
宇宙天気予報

～新たな宇宙利用時代に向けて～

情報通信研究機構
電磁波研究所 宇宙環境研究室

津川 卓也

- 宇宙天気とは？
- 宇宙天気の影響事例
- 世界動向
- 新たな宇宙時代に向けて

宇宙天気とは？

宇宙天気とは？

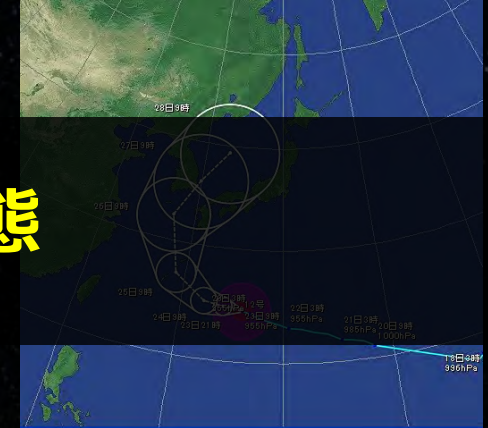
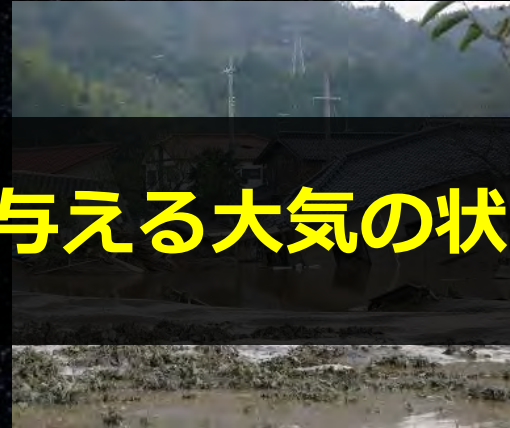
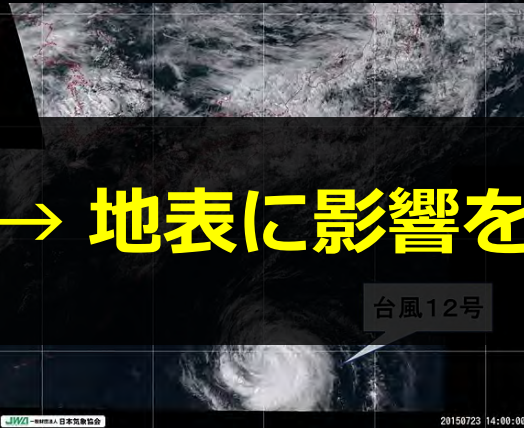
現象

