



National Institute of Information and Communications Technology

2017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

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

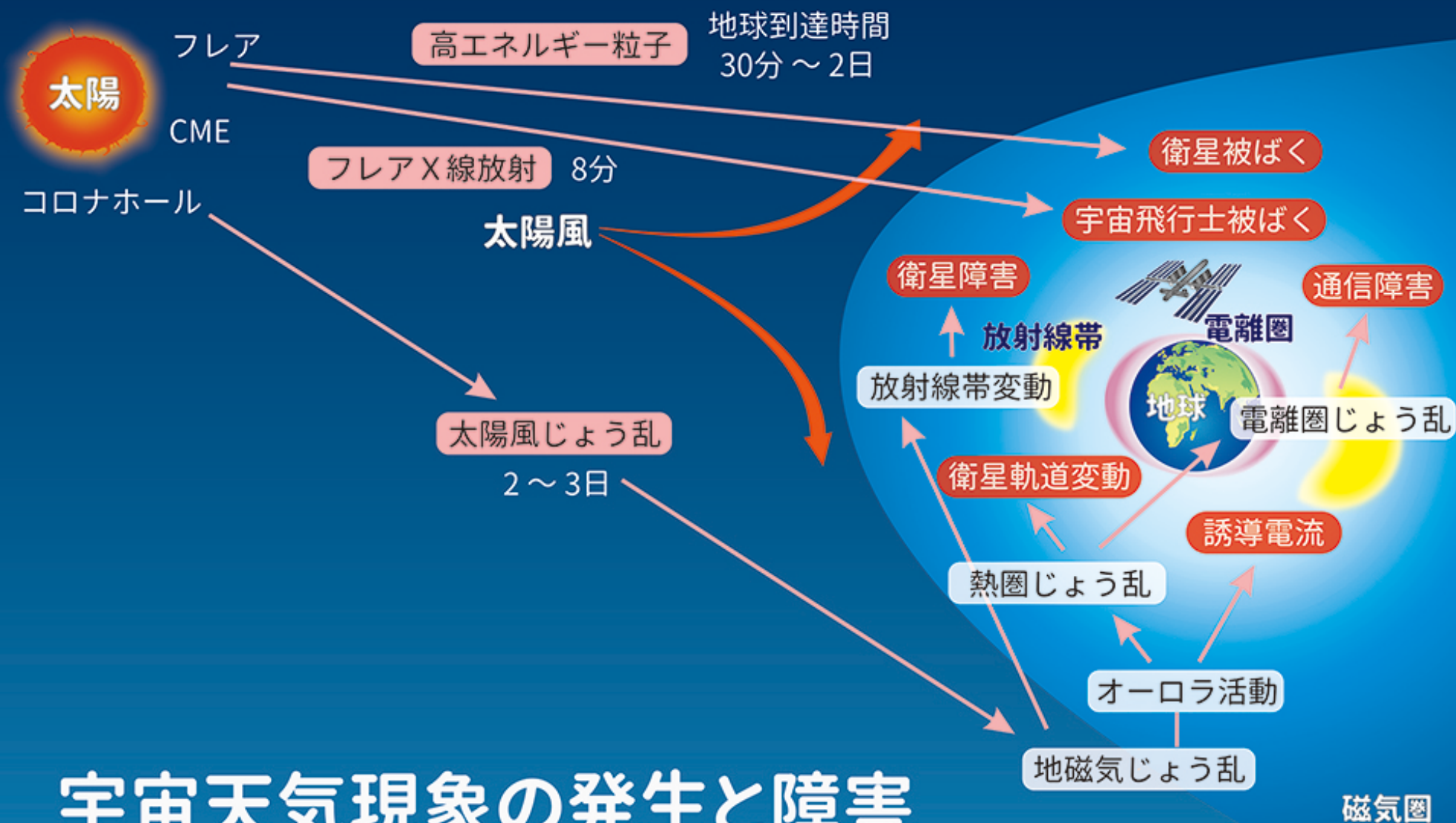
What is “Space Weather?”

「宇宙天気」とは？



太陽真形 圖を映太陽真形和蘭書中載る所者ヲ以テ撰刻ス
 ○日時升ミ下ス時當テ海邊ヨリ遠日鏡ヲ以テ之ヲ觀ニ波濤ノ風ニ激スルヲ見ガ
 如ニ炎々ト燃ル其焰森々ハ日邊ノ氣ノ旋ルヲ見ル予之ヲ考ルニ地ノ氣係テ圓タル
 旋ガ如ニ必ズ北風ハ右ノ方ニ動キ南風ハ左ノ方ニ動ク故ニ日中ノ天ニ麗ス
 旋ル形ヲ見ズ和蘭圖ニ所ノ形ノ如キハ甚タ精製ナル遠日鏡ニ非ザレハ真形ヲ
 得ズ

太陽真形図 銅版筆彩

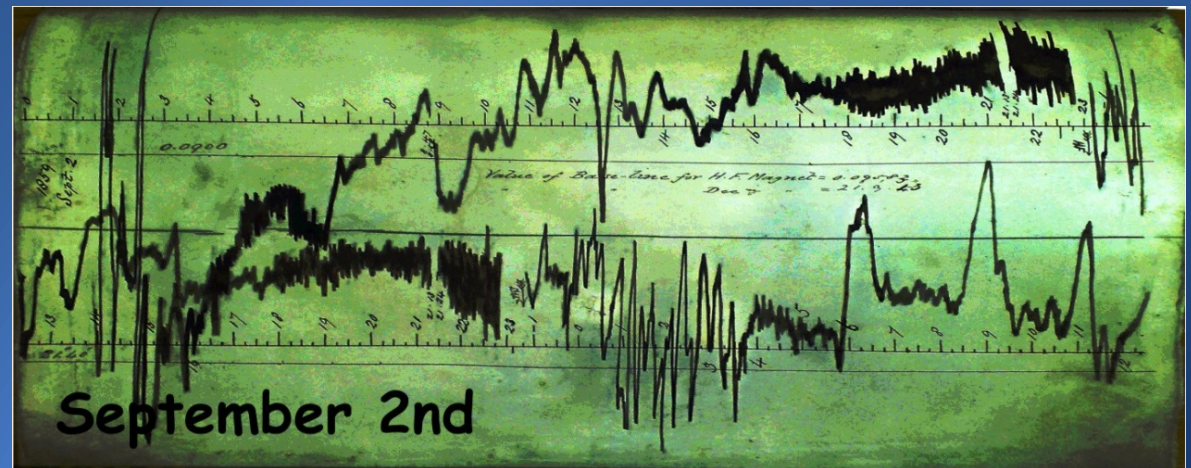


宇宙天気現象の発生と障害

磁気圏

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)



- 送電線が帯電
- 電信オフィスが発火
- 非常に明るいオーロラが発生し、夜でも新聞が読めた

今も起こるキャリントン級の爆発

ScienceDaily®

Your source for the latest research news

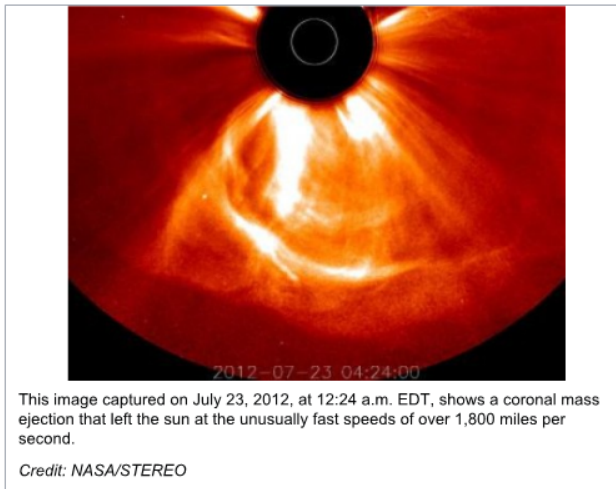
Fierce 2012 magnetic storm just missed us: Earth dodged huge magnetic bullet from the sun

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.



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・澳	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.

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。

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に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ー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

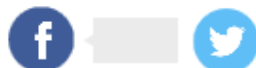


Patrick Poendl/Shutterstock.com

Europe is preparing its railways for extreme space weather

The solar flares are coming.

DAVID NIELD 22 DEC 2015



The last time there was a solar flare large enough to significantly affect life on Earth, [it was the year 1859](#). Fortunately, our technology wasn't advanced enough to be affected by the massive geomagnetic disturbances caused by the flare, but if something similar were to happen today, the impact could be devastating. So

鉄道網への影響

Space Weather Workshop 2017 (5月1日～5日、Broomfield, Co.)において
Leslie McCormack氏講演 ATKINS(政策コンサルタント)

宇宙天気現象の鉄道網への影響

- 電力供給
- 信号機トラブル
- 車両: 架空式電車線路に流れる直流電流による過熱
- GNSS損失



International and Domestic Activity for Space Weather

宇宙天気に関する国際および国内 動向

米国は

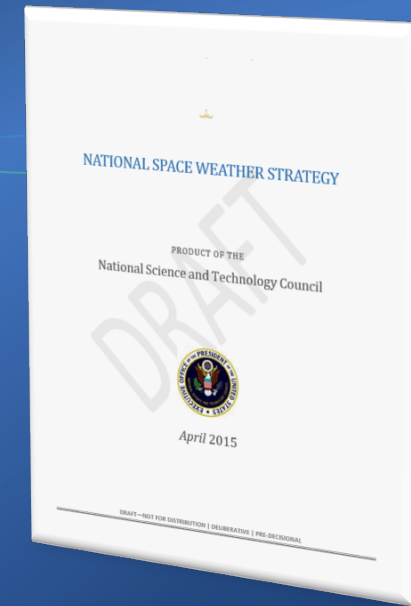
宇宙天気を地震や津波と並べ、米国戦略的国家危機評価
(US Strategic National Risk Assessment)の一つとして検討

Threat/ Hazard Group	Threat/Hazard Type	National-level Event Description
Natural	Animal Disease Outbreak	An unintentional introduction of the foot-and-mouth 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



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”

