

2016年の宇宙天気

平成28年6月14日

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？
- 最近の宇宙天気状況
- 宇宙天気に関わる最近のNICTの活動
- 宇宙天気に関わる国際および国内動向
- 宇宙天気ユーザーニーズ調査中間報告

What is “Space Weather?”

「宇宙天気」とは？



説明しよう！宇宙天気予報とは、太陽フレアなど太陽の状態を観測して、宇宙を予報するというもの。

一体どんな予報になったのか？

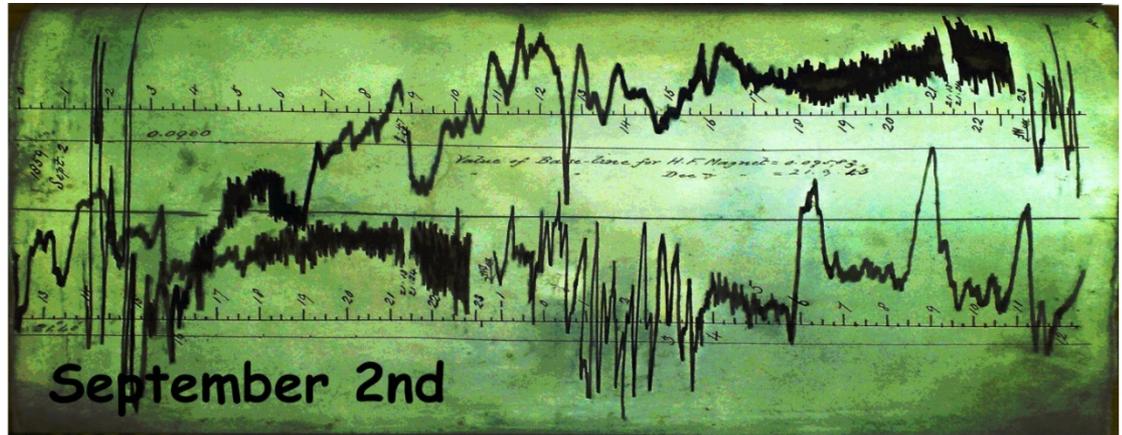
2016年6月10日(金)フジテレビ「とくダネ！」
Blogより引用



2016年6月11日 南極昭和基地のオーロラ

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

ScienceDaily
Your source for the latest research news

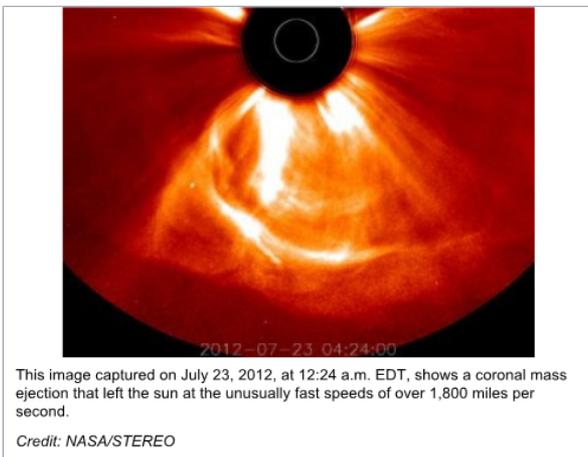
Fierce 2012 magnetic storm just missed us: Earth dodged huge magnetic bullet from the sun

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

現在キャリアトン級の現象が起こった時の経済的損失の見積もり

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

参考：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.

2012年7月23日に、キャリア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。



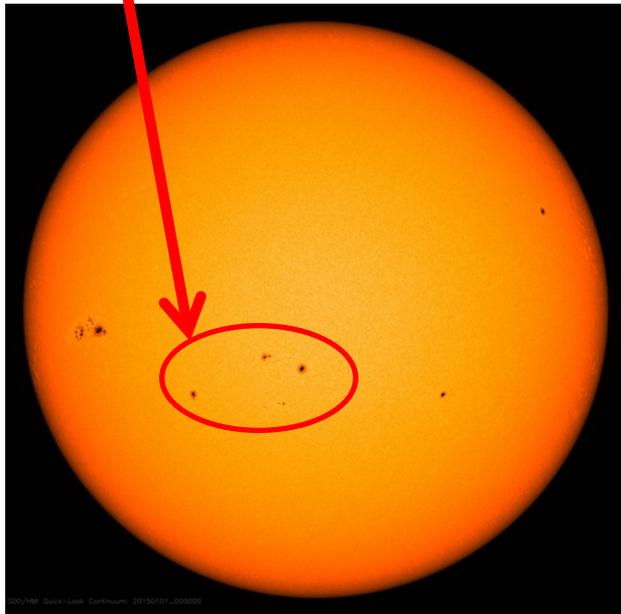
Webアクセス数: 158,057件/月
 e-mail登録数: 9,271件
 Facebook、Twitterでも情報発信

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

Recent Space Weather condition

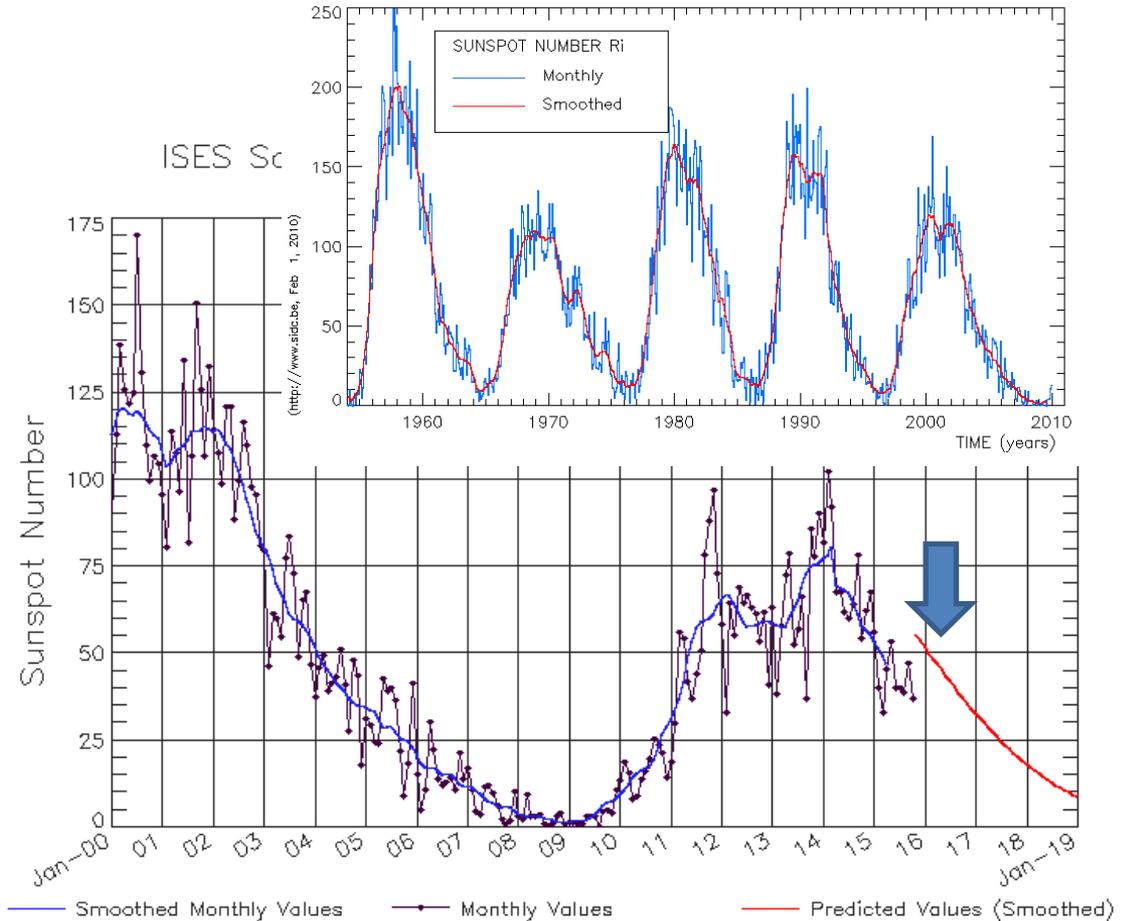
最近の宇宙天気状況

太陽黒点



2015年1月1日の太陽

黒点相対数



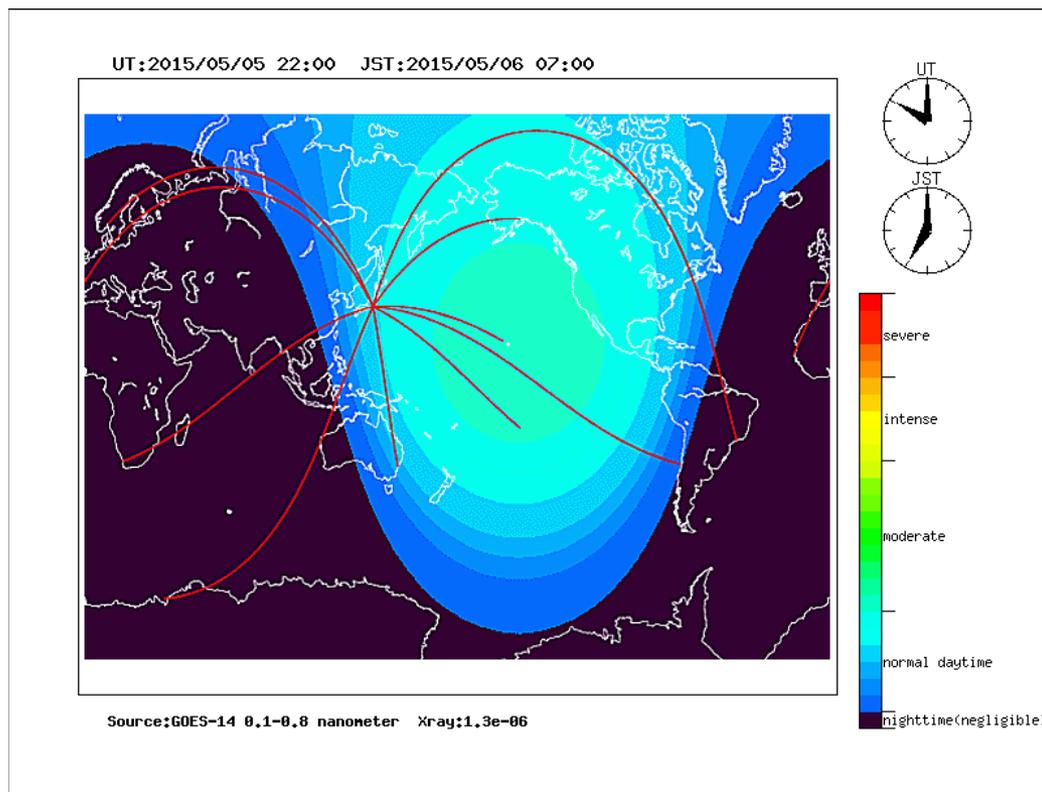
Updated 2015 Nov 9

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)

