National Institute of Information and Communications Technology

2018年の宇宙天気

国立研究開発法人情報通信研究機構
宇宙環境研究室長
石井　守

International Space Environment Service
Regional Warning Center Japan

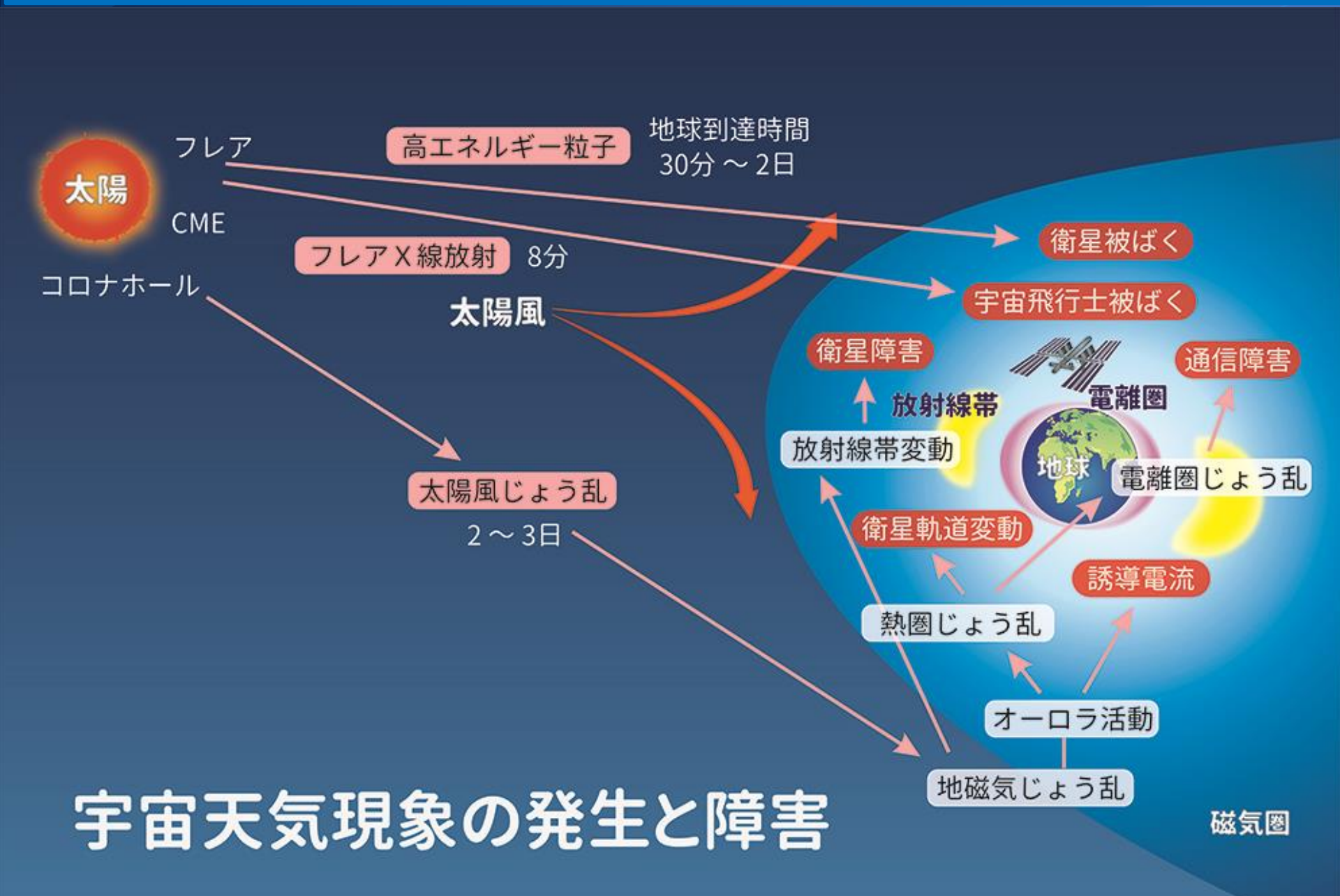
本日の内容

- 「宇宙天気」とは？
- 宇宙天気に関わる国際および国内動向
- 最近の宇宙天気状況
- 宇宙天気に関わる最近のNICTの活動

What is “Space Weather?”

「宇宙天気」とは？

宇宙天気

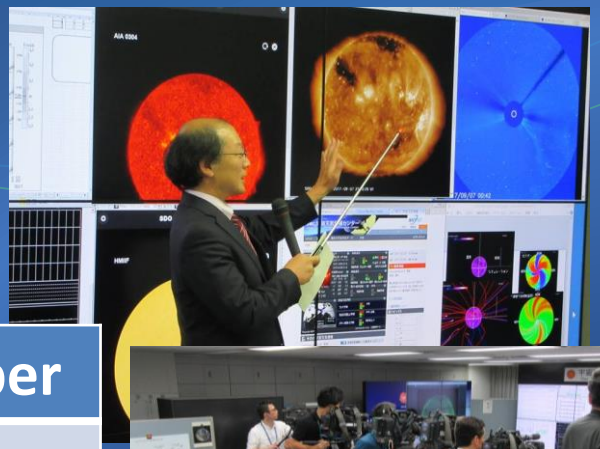


宇宙天気現象の発生と障害

2017年9月6日の太陽フレア

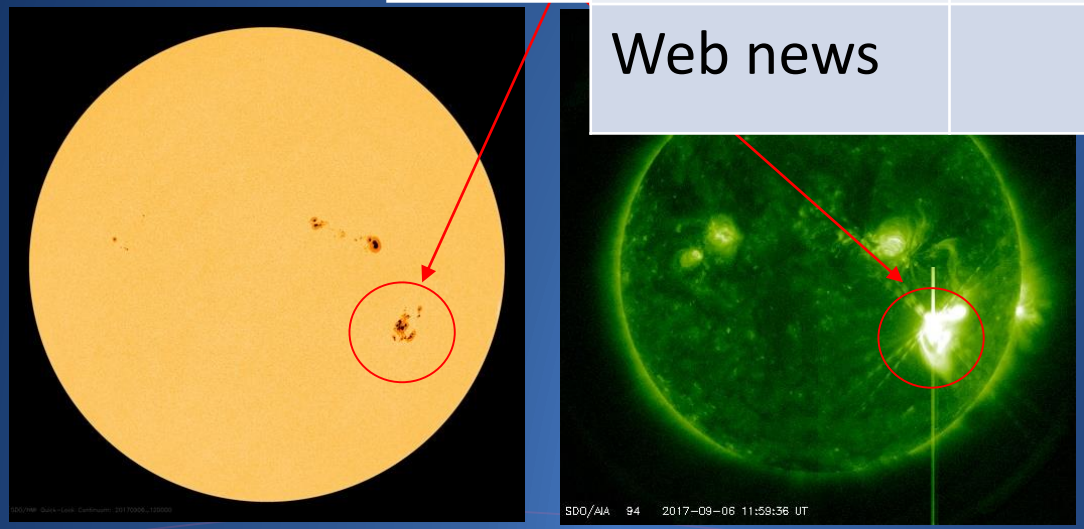
現象の概要

- 2017年9月6日日本時間20:53に過去11年ぶりとなるX9.3太陽フレアが発生した。
- 太陽フレアと同時に発生したコロナガス(コロナ質量放出:CME)が地球に到達することが予想されたため、翌7日にNICTはプレスリリースを行った
- GNSS、短波利用に影響があった。誘導電流が観測された。

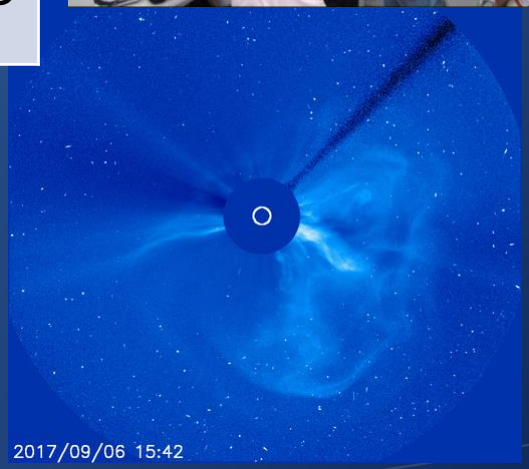


Media	Number
TV	60
Newspaper	271
Web news	779

Sun spot No



Solar images observed by SDO satellite(Left:visible, Right:UV)