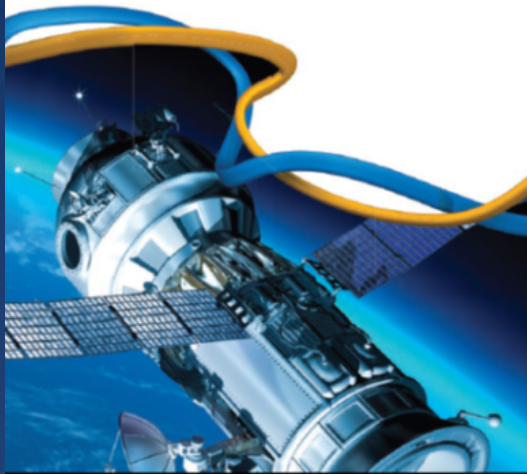


“Space Weather as a Global Challenge-2”
における講演模様(米国イタリア大使館)
2017年5月18日

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



Extreme space weather:
impacts on engineered
systems and infrastructure



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

LLOYD'S



BRIEFING

SPACE WEATHER

Its impact on Earth and
implications for business



宇宙天気：その地球及びビジネス
への影響 ロイズ社

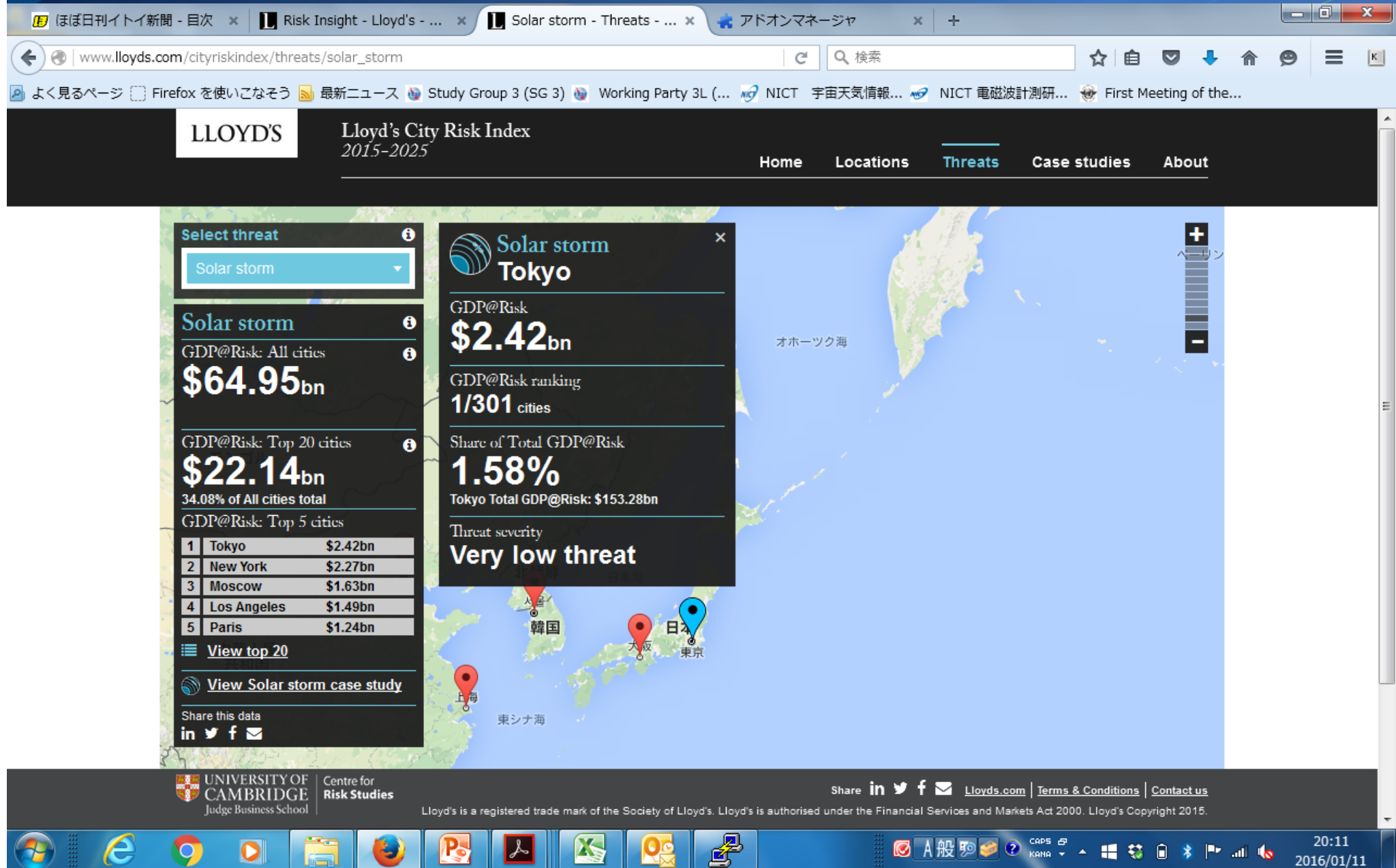
**「우주전파재난」
위기관리 표준매뉴얼**

2013. 4.

미래창조과학부

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

ロイズ社曰く、太陽嵐に最も脆弱な都市は「東京」

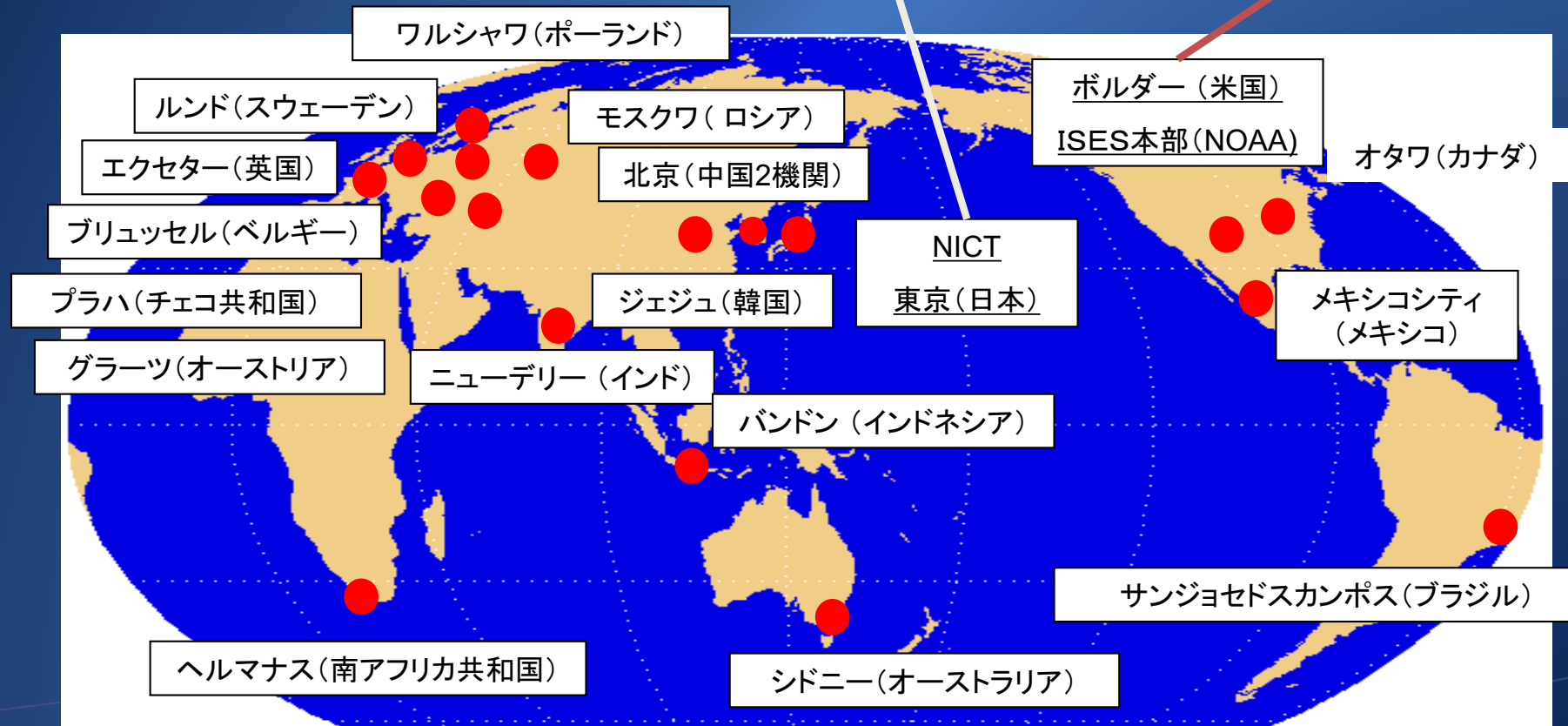


ISES: 国際宇宙環境サービス

(18か国が加盟。ESAがCollaborative Expert Centerとして参加)

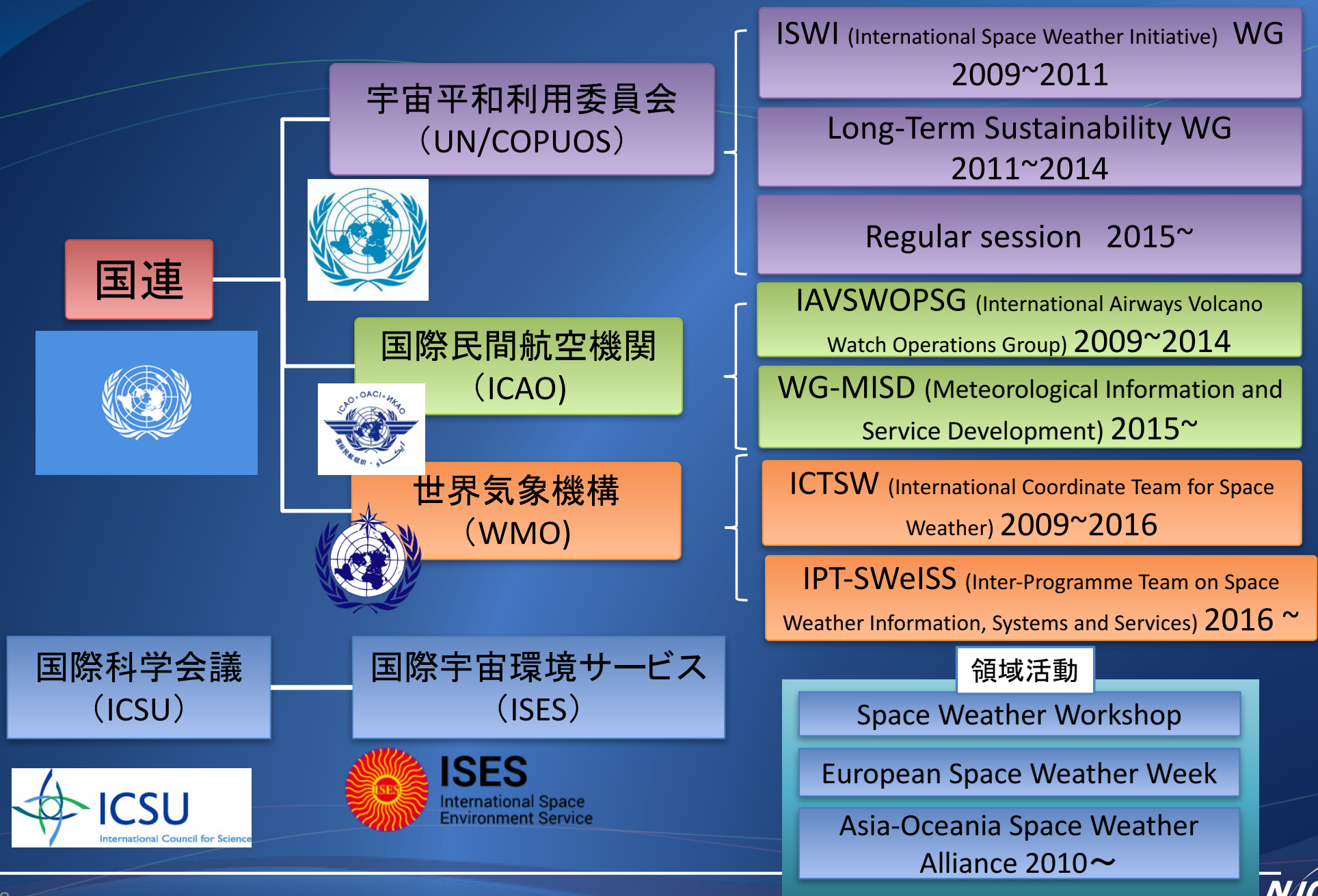
局所的電離圏観測や地磁気観測の地上観測網が充実している他、独自の宇宙天気数値予測モデル(太陽風、磁気圏、電離圏)の開発を実施。