デリンジャー現象

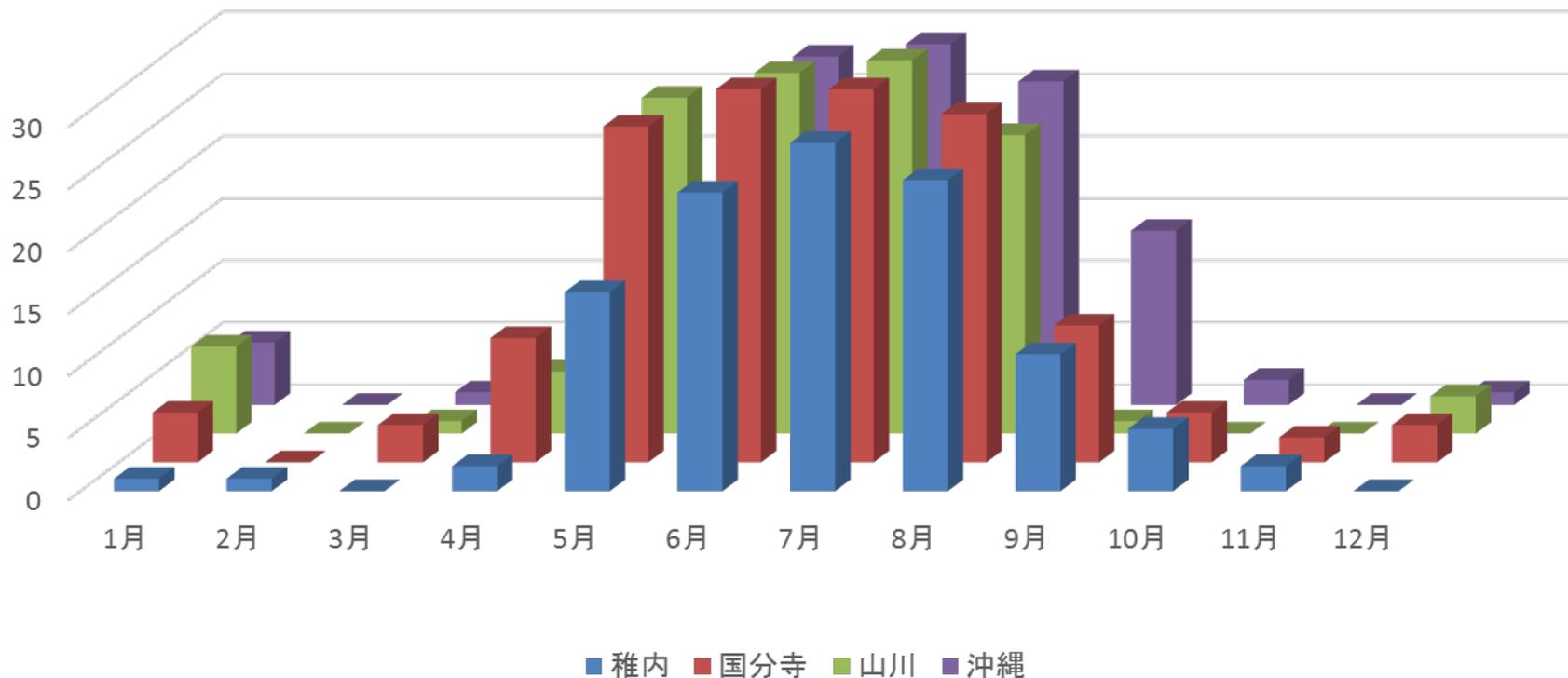
発生日	発生時間	原因となった フレアの規模
2015/01/13	4:30-5:15	M5.6/2B M4.9
2015/01/30	0:45	M2.0
2015/01/30	5:45	M1.7
2015/02/04	2:15	M1.2/2N
2015/03/03	1:30-1:45	M8.2/SB
2015/03/06	4:15-4:30	M3.0 LDE
2015/03/07	22:15-22:45	M9.2 LDE
2015/03/09	23:45-0:00	M5.8/2N
2015/03/10	3:30	M5.1/2B
2015/03/14	4:45	M1.3
2015/03/17	23:45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

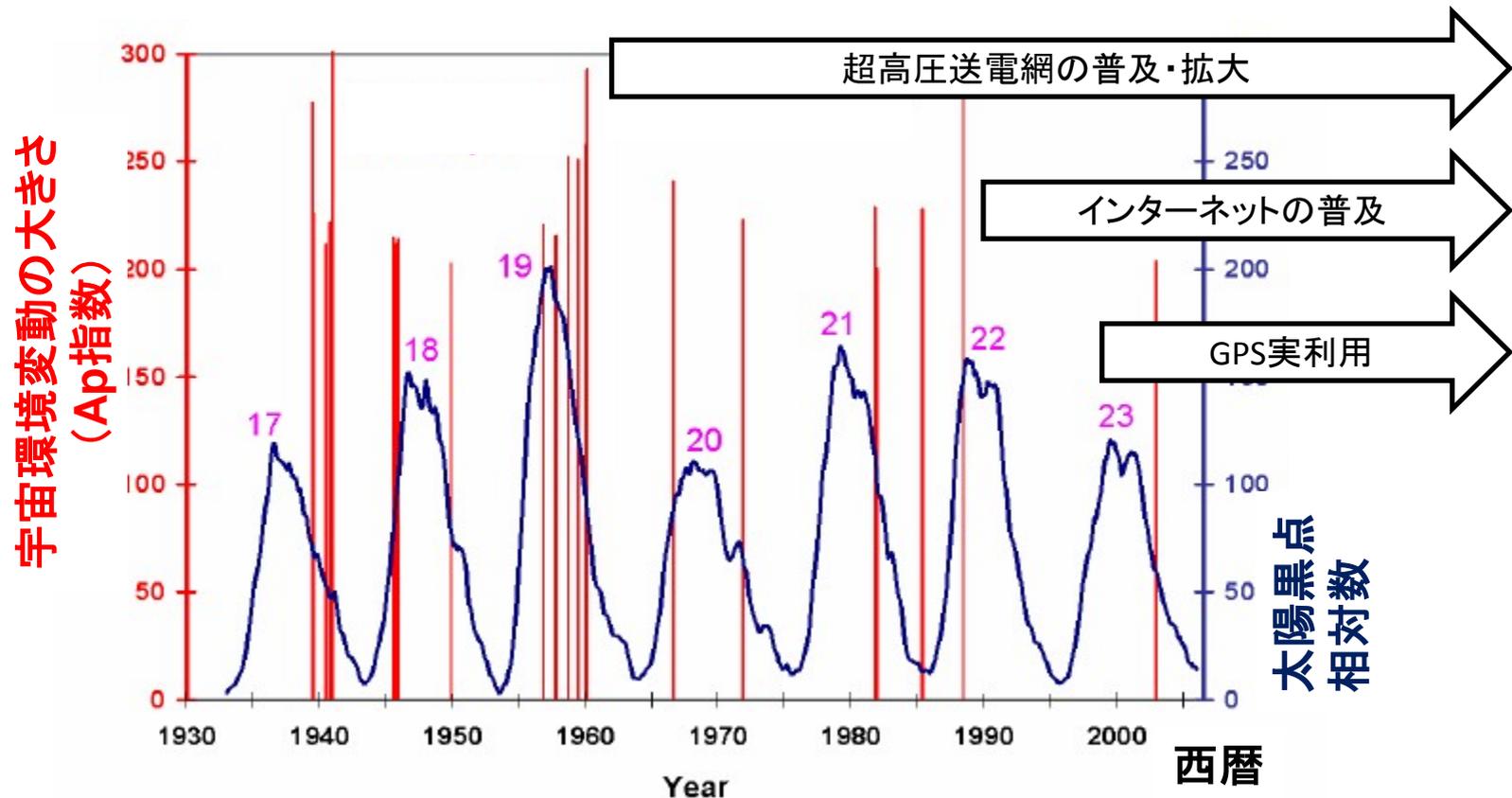
スポラディックE層

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

太陽活動変動と大規模な宇宙環境変動



ここ数10年間はあまり大規模な宇宙環境変動は頻発していない。しかし、過去にはより規模の大きな宇宙環境擾乱が発生していたことが知られている。観測史上最大の宇宙環境変動(100年に1度のレベル)は1859年9月に発生している。

→太陽活動の状況によっては、より大きな宇宙環境変動による社会インフラへの大規模な影響が起こりうる可能性



PlayOn!
40th

THE STREET HOCKEY TOURNAMENT

IS YOUR TEAM IN?

#LOVETHISLIFE

REGISTER NOW

ADVERTISEMENT

2015年11月にスウェーデンで
太陽嵐のために1時間以上航
空運用ストップ

CBCnews | Technology & Science

Solar storm knocks out flight control systems in Sweden, grounds planes

Flights disappeared from radar screens

The Associated Press | Posted: Nov 04, 2015 3:38 PM ET | Last Updated: Nov 04, 2015 3:40 PM ET

2177 shares

Facebook

Twitter

Reddit

Google

Share

Email

Aviation officials say a solar storm knocked out the air traffic control systems in Sweden on Wednesday, prompting them to close the country's airspace for more than an hour.

The civil aviation authority said the solar storm created disturbances in the Earth's magnetic field, which affected radar installations in southern Sweden. No such problems were reported in neighbouring countries.



