



科研費  
KAKENHI

宇天 - 3 - 2

2022年2月4日

宇宙天気予報の高度化の在り方  
に関する検討会（第3回）

# 新学術領域研究 「太陽地球圏環境予測（PSTEP）」 の概要報告

国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）

電磁波研究所 電磁波伝搬研究センター長

石井 守

# 本領域研究の背景と目的

## 目的1: 科学的重要課題の抜本的解決

太陽フレア爆発  
発生機構の解明

コロナ質量放出  
形成機構の解明

電磁気圏擾乱  
現象の機構解明

太陽活動の気候  
影響の機構解明

未解決の科学的重要課題

太陽天体物理学

宇宙空間物理学

地球電磁気学

気象学・気候学

爆発現象

太陽

長期変動

高エネルギー粒子

太陽風(高速プラズマ流)

太陽放射(VIS, UV, EUV, X)

宇宙放射線

磁気嵐

地球

電離圏嵐

気候変動

## 目的2: 社会基盤としての 宇宙天気予報の飛躍的な発展

宇宙放射線

測位・通信

電力

衛星

宇宙に広がる高度情報化社会に対する多様な影響



# 本領域の組織構成

国際連携拠点

**総括班** (名大 草野)



社会経済活動

## A01 予報システム班 (NICT 石井)

① 社会のニーズに応える予報システムの開発      モデルの統合⇒社会影響予測実験



## A02 太陽嵐班 (京大 一本)

フレアモデル → フレア発生予測  
太陽圏モデル → 太陽風擾乱予測

衛星観測(ひので、SDO) 光球磁場  
地上観測 フィラメント磁場・速度



## A03 地球電磁気班 (名大 三好)

粒子加速モデル → 宇宙放射線予測  
磁気圏モデル → 地磁気変動予測  
大気電離圏モデル → 電離圏擾乱予測

衛星観測 (ERG)、地上観測



## A04 周期活動班 (京大 余田)

太陽観測(ひので衛星) 気候データアーカイブ → 太陽周期活動モデル → 次期太陽周期予測  
地球システムモデル → 太陽気候影響要素



② 短期変動 (爆発現象)

③ 長期変動 (気候影響)

