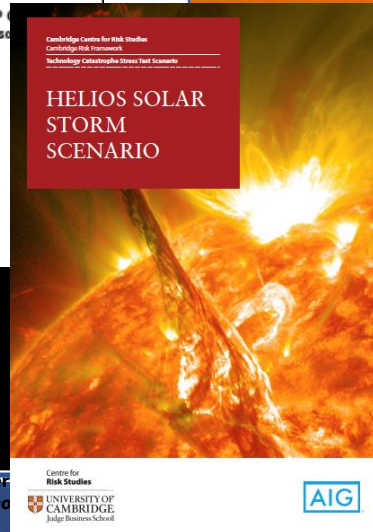
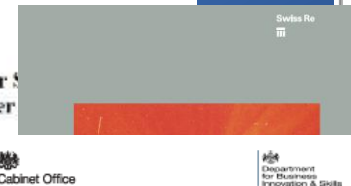


Threat/ Hazard Group	Threat/Hazard Type	National-level Event Description
Natural	Animal Disease Outbreak	An unintentional introduction of the foot-and-mouth disease virus into the domestic livestock population in a U.S. state
	Earthquake	An earthquake occurs within the U.S. resulting in direct economic losses greater than \$100 Million
	Flood	A flood occurs within the U.S. resulting in direct economic losses greater than \$100 Million
	Human Pandemic Outbreak	A severe outbreak of pandemic influenza with a 25% gross clinical attack rate spreads across the U.S. populace
	Hurricane	A tropical storm or hurricane impacts the U.S. resulting in direct economic losses of greater than \$100 Million
	Space Weather	The sun emits bursts of electromagnetic radiation and energetic particles causing utility outages and damage to infrastructure
	Tsunami	A tsunami with a wave of approximately 50 feet impacts the Pacific Coast of the U.S.
	Volcanic Eruption	A volcano in the Pacific Northwest erupts impacting the surrounding areas with lava flows and ash and areas east with smoke and ash
Wildfire	A wildfire occurs within the U.S. resulting in direct economic losses greater than \$100 Million	

他国の状況

● 国際動向

- 米国：宇宙天気に関する対策・ワークプランを発表、国家的対応
- 英国・韓国・豪州・スウェーデン等も同様の対応



日本の状況

宇宙天気ハザードマップ <https://www2.nict.go.jp/spe/benchmark/>

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

科学提言のための宇宙天気現象の × +

← → ↻ 🏠 🔒 <https://www2.nict.go.jp/spe/benchmark/> 目 ☆ 🔍 検索 📧 ⬇️ 🗨️ ☰

科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響評価

科学研究費補助金：新学術領域研究「太陽地球圏環境予測 (PSTEP)」*1

太陽	惑星間空間	磁気圏・電離圏	影響	社会被害・ニーズ
コロナホール	高速太陽風	磁気圏擾乱	衛星帯電	衛星運用障害
CME/CIR	プラズマ雲	放射線増大	人体被ばく	有人宇宙活動への障害
太陽フレア	高エネルギー粒子増大	高エネルギー粒子増大	衛星軌道変化	航空運用障害
	X線	電離圏擾乱	衛星測位誤差増大・受信不能	測位利用障害
		超層大気膨張	短波通信障害	通信・放送障害
		電離圏電子密度変動	誘導電流	電力網への障害
		下部電離圏異常電離		
		電離圏電流増大		
		地下電気伝導度分布		

図：宇宙天気現象と社会への影響

はじめに

本報告は、科学研究費補助金：新学術領域研究「太陽地球圏環境予測：我々が生きる宇宙の理解とその変動に対応する社会基盤の形成 (2015-2019, 略称：PSTEP)」*1の活動のもとにまとめられたものである。