Parked aircraft are seen at at Stockholm Arlanda Airport in a photo from March 2015. Swedish airspace was closed for an hour Wednesday after a solar storm knocked out air traffic control systems. (Johan Nilsson/Associated Press)

ADVERTISEMENT

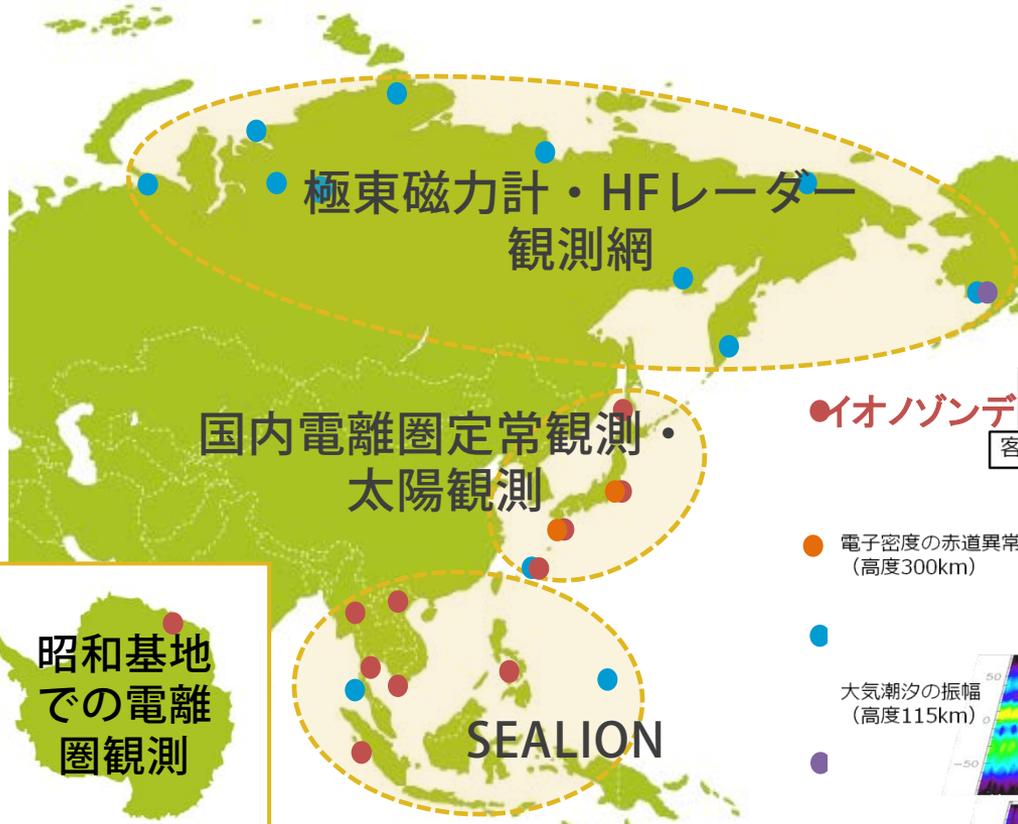
HEARTLAND
#loveheartland
NOW STREAMING »

Related Stories

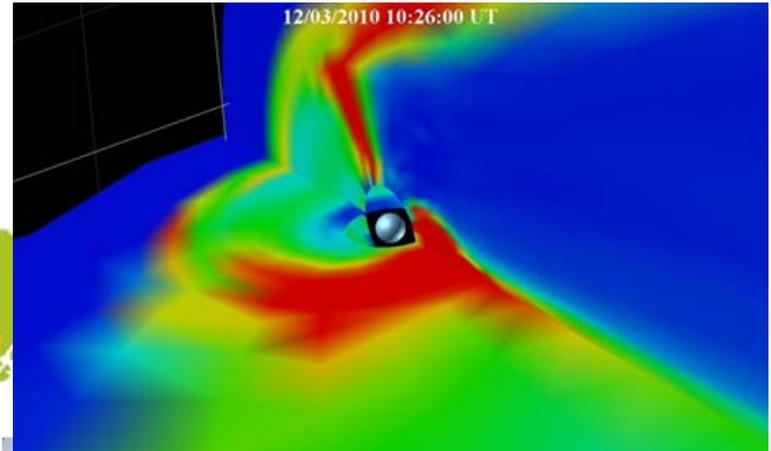
Thank 'solar

Recent NICT Activity for Space Weather

宇宙天気に関わる最近のNICTの活動



宇宙天気観測網



イオノゾンデ

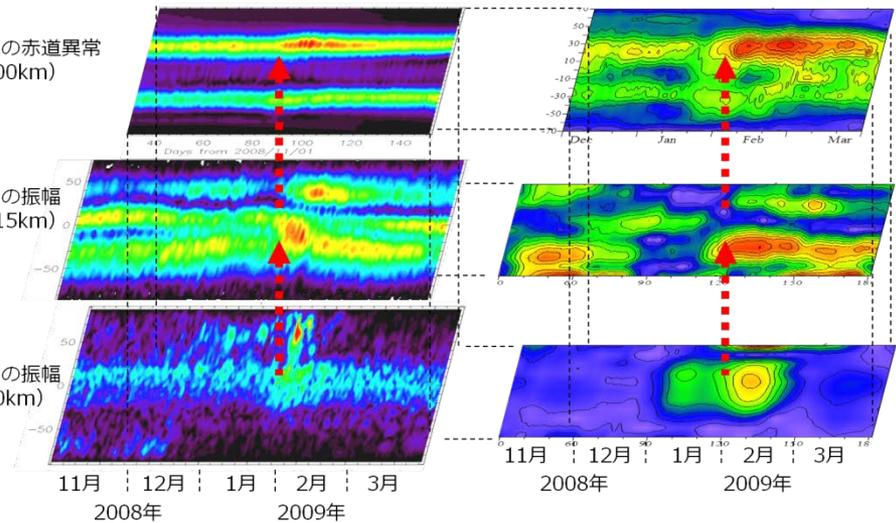
客観解析データ入力カシミュレーション

衛星観測

● 電子密度の赤道異常 (高度300km)

● 大気潮汐の振幅 (高度115km)

● 大気潮汐の振幅 (高度30km)



宇宙天気シミュレーション技術



太陽電波望遠鏡

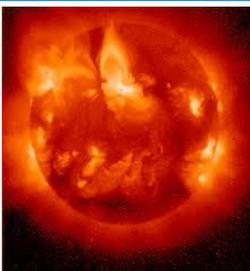


NICT小金井本部
(東京都)

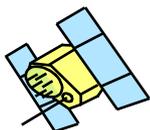
山川電波観測施設
(鹿児島県)



太陽風観測データ受信システム



太陽風



太陽風監視機 (ACE, DISCOVER)

太陽電波

観測データ



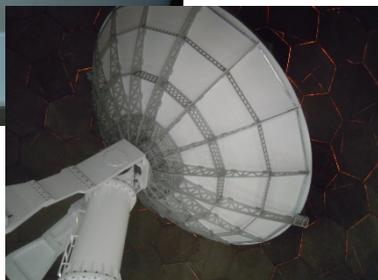
Web, 電子メール
による宇宙天気
情報の提供



データ解析



レドーム内には直
径8mのパラボラ
アンテナ



受信機



迅速な情報

太陽電波望遠鏡

- ・太陽面爆発現象の早期発見とその地球への影響の見積もりにより、リードタイムの延伸をはかる
- ・平磯から山川へのシステム機能の移設



直径11mのパ
ラボラアンテナ

受信機



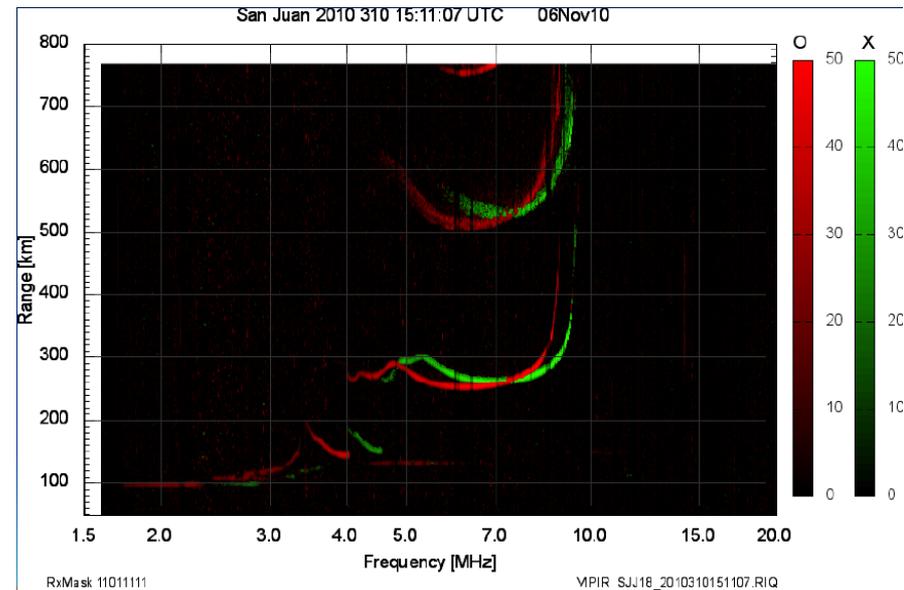
高精度情報

太陽風観測データ受信システム

- ・ACE/DISCOVER観測データを受信
- ・リードタイムは短いものの精度の高い太陽風情報を取得



VIPIRのイオノグラム



- 米国NOAAで開発・利用されているVIPIRは、8ch受信アンテナにより、X-Oモード分離がされている。
- SNR表示モードで背景ノイズ除去可能。
- Linuxベースソフトウェア制御の多彩な観測モード。



- King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
- Chiang Mai University (CMU)



- National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN)

- SEALION (South-East Asia Low-latitude Ionospheric Observation Network)
プラズマバブルを中心とする赤道域電波伝搬障害を研究する
目的で2003年よりNICTが構築



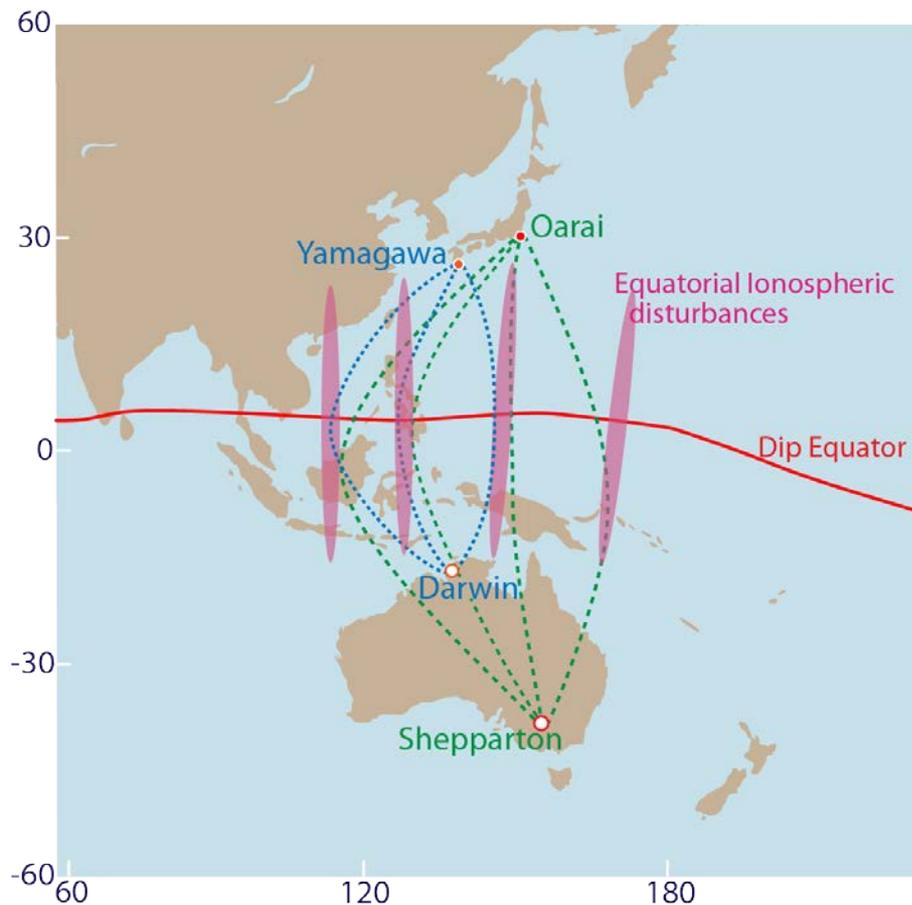
- イオノゾンデ
- GPSシンチレーション
- GPS全電子数
- 磁力計
- 全天大気光カメラ