影響

予報

天気

→ 地表に影響を与える大気の状態



宇宙
天気

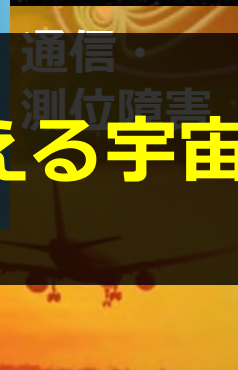
→ 地球周辺に影響を与える宇宙環境の状態



太陽フレア



衛星障害

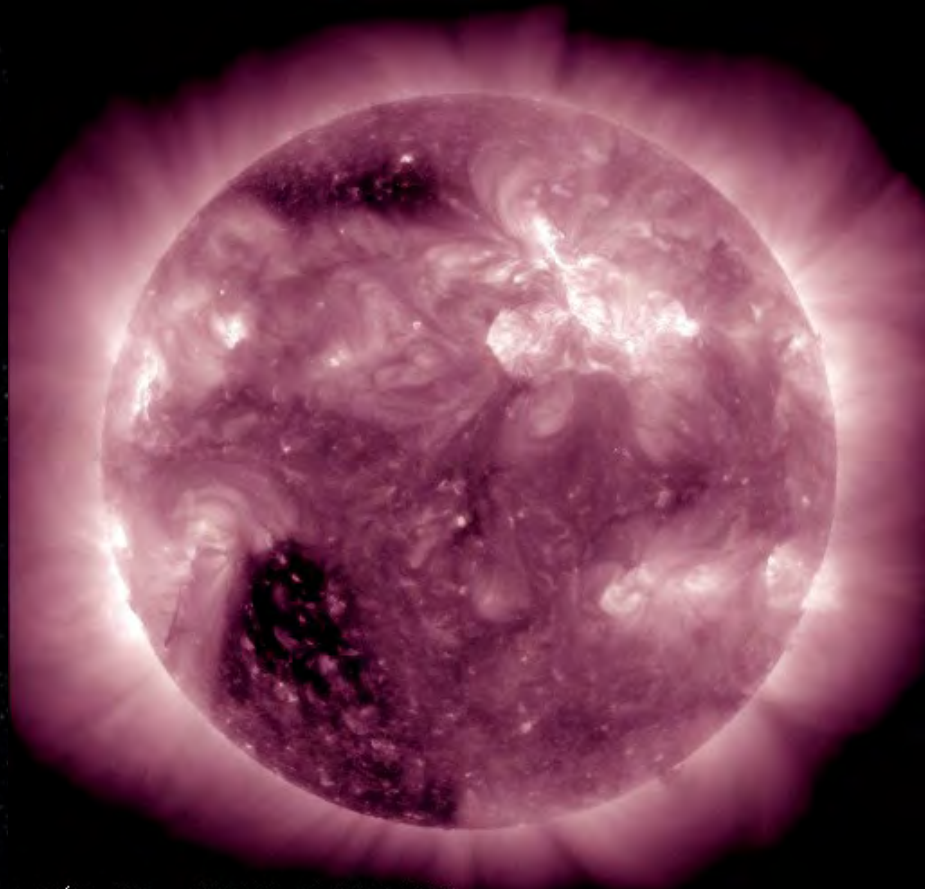


通信・
測位障害



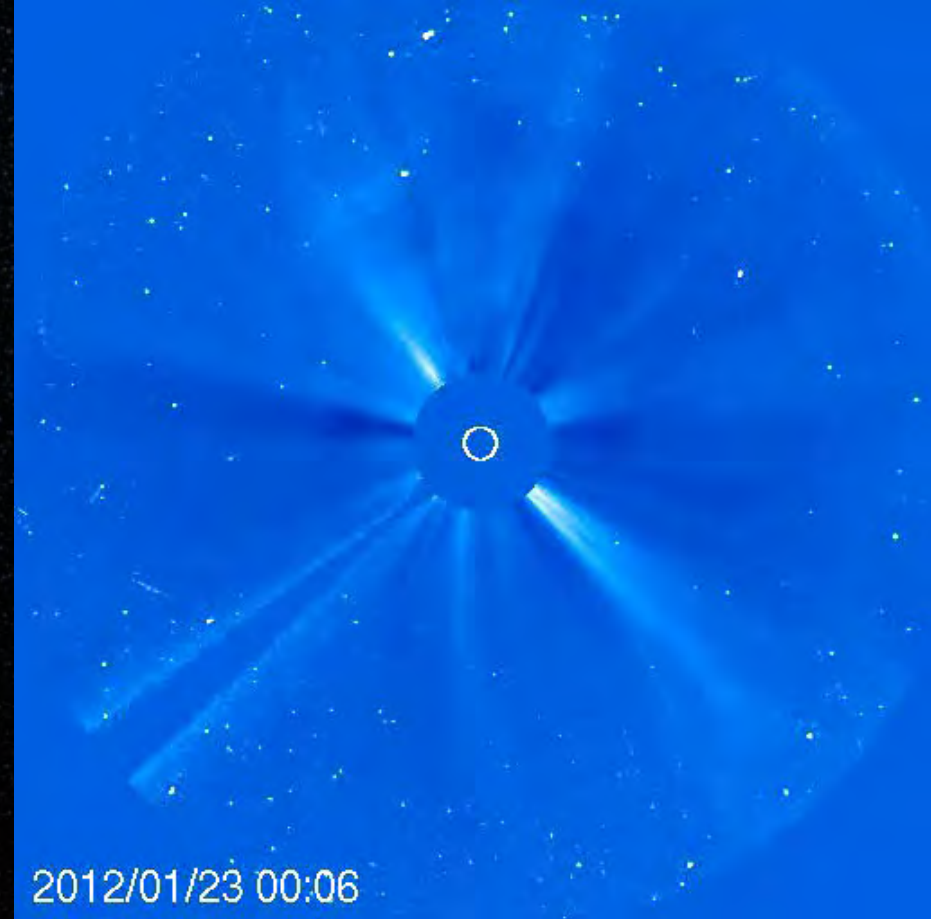
フレア予報

「宇宙嵐」の起源：太陽



SDO/AIA 211 2012-01-22 18:11:14 UT

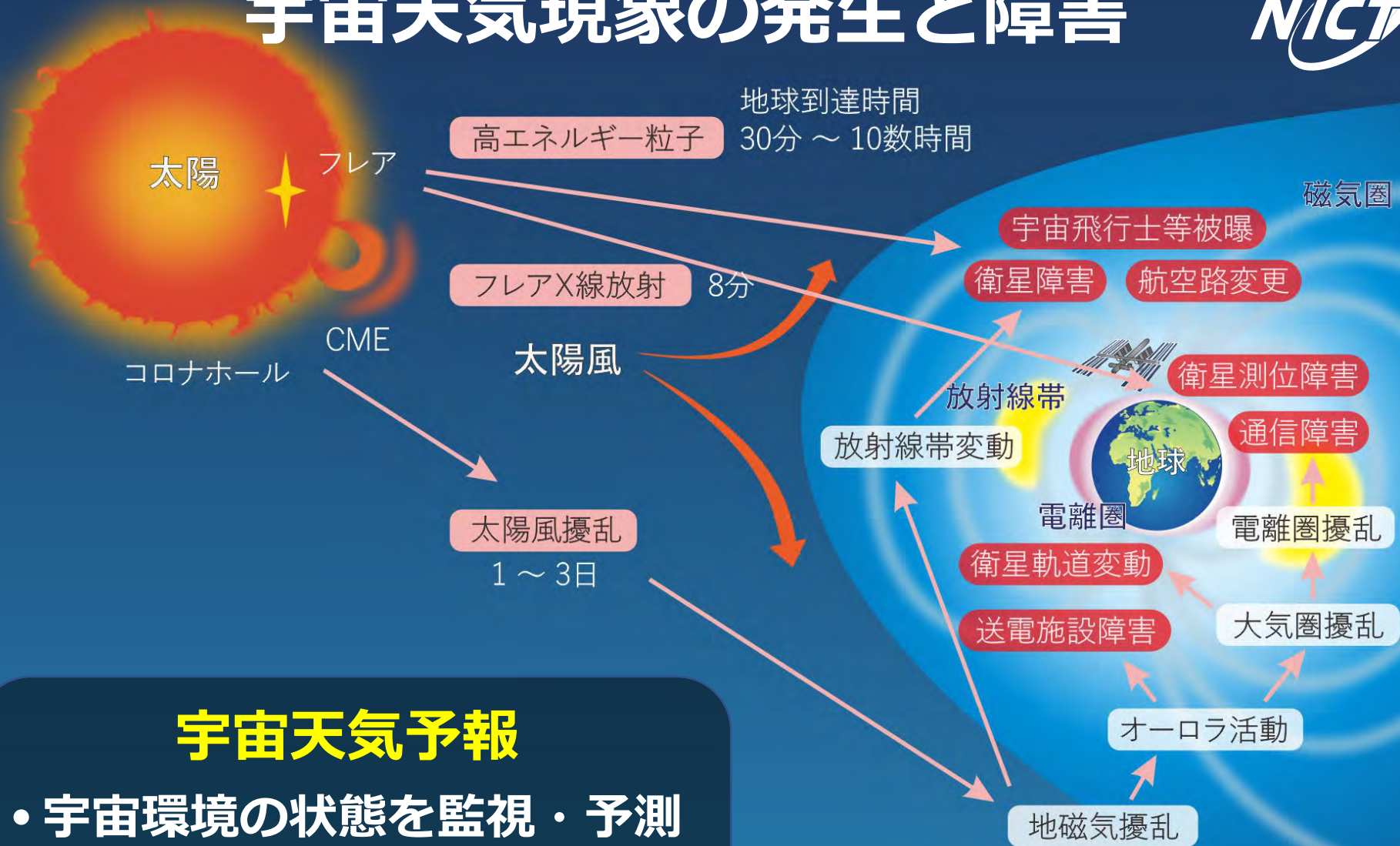
光エネルギー



2012/01/23 00:06

高温プラズマ・
高エネルギー粒子

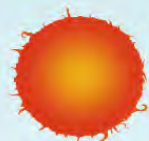
宇宙天気現象の発生と障害



宇宙天気予報

- 宇宙環境の状態を監視・予測
- 宇宙や電波を利用する社会インフラへのリスクを軽減

電波伝播の電離圏効果



太陽

太陽X線
D層領域まで到達

極端紫外線
電離圏を作る

可視光
地上まで到達

通信／放送衛星
観測衛星

航法測位衛星
(GPS等)

電離圏

電波吸収
電離圏嵐

電波吸収

D層

Es層

E層

F層

揺らぎ

異常伝搬

伝搬遅延

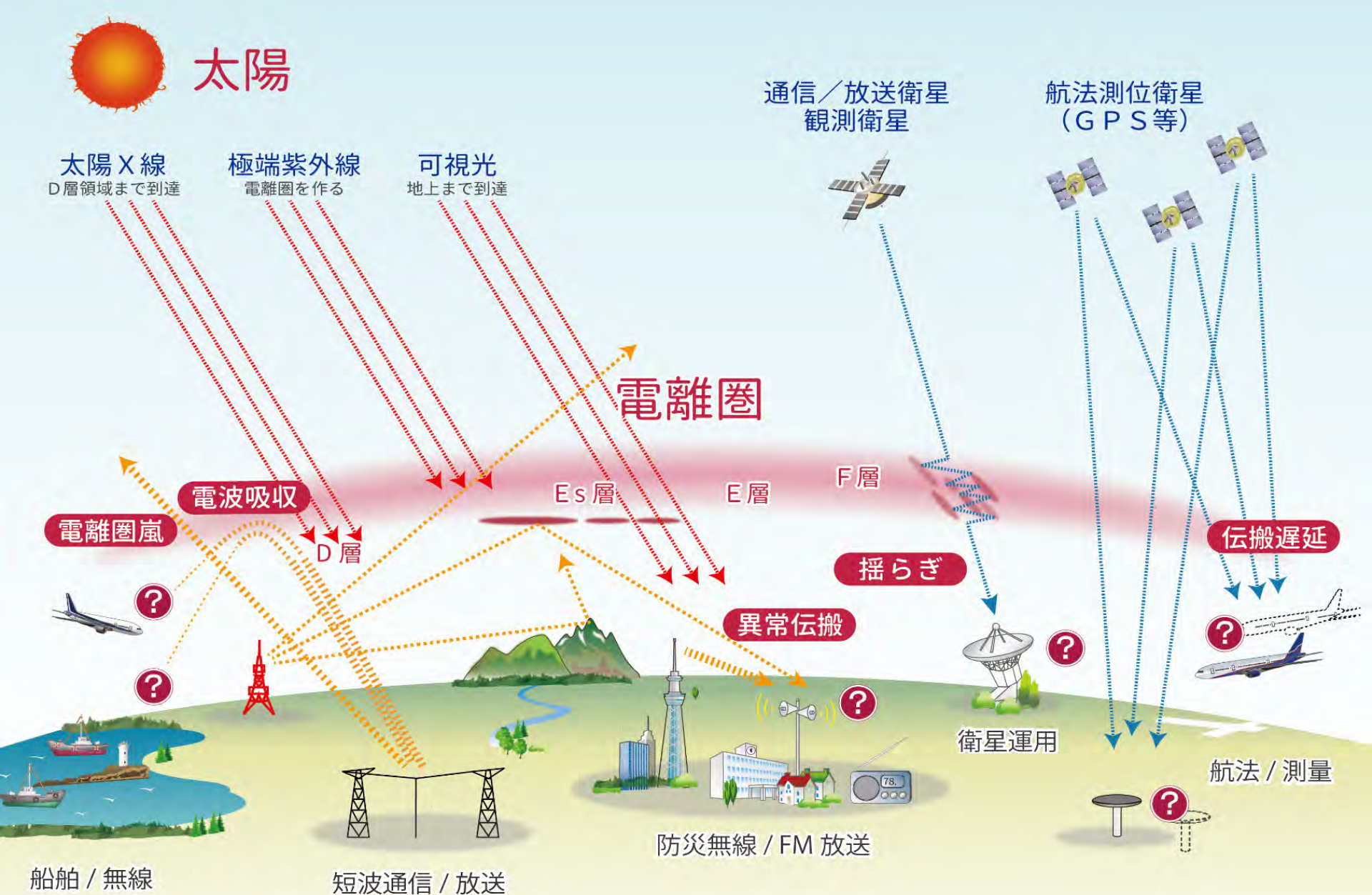
衛星運用

航法／測量

船舶／無線

短波通信／放送

防災無線／FM放送



宇宙天気観測網



太陽・太陽風観測施設



HFレーダー



イオノゾンデ

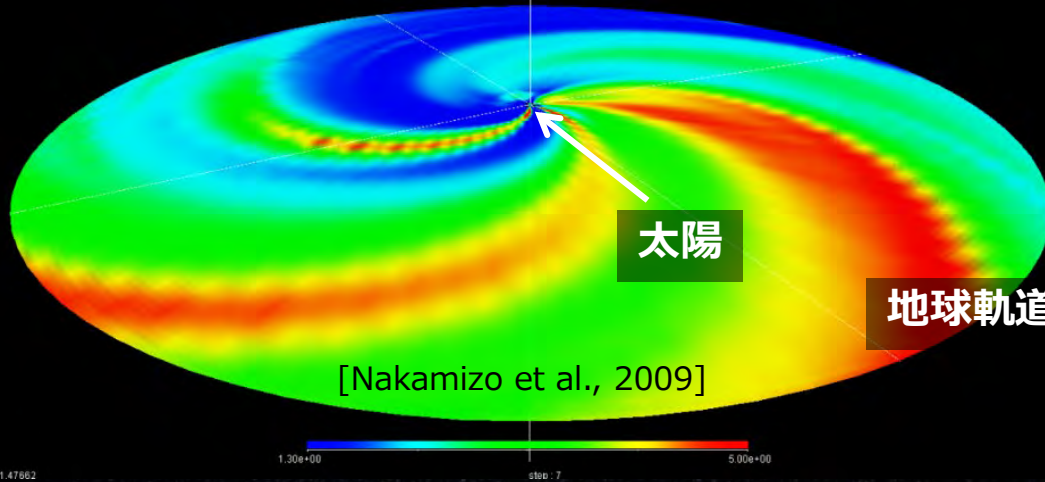
- 国際協力による宇宙天気観測網や衛星観測により、太陽・太陽風、磁気圏及び電離圏の状態をリアルタイムに監視。
- 宇宙天気の状態を迅速かつ正確に把握する技術を研究開発。