太陽監視衛星、太陽風監視衛星、静止軌道衛星など多くの衛星を運用し、データを提供。



国際協力によって宇宙天気予報を推進。

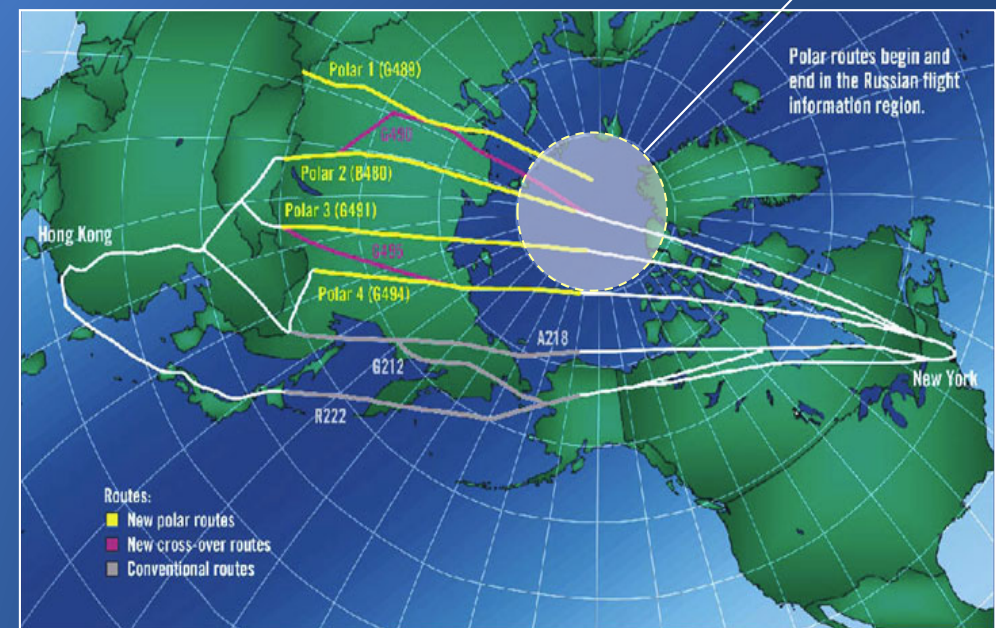
世界の宇宙天気(運用)関係組織



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(ICA0)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

短波通信のみが可能な領域



ICAOにおける文書準備スケジュール

No.	Activity	Predecessor	Due Date
3.1	ICAO/気象パネルでの承認に向けた宇宙天気情報の運用コンセプトの改訂		2016年5月
3.2	ICAO/気象パネルでの承認に向けた宇宙天気情報の品質要求	3.1	2016年6月
3.3	ICAO/気象パネルでの承認に向けた宇宙天気センター選出基準	3.2	2016年7月
3.4	ICAO第3付属書(航空気象を規定)に宇宙天気情報を追加する提案	3.1	2016年9月
3.5	宇宙天気情報マニュアルの作成	3.1 and 3.2	2017年9月

マニュアル以外の主要文書は2016年10月のICAO気象パネルにおいて承認済み

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	2018年7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7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

Recent Space Weather condition

最近の宇宙天気状況

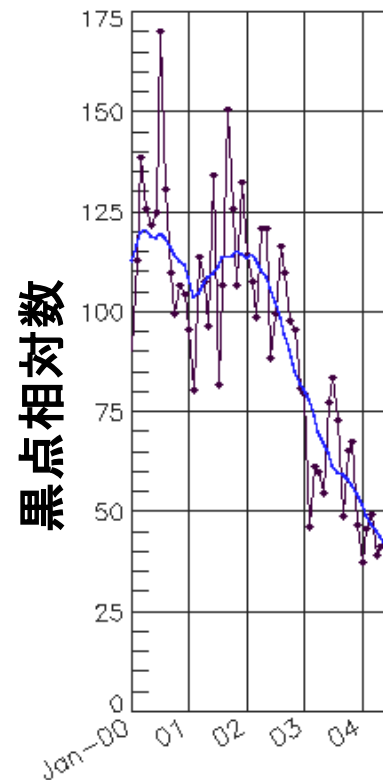
太陽活動の現状

太陽黒点

2015年1月1日の太陽

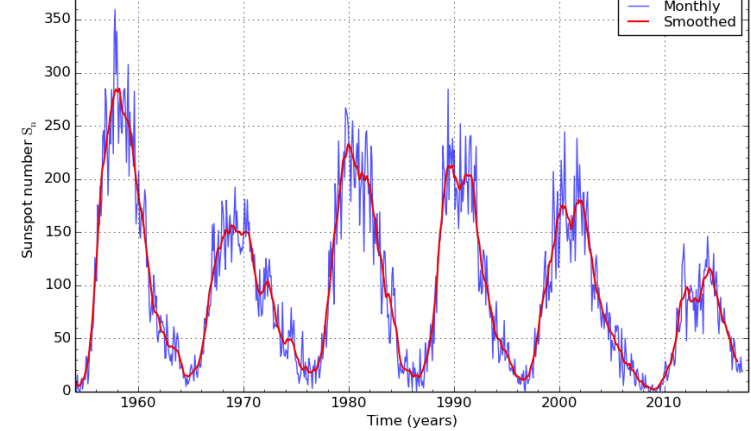
2017年1月1日の太陽

ISES Solar



Updated 2017 Jul 3

International sunspot number S_n : monthly mean and 13-month smoothed number



SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2017 July 1

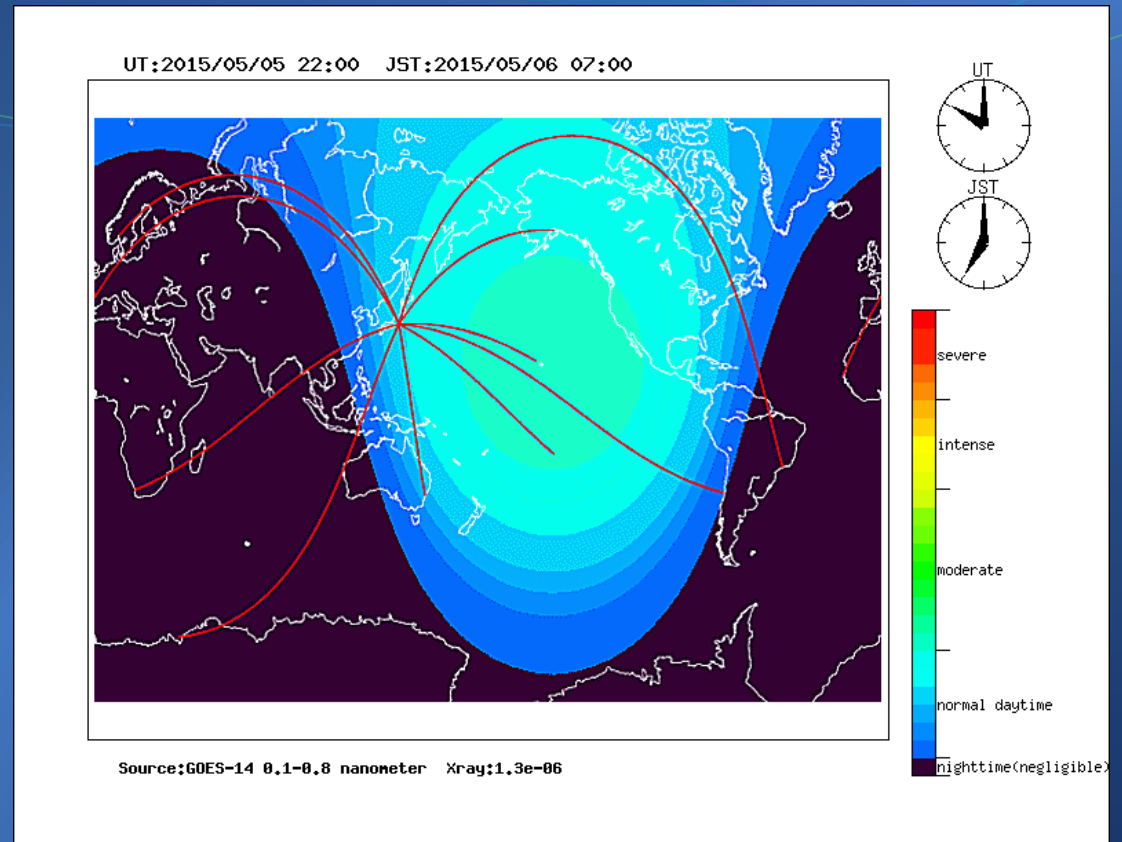
Smoothed Monthly Values Monthly Values Predicted Values (Smoothed)

NOAA/SWPC Boulder, CO USA

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

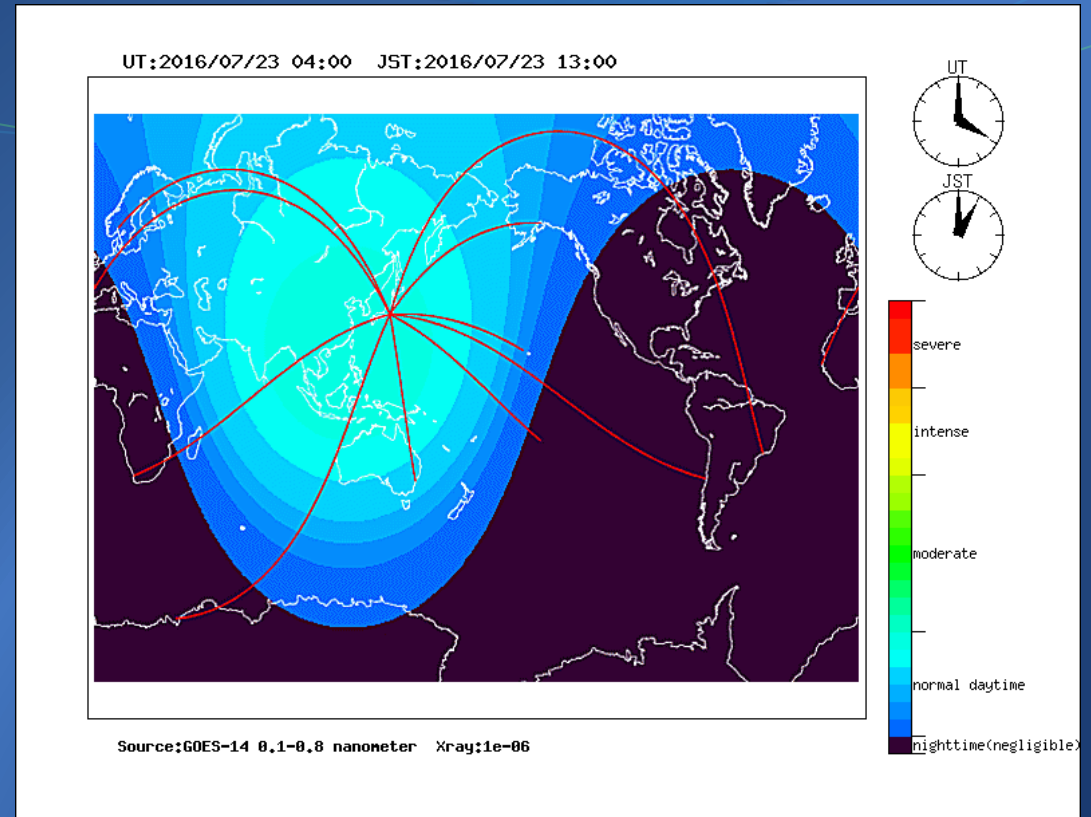
発生日	発生時間	原因となった フレアの規模
2015/01/13	4:30-5:15	M5.6/2B M4.9
2015/01/30	0:45	M2.0
2015/01/30	5:45	M1.7
2015/02/04	2:15	M1.2/2N
2015/03/03	1:30-1:45	M8.2/SB
2015/03/06	4:15-4:30	M3.0 LDE
2015/03/07	22:15-22:45	M9.2 LDE
2015/03/09	23:45-0:00	M5.8/2N
2015/03/10	3:30	M5.1/2B
2015/03/14	4:45	M1.3
2015/03/17	23:45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