- University of San Carlos (USC)



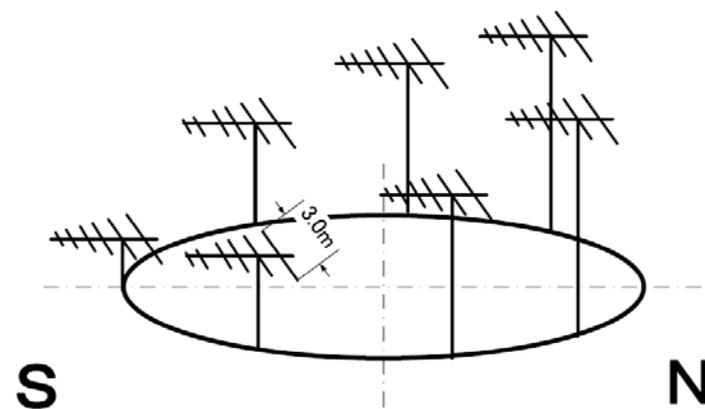
- Hanoi Institute of Geophysics, Vietnamese Academy of Science and Technology (VAST)



日本・豪州間のHF・VHF帯の電波伝搬の方向探査を定常的に行い、プラズマバブルに伴う伝搬異常からその位置を推定するリモートセンシング手法を開発

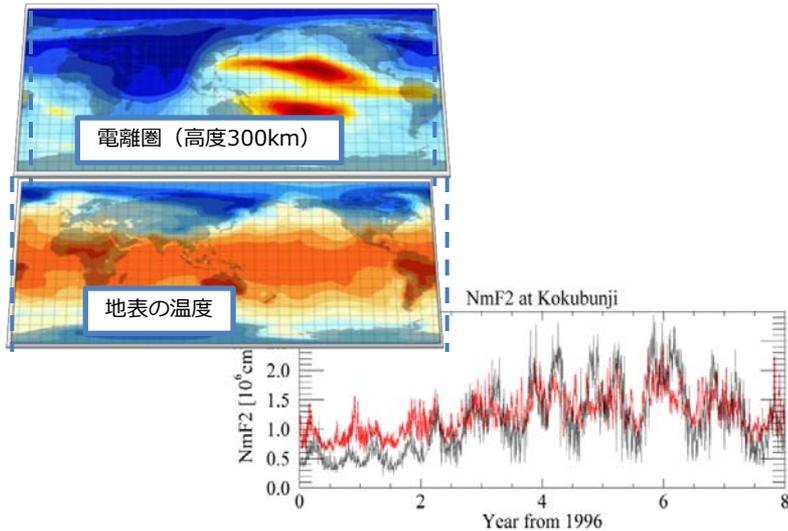


現存するHF-TEPシステム(大洗)



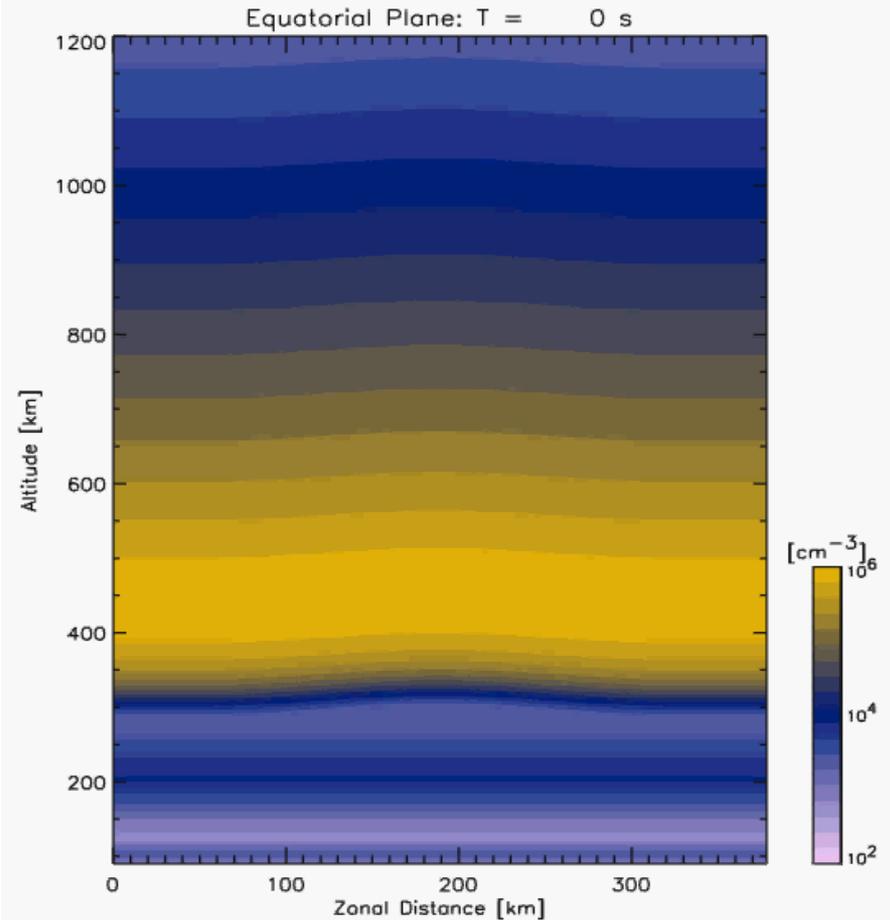
新規VHF-TEPシステム(山川)

電離圏擾乱予測のための地球全体の 数値モデル



- 電離圏は太陽の影響とともに、地表近くの気象にも大きく影響を受ける。
- 電離圏の天気予報をするためには、地表の天気を取り入れた予報モデルを作る必要がある。
- NICTは地球全体を見渡すとともに、細かい変化をとらえるモデルづくりを進めている。

細かい乱れを再現する局所数値モデル



各地方時の危険度予測

毎時10分に更新 / 前回の更新: 2016/06/11 17:15 (JST)

表示する日を切り替える

きのう きょう あす

経験的放射線帯予測による静止軌道衛星の位置での宇宙環境情報の提供

任意の静止軌道衛星の位置を表示する

衛星の経度を入力すると、予報の図に衛星の現在位置を★で表示します。

135 ° E [Play]

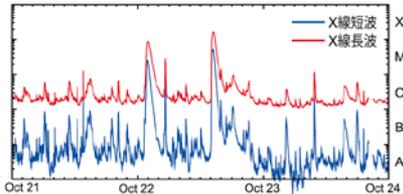


- 静穏
- やや高め
- 高め
- J 日本の現在位置
- H ひまわり7号の現在位置
- G GOES/Primaryの位置
- ★ あなたが入力した経度

Yohkoh衛星, 軟X線



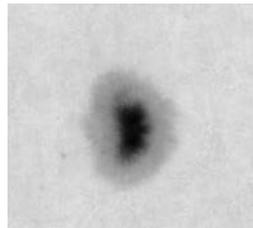
太陽X線モニタリング



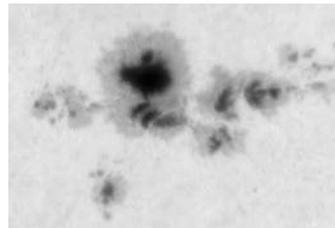
太陽面爆発フレア(水爆の1億倍)が発生すると、地球に大きな影響を及ぶので、今後1日の太陽活動を予測したい。

衛星データは1日に1.5TB以上取得され、(10年前の約1000倍)、観測データが膨大

人の処理能力を超えている。

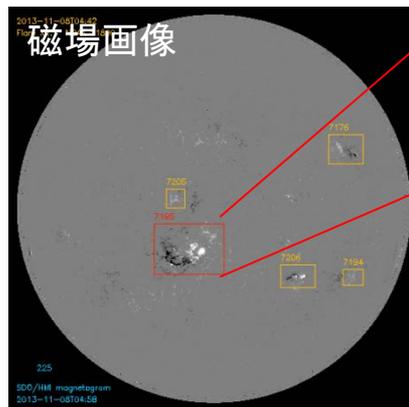


単純な黒点
穏やか

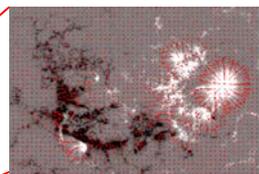


複雑な黒点
フレアを起こしやすい

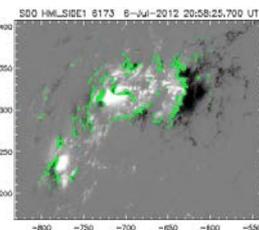
...のような判断を、AIにさせる。



磁場画像

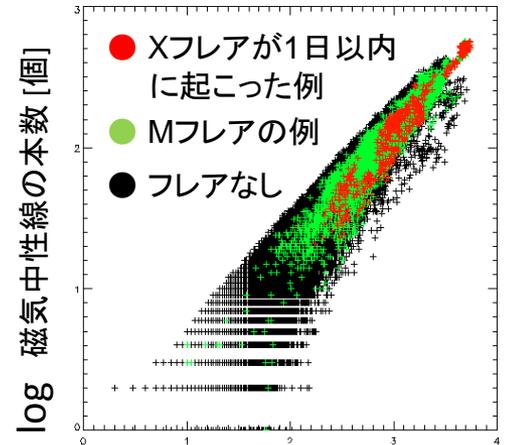


ベクトル磁場



磁気中性線

抽出した特徴量の分布とフレア発生の関係



log 磁気中性線の合計長さ [pix]

機械学習
(A.I.)