宇宙天気シミュレーション

grid: 69 x 60 x 199

(1362, 672)

太陽風シミュレーション

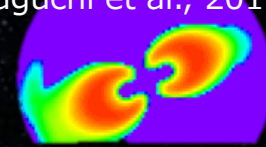


time: 51.47662

1.30e+00 step: 7 5.00e+00

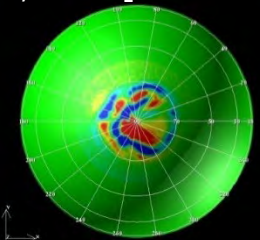
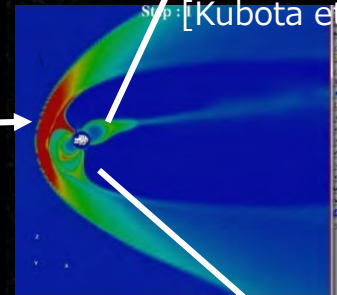
放射線帯モデル

[Sakaguchi et al., 2013]

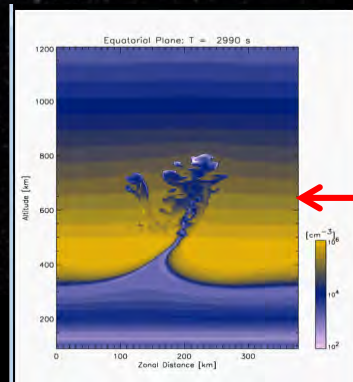


磁気圏シミュレータ

[Kubota et al., 2014]



超高精細 電離圏モデル

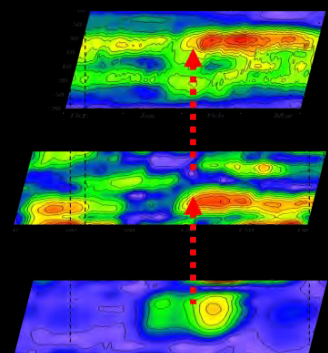
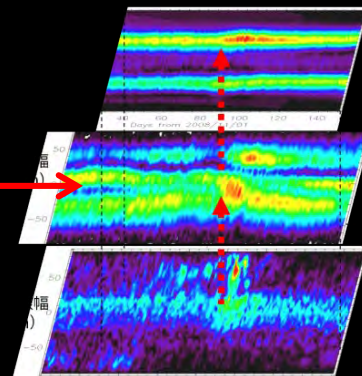


[Yokoyama et al., 2011]

電離圏大気圏結合モデル

客観解析データ入カシミュレーション

衛星観測



[Jin et al., 2012]

- 宇宙天気現象の予測を行うため、スパコンを利用した宇宙天気シミュレーション技術を研究開発。



宇宙天気予報センター



Webアクセス数：7万件/月
e-mail登録数：7,000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、GPS測位利用事業者、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

国際宇宙環境サービス (ISES)



ISES RWC (Regional Warning Center) 分布図

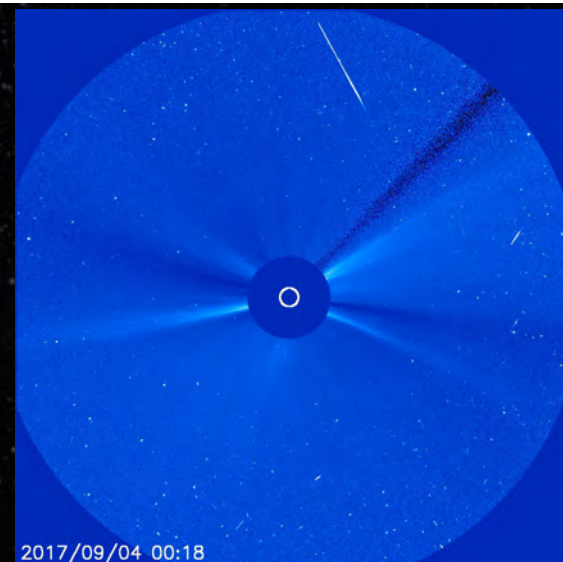
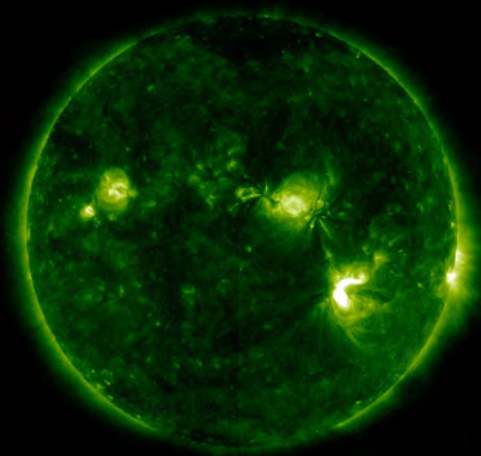
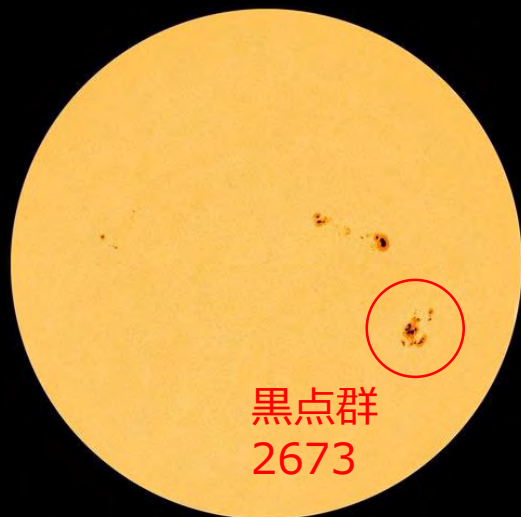
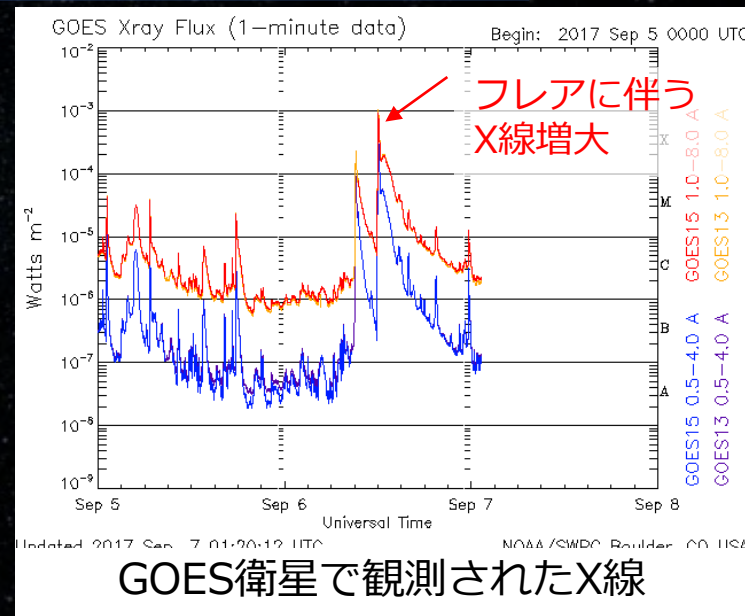


- ISES は、宇宙空間の安全利用のために、国際協力に基づき宇宙環境情報を提供する組織。
- 2016年現在の加盟国は18カ国。日本はNICTが ISES の RWC (Regional Warning Center) としての役割を担う。
- 1965 年以来、50年以上にわたり定常的に宇宙環境情報を提供する。NICTは発足時からのメンバーとして運営に大きく貢献。

宇宙天気の影響事例

2017年9月6日X9.3フレア

- 2017年9月6日 日本時間 20:53 に発生した X9.3 太陽フレアは、規模にして 11 年ぶり。
- 同時に発生したコロナガスは、地球方向に到来が予想された。
- コロナガスの持つ磁場の向きが南向きの時間が長く続くと、磁気嵐・電離圏嵐が発生し、衛星測位、短波通信・放送、電力網への影響が懸念された。