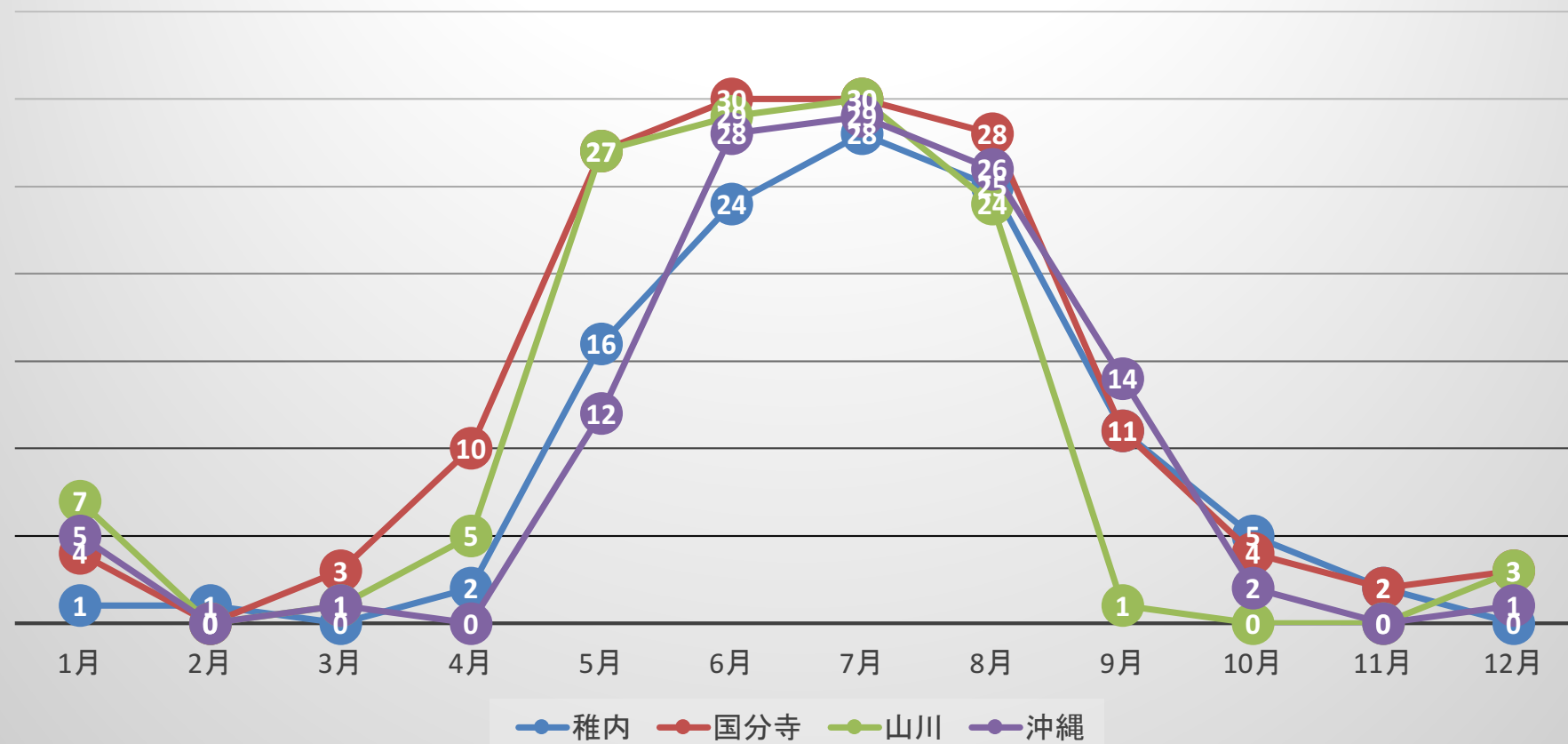
発生日	発生時間 (日本標準時)	原因となった フレアの規模
2016/04/18	9:30	M6.7/1F
2016/07/23	5:15	M7.6
2016/07/24	6:15	M2.0/SF