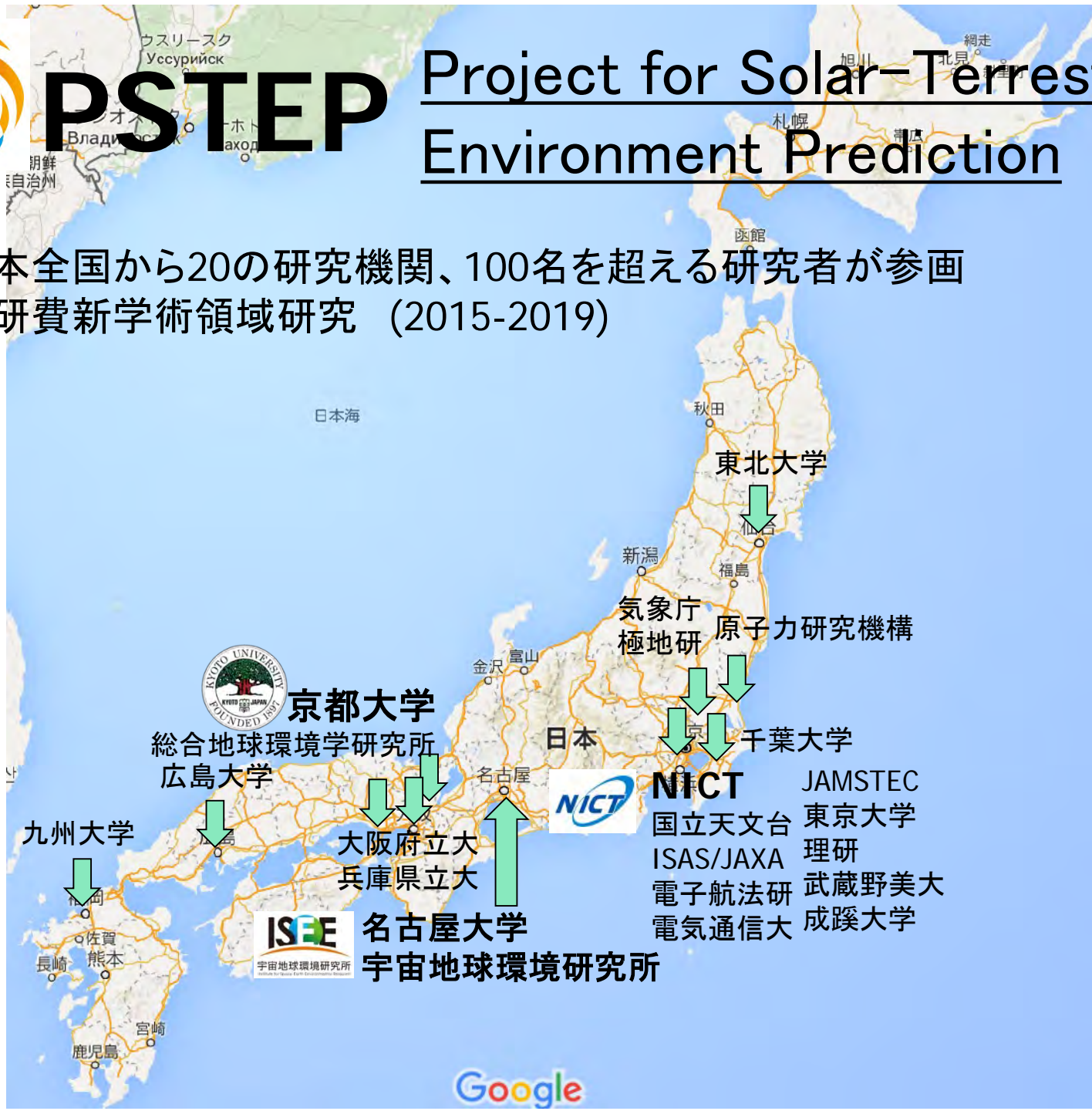
公募研究



# PSTEP

## Project for Solar-Terrestrial Environment Prediction

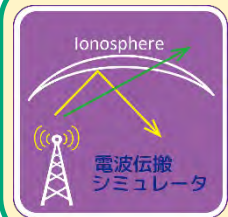
- 日本全国から20の研究機関、100名を超える研究者が参画
- 科研費新学術領域研究 (2015-2019)



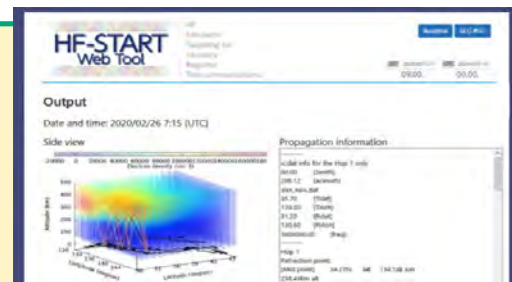


- 物理モデルに基づく精密な予報をリアルタイムで実現するため、3つの新たな予報システムの開発

## 電波伝搬シミュレータ(HF-START)



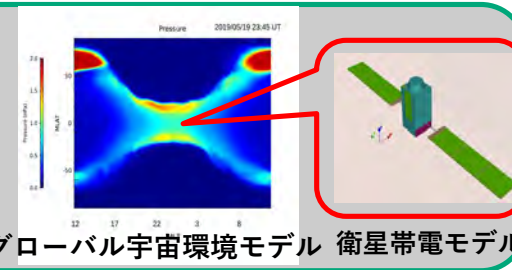
- 任意の2点間のHF伝搬シミュレータを開発、Web上で公開
- 電離圏の情報として、各種モデルの出力およびリアルタイム観測からの出力等用途に応じて選択可能