SDO衛星で観測された太陽画像（左：可視光、右：紫外線） SOHO衛星で観測されたコロナガス

2017年9月6日X9.3フレアの影響



- 2017年9月8日 日本時間7時頃にコロナガスが地球に到達、磁気嵐・電離圏嵐が発生した。
- 南極・昭和基地で激しいオーロラを観測。



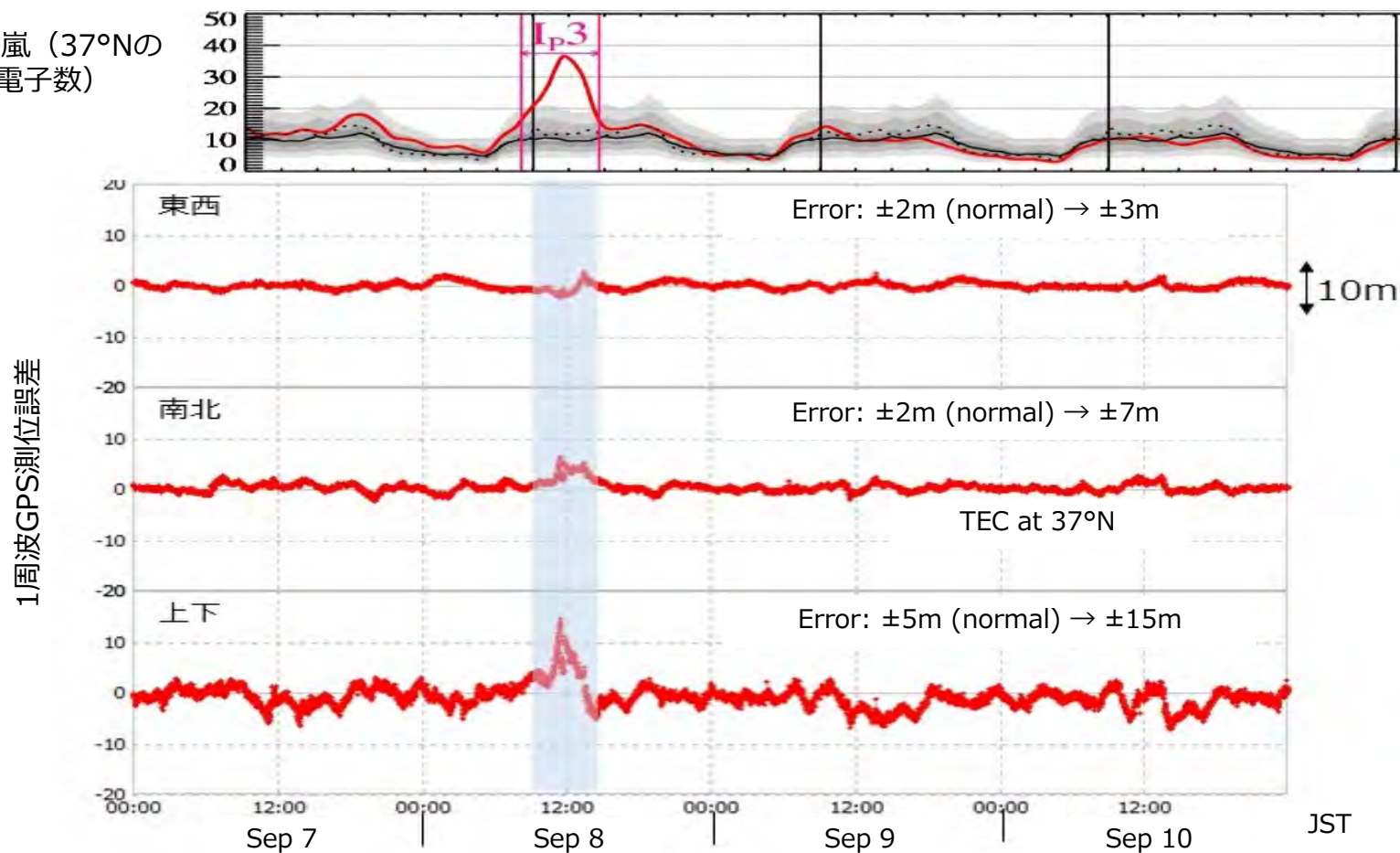
南極・昭和基地で観測されたオーロラ

2017年9月6日X9.3フレアの影響



- 国土地理院の1周波GPS測位の誤差が、電離圏嵐が発生した期間、通常の3倍程度増大した。

電離圏嵐 (37°Nの
全電子数)



2017年9月6日X9.3フレアの影響



- フレア発生時、日本は夜側で特に影響はなかったが、昼側にあった米国では、強いデリンジャー現象（短波通信障害）が発生。
- Hurricane Watch Netの短波通信に障害発生。当時は非常に強力なカテゴリー5のハリケーンIrmaが発生していたため、災害救助に障害が出た。

The screenshot shows a blog post from CQ Amateur Radio. The header features the CQ logo and the text 'Amateur Radio'. Below the header, there are navigation links for 'CQ Magazine Website', 'Subscribe to CQ', 'CQ Online Bookstore', and 'CQ Communications, Inc.'. The main content area is dated 'THURSDAY, SEPTEMBER 7, 2017' and has the title 'Hurricane Watch Update - Solar Flare Shuts Down HF Propagation'. The text of the post reads: 'The following update is from Hurricane Watch Net Manager KB5HAV. A solar flare is disrupting HF communications...'. Below this text is a NASA Solar Dynamics Observatory photo of a solar flare, with a caption: 'NASA Solar Dynamics Observatory photo of solar flare that is currently disrupting HF communications.'. To the right of the main text, there is an 'Update: Thursday, September 07, 2017 @ 1100 AM EDT (1500 UTC)' section, followed by the text: 'Mother Nature is still not playing fair. We've had yet another solar flare which has caused another HF blackout. Hopefully, the frequencies will recover soon.'. On the right side of the page, there is a 'FOLLOWERS' section with 227 followers and a 'BLOG ARCHIVE' section with links for 2018 (19), 2017 (181), December (20), and November (11).

<http://cqnewsroom.blogspot.kr/2017/09/hurricane-watch-update-solar-flare.html>

宇宙天気の影響事例：航空運航

2012年1月23日 アメリカ他 民間航空機の飛行ルート変更

- 太陽フレア
 - 高エネルギー粒子増加
 - 極域での通信途絶、被爆レベル増加
 - 極域航路回避

Delta diverts polar flights due to solar storm

おすすめ 21人がおすすめしています。Facebookにアカウント登録して、友達のおすすめを見てください。



Tweet 96

Share 13

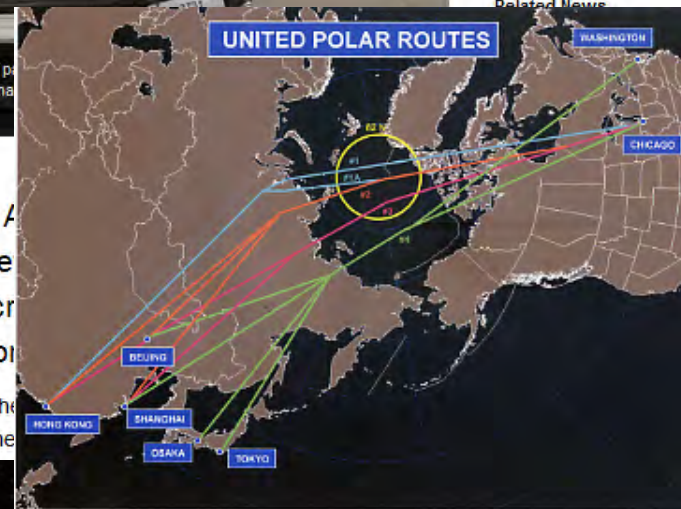
Share this

2

Email

Print

Related News

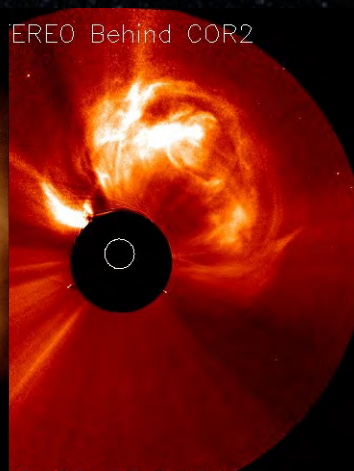
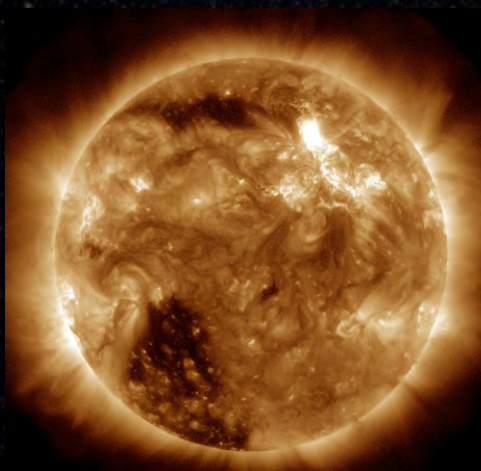


A Delta Air Lines jet takes off from Minneapolis-St. Paul International Airport. Credit: Reuters/Eric Miller

Tue Jan 24, 2012 3:56pm EST

(Reuters) - Delta Air Lines is diverting its polar routes because of disruptions to aircraft navigation caused by a solar radiation storm.

The storm, considered the most powerful in decades, is causing disruptions for U.S. airlines.