Colonal gas observed by SOHO satellite

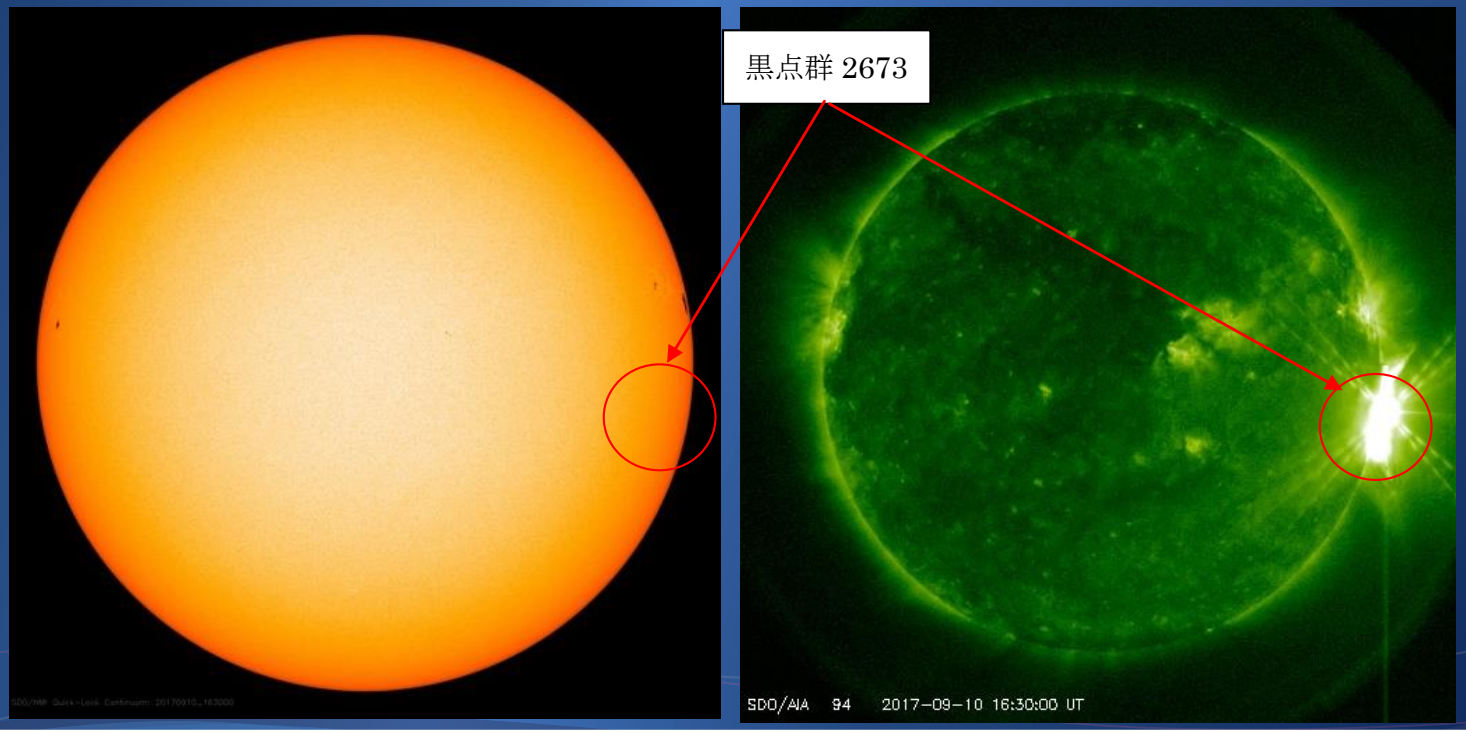
太陽風の磁場の状況

（赤）太陽風の磁場の南北成分

9月11日に発生した太陽フレアの影響

発生した事象

- 9月11日(月)日本時間00:35に発生した太陽フレアは、標準的なものの約900倍の規模。太陽面の端で発生。
- 同時に発生したコロナガスは、太陽・地球を結ぶ直線に対して垂直方向に放出されたため、地球への到達は限定的。13日(水)4時頃、DSCOVRで衝撃波を確認。地球には5時頃到達した模様。
- NICTによれば、6日(水)と異なり、本太陽フレアによる電離圏嵐は観測されなかった。



人工衛星SDOで観測された太陽画像(左:可視光、右:紫外線)

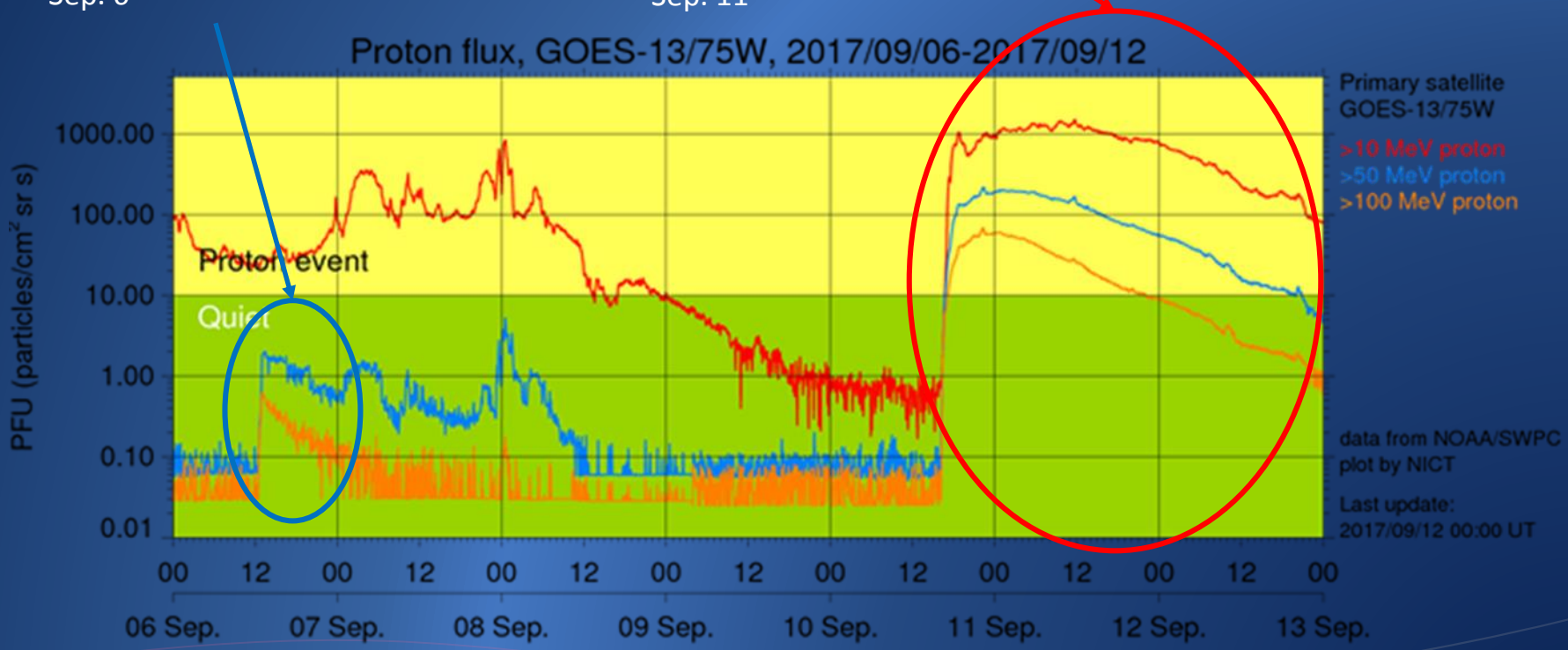
9月11日に発生した太陽フレアの影響

人工衛星への影響

- 9月11，12日の間に2つの科学衛星が一時的に停止.
- 幸い症状は軽く、数日後には復旧した。

Increase of high energy particles by X9.2 flare on Sep. 6

Increase of high energy particles by X8.2 flare on Sep. 11



Observation of X-ray by US meteorological satellite “GOES”

最大級の爆発が今起こったら

記録上最大の宇宙天気現象：キャリントンイベント (1859年9月1-2日)

ScienceDaily®
Your source for the latest research news

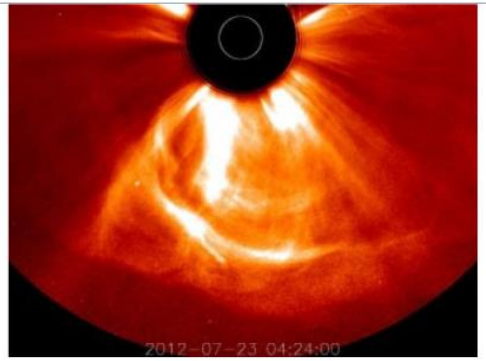
Fierce 2012 magnetic storm just missed us: Earth dodged huge magnetic bullet from the sun

Date: March 18, 2014

Source: University of California - Berkeley

Earth dodged a huge magnetic bullet from the sun on July 23, 2012.

According to University of California, Berkeley, and Chinese researchers, a rapid succession of coronal mass ejections -- the most intense eruptions on the sun -- sent a pulse of magnetized plasma barreling into space and through Earth's orbit. Had the eruption come nine days earlier, it would have hit Earth, potentially wreaking havoc with the electrical grid, disabling satellites and GPS, and disrupting our increasingly electronic lives.



This image captured on July 23, 2012, at 12:24 a.m. EDT, shows a coronal mass ejection that left the sun at the unusually fast speeds of over 1,800 miles per second.

Credit: NASA/STEREO

2012年7月23日に、キャリントン級のフレアが発生。地球方向を外れたため影響はなかった。

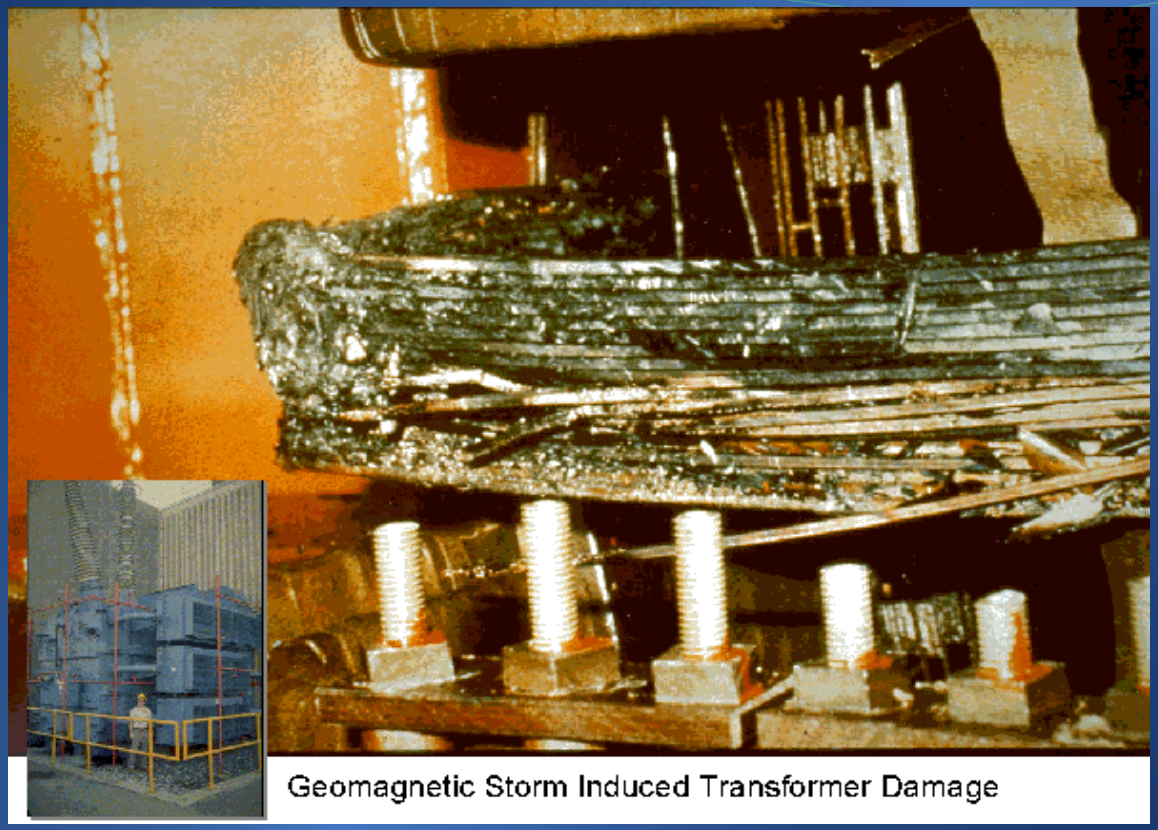
現在キャリントン級の現象が起こった時の経済的損失の見積もり（単位：兆円）

Regions	Best	Worst
米国、カナダ	13.8	16.4
スカンジナビア、英国	2.9	3.7
独・仏・伊・瑞・墺	7.4	9.5
欧州全体	10.2	13.2
日本	4.1	5.3
豪州	0.7	1.0