## 人工衛星帯電リスク評価(SECURES)



- 磁気圏シミュレーションにより宇宙環境状況を推定
- プロトタイプ of 衛星モデルについて、任意の場所での帯電の状況監視するシステムを開発、Web上での公開(R2年度末予定)

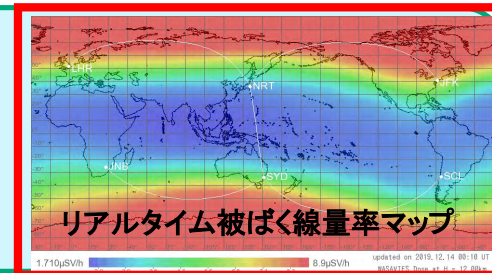


グローバル宇宙環境モデル 衛星帯電モデル

## 航空機の被ばく警報システム(WASAVIES)



- 高エネルギー粒子による航空機高度の放射線量を推定、全球マップを表示
- 日本からの主要航空路については高さ分布も表示可能に
- ICAO(国際民間航空機関)の宇宙天気予報でも使用



HF-START (High Frequency Simulator Targeting for All-users' Regional Telecommunications) は、宇宙天気についての知識を持たなくてもその成果を利用することを目指したリアルタイム短波伝搬シミュレータです。

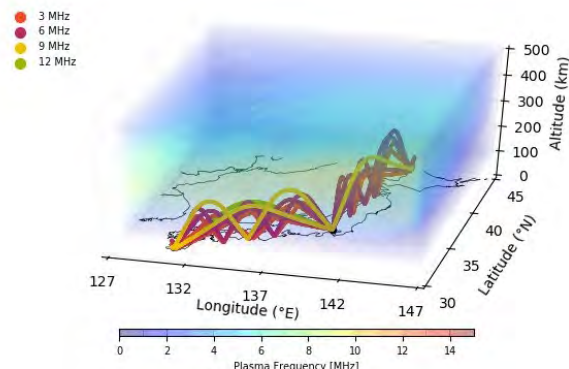
HF-START のサービスは、実測された電離圏情報を用いた国内用モデルと、地球全体に適用可能な、数値モデルを用いたモデルからなります。

## リアルタイムモデル

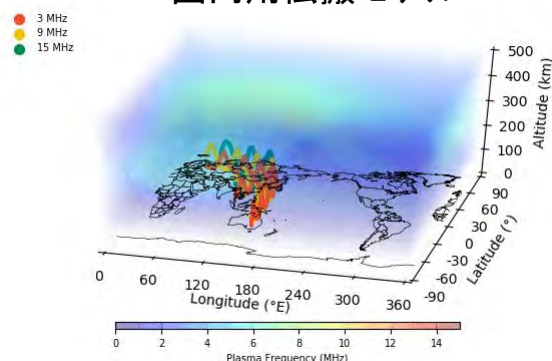
- 国内利用に対しては、国土地理院の配備した衛星測位システム“GEONET”のリアルタイムデータを用い、3次元トモグラフィによる日本上空の電離圏電子密度の推定を行い、電波伝搬シミュレータに導入しています。
- 全球利用に対しては、NICT・九州大学・成蹊大学が開発している電離圏数値モデル“GAIA”を用いた電離圏モデルを用いています。
- これらの電離圏情報は、毎時15分および45分に更新されます。リアルタイム情報が得られない場合には、「最新情報ではない」旨の表示がされます。