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

2015年のスポラディックE発生日数

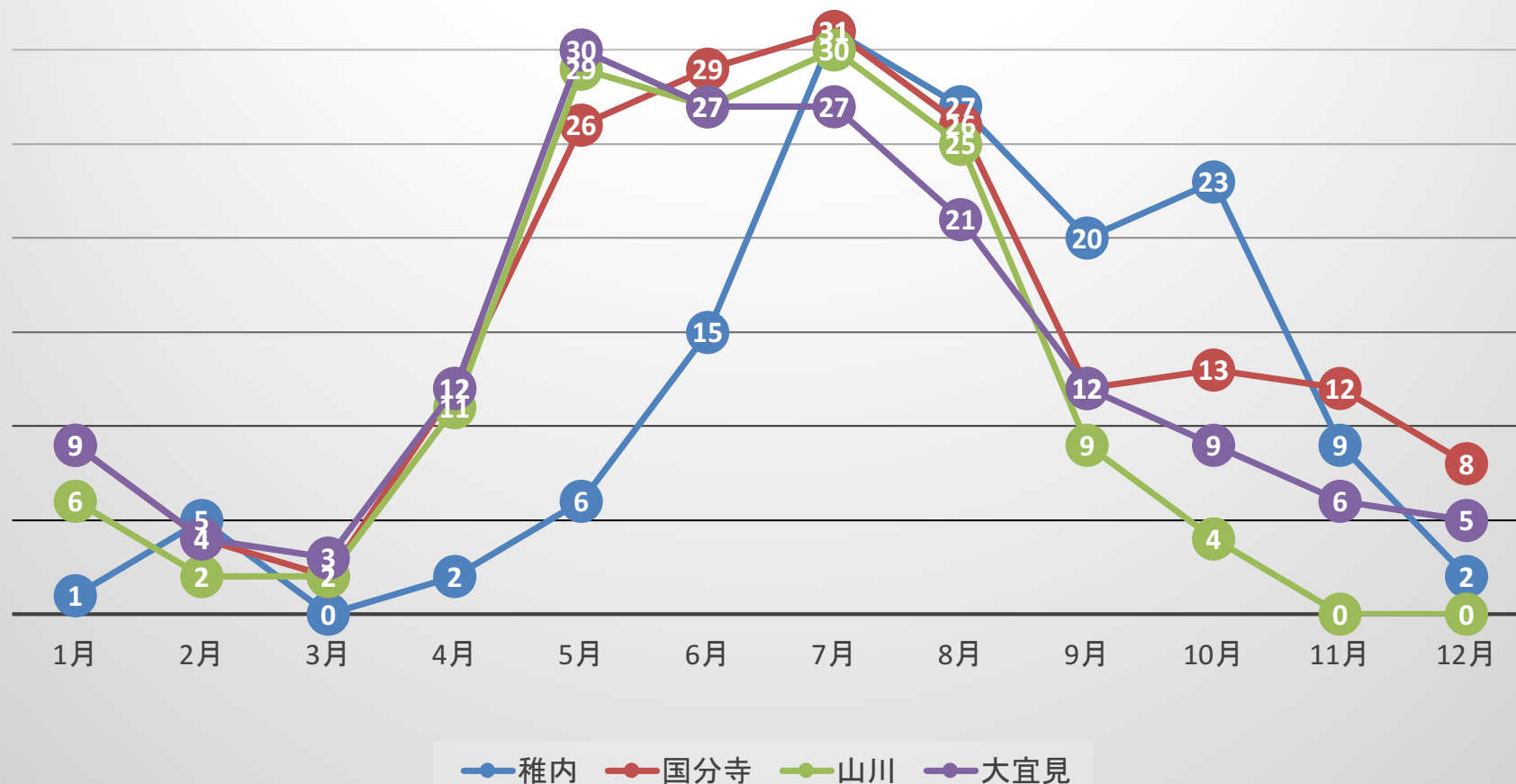
スポラディックE発生日数



山川は2015年8月31日～9月16日の間機器故障により欠測

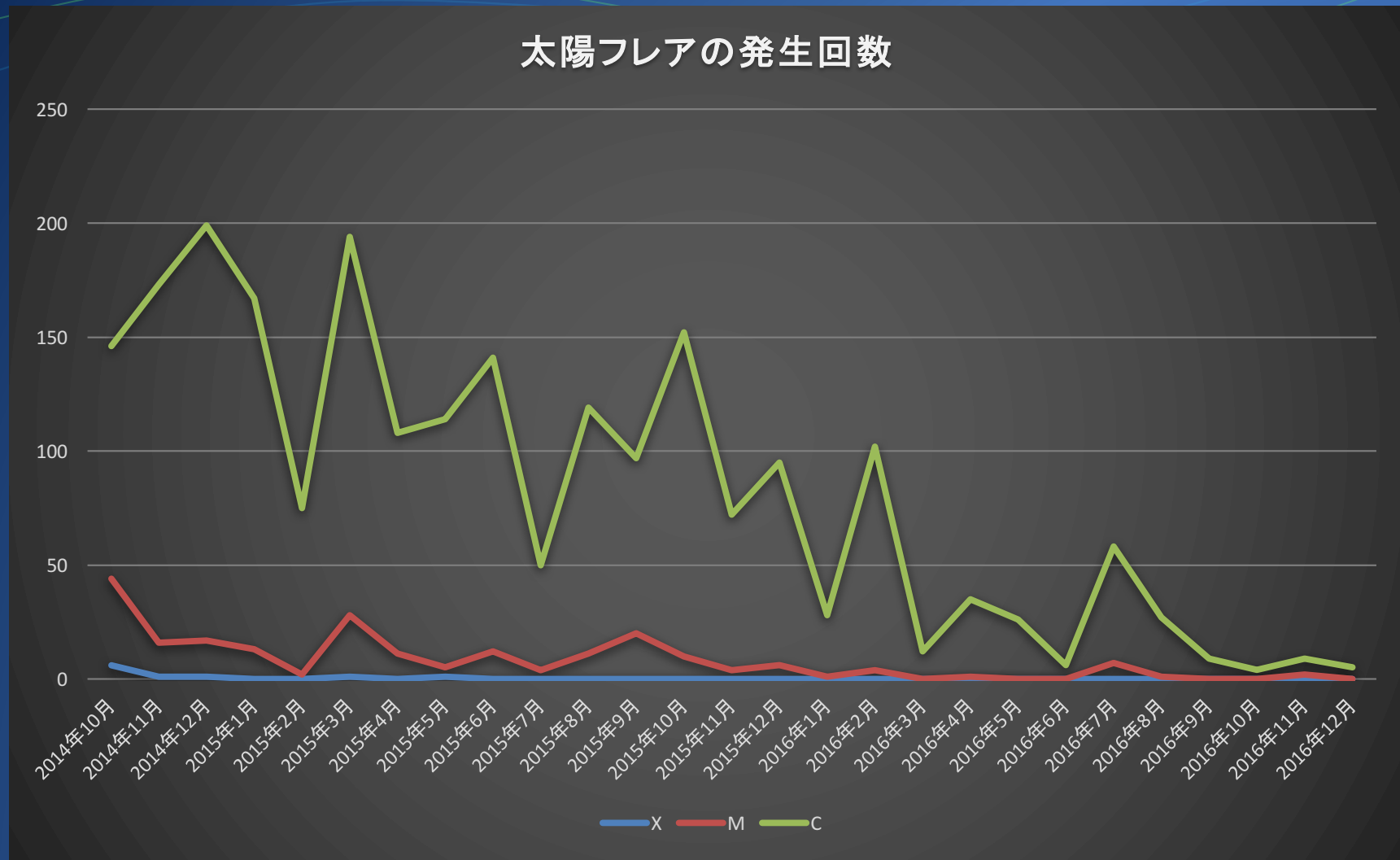
2016年のスポラディックE発生日数

スポラディックE層発生日数

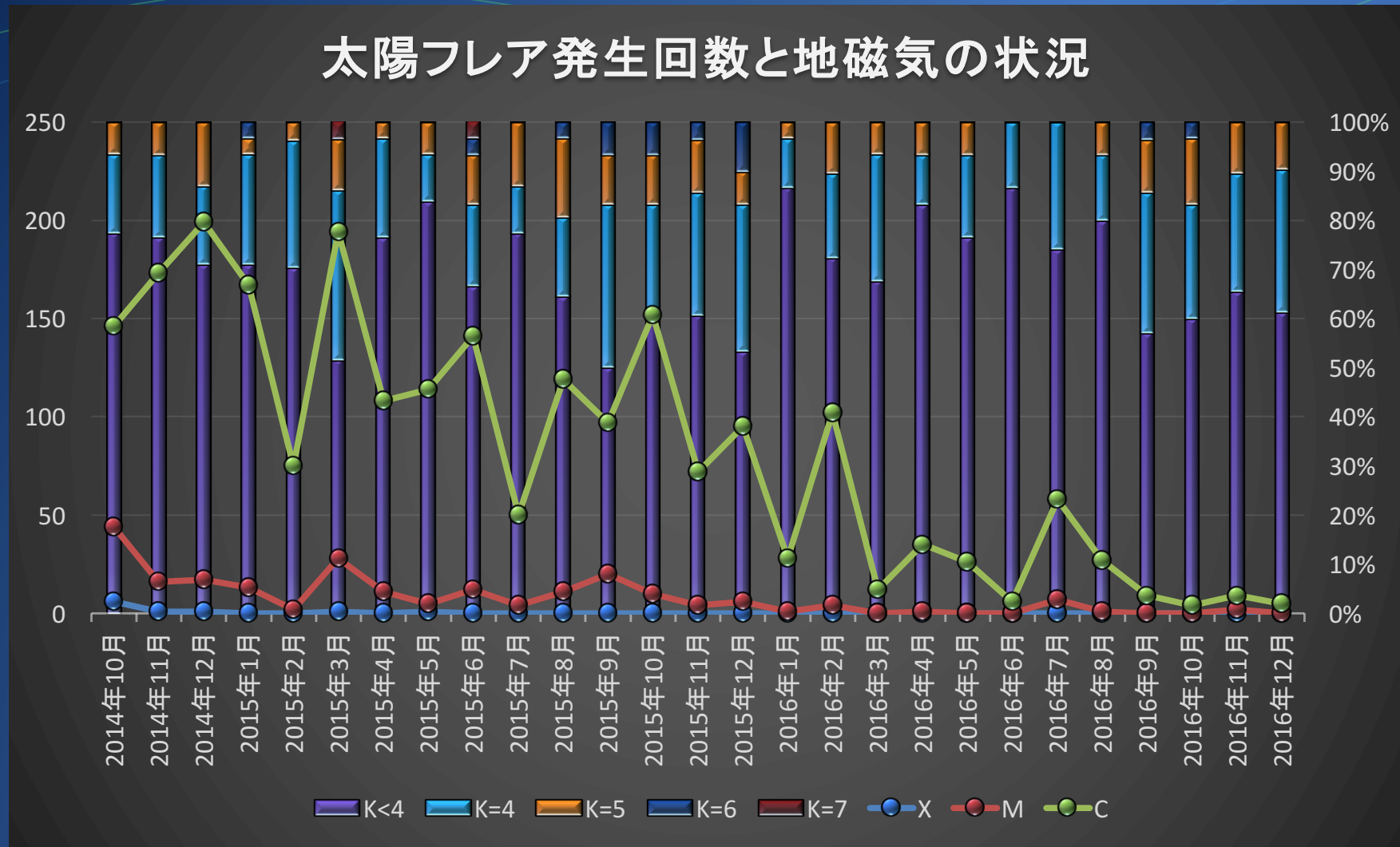


稚内は2016年5月13日~19日、山川は2015年10月21日~12月31日、
大宜見は12月2日~5日の間機器故障により欠測

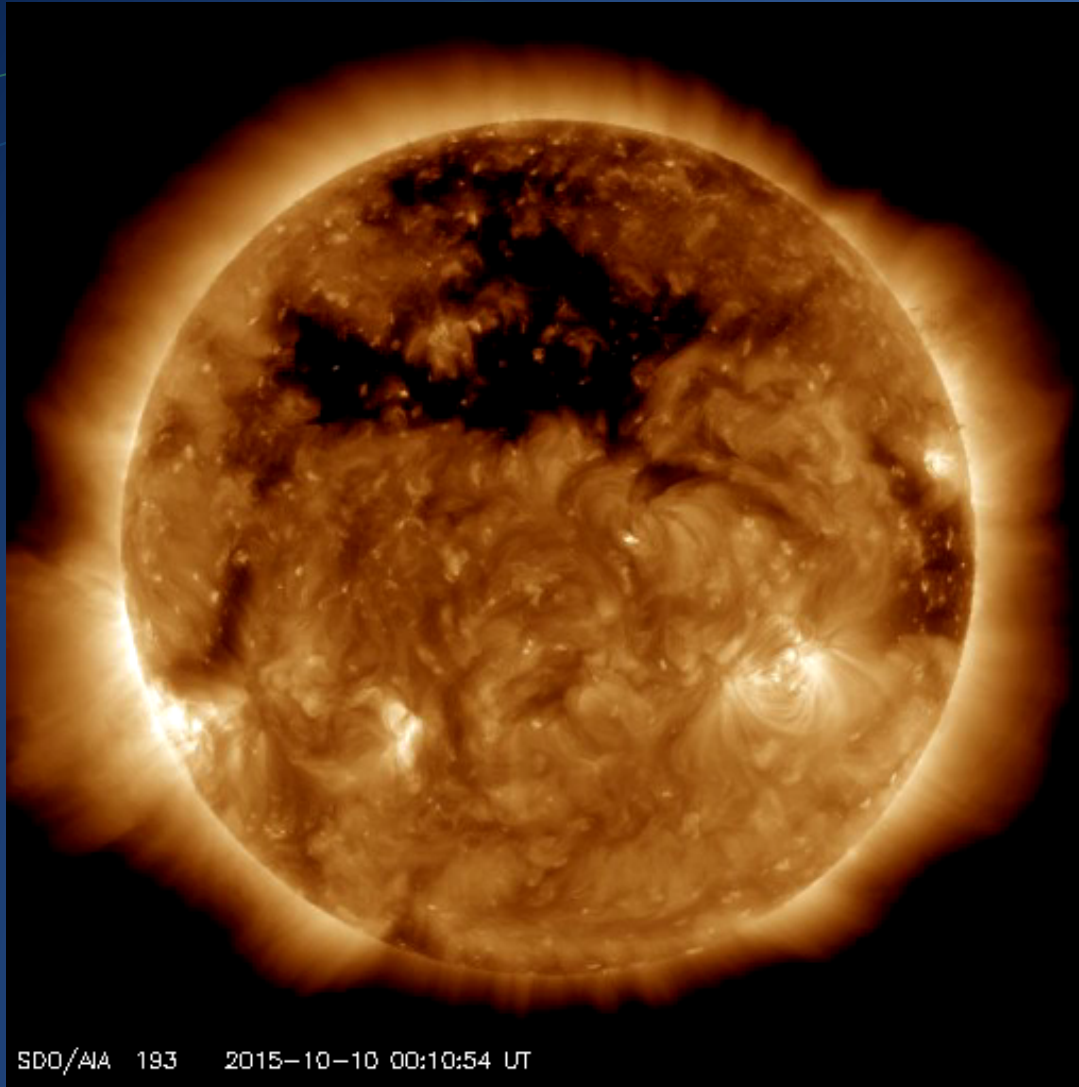
太陽フレアの発生回数



太陽フレア発生回数と地磁気の状態

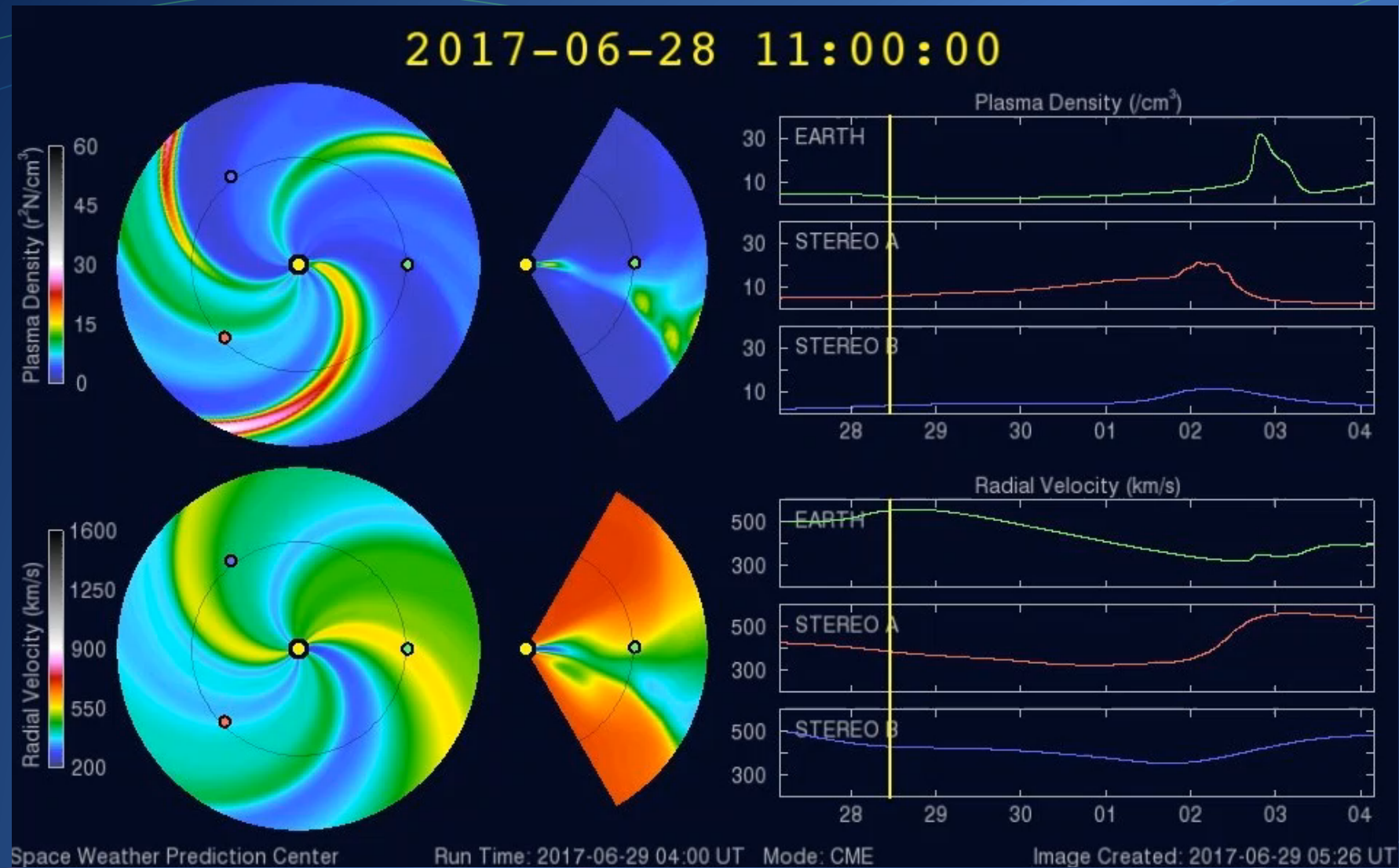


もう一つの太陽風擾乱のもと

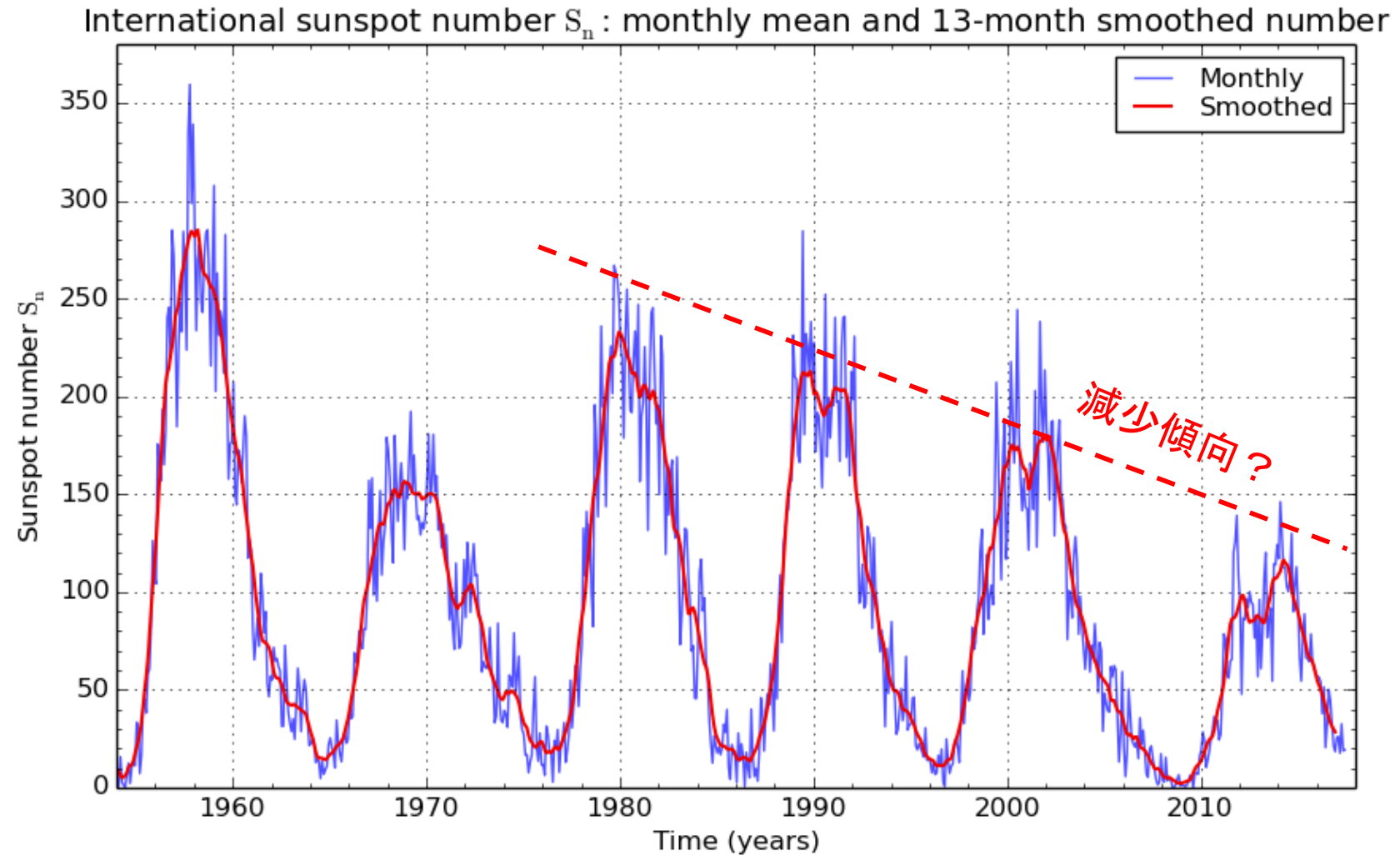


- 強い太陽風(太陽嵐)の源として太陽フレアから発生するコロナ質量放出が知られているが、それとは別に定常的に強い太陽風が噴き出す場所がある。