各領域毎の1日以内
のフレア発生確率

X ○%

M ○%

過去5.5年分の 3×10^5 枚の太陽画像を学習データとする。

黒点領域を自動検出 | 判断材料(特徴量)を抽出する。

SWC宇宙天気情報センター
Japan Space Weather Information Center

RSS 用語集 English

トピックス
データ配信サービス
リンク集

HOME
臨時情報
最新の宇宙天気データ
予報
宇宙天気ニュース
お問い合わせ

HOME

DesktopViewer(760 X 260)

ひので SOHO 黒点 フレア

発生日 JST 時刻

6/13 05:30	C1
6/12 06:58	C6
6/11	---

太陽風 (ACE)

時刻 速度 南北

JST	km/s	r
13:03	542	
-2	531	
-4	521	
-6	472	

NOAA 黒点数 : 39
観測値 F10.7 : 94

航空機関係

Norilsk PokerFlat

detail of Updating



NICT
ター
宇宙航空
タイムライ

宇宙航空・軍需・東京都 小金井市
5.0 ★★★★★

NICT 宇宙天気予報センター

石井 守 ホーム 友達さがす

ツイート 603 フォロワー 166

フォロー中

ツイート ツイートと返信 メディア

NICT 宇宙天気予報センター @NICT_SWC · 2時間

【宇宙天気豆知識動画】№11 太陽から吹き出す超音速の風－太陽風

太陽から吹き出す超音速の風－太陽風

太陽コロナは、電気を帯びた高温のガスを絶えず吹き出しています。このガスの流れを太陽風と呼びます。太陽風は、音速を超える速度で吹き出され、地球の近くでは、速度は...

youtube.com

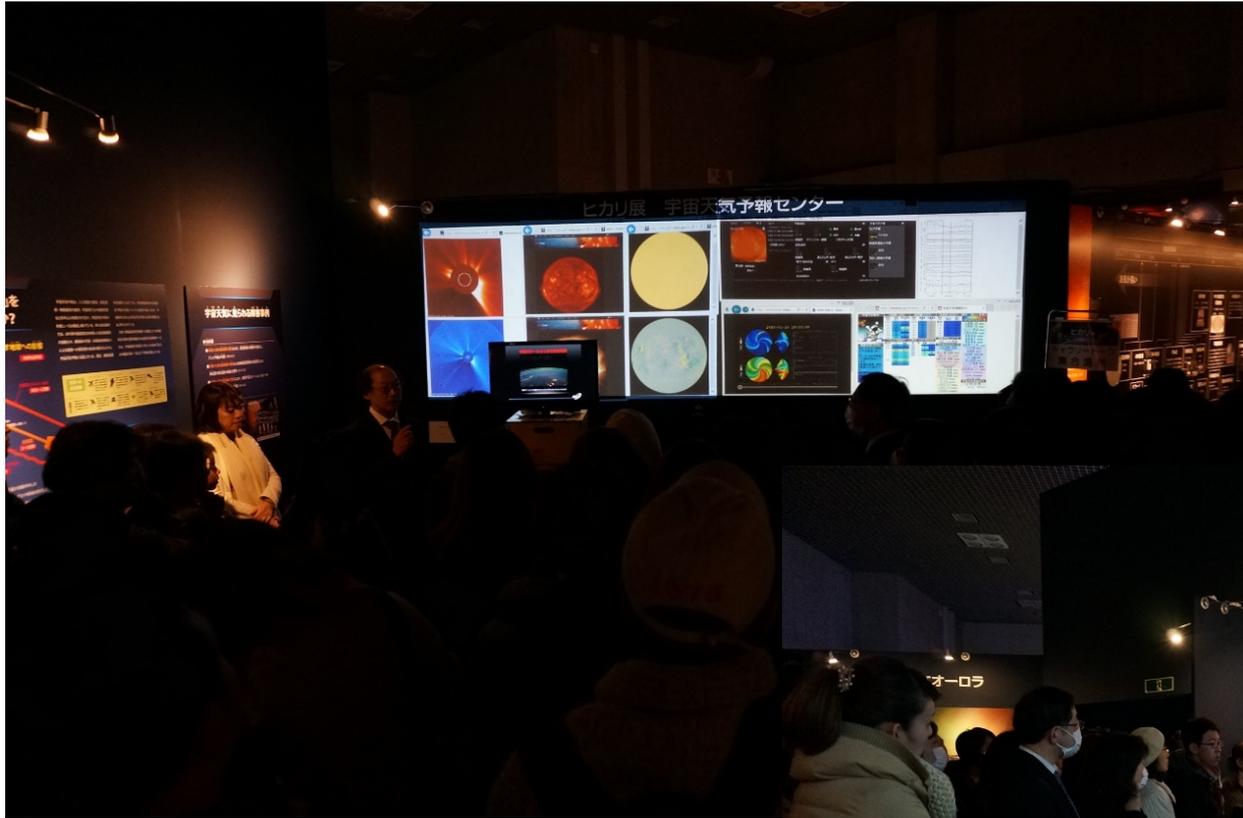
NICT 宇宙天気予報センター @NICT_SWC · 20時間

【SWC 今日の宇宙天気情報】

swc.nict.go.jp/datacenter/dai...

NICT 宇宙天気予報センター @NICT_SWC · 6月12日

【宇宙天気豆知識動画】№10 VHF放送の混信障害を起アオースポラディックE層



2014年10月28日～2015年2月22日

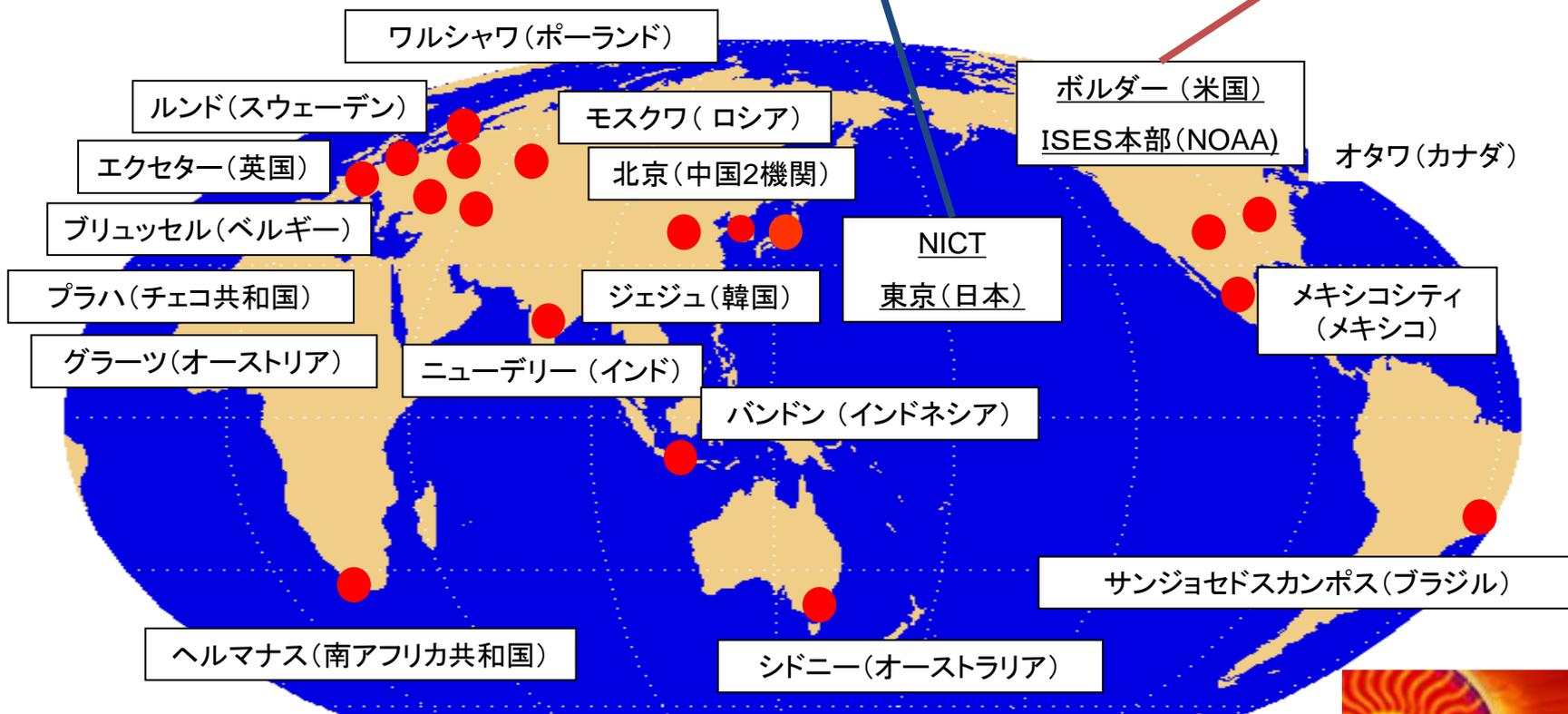
International and Domestic Activity for Space Weather