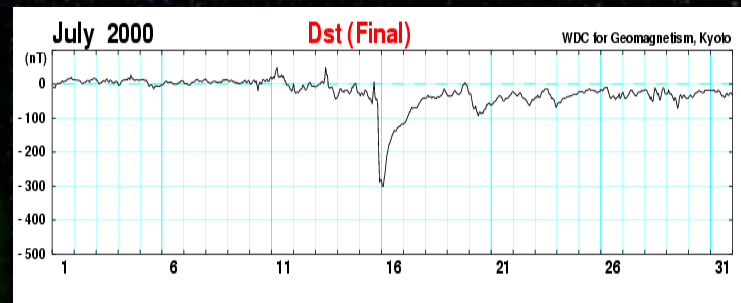


宇宙天気の影響事例：衛星運用

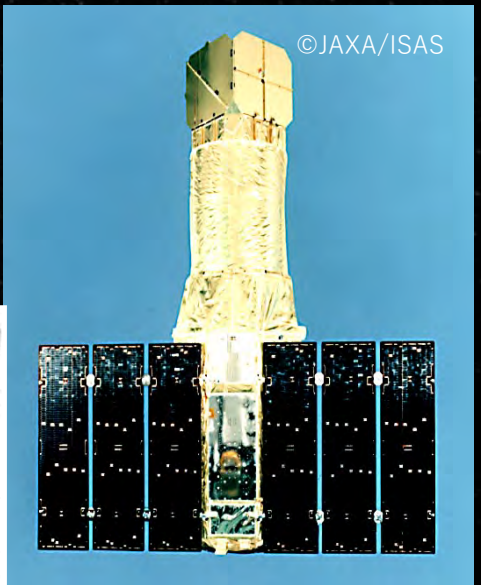
2000年7月15日 宇宙空間

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：太陽フレア後 → 磁気嵐 → 大気膨張 → 大気摩擦 → あすか衛星制御不能



2001.7.27 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。



X線天文衛星あすか

巨大太陽フレアの影響

- 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)
→ 電信線の帯電、電信オフィス発火
青森や和歌山でもオーロラ観測
- 2012年7月には、キャリントン級の太陽フレアが発生していたが、運良く地球の反対側のため、地球には影響がなかった。

単位：兆円

領域	ベスト	ワースト
米国、カナダ	14.2	18.1
スカンジナビア、英国	3.2	4.1
独・仏・伊・瑞・澳	8.1	10.5
欧州全体	11.3	14.6
日本	4.6	5.9
豪州	0.8	1.1

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

- キャリントン級太陽フレアの経済的損失の試算
- 世界各地に、東日本大震災 (16~25兆円) に匹敵する規模の損失

ScienceDaily®

Your source for the latest research news

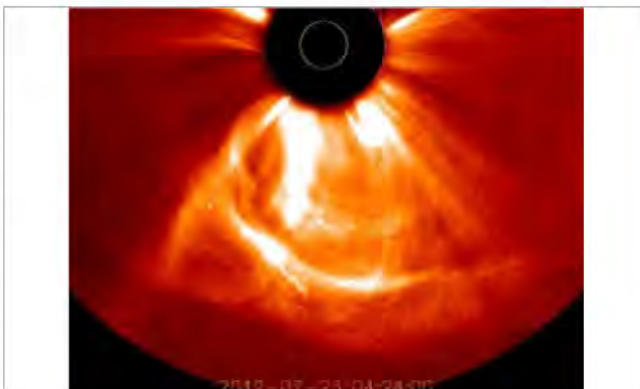
Fierce 2012 magnetic storm just missed us: Earth dodged huge magnetic bullet from the sun

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.



国際動向

米国の動向

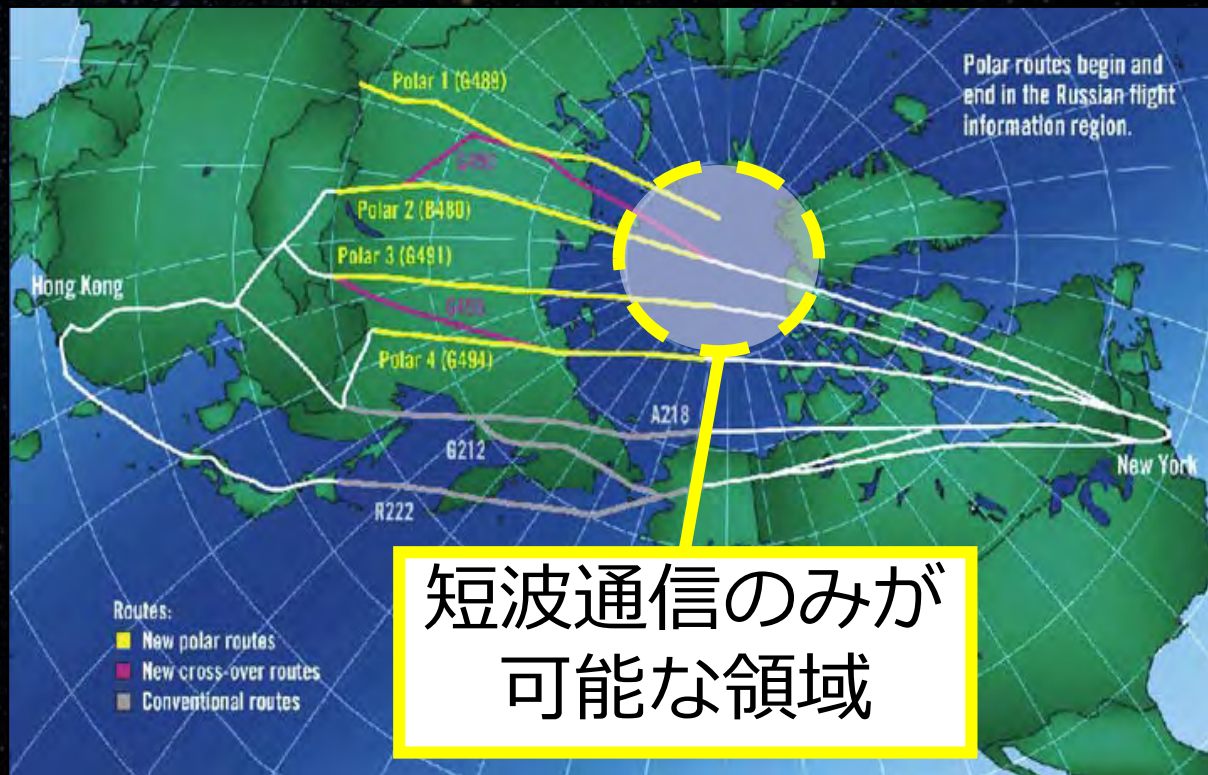
- 宇宙天気を地震や津波などの自然災害と並べ、米国戦略的国家危機評価の一つとして検討。
- 2015年10月ホワイトハウスより、「国家宇宙天気戦略」「宇宙天気アクションプラン」発表
- 2016年10月宇宙天気対応加速の大統領令
- 2017年5月上院議会で宇宙天気特別予算承認
- 国際連携の枠組み
“Space Weather as a Global Challenge”

Threat/Hazard Group	Threat/Hazard Type	National-level Event Description
Natural	Animal Disease Outbreak	An unintentional introduction of the foot-and-mouth virus into the domestic livestock population
	Earthquake	An earthquake occurs within the U.S. resulting in 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



航空運用での宇宙天気情報利用

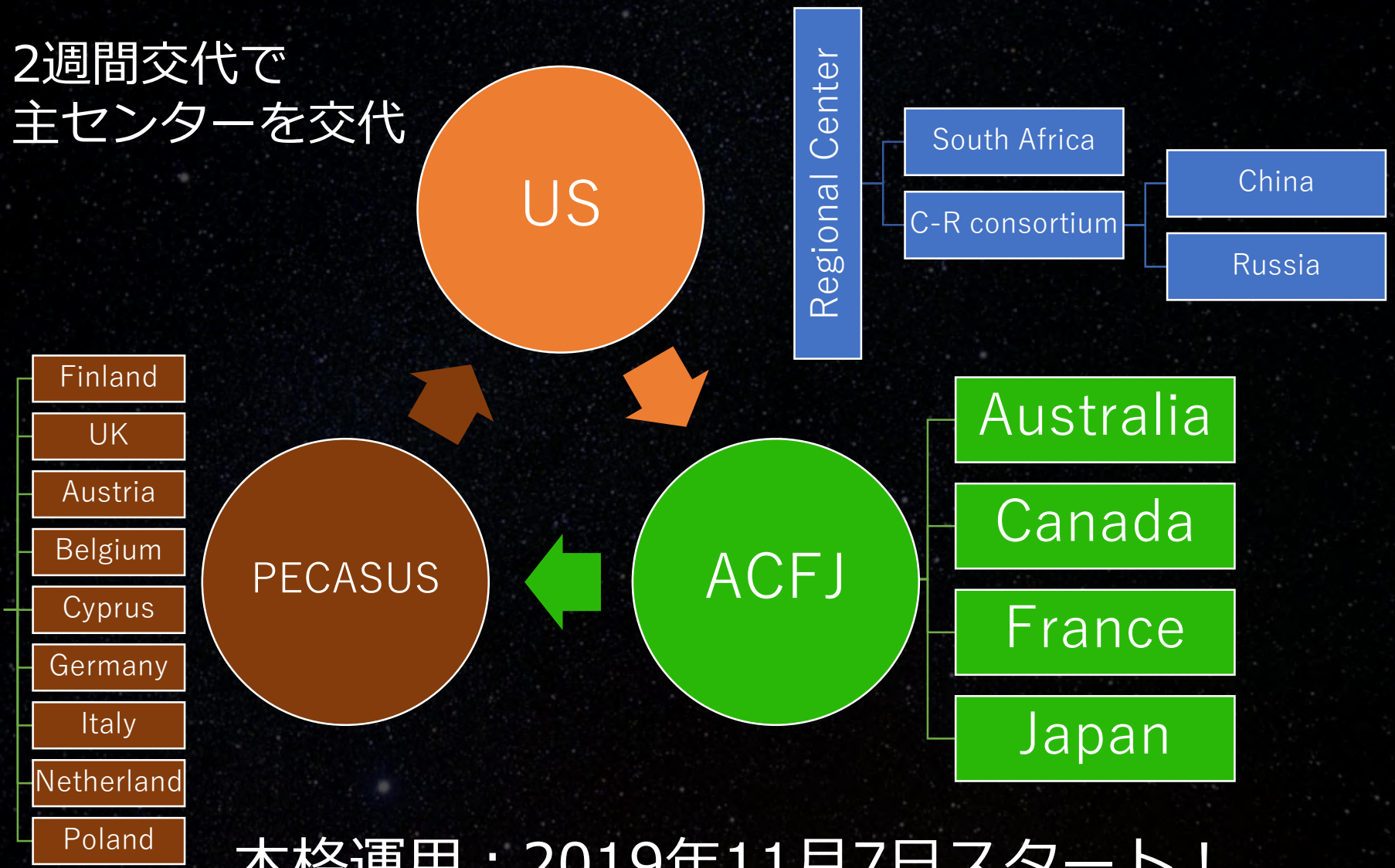
- 国連の組織である国際民間航空機関（ICAO）が、航空機運航に際して宇宙天気情報の利用義務化を検討している。
- 2020年代には、宇宙天気情報が航空運用に不可欠な情報として使用される見込み。