参考：東日本大震災の経済損失:
10-25 兆円

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

1989年3月に発生した過去50年間で最大級の強い地磁気嵐伴う誘導電流のために焼損した米国ニュージャージー州の発電所のトランス



Geomagnetic Storm Induced Transformer Damage

（PSG & E 提供）

GICによる電力システムの障害例

発生時期	障害の内容
1940年3月24日	米国ミネアポリスの電力網で保護リレーの不要動作
1958年2月10–11日	北米・カナダの電力網で保護リレーの不要動作 （カナダのトロントで停電）
1972年8月4日	北米・カナダの電力網で保護リレーの不要動作
1989年3月13日	カナダのケベックで保護リレーの不要動作により、約9時間の停電：約600万人に影響
1989年3月	米国ニュージャージ州で発電所のトランスの焼損
2001年11月6日	ニュージーランドのSouth Island Power Networkで保護リレーの不要動作
2003年10月30日	スウェーデンのマルメで保護リレーの不要動作により、約1時間の停電：約5万人に影響
2003年10–11月	南アフリカ共和国の電力網でトランスの焼損

International and Domestic Activity for Space Weather

宇宙天気に関わる国際および国内動向

米国は

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 dise virus into the domestic livestock population in a U.S. stat
	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

米国の動向

- 2014年11月より Space Weather Operations, Research, and Mitigation (SWORM) タスクフォースを立ち上げ以下の検討
  - 国家宇宙天気戦略
    （National Space Weather Strategy*）
  - 宇宙天気アクションプラン
    （Space Weather Action Plan）
- 2015年10月ホワイトハウスより発表
- 2016年10月宇宙天気対応加速の大統領令
- 2017年5月上院議会で宇宙天気特別予算承認
- 2017年6-7月研究成果と実利用の連携強化白書発信予定（R2O2R plan；Extension order 13744 of Oct. 13, 2016）
- 国際連携の枠組み“Space Weather as a Global Challenge”

“Space Weather as a Global Challenge-2” における講演模様（米国イタリア大使館）
2017年5月18日

2018 Space Weather as a Global Challenge

- 2018年7月24日に駐米日本大使館において、米国国務省、日本大使館、NICTおよびJAXA主催で開催
- 日本からはNICT、JAXA、京都大学、三菱電機およびANAが講演を行った。
- セッション構成
  - 開会挨拶：相川公使、J.Margolis国務次官補
  - 日本における宇宙天気の取り組み及び展望
  - 世界からの視点
  - 宇宙天気サービス向上に向けた準備
  - 民間からの視点

ACSWA
（American Commercial Space Weather Association）

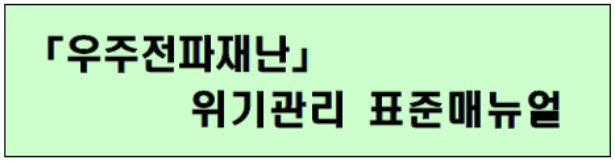
- 宇宙天気に関連する民間企業の正式な連合体
- 2010年4月29日にコロラド州Boulder開催のSpace Weather Workshop で設立された
- 目的
  - 宇宙天気情報およびサービスの提供
  - 政府機関への助言
  - 国内外の商業宇宙天気の代表機関
- 現在17社

日本での民間企業の取り組み
ウェザーニューズ・村瀬様ご講演

各国・保険機関が相次いで宇宙天気の経済インパクトを発表

極端宇宙天気：工学システムやインフラへの影響
英国王立工学アカデミー

宇宙天気：その地球及びビジネスへの影響　ロイズ社



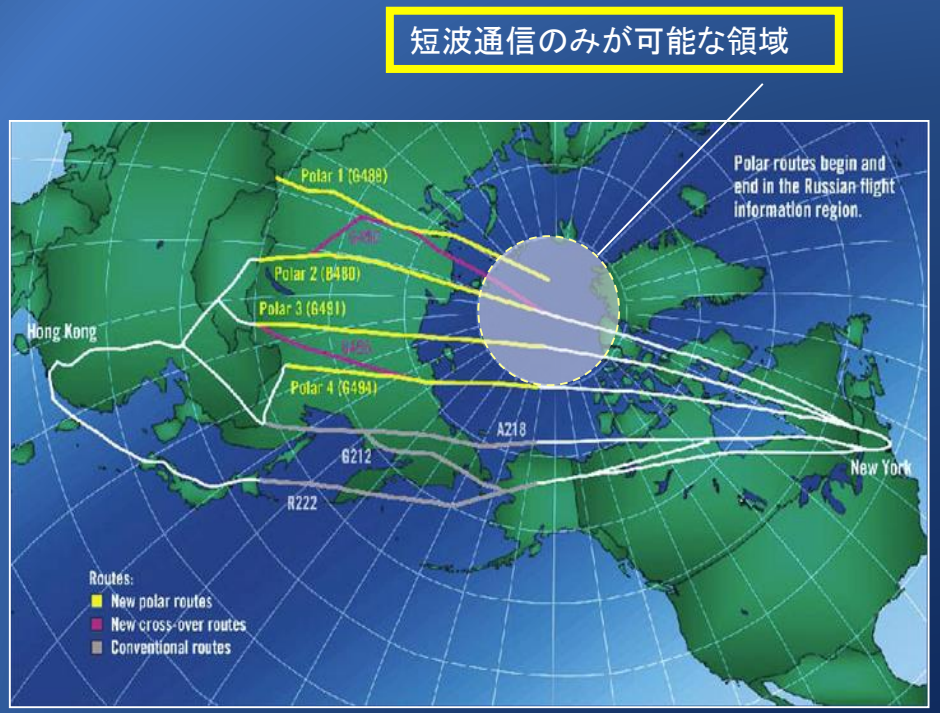
宇宙電波障害危機管理標準マニュアル
韓国未来創造科学部

UNISPACE+50

- UNISPACE+50 は宇宙利用の世界的な議論を行ったUNISPACE開催から50周年を記念して2018年に開催
- 国連・宇宙平和利用委員会 (COPUOS) 58回会合（2015年6月）において開催を決定
- 2016年6月にUNISPACE+50準備会合において7つの重要項目を決定
- 重要項目
  1. 宇宙開発・イノベーションにおける国際協力
  2. 宇宙空間および世界的な宇宙利用のガバナンスについての法的体制：現在及び将来の見通し
  3. 宇宙飛翔体と現象の情報共有の加速
  4. 宇宙天気サービスの国際枠組み
  5. 健康に関する協力の強化
  6. 低排出で強靭な社会に向けた国際協力
  7. 21世紀の次世代能力向上

宇宙天気情報の航空機運用への利用義務化

- 国際民間航空機関（ICAO)第3付属書：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。
- 現在、宇宙天気情報を含めるよう第3付属書の改定が進められている。
- 2020年代には、宇宙天気情報が航空運用に不可欠な情報として使用される見込み



ICAO宇宙天気センターの要件

- 制度上、運用上、技術上および伝達・普及の基準について要件が示されている。
- このうち運用上の基準が最大の懸案事項
  - 1日24時間、週7日の運用能力を有すること
  - 各システムごとに24時間中90分を越える故障を起こさない確率が99.9%以上であること
  - 故障を起こした際に代替システムを用いることで1年に4時間を超えるシステム停止を起こさない確率が98.0%以上であること
  - 故障したシステムを修理するのに2時間以内で復旧できる確率が95.0%以上であること

（RAMS規格の概念による）

ICAO宇宙天気センター選出スケジュール

開始日	終了日	概要	担当者
2017年5月	2017年6月	宇宙天気情報センター意思表示の要望についての国の書簡を発行	ICAO
2017年6月	2017年9月	宇宙天気情報センターの基準に合致する能力を示す国の書簡へ回答	提供候補国
2017年6月	2017年7月	全てのセンター候補国のサイト訪問評価を完了するようWMOへ要望	ICAO
2017年10月	2018年2月	世界宇宙天気情報センターの候補国のサイト訪問評価および査定を実施	WMO
2018年3月	2018年4月	ICAOへ世界および地域宇宙天気情報センターの候補国に関するレポートを提出	WMO
2018年4月	2018年4月	世界宇宙天気情報センターの候補国の適切な数を選出	ICAO
2018年6月 イマココ	2018年9月	世界および地域宇宙天気情報センター国を指名	ICAO
2018年9月	2018年11月	世界宇宙天気情報の作成・発信を開始	宇宙天気情報提供者

ICAO State Letterより一部抜粋

ICAO宇宙天気センター選出過程

日豪仏加連合

日本・豪州

カナダ

フランス

欧州連合（PECASUS）
オーストリア・ベルギー・キプロス・フィンランド（リーダー）・ドイツ・イタリア・オランダ・ポーランド・英国

米国

ベネズエラ

中露連合：地域センターを志向

中国

ロシア

アルゼンチン

ブラジル

フィリピン

南アフリカ

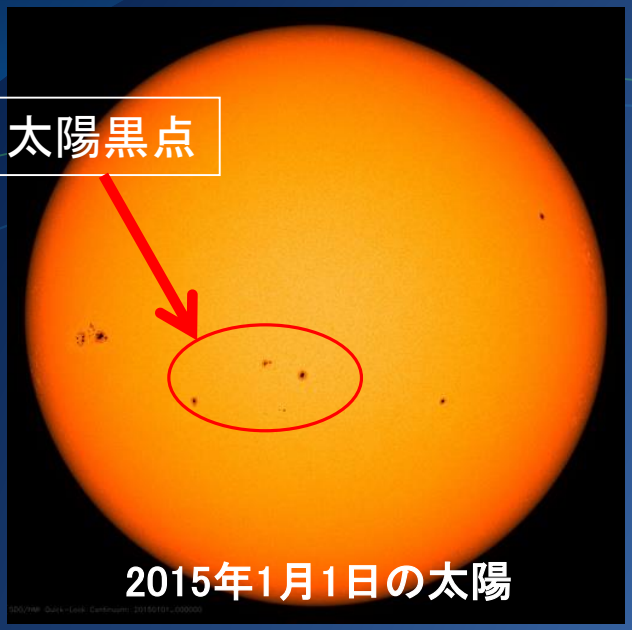
?