宇宙天気に関わる国際および国内 動向

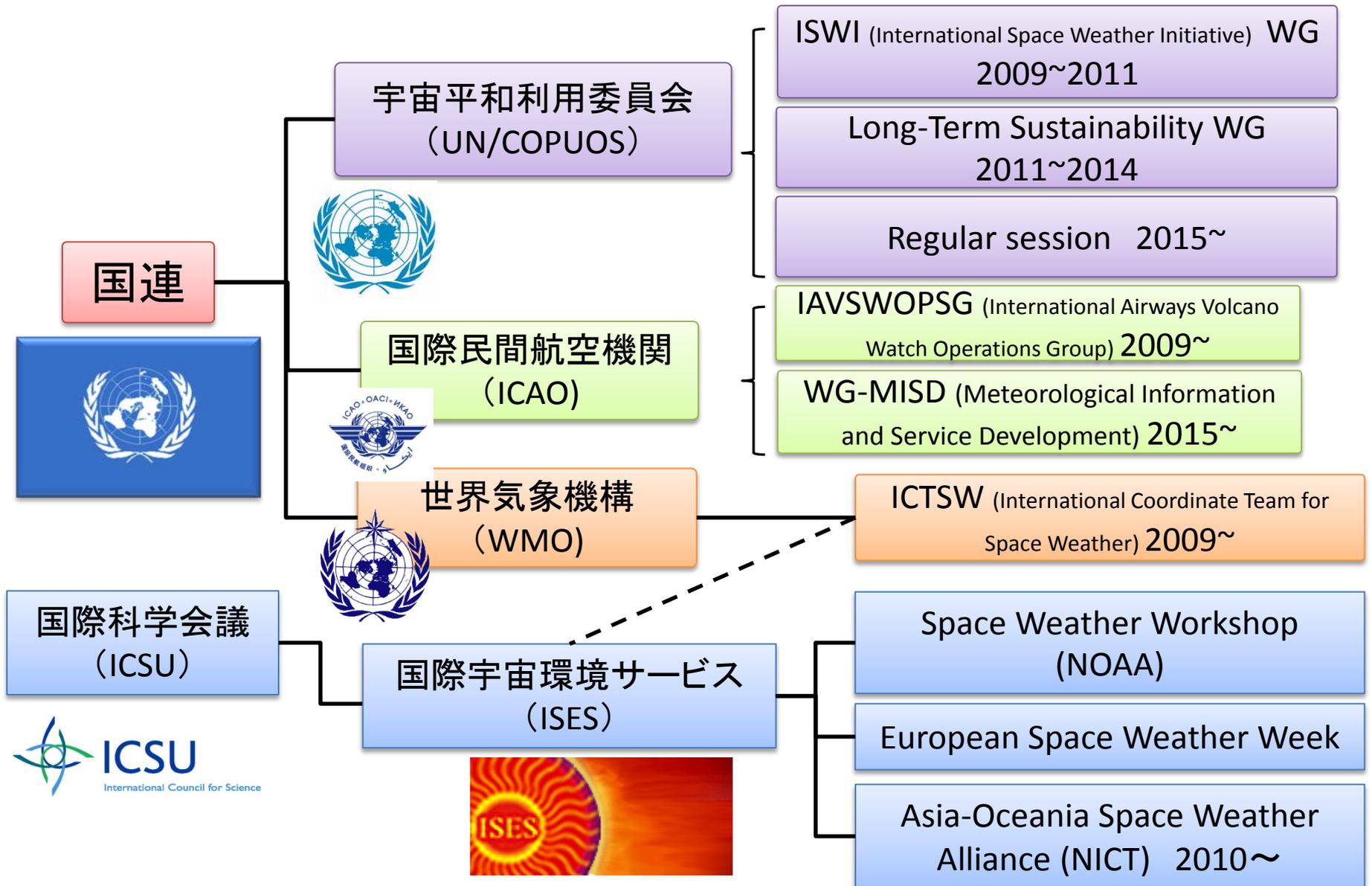
(18か国が加盟。ESAがCollaborative Expert Centerとして参加)

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。

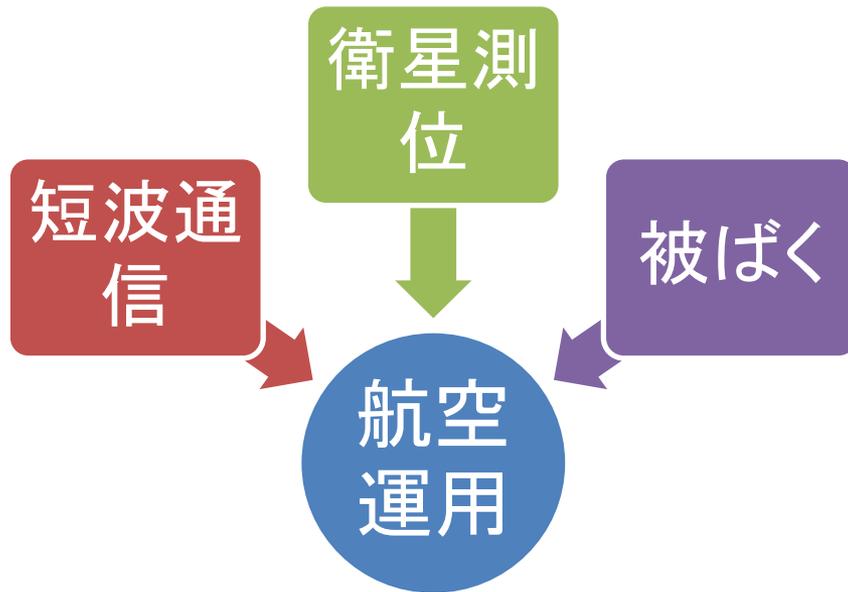
太陽監視衛星、太陽風監視衛星、静止軌道衛星など多くの衛星を運用し、データを提供。



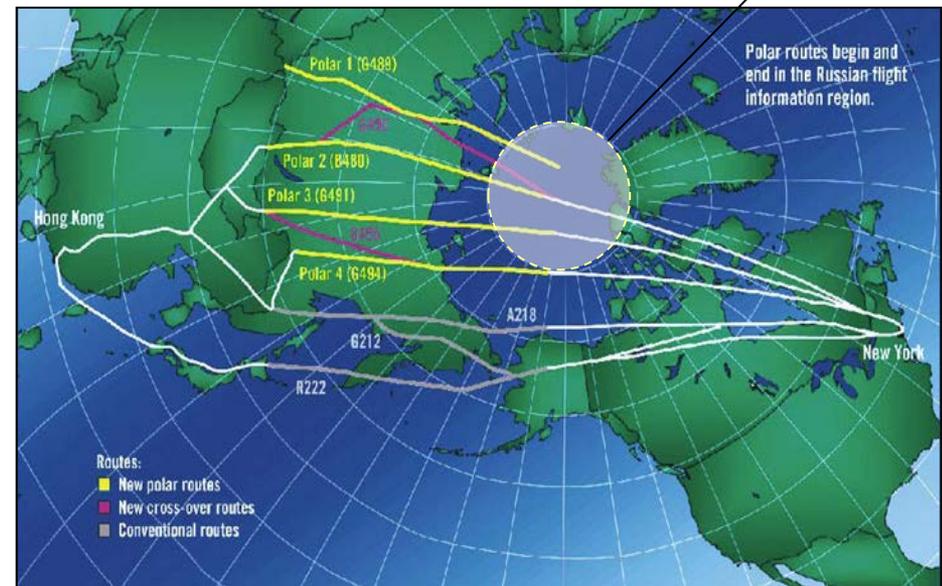
国際協力によって宇宙天気予報を推進。



- 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

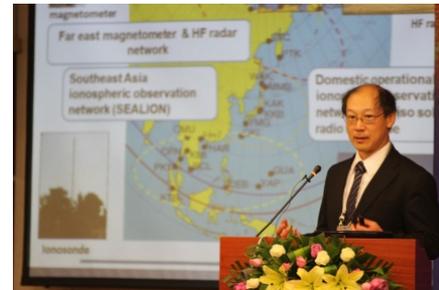


短波通信のみが可能な領域



No.	Activity	Predecessor	Due Date
3.1	Revised Space Weather Concept of Operations for endorsement by the MET Panel		May 2016
3.2	Space weather information performance requirements for endorsement by the MET Panel	3.1	June 2016
3.3	Space Weather Center selection criteria for endorsement by the MET Panel	3.2	July 2016
3.4	Proposals for Amendment of ICAO Annex 3 with respect to space weather information	3.1	September 2016
3.5	Space Weather Information Manual	3.1 and 3.2	September 2017

- AOSWA: アジア・オセアニア宇宙天気アライアンス (Asia-Oceania Space Weather Alliance)
- キックオフ: 2010年10月に5か国で開始
- 目的: 宇宙天気の運営および研究に関する情報交換
- 現在13か国26機関が参加
- 第1回会合: 2012年2月22-24日, タイ・チェンマイ
- 第2回会合: 2013年11月4-7日, 中国・昆明
- 第3回会合: 2015年3月2-5日, 日本・福岡
- 第4回会合: 2016年10月24-27日, 韓国・済州島

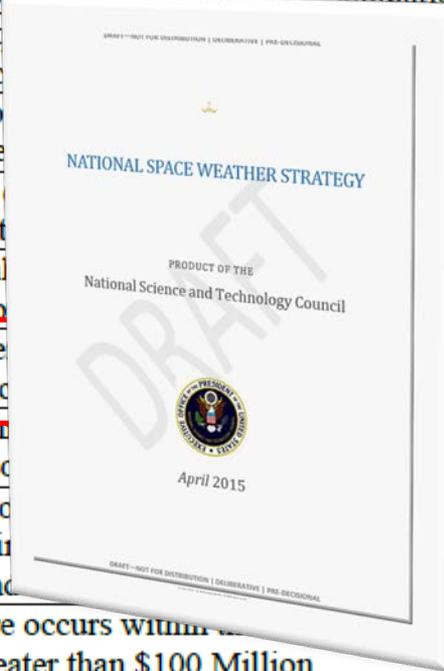


各国の対応 ～米国の場合～

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

2015年10月 ホワイトハウスから国家宇宙天気戦略が発表

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 causing direct economic losses greater than \$100 Million
	Flood	A flood of direct economic losses greater than \$100 Million
	Human Pandemic Outbreak	A severe clinical attack on a large number of people in the U.S. resulting in 100,000 deaths
	Hurricane	A tropical storm or hurricane with a 25% gross population of the U.S. resulting in 100,000 deaths
	Space Weather	The sun emits particles or radiation and energetic particles that impact infrastructure and cause power outages
	Tsunami	A tsunami 10 feet impacts the U.S. coastline
	Volcanic Eruption	A volcanic eruption impacting the U.S. and areas east with direct economic losses greater than \$100 Million
Wildfire	A wildfire occurs within the U.S. causing direct economic losses greater than \$100 Million	



Energywise | Energy | The Smarter Grid

NASA to Test Upgraded Earth Models for Solar Storm Threat

By Jeremy Hsu

Posted 7 Mar 2016 | 20:28 GMT

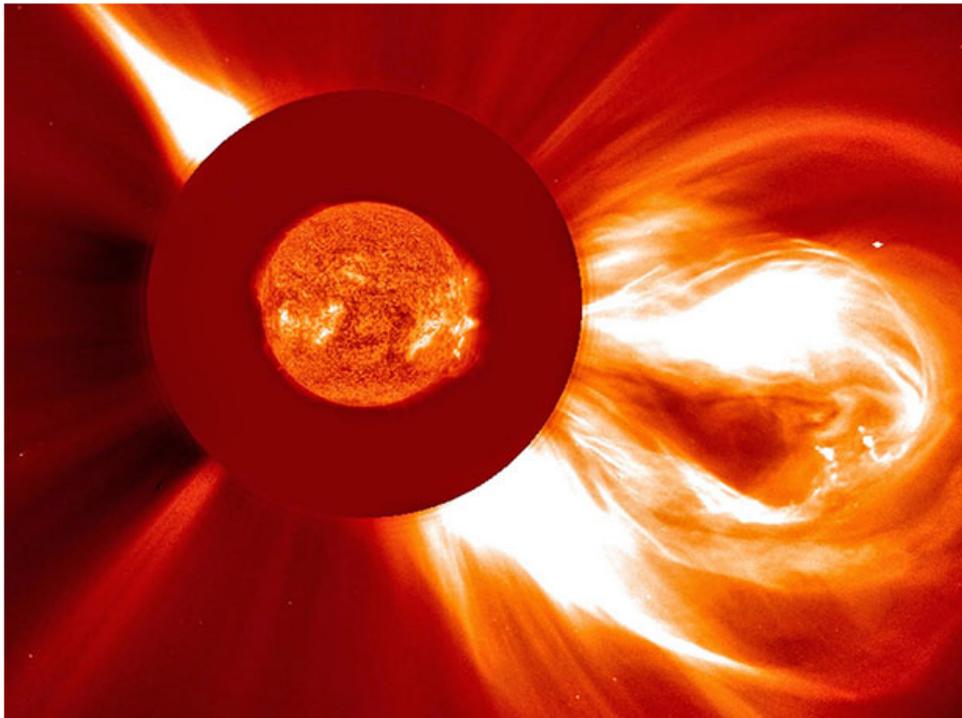


Image: ESA/SOHO/NASA

A coronal mass ejection, or CME, erupts from the lower right of the sun on 2 December 2003.