## ウェブアプリケーション

HF-START ウェブツールでは、ユーザが送信周波数、送信機・受信機の位置等を入力し伝搬可能性を確認できるようになっています。

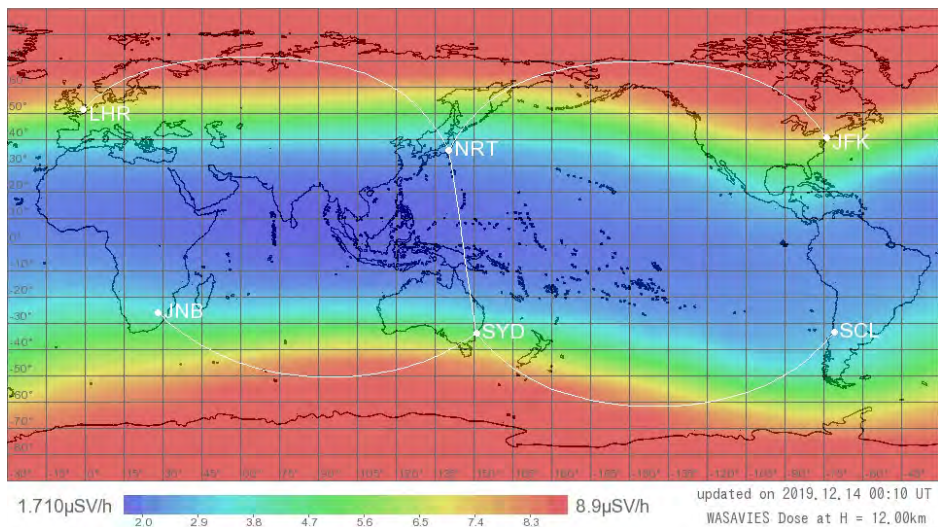


国内用伝搬モデル

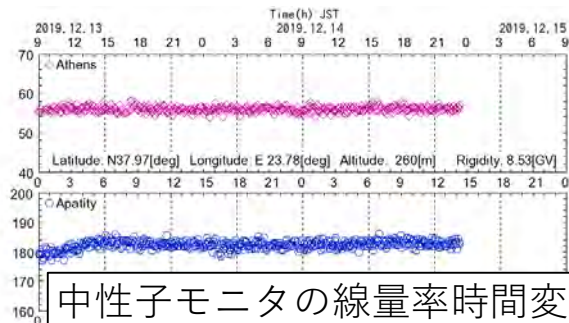


全球モデル

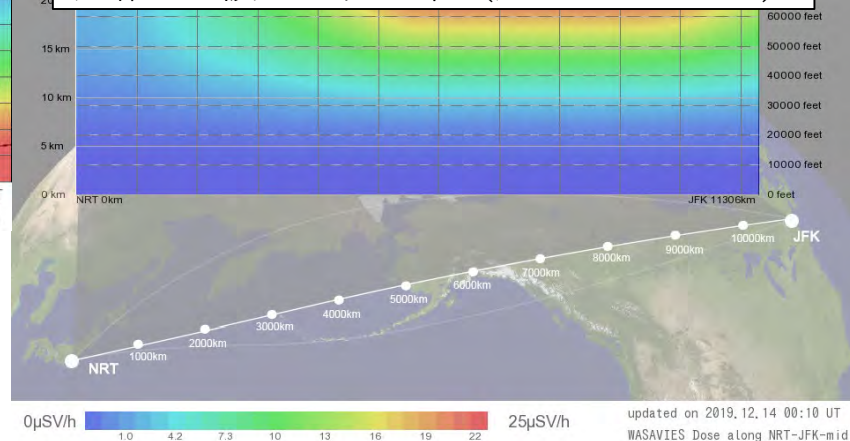
<https://wasavies.nict.go.jp/about.html>



航空機高度の被ばく線量率



航路別の被ばく線量率 (成田-New York)



**2019年11月7日web公開開始**

- GOES Proton fluxと地上の中性子モニタのリアルタイム観測データから大気中の任意の点における被ばく線量率を表示するシステム
- 普段は1日1回更新、GLE発生時は5分ごとにデータを更新。
- GLE発生時は、発生時刻からの線量率の時間変化が確認可能。  
GLE(Ground Level Event):太陽からの高エネルギー粒子が地表の中性子モニタに計測可能となるレベルの現象