- コロナホールと呼ばれるその領域は紫外線画像では暗く映る。
- 定常的に噴出された強い太陽風は太陽の自転によりスパイラル構造を持つ。

太陽風予測モデル



太陽活動周期



SILSO graphics (<http://sidc.be/silso>) Royal Observatory of Belgium 2017 July 1

次の太陽活動極大は

サイクル24の予想リスト

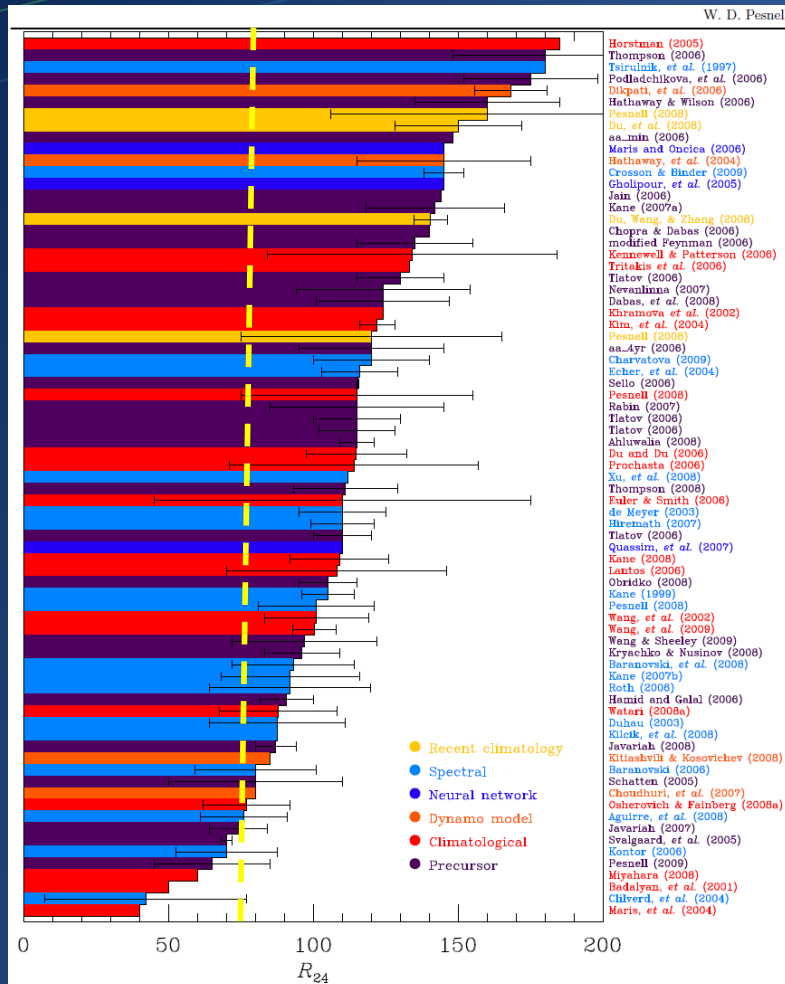
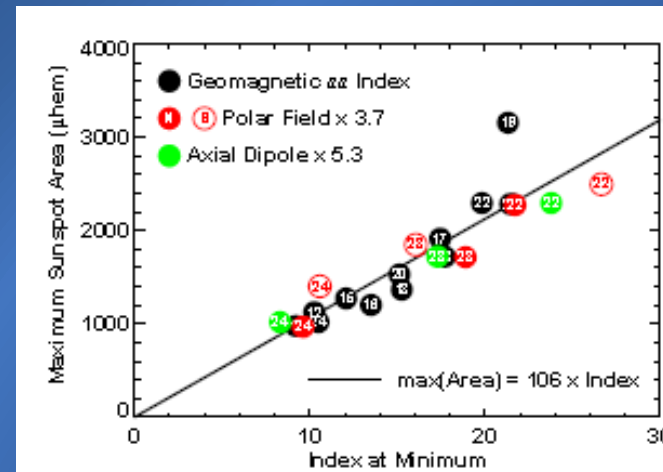


Figure 3. The predictions from Table 2, plotted in order of decreasing predicted maximum for Cycle 24. The prediction categories are color-coded as in the legend. Compared with Pesnell (2008) the distribution now appears to have an excess of low-amplitude predictions.