NASA relies on spacecraft to help keep watch for solar storms erupting on the sun. But on the ground, the space agency's Solar Shield project aims to improve computer simulations that predict if those solar storms will

NASA太陽嵐の地上
電力網への影響をシ
ミュレーションするた
めに、6か所のテスト
サイトを新設

出典: IEEE spectrum



Patrick Poendl/Shutterstock.com

Europe is preparing its railways for extreme space weather

The solar flares are coming.

DAVID NIELD 22 DEC 2015



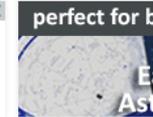
ヨーロッパでは極端宇宙天気現象に対する鉄道運行への対策を始める

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



SAVE 10%

BOOK NOW
* Restrictions apply.

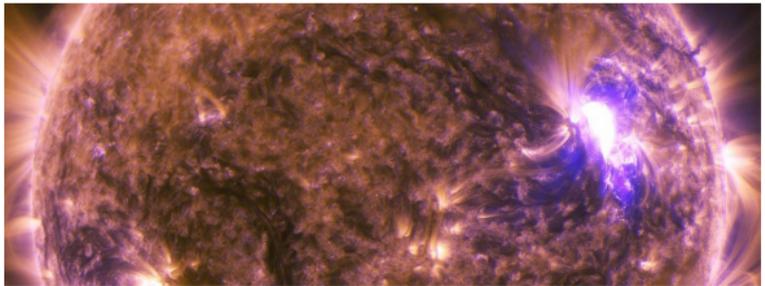


Space weather threatens equatorial regions too

By EarthSky Voices in [EARTH](#) | [SCIENCE WIRE](#) | [SPACE](#) | 10 months ago

Damaging electric currents in space affect Earth's equatorial region, not just the poles, according to new research.

245
Like
Tweet
21
G+1
submit
reddit
40
Share



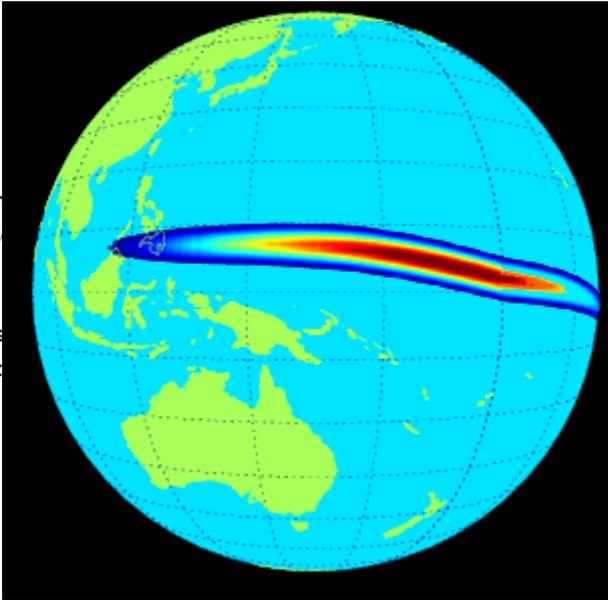
When the sun flares, space weather is on its way to Earth. Image credit: NASA/SDO

宇宙天気の電力網への影響は極域だけではない！

By [Brett Carter, Boston College](#) and [Alexa Halford, Dartmouth College](#)

The Earth's magnetic field – known as the “magnetosphere” – protects our atmosphere from the “solar wind.” That’s the constant stream of charged particles flowing outward from the sun. When the magnetosphere shields Earth from these particles, they get funneled toward the polar regions of our atmosphere.

As the particles crash into the atmosphere’s ionospheric layer, light is given off, creating beautiful multicolored displays [aurora](#) near both the North and South Poles. These are stunning visual representations of the complex interactions in the Earth space environment, which we collectively term “space weather.”



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



「우주전파재난」
위기관리 표준매뉴얼

2013. 4.

미래창조과학부

ロイズ社曰く、太陽嵐に最も脆弱な都市は「東京」

The screenshot shows the Lloyd's City Risk Index website for solar storms. The main data points for Tokyo are:

- Solar storm Tokyo**
- GDP@Risk: \$2.42bn**
- GDP@Risk ranking: 1/301 cities**
- Share of Total GDP@Risk: 1.58%**
- Tokyo Total GDP@Risk: \$153.28bn**
- Threat severity: Very low threat**

The left sidebar provides a broader context for solar storms:

- Select threat:** Solar storm
- Solar storm**
- GDP@Risk: All cities: \$64.95bn**
- GDP@Risk: Top 20 cities: \$22.14bn** (34.08% of All cities total)
- GDP@Risk: Top 5 cities:**

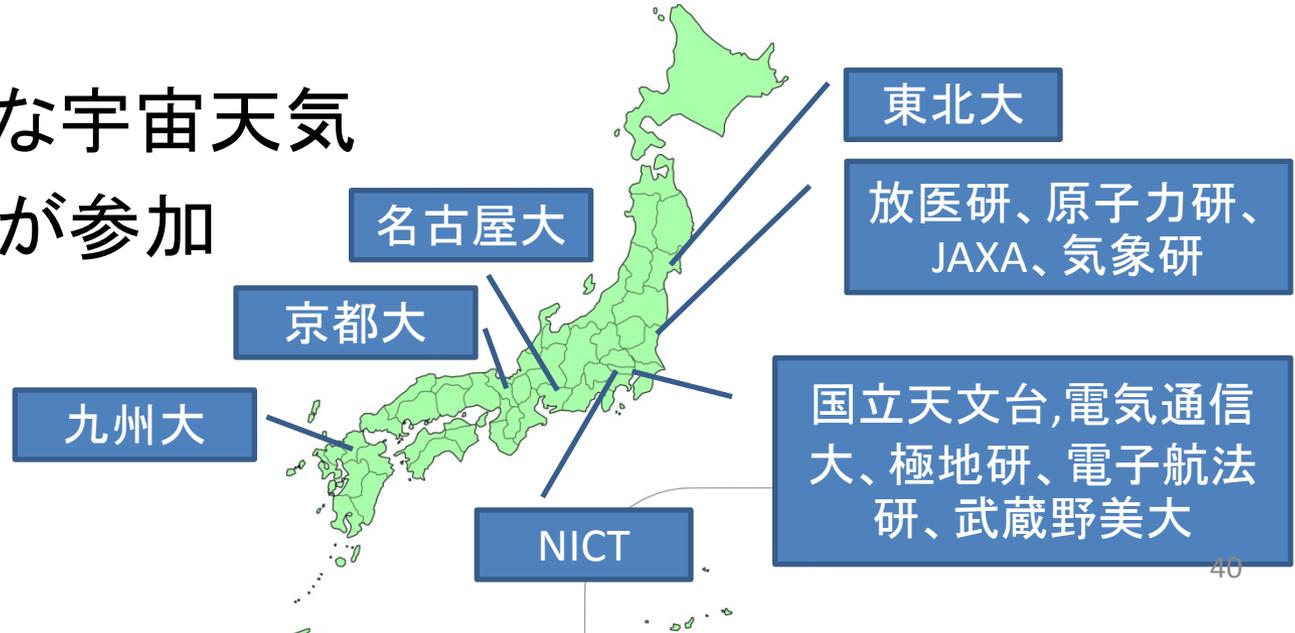
1	Tokyo	\$2.42bn
2	New York	\$2.27bn
3	Moscow	\$1.63bn
4	Los Angeles	\$1.49bn
5	Paris	\$1.24bn
- [View top 20](#)
- [View Solar storm case study](#)
- Share this data (in, twitter, facebook, email)

The bottom of the page features the University of Cambridge logo and the text: "UNIVERSITY OF CAMBRIDGE Centre for Risk Studies Judge Business School". It also includes social media sharing options and the website's legal disclaimer.