?

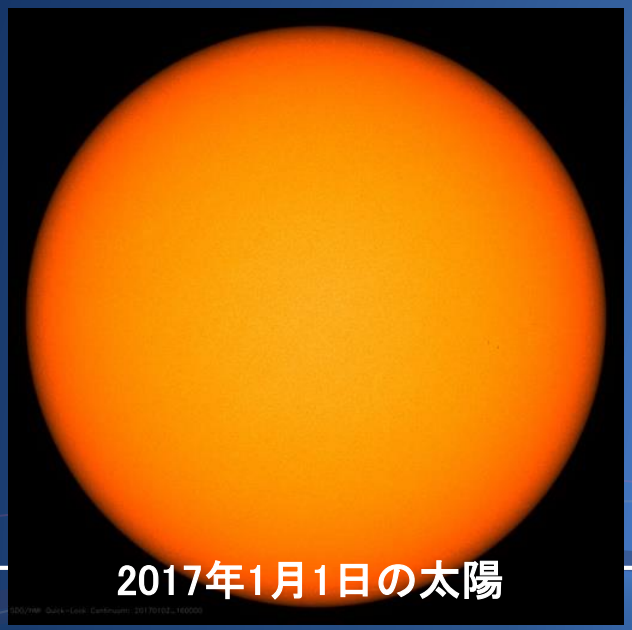
Recent Space Weather condition

最近の宇宙天気状況

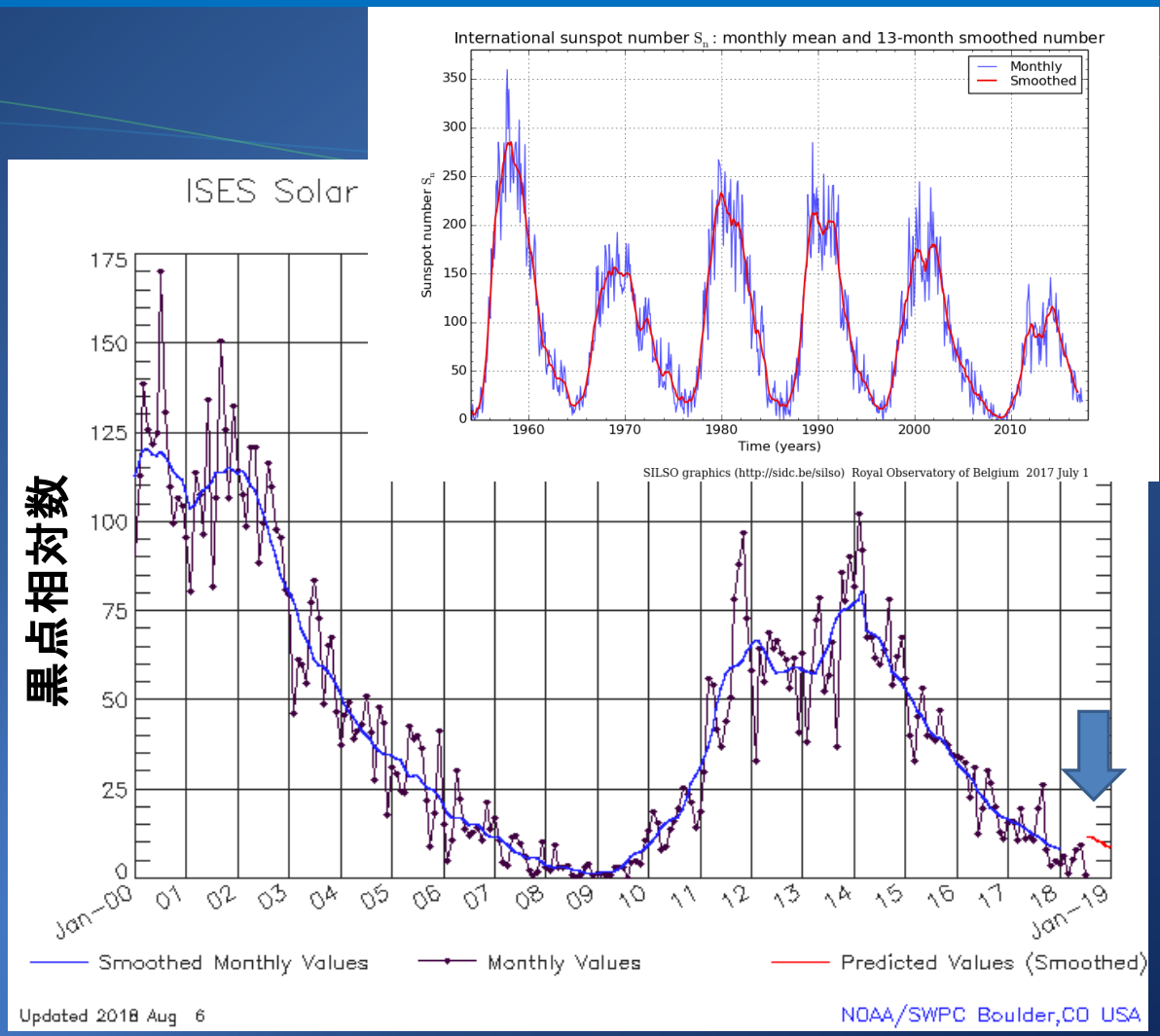
太陽活動の現状



2015年1月1日の太陽



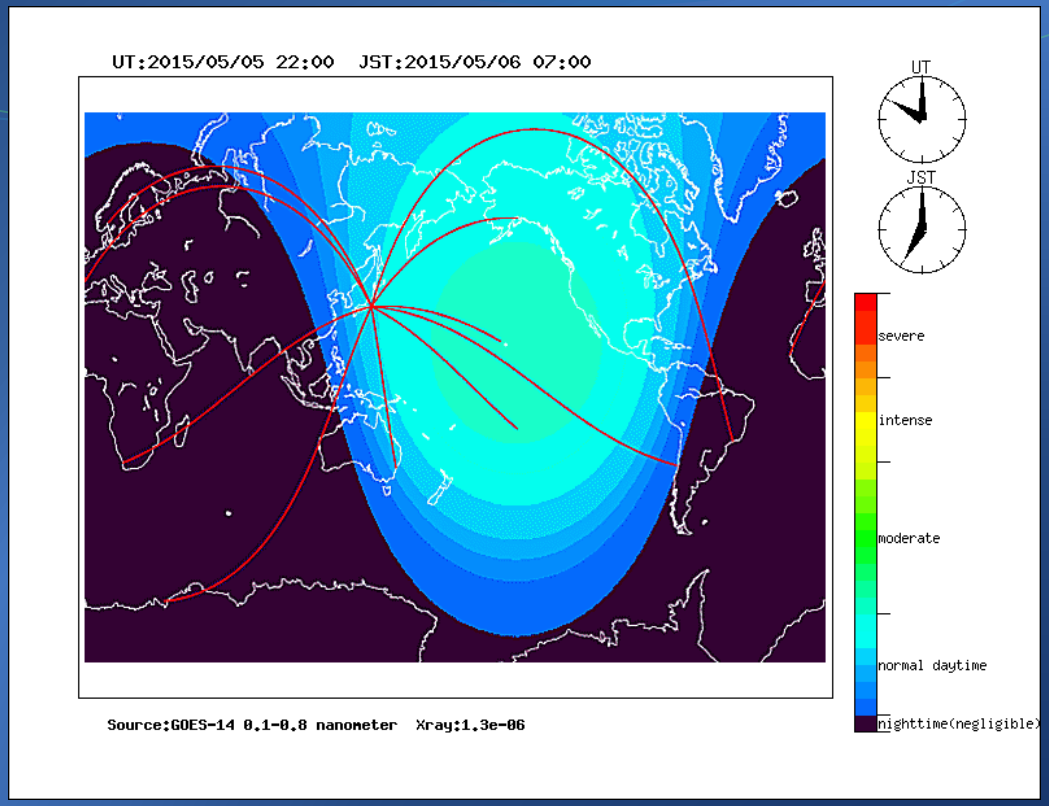
2017年1月1日の太陽



2000年1月から2019年1月までの
太陽活動変化（赤線は予測値）

2015年のデリンジャー現象

発生日	発生時間	原因となったフレアの規模
2015/01/13	4:30-5:15	M5.6/2B M4.9
2015/01/30	0:45	M2.0
2015/01/30	5:45	M1.7
2015/02/04	2:15	M1.2/2N
2015/03/03	1:30-1:45	M8.2/SB
2015/03/06	4:15-4:30	M3.0 LDE
2015/03/07	22:15-22:45	M9.2 LDE
2015/03/09	23:45-0:00	M5.8/2N
2015/03/10	3:30	M5.1/2B
2015/03/14	4:45	M1.3
2015/03/17	23:45	M1.0
2015/03/25	4:45	C8.7
2015/05/05	22:15	X2.7
2015/06/14	1:00	M2.0/SF
2015/06/21	1:45-2:45	M2.0 M2.6
2015/06/25	8:15-9:00	M7.9/3B LDE
2015/08/21	2:15-2:30	M1.2/1F
2015/08/27	5:45	M2.9
2015/08/30	3:00-3:30	M1.4
2015/09/28	4:00	M3.6
2015/09/29	5:15	M2.9/SF
2015/10/04	2:45	M1.0