# 社会が必要とする宇宙天気情報の提供【A01】

## 「科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響評価」(宇宙天気ハザードマップ)

- 宇宙天気現象の社会影響について、現在得られている知見を駆使して検討を行った。
  - まとめられた文書は令和2年10月7日にNICTのWeb上で公開するとともに報道発表を行った。
  - 10月13日には宇宙天気ユーザー協議会を開催し、その詳細についてユーザーに説明を行った。
  - 英語で書かれたダイジェスト版について、EPS誌PSTEP特集号で出版 (Ishii et al., Space weather benchmarks on Japanese society, Earth Planets Space 73, 108 (2021)).
- <https://doi.org/10.1186/s40623-021-01420-5>

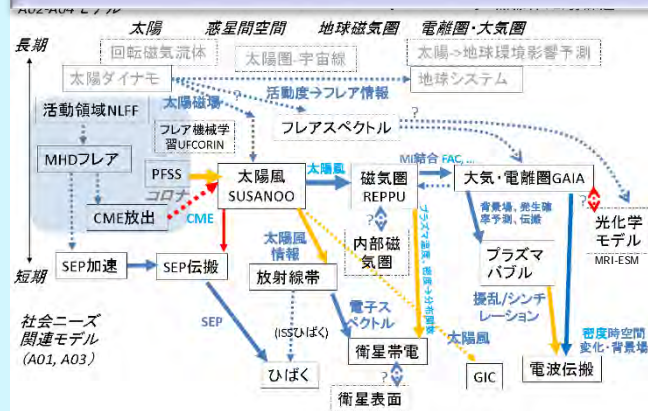
分野	影響と被害	被害を起し得る宇宙天気現象	発生頻度と影響	100年/年	1000年/年	10000年/年	100000年/年
電力	停電	電圧変動 (SCD)	高緯度地域	△	△	△	△
衛星運用	衛星機体障害 (衛星機体障害)	宇宙天気現象全般	高緯度地域	△	△	△	△
通信・放送	電波障害 (電波障害)	電離圏擾乱 (SCD)	高緯度地域	△	△	△	△
	電波障害 (電波障害)	電離圏擾乱 (SCD)	高緯度地域	△	△	△	△
航空利用	飛行機運航の乱	電離圏擾乱 (SCD)	高緯度地域	△	△	△	△
有人宇宙活動	宇宙飛行士健康 (宇宙飛行士健康)	宇宙天気現象全般	高緯度地域	△	△	△	△
地上生活	電磁障害 (電磁障害)	電離圏擾乱 (SCD)	高緯度地域	△	△	△	△

## 宇宙天気ユーザー協議会の設立

- 2016年に、コアユーザーによる宇宙天気ユーザー協議会を設立。5年間で9回開催。
- 宇宙天気情報のニーズ・シーズマッチングの調査報告、アプリケーションの評価のフィードバック、ハザードマップ作成等を議論。
- PSTEP期間終了後においてもNICTが事務局として継続的に開催。協議会においては、今後各分野のニーズに特化した情報サービスの提供を議論。



## モデル間結合の検討



宇宙天気領域モデルの結合について検討



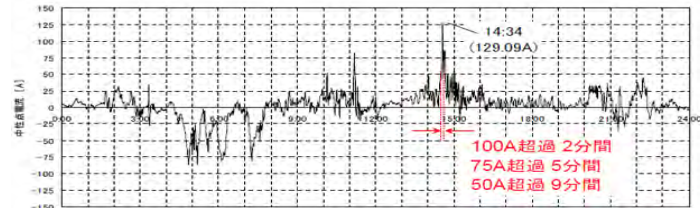
- 宇宙天気現象の社会影響について、現在得られている知見を駆使して検討を行った。
- 表1は、分野および発生頻度別の影響の有無を示している。
- 日常的な発生規模から、1000年に1度発生するような巨大規模までの現象の**日本社会影響**を、影響なし(緑色)・あり(橙)・影響大(赤)で分類して示している。