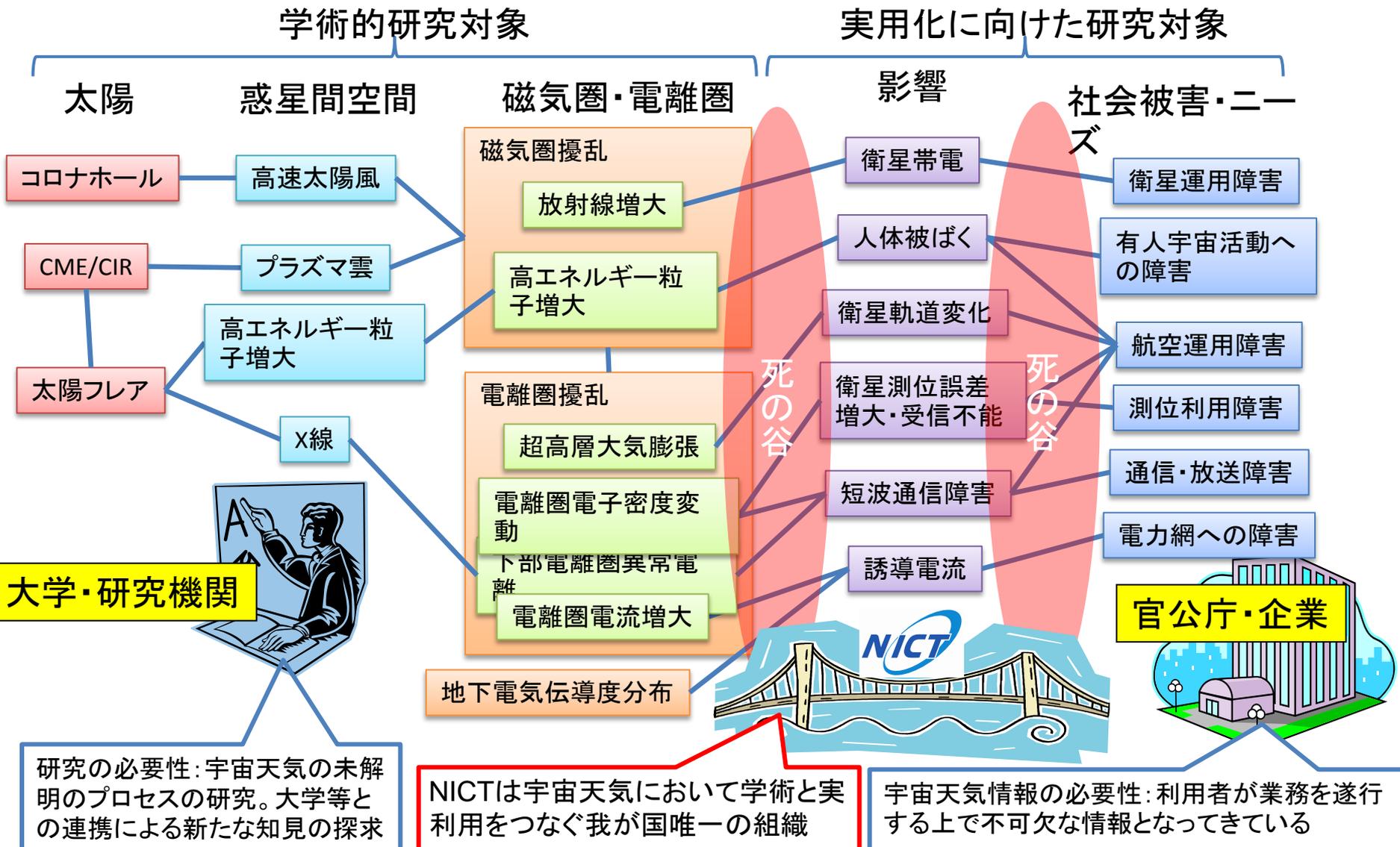
- 科研費：新学術領域研究「太陽地球圏環境予測」
- A01班「双方向宇宙天気予報システムの構築」



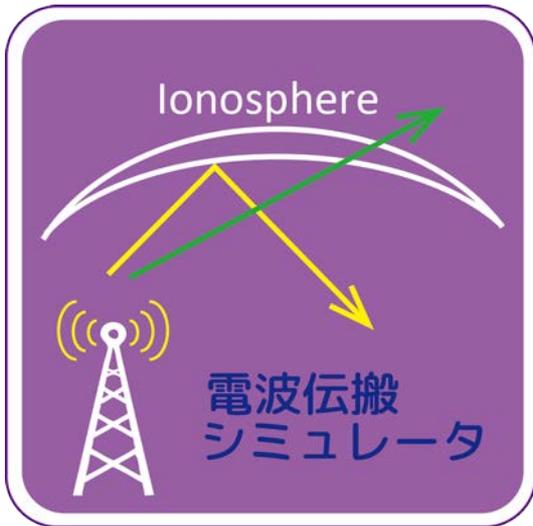
- 国内の主要な宇宙天気
関連研究機関が参加



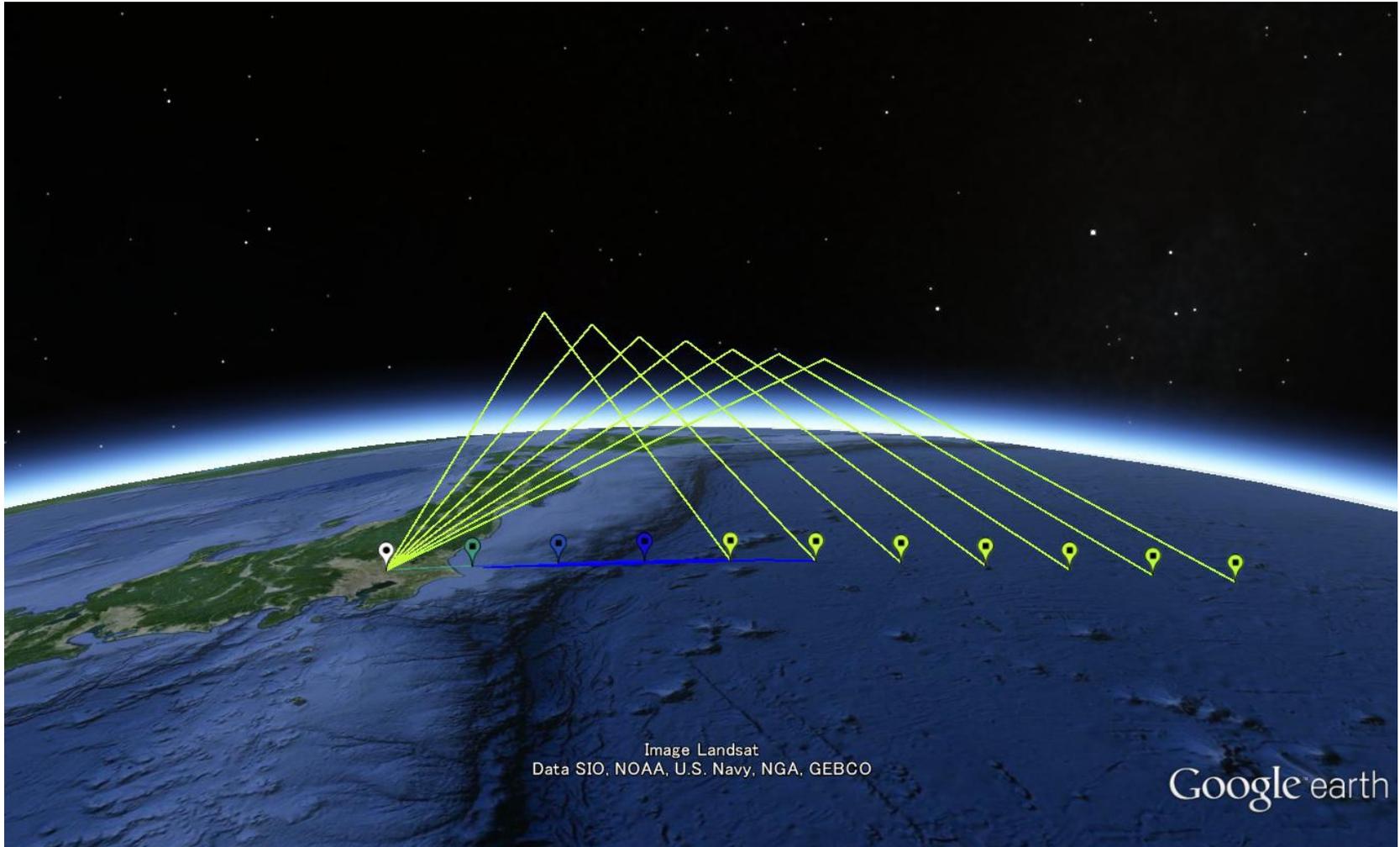
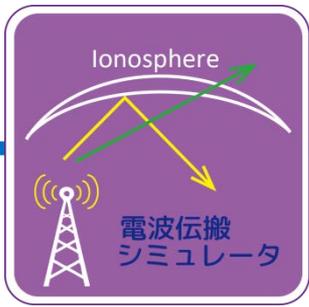
宇宙天気の学術研究と利用の関係



PSTEPで構築されるプロダクト



電波伝搬シミュレータのサンプル



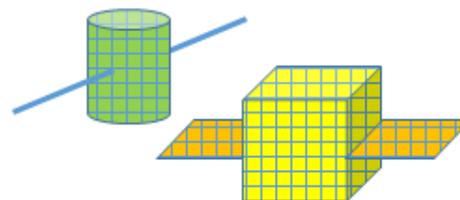
テラーメイド宇宙天気



割合は低減しつつあるが、帯電・放電は依然として主要な衛星障害の原因。

JAXA-NICTの協力、共同研究により、この部分の実用化を目指す。

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

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

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

Prompt Report of User Needs Research for Space Weather Information

宇宙天気ユーザーニーズ調査 中間報告



宇宙天気における ニーズ・シーズマッチング調査

- ヒアリング期間: 2016年2月5-18日
- 18機関・21人
- Questioner on the paper, email phone and F2F meeting

利用	種別						合計	
	通信・測位	電力	衛星運用	被ばく	資源探査	その他		
アンケート	8(3)	0	1	3(1)	1	1	14(4)	21人中
ヒアリング	3	1	0	2	0	0	6	うち電話1
合計	11	1	1	5	1	1	20	

電波伝搬シミュレータ構築に おけるギャップ解析



- ニーズ・シーズ間ギャップ
 - 分解能: 時間分解能は達成可能 (数分) 空間分解能 (数km) については供給困難。どこまで妥協可能か?
 - 測位誤差は機器依存性がある。どういう情報を提供すべきか?
 - 反射については計算可能。散乱・吸収については課題
- ユーザーへの問い
 - どのような形で情報提供を受けたいか?



- 「テラーメイド宇宙天気」開発における課題
 - それぞれの不具合の原因ごとの議論が必要; 表面帯電・内部帯電、トータルドーズ、シングルイベント
 - 宇宙天気状況の時間変化をどう扱うか?
 - 耐電の履歴をどう扱うか?
 - 宇宙天気状況と不具合の関係をどう定量化するか?
- ユーザーへの問いかけ
 - どの位のレベルの宇宙天気現象までを考慮に入れているのか?
- 研究者への問いかけ
 - どの位のレベルの宇宙天気現象で現存の衛星は壊れうるか?



電力網への影響における ギャップ解析



- 日本では、宇宙天気の電力網への影響(GIC)は通常の場合ほとんどないと言って良い。
- では、どのレベルになると影響が現れ、ユーザーの対応が必要になるのか？
- 研究者への問いかけ
 - 太陽フレア・CMEとGICの定量的関係
 - 極端現象でGICはどこまで大きくなりうるか？
 - どのくらい前に知り得るか？
- ユーザーへの問いかけ
 - GICがどの位になると危険なレベルか？
 - どんな対策を取り得るか？
 - どのくらい前に知りたいか？

- 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、過去の例では衰退期にも大きな宇宙天気現象が起こっている例もあり注意は必要。
- 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。



宇宙ステーションから撮影されたオーロラと大気光 [<http://eol.jsc.nasa.gov>]