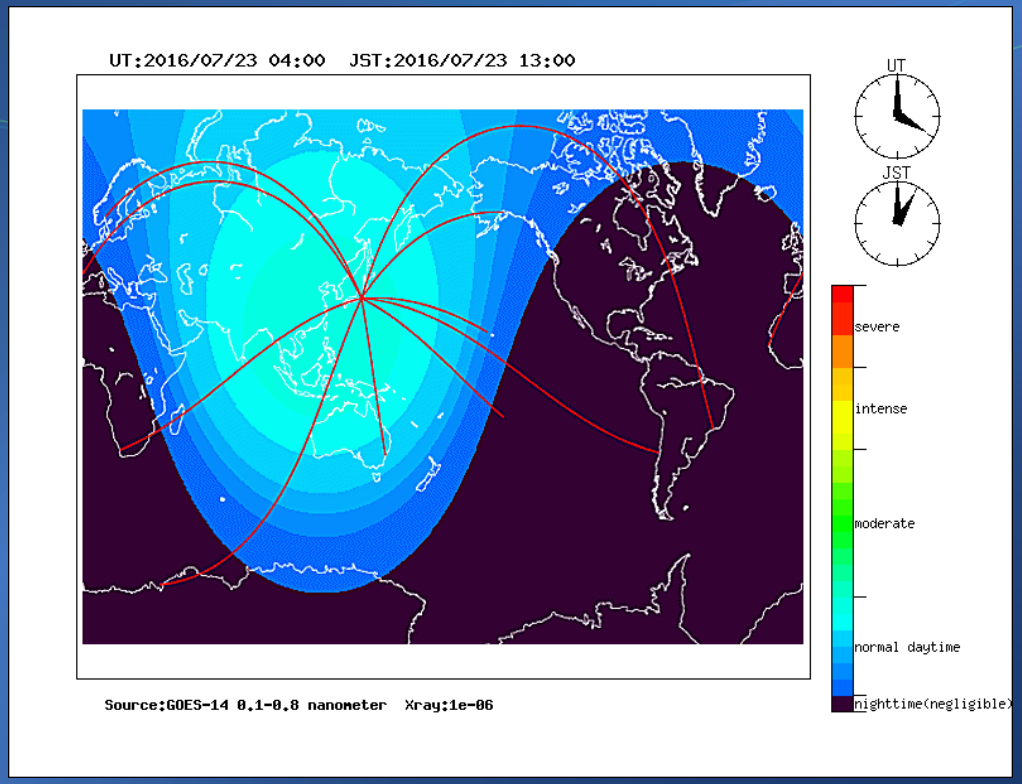


現在もっとも最近に起こったXフレア（2015年5月5日）の時のデリンジャー現象

2016年・2017年のデリンジャー現象

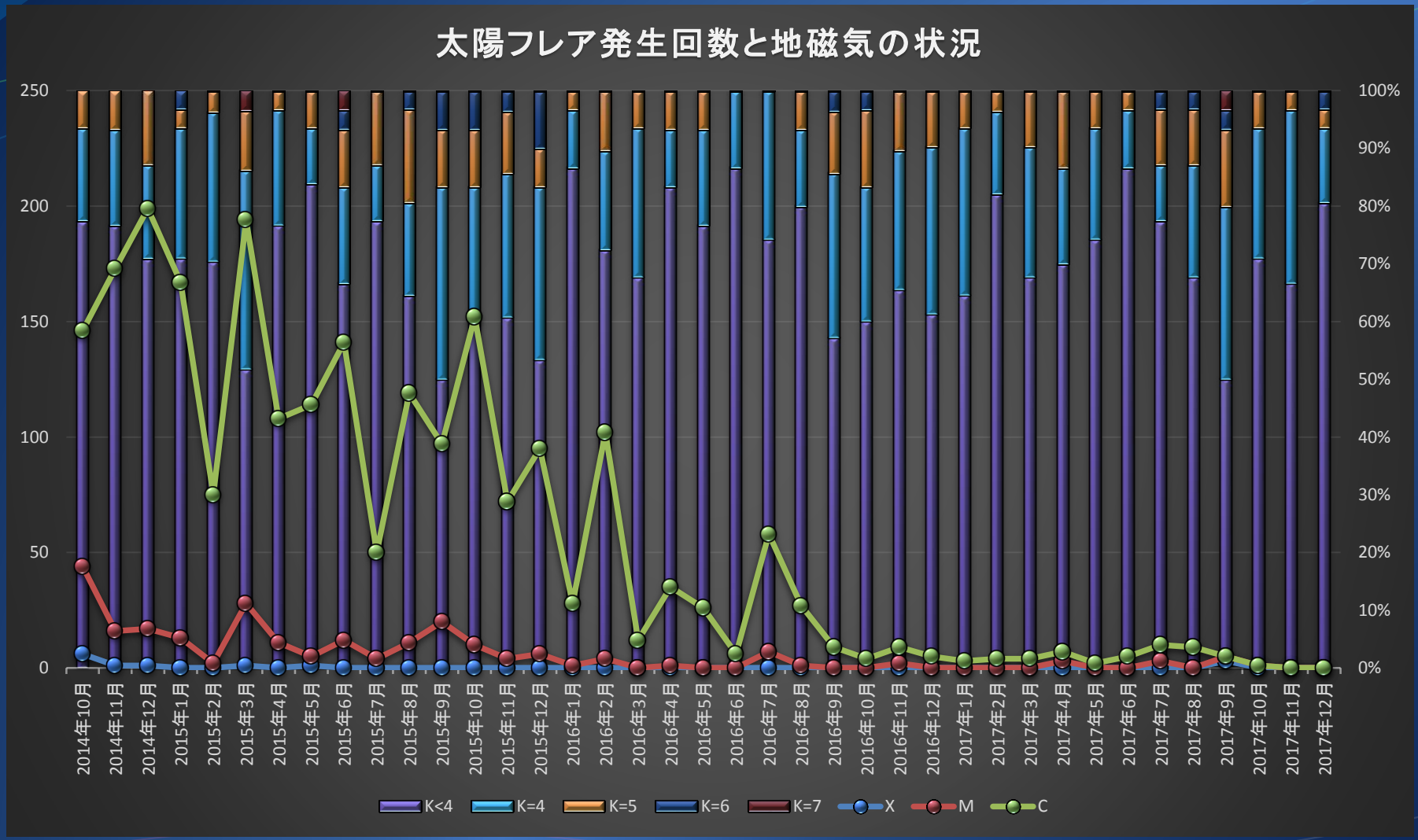
発生日	発生時間（日本標準時）	原因となったフレアの規模
2016/04/18	9:30	M6.7/1F
2016/07/23	5:15	M7.6
2016/07/24	6:15	M2.0/SF