ICAO 宇宙天気センター



2週間交代で
主センターを交代



本格運用：2019年11月7日スタート！

新たな宇宙時代に向けて

これまで

- 国主導の宇宙開発・宇宙利用。国家予算で民間が開発
- 大型ロケット・衛星で、宇宙インフラを整備（測位衛星、通信衛星、観測衛星等）
- 宇宙へ行けるのはごく限られた人のみ
→ 限られた宇宙天気情報ニーズ



これから

- 民間主導の宇宙開発・宇宙利用
- 小型ロケット利用、小型・超小型衛星による衛星コンステレーション
- 一般人にも可能になる宇宙旅行
→ 宇宙天気への民間参入、ニーズの拡大

高精度衛星測位の安定運用

- 日本の準天頂衛星等、高精度衛星測位インフラの利用拡大
→ 自動車・建機・船舶・鉄道・農業等の自動運転・ドローン利用の急激な増大と安心・安全な運用に寄与する
- 海外展開：今後急速に伸びると期待される東南アジアにおける社会インフラの構築に先駆け、衛星測位利用を日本標準にすることで国益に寄与

みちびき(準天頂衛星システム)
GPSと一体運用可能なみちびきで位置情報を高精度測位

Michibiki Website Special Contents
**みちびき
サービス開始**

Service Launch
2018.11.1

みちびきサービス開始 Special Contents

<http://qzss.go.jp>

朝日新聞 DIGITAL

トップニュース

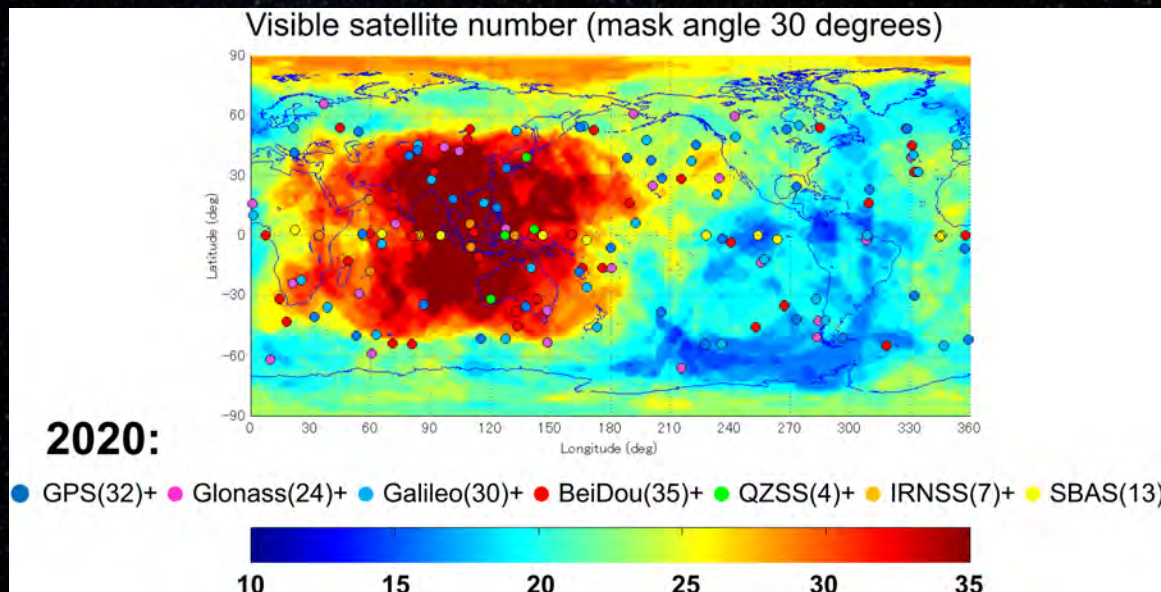
刈り残しなし？ 衛星「みちびき」で無人コンバイン実験

西川 迅 2017年11月22日 19時09分

【動画】準天頂衛星「みちびき」の位置情報を受信して自動走行するコンバイン=井年さゆり撮影

高精度衛星測位の安定運用

- Multi-GNSSによる利用可能衛星数の増加。東南アジアは世界で最も多くの測位衛星が利用できる地域。
 - 高精度測位に適しており、準天頂衛星の国際的な利用が望まれる。
- 一方で、赤道域特有の電離圏擾乱の影響を受けやすい地域でもある。
 - 日本と同等の測位精度を出すためには、精度のよい電離圏情報が求められると考えられる。



可視衛星数の分布

小型衛星の利用の増大

- CubeSat、CanSat等多数の小型・超小型衛星の利用が増大
 - 1機あたり1000万円を切る製造コスト
 - 超多点コンステレーション等、これまでになかった利用に期待
- 大型衛星では自前で宇宙環境をモニターしていたが、小型衛星ではその余裕はない → 宇宙環境情報のニーズ
 - 電磁環境
 - 大気ドラッグの影響

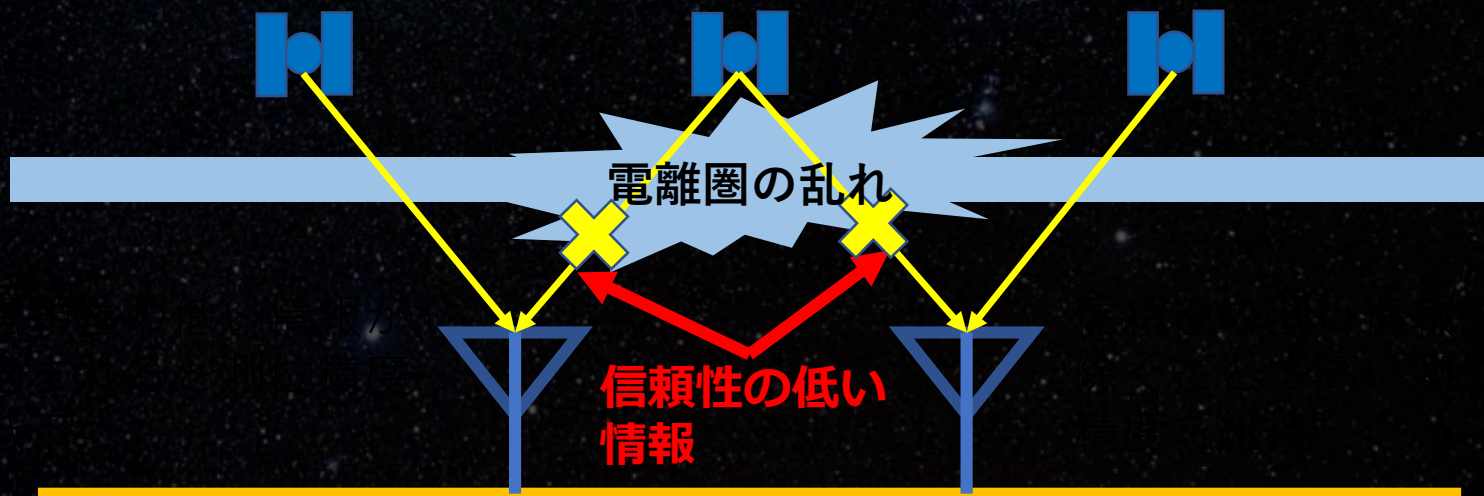


国内の大学において開発された衛星の例 (UNISEC HPより)

Oneweb衛星群 (Airbus HPより)