Pesnell, 2012

予想の成績の良い方法として、前回の太陽活動極小期の極磁場から推定する手法が挙げられる。



Hathaway and Upton, 2016

Recent NICT Activity for Space Weather

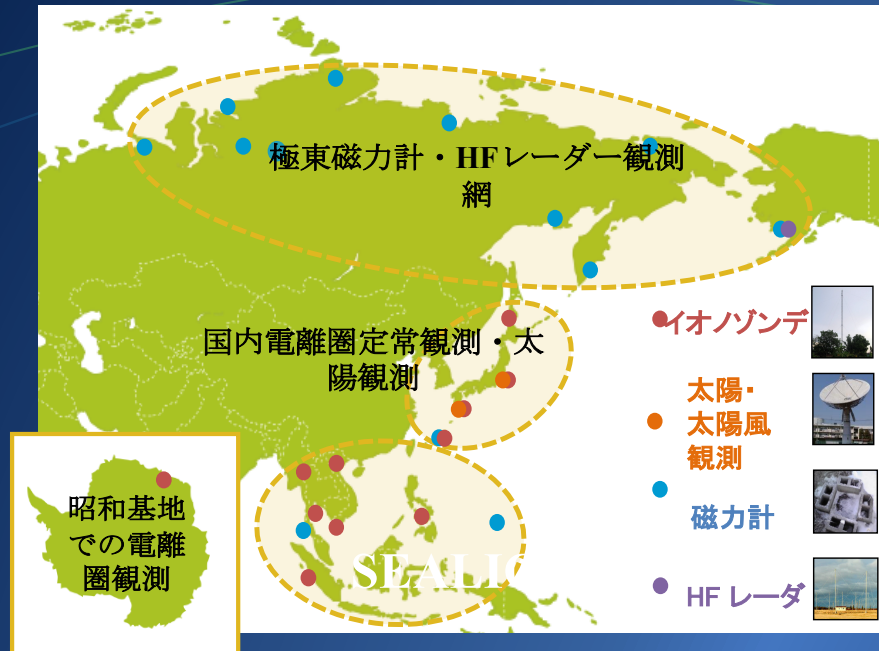
宇宙天気に関する最近のNICTの活動

NICT宇宙天気予報センター

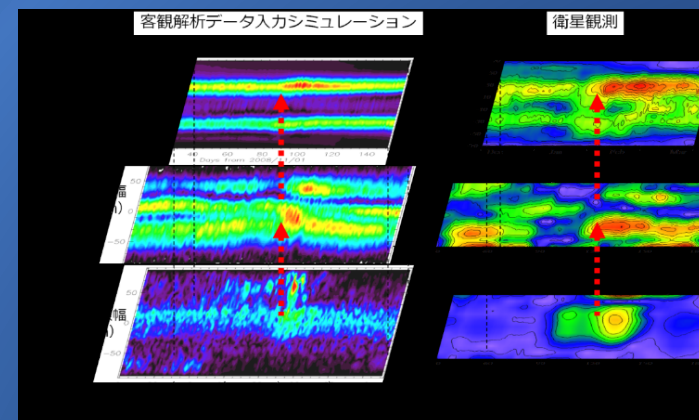
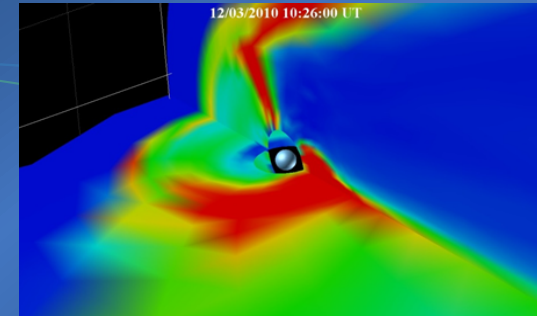


国内の主なユーザ: 衛星運用機関、航空関係機関、
電力事業者、短波利用機関、物理探査事業者、
大学・研究機関等学術機関、アマチュア無線 等

NICT宇宙天気予報のための技術



宇宙天気観測網



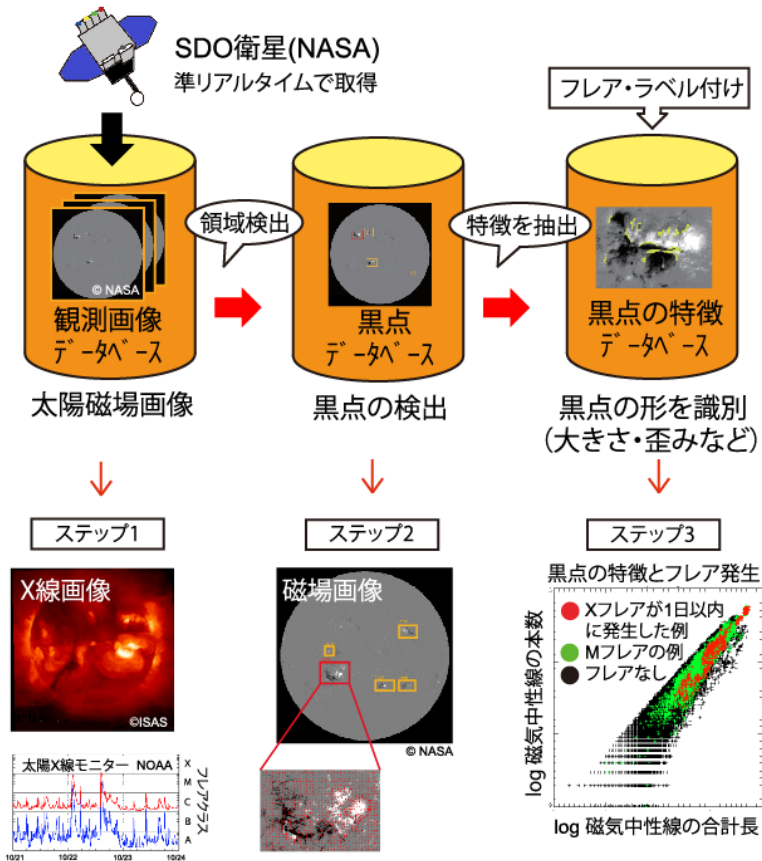
宇宙天気シミュレーション技術

NICT宇宙天気予報技術の優位性

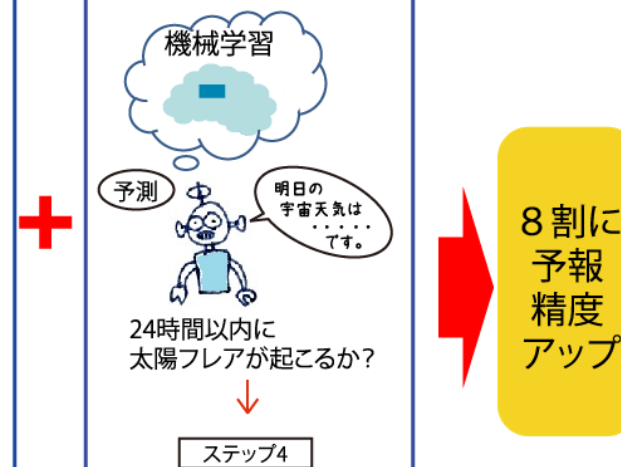
- 西太平洋をカバーする観測網：領域最大のネットワーク
- 世界トップクラスのシミュレーション技術：GAIAモデルは世界で唯一の優位性
- AIによる経験モデル開発：すでに一部は実用化

AIを用いた太陽フレア発生予測

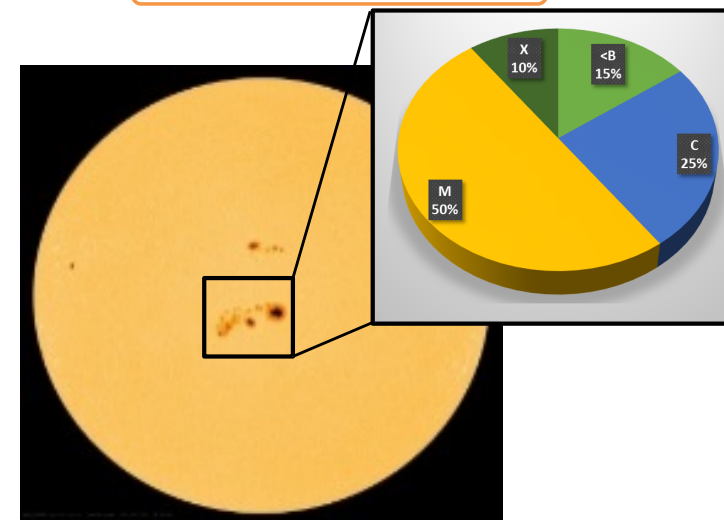
<< 太陽研究の手法 >>



< 機械学習 > の手法

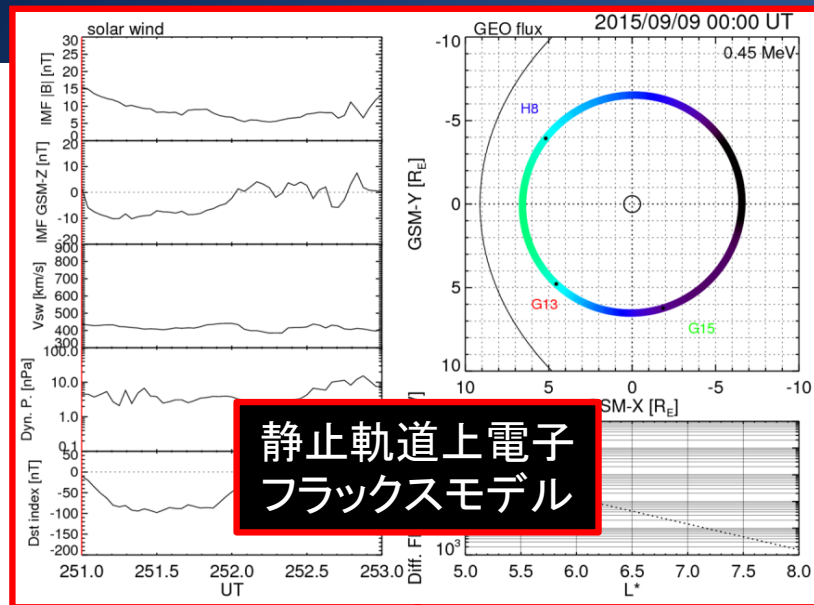


フレア発生確率予報

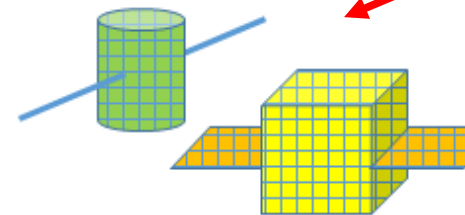


将来は、黒点群ごとにフレアの発生規模予測が可能になる

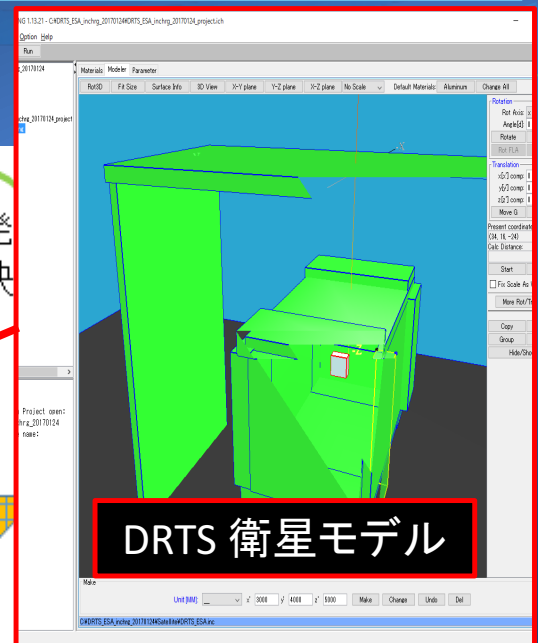
人工衛星のスペックを含めた 宇宙天気予報「テラーメイド宇宙天気」



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)