発生日	発生時間（日本標準時）	原因となったフレアの規模
2017/07/14	1:43	M2.4/1N
2017/09/05	4:45	M3.2

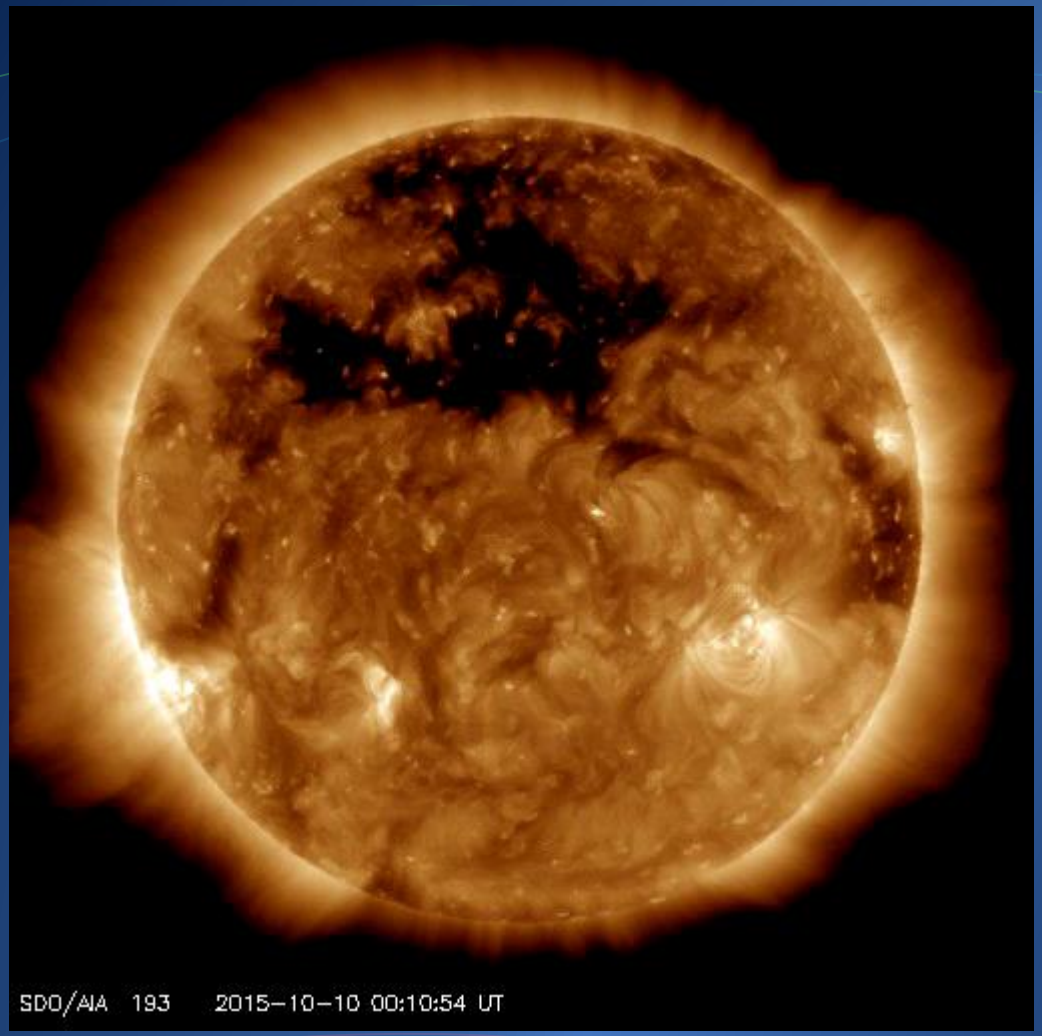


2016年で最大のフレア（M7.6、2016年7月23日）の時のデリンジャー現象

2014～2017年の太陽フレアと地磁気

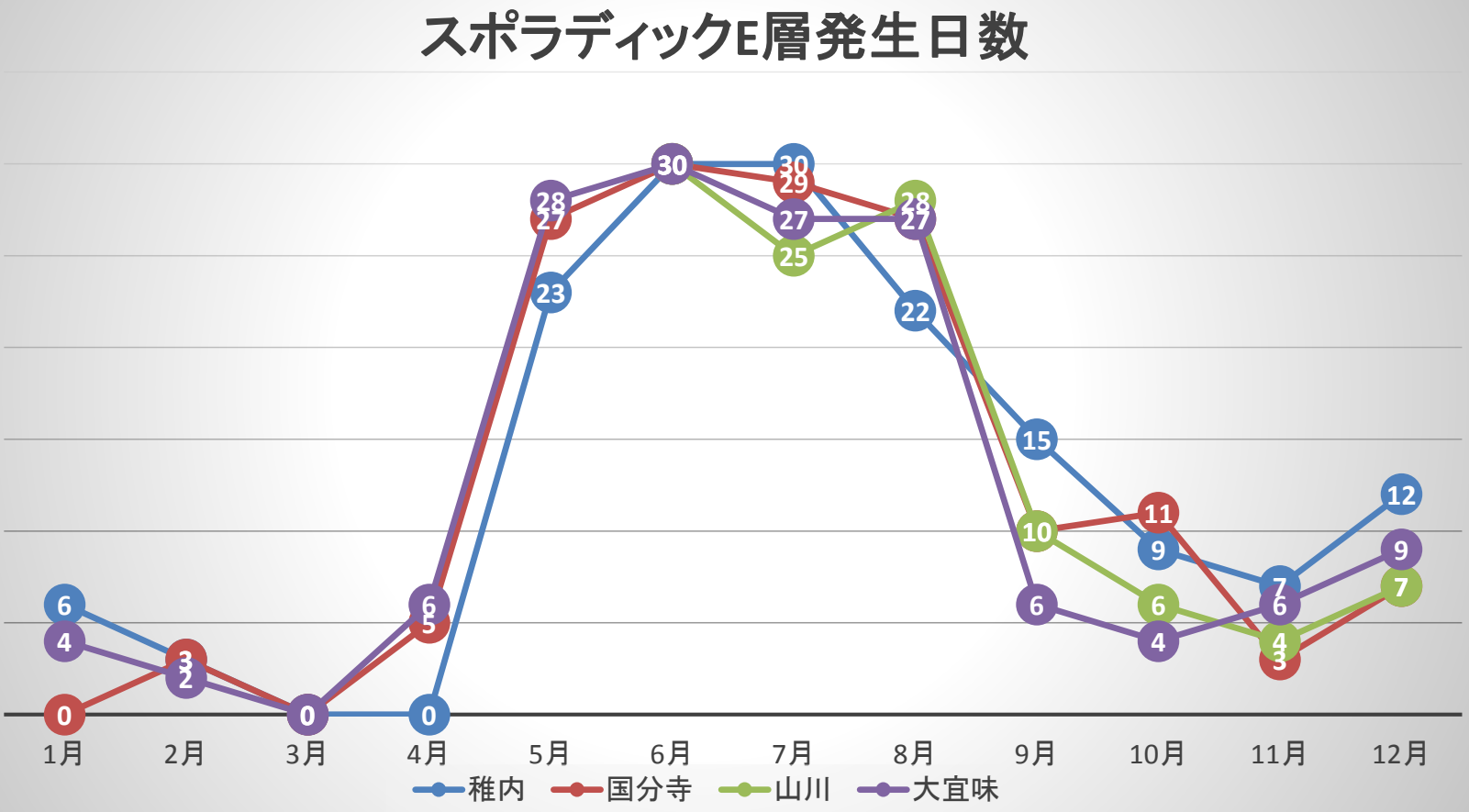


もう一つの太陽風擾乱のもと

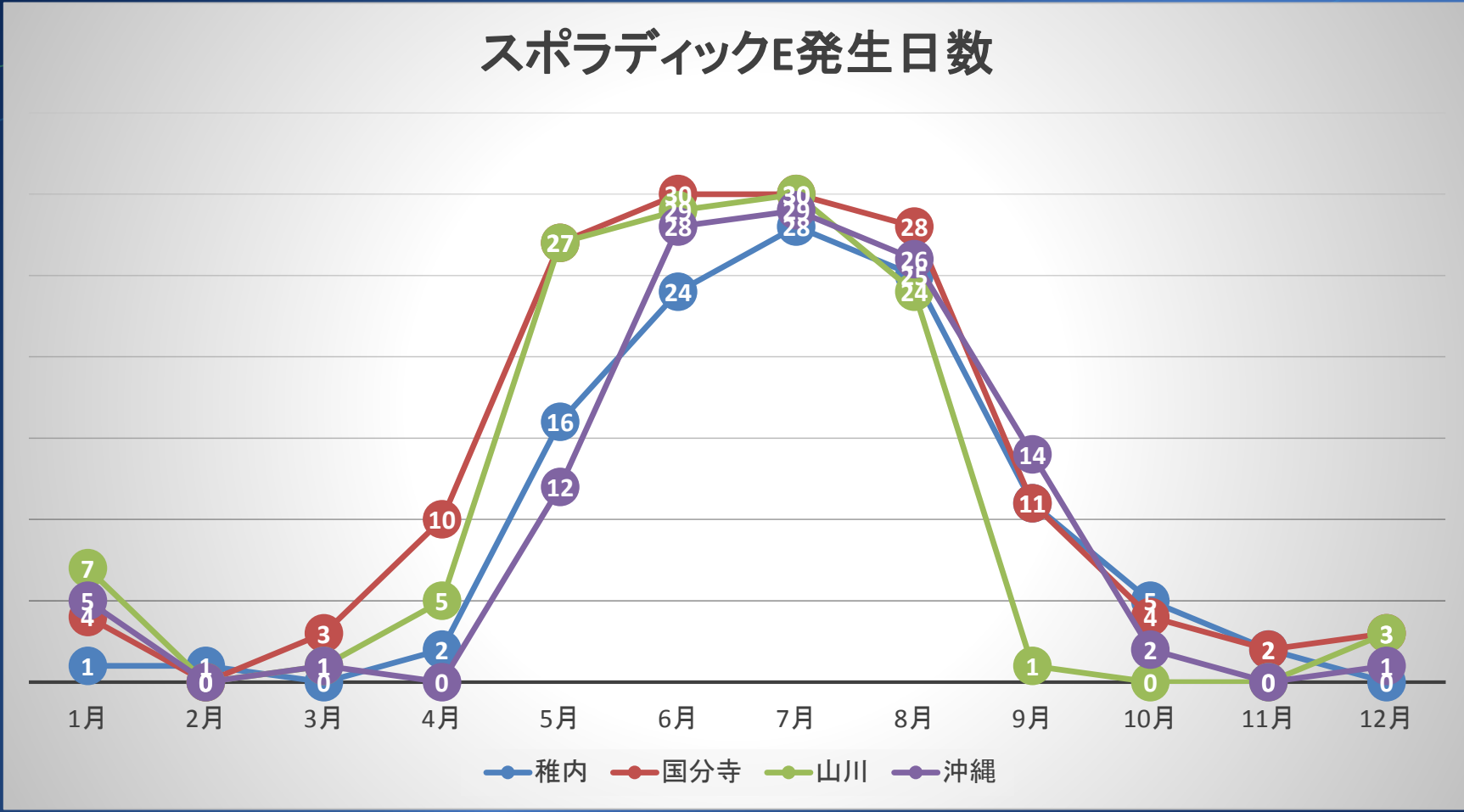


- 強い太陽風（太陽嵐）の源として太陽フレアから発生するコロナ質量放出が知られているが、それとは別に定常的に強い太陽風が噴き出す場所がある。
- コロナホールと呼ばれるその領域は紫外線画像では暗く映る。
- 定常的に噴出された強い太陽風は太陽の自転によりスパイラル構造を持つ。