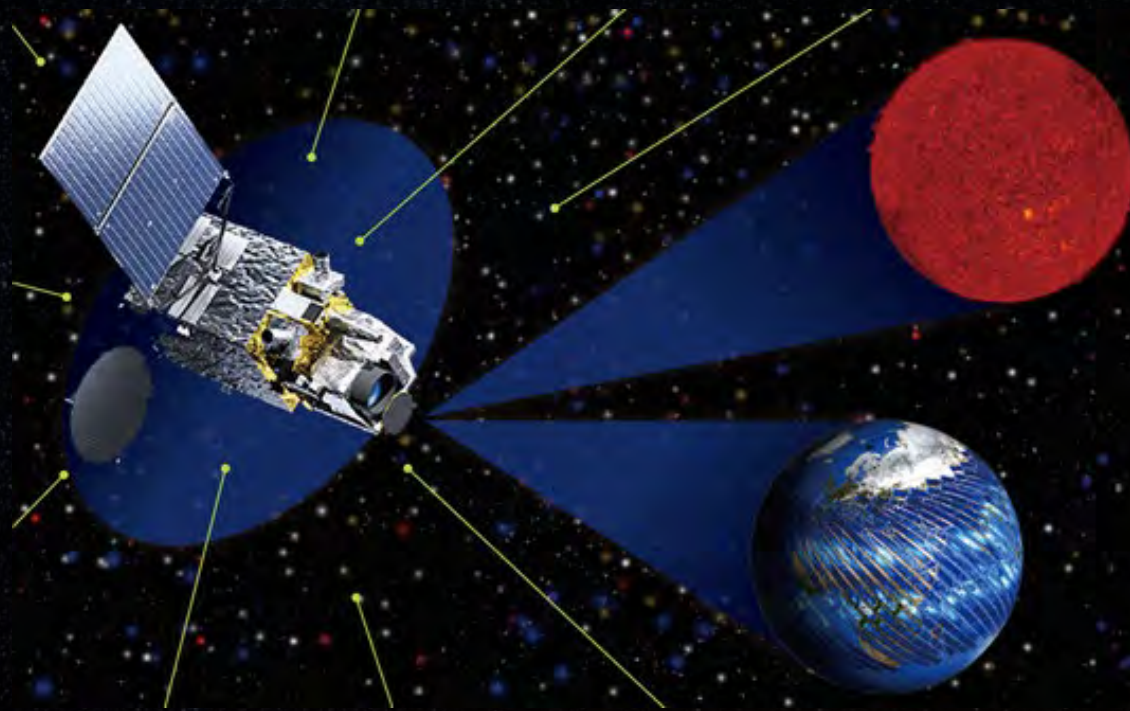
衛星測位精度向上の技術開発

- 地上で受信している衛星測位情報のうち、電離圏の影響を強く受け信用できない衛星データを取り除くことで精度向上が見込める。
- 電離圏の乱れの分布をリアルタイムで放送することで、それぞれの位置において信用度の低いデータがどれかを知ることができる。
- アルゴリズム上で信用度の低い情報を除くシステムを開発することにより、日本と同等のセンチメートル級の精度を実現。



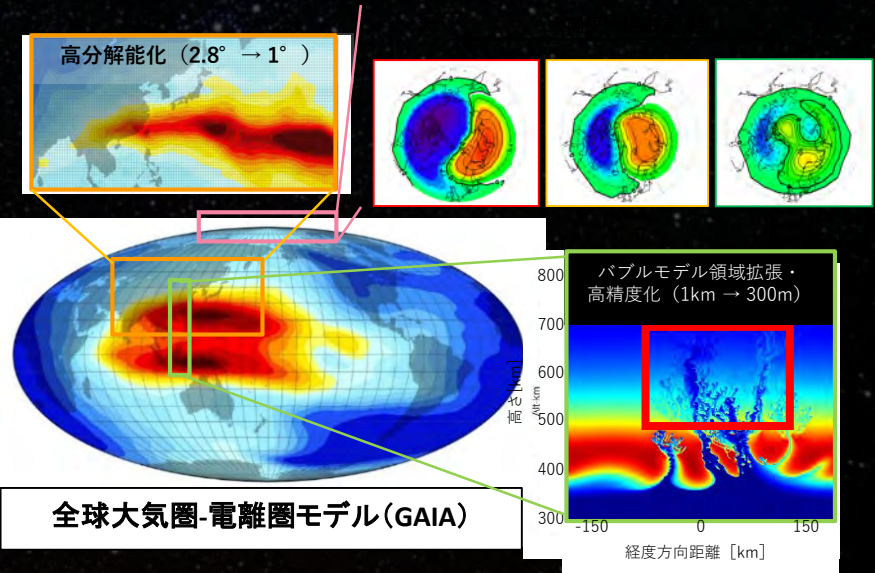
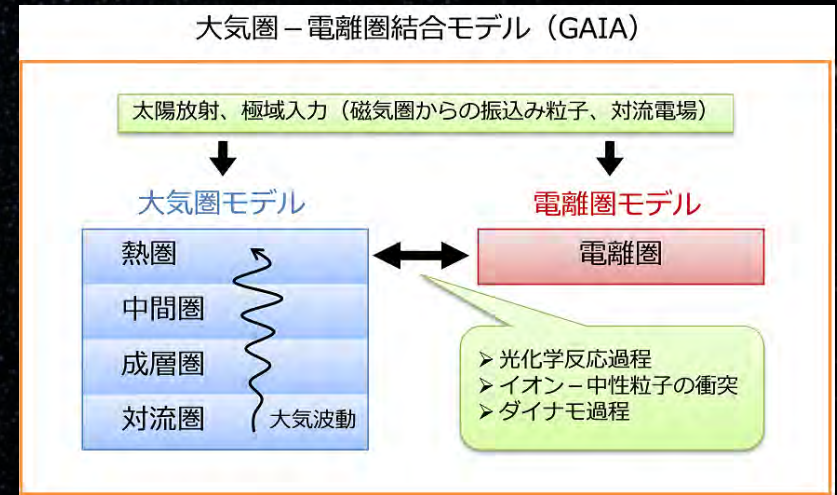
衛星による広域宇宙環境モニタリング

- 地球を観測：電離圏の乱れをモニタリングし、衛星測位の向上に寄与
- その場での宇宙環境計測：衛星に影響を及ぼす粒子や磁場を測定
- 太陽を監視：大きな宇宙環境の乱れを引き起こす太陽フレアを監視し早期警戒に寄与



観測結果の分析と予測

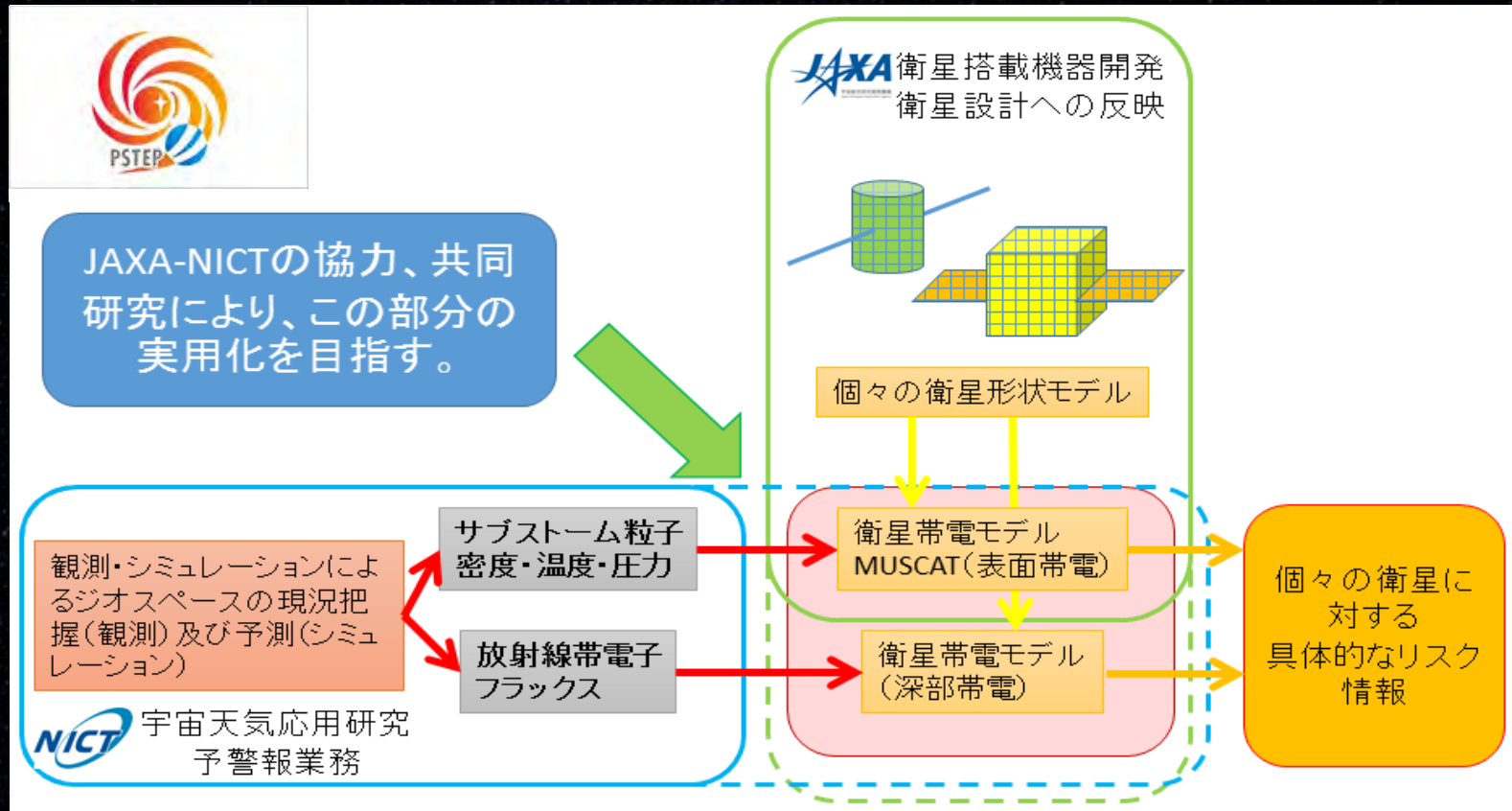
- GAIA (Ground-to-topside model of Atmosphere and Ionosphere for Aeronomy) モデル
- 大気圏モデルと電離圏モデルを結合し、全地球大気のシミュレーションを可能に
- 地表の気象の影響と太陽活動の影響を含むモデルとしては世界唯一
- GAIAモデルをベースとしたデータ同化により、高精度予測を実現