NICT 宇宙天気応用研究
予警報業務

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

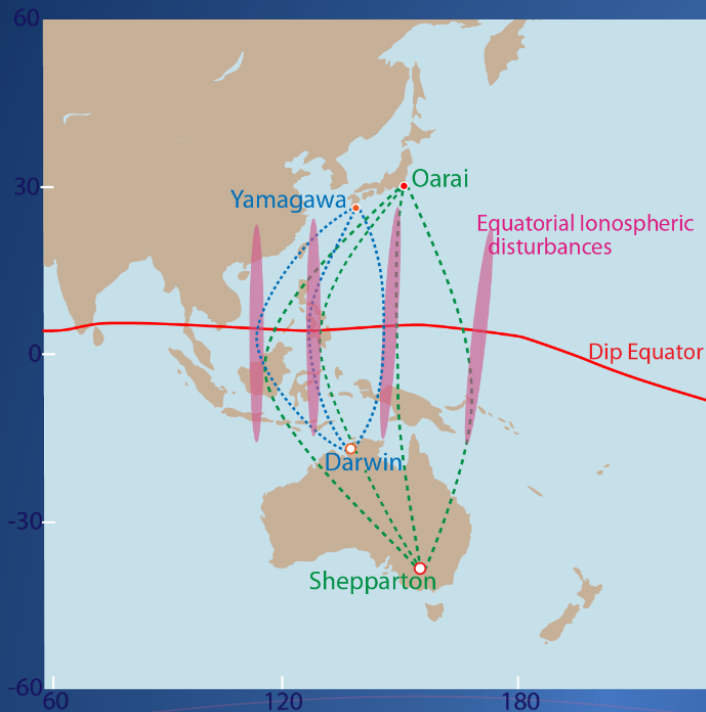
衛星帯電モデル
MUSCAT(表面帯電)

衛星帯電モデル
(深部帯電)

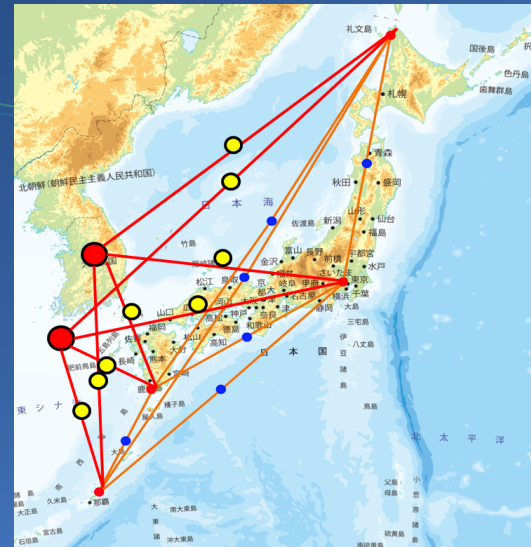
個々の衛星に
対する
具体的なリスク
情報

海上電離圏観測

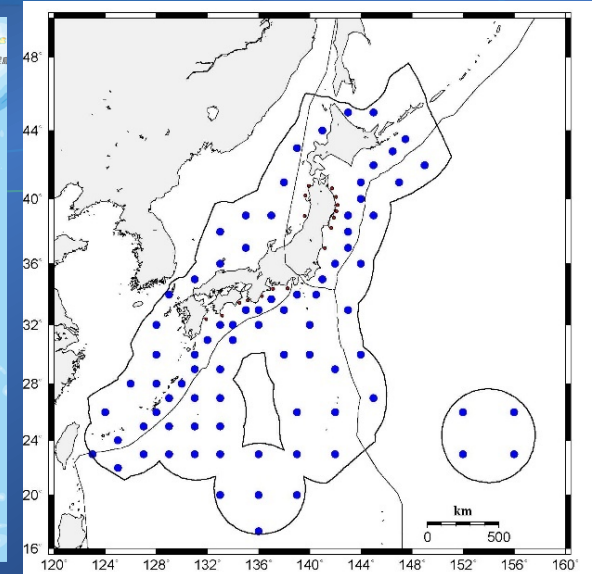
- 観測点がほぼ皆無の海上電離圏をどのように観測するか
 - 赤道越え電波伝搬観測
 - 斜め伝搬観測
 - 海上ブイ
- 得られたデータは NICTで開発している全球モデル“GAIA”により補完



赤道越え電波伝搬観測による
海上電離圏擾乱の把握



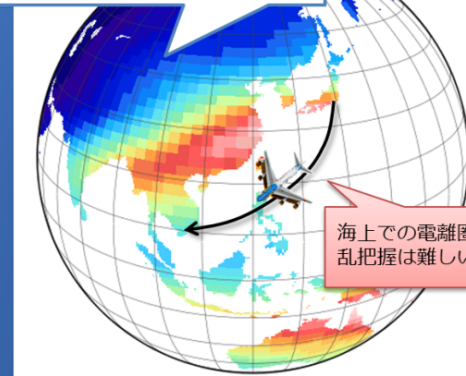
電離圏斜め伝搬観測



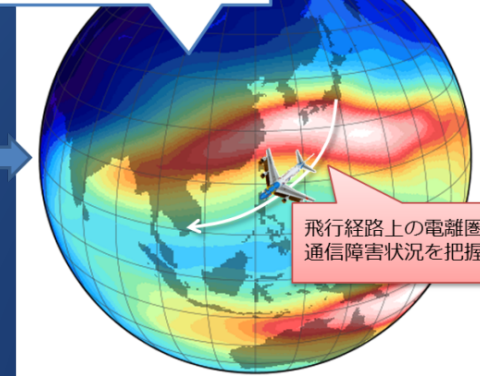
海上GNSSブイによる
電離圏観測

全球大気圏－電離圏モデルを利用したデータ同化のイメージ

リアルタイム電離圏観測（GPS-TEC、イオノゾンデ等）域の拡大

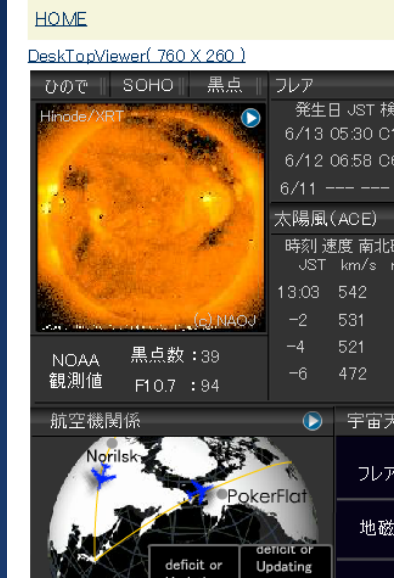


電離圏観測+全球シミュレーション（データ同化の実施）



- 全球モデルとの融合により、電離圏観測の空白領域を埋めることが可能となる。
- 観測データを同化することにより、全球モデルの再現精度が向上する。

情報発信





太陽地球圏環境予測

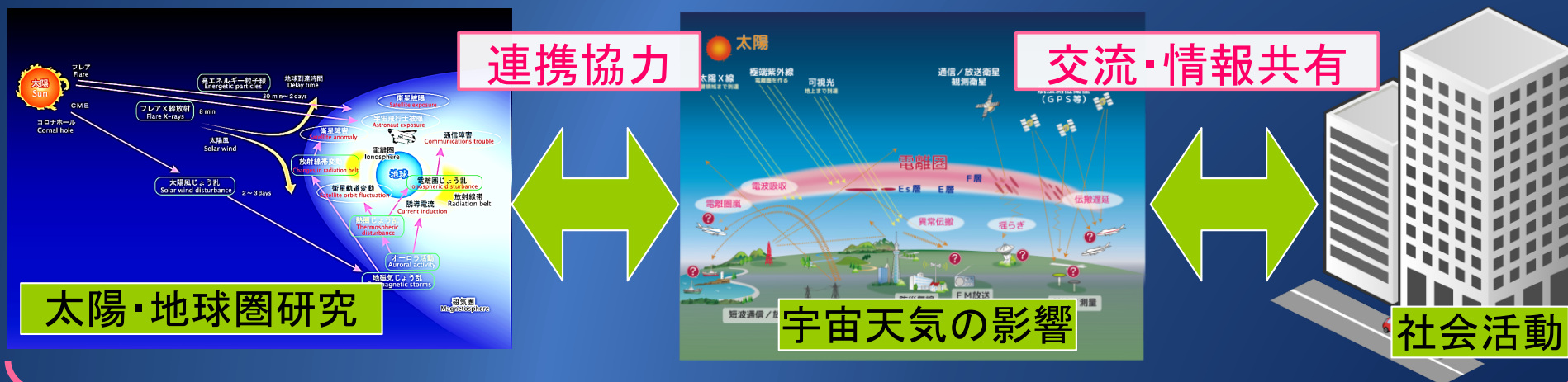
我々が生きる宇宙の理解と
その変動に対応する社会基盤の形成

課題

- 高度ICT社会に対する宇宙天気の影響は未知数
- 次期太陽活動極大期に向けた対策が必要
- 宇宙天気情報の重要性の認識が不十分であり、社会との交流・情報共有が必要

目的

- 研究者とユーザーの情報共有を促進し、ユーザーが使いやすい宇宙天気情報を作る
- 次期太陽活動極大期に向けた日本独自のハザードマップを構築する



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

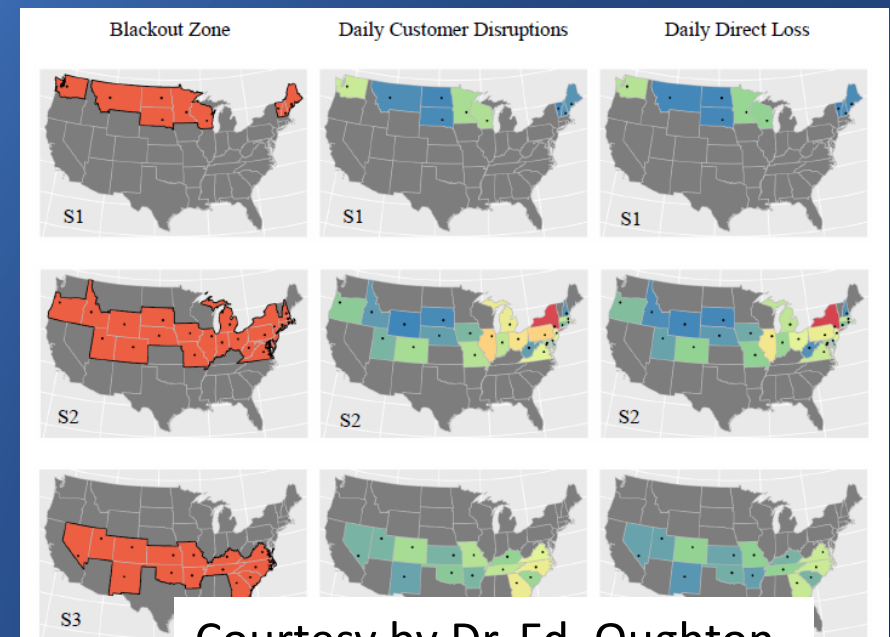
第3部: 災害のリスクマネジメントおよび減災シナリオ



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

まとめ

- 太陽活動は2013年頃をピークにサイクル24の衰退期に入り、2020年頃に底を打つ見込み。
- その一方で、衰退期にも地磁気嵐等大きな宇宙天気現象が起こることもあり注意は必要。
- 現在の高度ICT社会において、キャリントン級のイベントが発生した時の経済効果は莫大。米国をはじめ他国ではその対策を国家が進めている。
- 我が国の対応としては、研究者と事業者が協力し、宇宙天気現象の定量的な影響を見積もり、「正しく怖がり」適切な対応マニュアルを作成することが重要。