2017年のスポラディックE発生日数

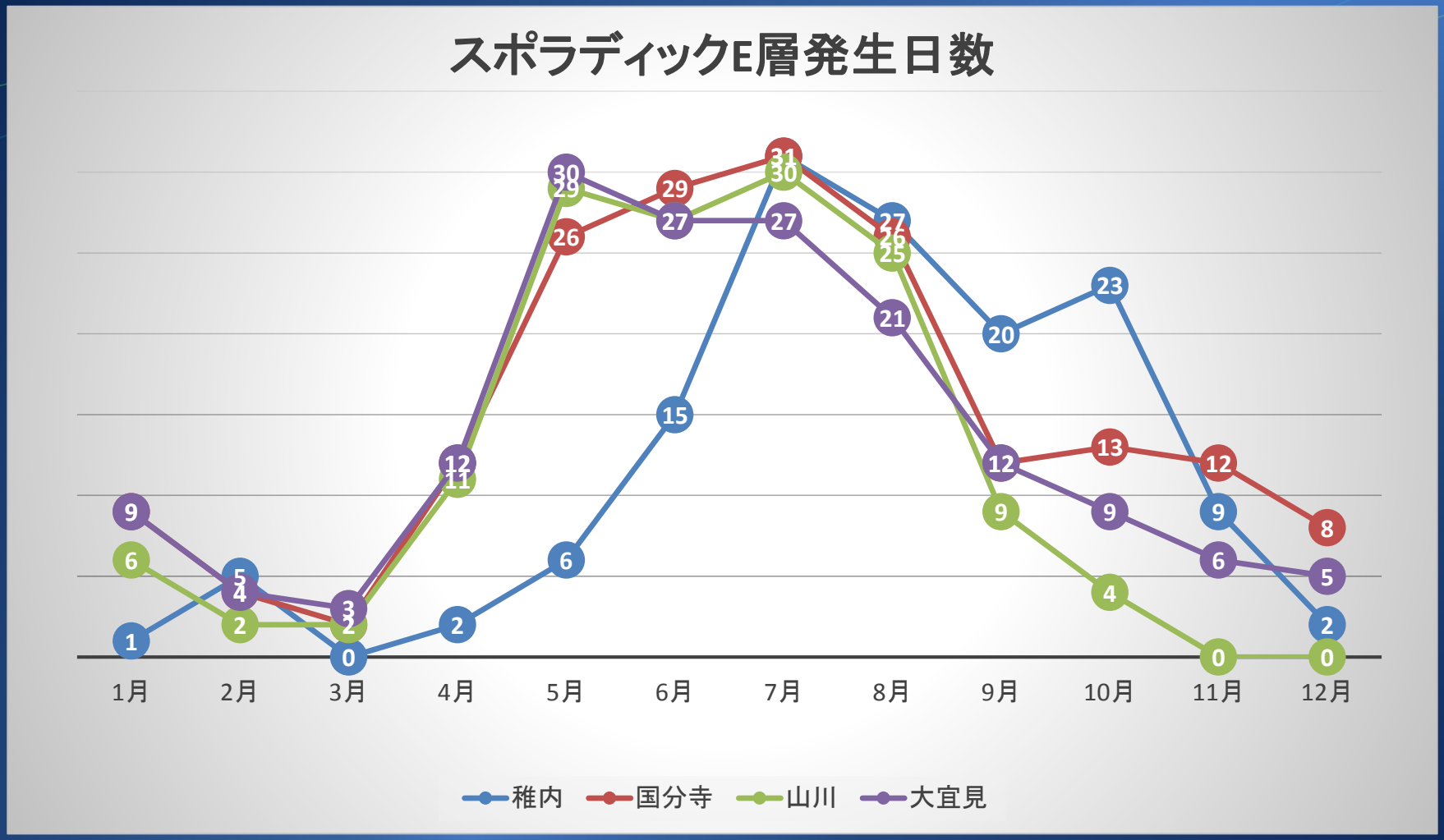


2015年のスポラディックE発生日数



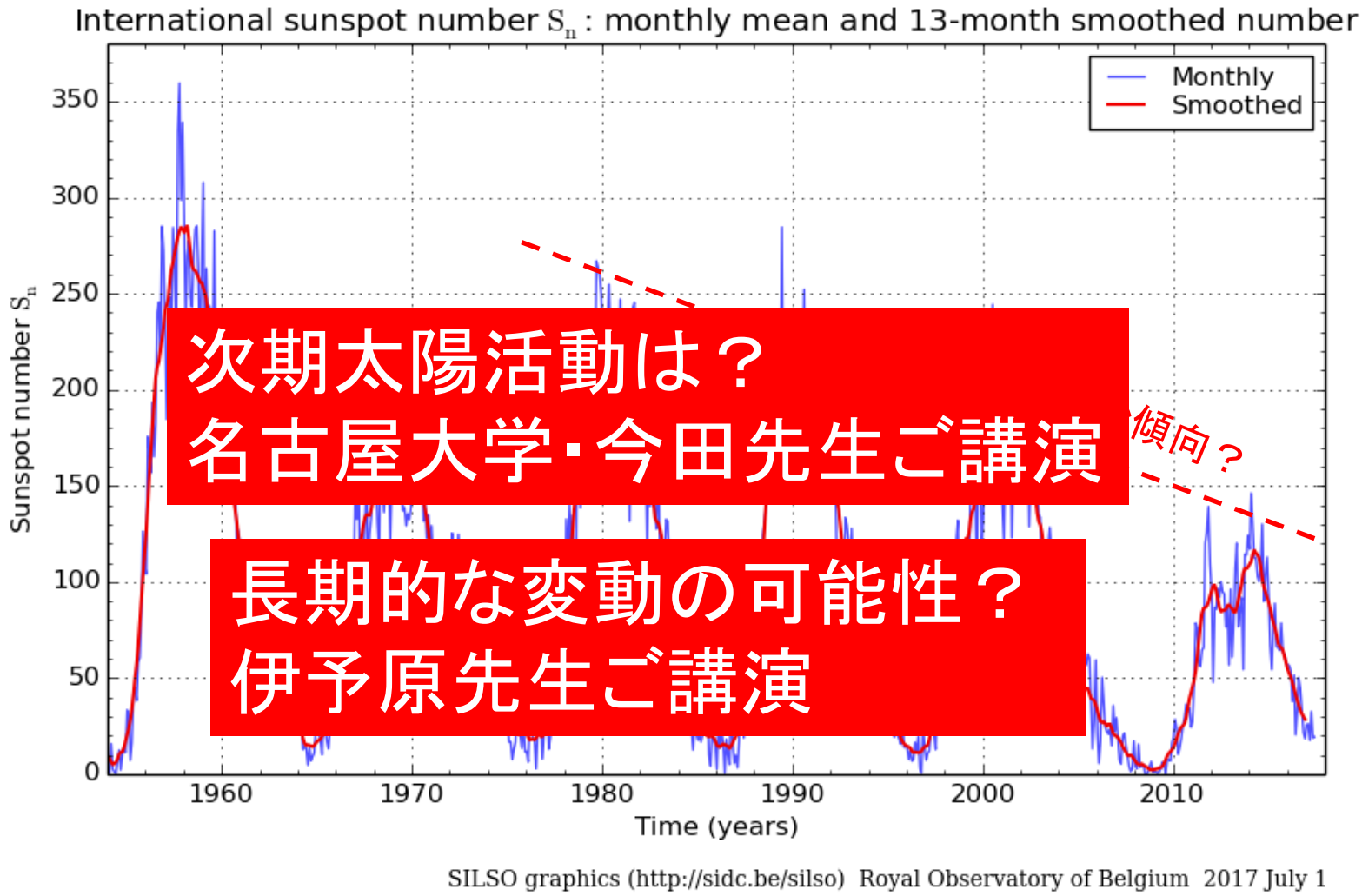
山川は2015年8月31日～9月16日の間機器故障により欠測

2016年のスポラディックE発生日数



稚内は2016年5月13日~19日、山川は2015年10月21日～12月31日、
大宜見は12月2日~5日の間機器故障により欠測

太陽活動周期



次期太陽活動は？
名古屋大学・今田先生ご講演

長期的な変動の可能性？
伊予原先生ご講演

Recent NICT Activity for Space Weather

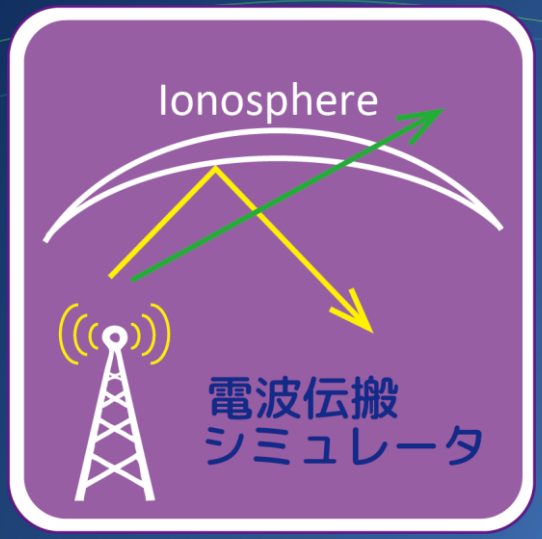
宇宙天気に関わる最近のNICTの活動

NICT宇宙天気予報センター

Webアクセス数: 16万件/月
e-mail登録数: 10,000件
Facebook、Twitterでも情報発信

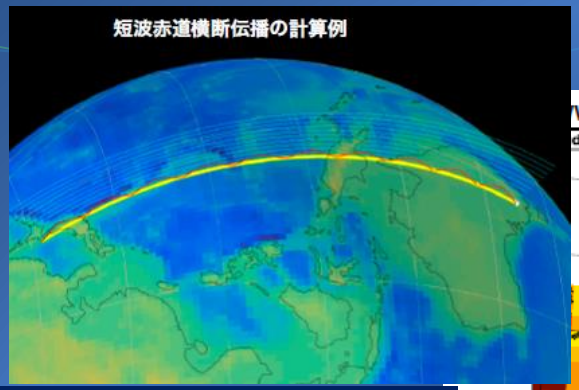
国内の主なユーザ：衛星運用機関、航空関係機関、
電力事業者、短波利用機関、物理探査事業者、
大学・研究機関等学術機関、アマチュア無線　等

現在作成中のコンテンツ

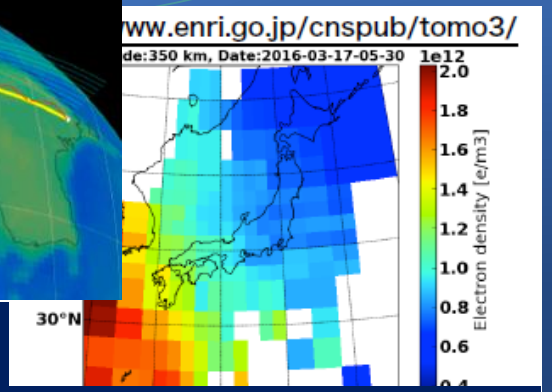


電波伝搬シミュレータの開発

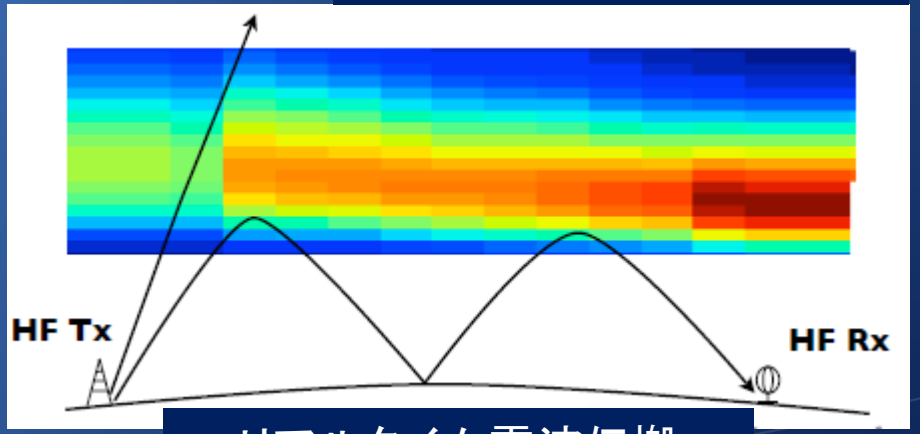
- コンセプト：短波通信放送・衛星測位に影響を与える電離圏の状態をリアルタイムに把握し現在の電波利用状況を把握する。また、予測モデルを使って1日程度先の利用についても可能にする。
- リアルタイムモデル：GEONETを用いた3D電離圏モデルの構築
- 予測モデル：NICT開発の大気圏・電離圏（GAIA）モデル