宇宙天気とは、主に太陽活動が源となって発生する、地球近傍宇宙の諸現象のことであり、我々の社会活動に与える影響が重要なファクターとなっている。しかしながら、従来の研究では宇宙環境の変動メカニズムおよびその予測までは対象としていたものの、その社会への定量的影響についての議論は進められていなかった。このため、たとえ宇宙天気予報の警報を発信したとしても、そのための備えをどのようにしたら良いかについての指針がなく、その結果ユーザーの過剰な心配あるいは無関心に陥っていたのが現状である。

本報告は、宇宙天気現象の社会への影響について、現在得られている知見を駆使し検討を行ったものである。加えて、我が国において今後どの程度の宇宙天気現象・災害が発生しうるか、その際にどのようなことが発生しうるかについて可能な限り検討を重ねた結果を示してある。

我が国は中緯度に位置する島国と言うこともあり、例えば誘導電流による電力網への影響などは従来無視されてきた。しかしながらPSTEPの研究の中でその認識を再検討するべき結果も示されてきている。

本稿をもとに今後宇宙天気情報のユーザーとのコミュニケーションを語り、ユーザーサイドの具体的な対応策の検討まで進めることで、最先端の研究成果を社会活動に取り入れる好例としたい。また、本検討を進めている中で、現在の知見では十分な答えが得られない点も露わになってきた。これらを今後の課題として示し、将来の研究テーマとして検討を進めることで本稿を随時改訂していきたい。

国立研究開発法人情報通信研究機構 石井 守 (PSTEP A01 班代表)

宇宙天気現象の社会影響について、現在得られている科学的知見を駆使して検討した214ページに及ぶ報告書を発表

日本の状況

宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会（総務省）

宇宙天気予報ユーザーを交えて、社会影響を考慮した警報基準を策定。
これに従った情報サービスを準備中。

宇宙天気予報の高度化の在り方に関する検討会 報告書

「文明進化型の災害」に対応した
安全・安心な社会経済の実現に向けて

令和4年（2022年）6月21日

分野	影響と被害	歴史を起こし得る宇宙天気現象・物理量	社会影響発生程度と影響				
			(領域・軌道)	Lv 1	Lv 2 (注意相当)	Lv 3 (警報相当)	Lv 4 (特別監視相当)
■ 影響が無視できる範囲 ■ 軽微な影響の可能性 ■ 影響の可能性 ■ 深刻な影響の可能性 * 今後の研究により変わりうるもの ■ システムに依存するもの △ 障害というより「通常と異なる」もの ※各Lvに記載の物理量は閾値							
宇宙システム運用	深部帯電 衛星の誤動作・故障	地磁気圏・サブストーム	低軌道	K≤4	K=5	K=6	K=7
			中軌道				
	表面帯電 衛星の誤動作・故障	サブストーム粒子	低軌道				
			中軌道				
	天気ドラッグの増加 衛星姿勢・軌道変化		低軌道	(高度に依存)*	(高度に依存)	(高度に依存)	(高度に依存)
			中軌道				
	トータルドーズ増加 衛星の半導体・材料の劣化	放射線帯電子増大 高エネルギー陽子 (2MeV以上)	低軌道	$3.8 \times 10^{-7} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ 未満	$3.8 \times 10^{-7} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ 以上 $3.8 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ 未満	$3.8 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ 以上 $3.8 \times 10^{-9} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ 未満	$3.8 \times 10^{-9} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ 以上
			中軌道				
	深部帯電 (ESD) 衛星の誤動作・故障		低軌道				
			中軌道				
	シングルイベント効果 衛星の誤動作・故障		低軌道	100PFU以下	100 - 1,000PFU	1,000 - 10,000PFU	10,000PFU以上
			中軌道				
	トータルドーズ急増 衛星の半導体・材料の劣化	プロトン現象 高エネルギー陽子 (10MeV以上)	低軌道				
			中軌道				

まとめ

NICTでは

- **現在の社会インフラの安全を持続していくため**
- **宇宙旅行をはじめとする、未来の人類の豊かな生活の実現のため**

24時間365日休まず、宇宙天気予報を行っています。

swc.nict.go.jp

ご清聴ありがとうございました。