ソリューション4

テラーメイド宇宙天気

- 大きな宇宙天気現象の際に軌道上の衛星のどの部分がハザードにさらされているかを推定



AIを利用したフレア発生予測

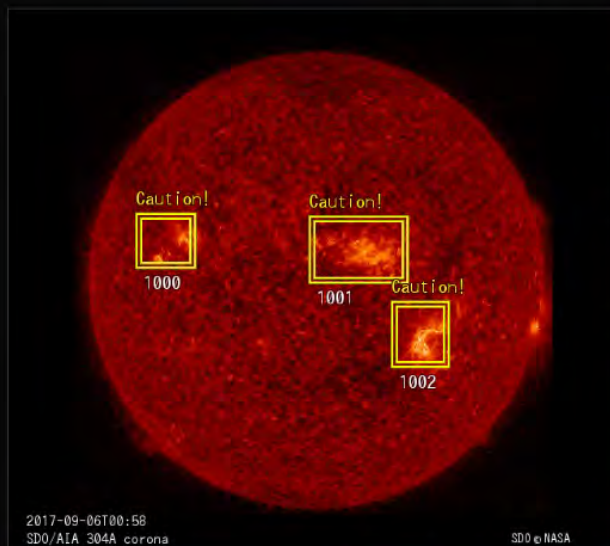
- 影響に対する準備期間をできるだけ長くする必要性
- 太陽フレアが発生する前に、その発生確率をAIを用いて推定

DeepFlareNet

131A 193A 304A 1600A White light Magnetogram

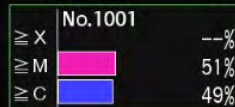
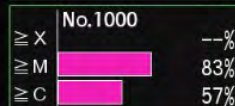
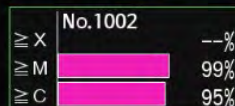


JAPANESE ENGLISH



No.	X	M	C	予測・コメント等
1002	--%	99%	95%	大規模フレアの発生確率が非常に高くなっています。
1000	--%	83%	57%	大規模フレアの発生確率が非常に高くなっています。
1001	--%	51%	49%	大規模フレアの発生確率が高くなっています。

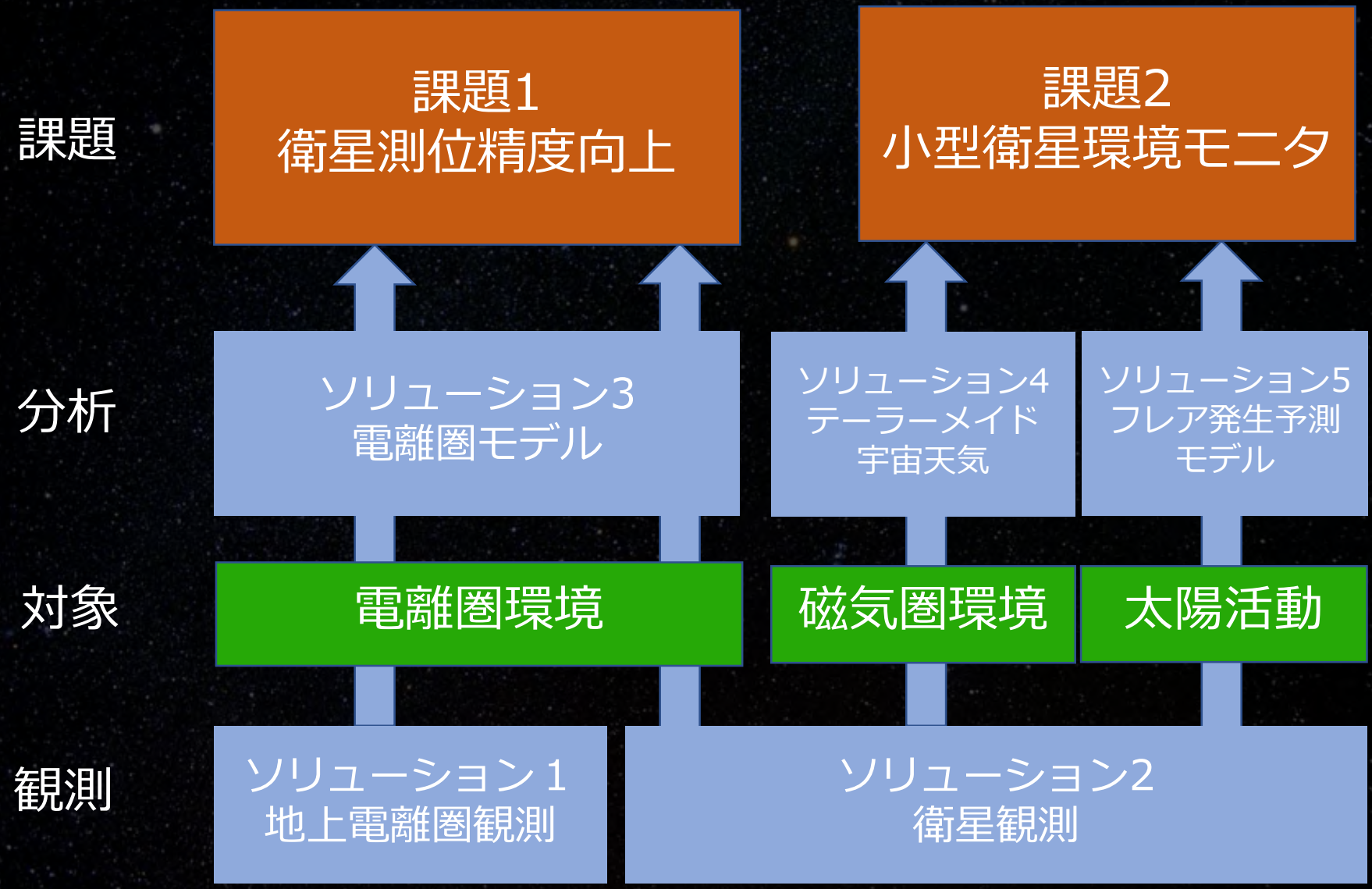
フレア発生確率
≧Mクラス
99%



※現在「Mクラス」フレアの予測は実施しておりません。

<https://defn.nict.go.jp/>

課題と解決の関係



NICTの取り組み



- **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の講習・啓発活動
- **宇宙天気ユーザー協議会**
ニーズ・シーズマッチング、コンテンツ利用のフィードバック

宇宙天気情報ユーザーのニーズを知り、研究の実践と交流推進をはかる

宇宙天気ユーザーズフォーラム

SPACE WEATHER USER'S FORUM

[HOME](#) [2016年度フォーラム開催概要](#) [過去のフォーラム](#) [お問い合わせ](#)

New Topics

2016/6/17	2016年度宇宙天気ユーザーズフォーラムの講演資料を公開しました
2016/5/12	2016年度宇宙天気ユーザーズフォーラムの開催情報を公開しました
2015/7/23	2015年度宇宙天気ユーザーズフォーラムの講演資料を公開しました

第9回宇宙天気ユーザーズフォーラム講演会の様子

同 宇宙天気予報センター見学会の様子

まとめ



- NICTでは、宇宙や電波を利用する社会インフラへのリスクを軽減するため、宇宙環境の状態を監視・予測する「宇宙天気予報」を行っている。
- また、宇宙天気予報の精度向上を目標に、最先端の観測・シミュレーション技術の研究開発を続けている。さらに、宇宙天気情報をユーザーにわかりやすい形で提供するコンテンツの開発も行っている。
- 宇宙天気については、従来の衛星運用業界や電波伝搬業界に加えて、航空業界や衛星測位業界などからも注目されつつあり、関心は日々高まってきている。特に実利用への展開が活発になってきている。
- 国際的な動向では、ICAOにおける宇宙天気情報の配信、利用義務化が開始されつつある。また、東南アジアでの宇宙天気情報の利用が注目されている。
- 新たな宇宙利用時代に向けて、国内外の研究機関及び民間企業とも協力し、拡大する宇宙天気情報ニーズに答えられるよう研究開発を続けて行きたい。