3D 電波伝搬シミュレータイメージ



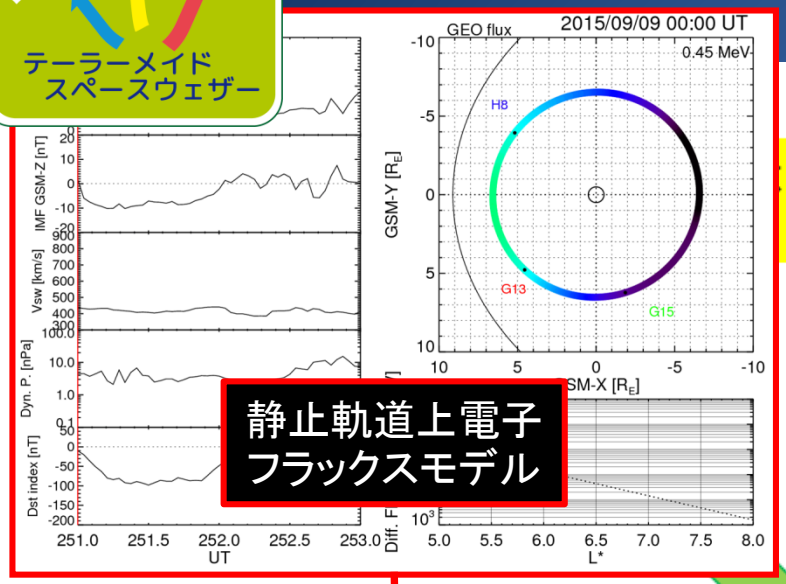
GEONETによる日本上空の電離圏2次元分布



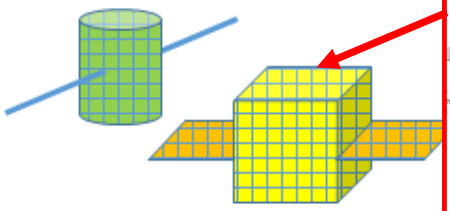
リアルタイム電波伝搬のイメージ

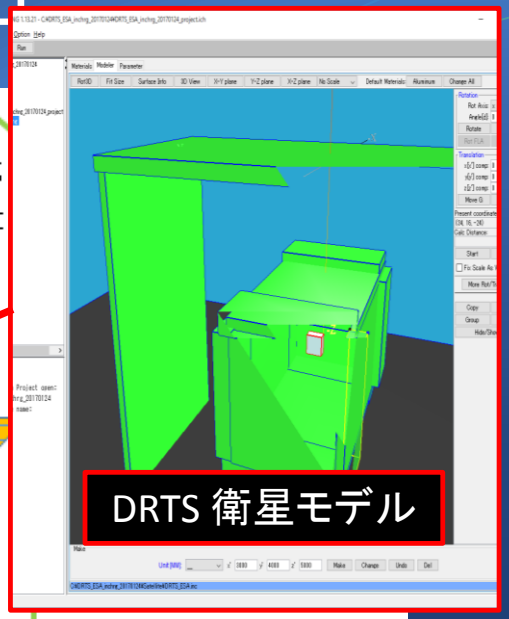
人工衛星のスペックを含めた「テーラーメイド宇宙天気」

テーラーメイド
スペースウェザー



JAXA 衛星搭載機器開発
衛星設計への反映





個々の衛星形状モデル

観測・シミュレーションによるジオスペースの現況把握（観測）及び予測（シミュレーション）

サブストーム粒子
密度・温度・圧力

放射線帯電子
フラックス

NICT 宇宙天気応用研究
予警報業務

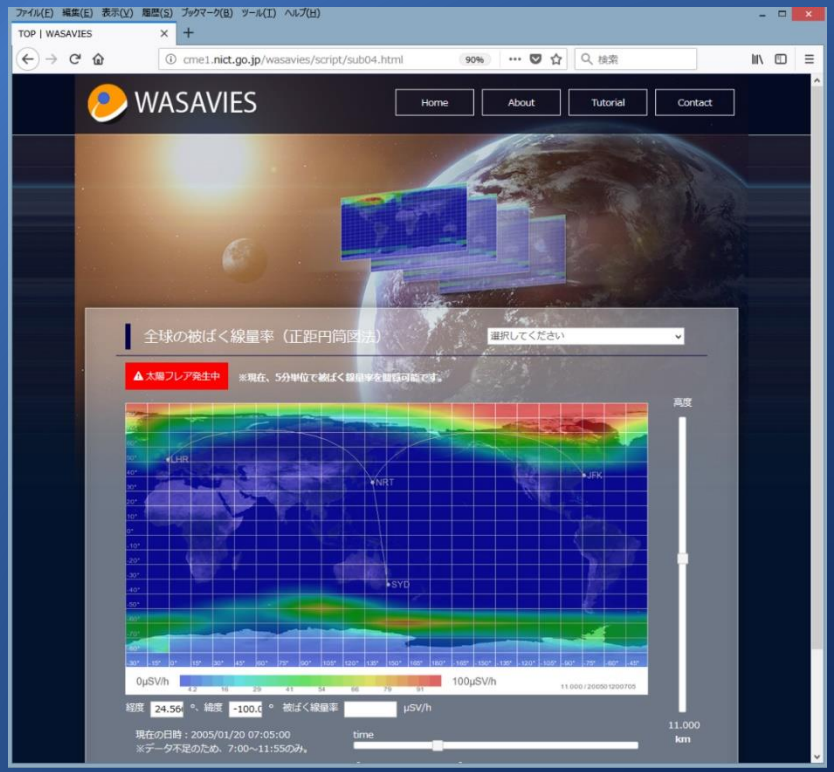
衛星帯電モデル
MUSCAT（表面帯電）

衛星帯電モデル
（深部帯電）

個々の衛星に
対する
具体的なリスク
情報

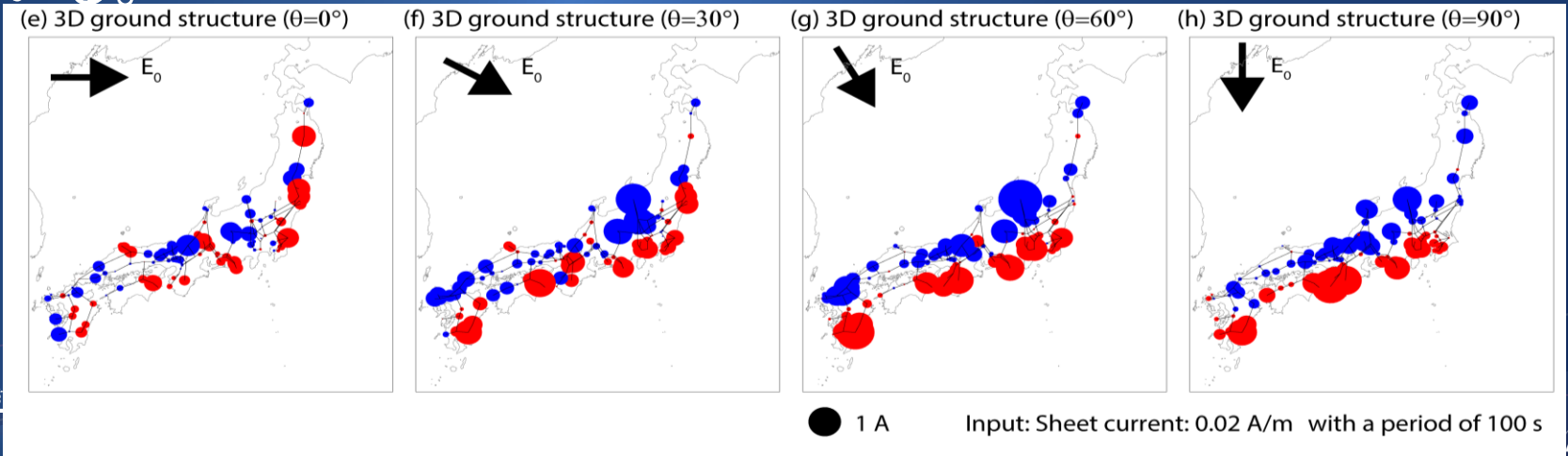
航空機・ISS被ばくシステムの開発

- 大規模な太陽フレアによる高エネルギー粒子照射時に、航空機および宇宙ステーションでどの程度の被ばくを受けているかを推定する
- 航空機については現在日本発米国東海岸、欧州および豪州航路について計算可能。今後必要に応じて追加可能。今年度公開予定。
- ISSについては現在基本的モデル開発完了。



電力網への影響推定

- 公表されている電力網の情報に、わが国特有の地質組成構造と海洋の効果を取り入れ、特定の電場の際の地電流を計算
- 従来の見解：わが国は中緯度に位置するため電力網への影響は無視できるレベル
- 今回の結果：電場の向きによっては海岸沿いに大きな電流が流れる可能性あり
- システムに対してCriticalかどうか、事業者と検討する準備をしている。



ハザードマップ準備状況

極端宇宙天気に対する我が国独自の「ハザードマップ」が必要

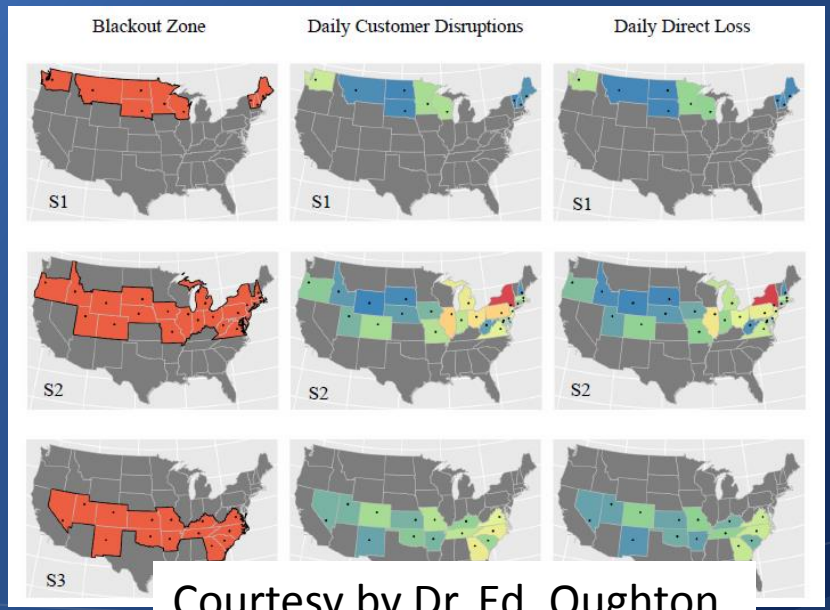
現在想定する構成

第1部: 宇宙天気現象が社会に与える定性的影響について → 第2部:定量的影響の議論 → 第3部: 災害のリスクマネジメントおよび減災シナリオ

終了

現状の課題

- 災害のリスクマネジメントを我が国の宇宙天気インパクトに適応する方策
- 専門家との議論を開始



Courtesy by Dr. Ed. Oughton

宇宙天気ユーザー協議会

- 宇宙天気ユーザーズフォーラム：宇宙天気情報の正しい使い方をお知らせすると共に最新動向を紹介
- 宇宙天気ユーザー協議会：ユーザーとの双方向の議論を通じて以下の推進
  - ニーズ・シーズマッチング
  - コンテンツの試用・フィードバック
  - 国際動向への意見の反映

入会ご希望の方はお知らせください

まとめ

- 宇宙天気に関する関心は日々高まってきており、特に実利用への展開が活発になってきている。
- 国際的な動向でも、ICAOにおける宇宙天気の航空運用への利用義務化の議論が大詰めを迎えている。
- 米国・国連を中心に、極端宇宙天気現象発生時の対策の検討が進められている。
- また、米国では民間での宇宙天気R&Dの活動が活発になっている。
- わが国では、大学・国立研究機関の連携を中心に基礎研究から実利用に向けた成果展開が行われている。
- 今後、わが国でも宇宙天気関連のビジネス、民間R&Dの展開が活発になる可能性がある。その具体的な方策等について、フォーラムおよび協議会を通じて検討していきたい。