分野	影響と被害	障害を起こし得る宇宙天気現象	発生頻度と影響				
			日常～複数回/年	1回/1年	1回/10年	1回/100年	1回/1000年
電力	停電(送電線の過電圧)	地磁気誘導電流(GIC)					*
衛星運用	宇宙機(表面帯電)	サブストーム高温電子				*	*
	宇宙機(内部帯電)	放射線荷電子				*	*
通信・放送	短波(HF)通信・放送の障害	電離圏嵐(食相嵐)				*	*
		デリンジャー現象				*	*
		極冠吸収(PCA)				*	*
		プラズマバブル				*	*
	超短波(VHF)通信・放送の障害	スキャットレイター現象	△	△	△	△	△
		プラズマバブル				*	*
測位利用	測位精度の変化	電離圏正相嵐				*	*
		プラズマバブル				*	*
		オーロラ領域における電子筋所構造の高速移動				*	*
有人宇宙活動	宇宙飛行士被ばく	太陽風エネルギー粒子(SEP)				*	*
地上生活	地上での被ばく	太陽風エネルギー粒子(SEP)					*
航空運用	通信障害(地上航法援助用放送を含む)	電離圏嵐(食相嵐)				*	*
		デリンジャー現象				*	*
		極冠吸収(PCA)				*	*
		プラズマバブル			*	*	*
		スキャットレイター現象			*	*	*
	測位精度の変化	電離圏正相嵐	*	*	*	*	*
		プラズマバブル	*	*	*	*	*
		オーロラ領域における電子筋所構造の高速移動	*	*	*	*	*
	航空乗務員の被ばく	太陽風エネルギー粒子(SEP)				*	*

表1. 分野および発生頻度別の影響マトリクス(2022年1月改定版)

## 過去の事例

2003年10月31日のハロウィンイベント時に発生した磁気嵐に伴う地磁気誘導電流では、特に変圧器の異常は見られなかったとの報告がある。電力事業者に確認したところ、こうした過去に経験のあるGICの規模であれば日本の電力網は十分耐性があるといえるが、それ以上のGICに対する耐性は不明であるというのが見解であった。



## 日本社会に影響を与える頻度

宇宙天気現象	被害	発生頻度と影響				
		日常～複数回/年	1回/1年	1回/10年	1回/100年	1回/1000年
地磁気誘導電流 (GIC)	停電 (送電線への過電流)	なし	なし	なし	なし	不明

100年に一度程度の現象は既に経験済みであり、日本の電力網に影響はないと言える。一方、1000年に一度程度の現象については電力網の体制が不明なことからなんとも言いえない。

## 日本で発生しうる事例

Kappenman, 2004は、中部電力で測定されたGICを分析し、GIC規模とDst規模には線形の関係性があるとした(図4-7)。さらに、巨大宇宙天気現象に対しても線形近似で外挿できると仮定すれば、1859年の推定Dst=-1700のイベントにおけるGICは、1989年3月の磁気嵐時の3倍の強度になると見積もることができるとしている。2.6項にて議論した磁気嵐規模の定義をもとに、図4-7からGIC規模を読み取ると、100年に1回、1000年に1回規模のDstで生じるGICは、それぞれ約93 A、約136 Aとなる。

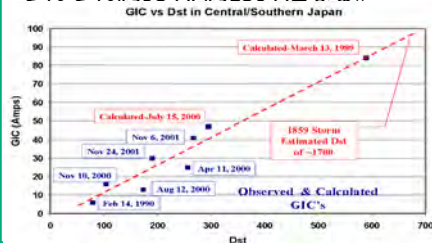


図4-7 -Dst指数と中部電力で測定されたGICの関係

## 経済インパクト

関東地域の電力が24時間停止した場合の各産業に対する経済影響とその総額を産業連関分析を行った。一般的な産業連関分析によると、238億円/日と試算された。また先行研究で用いられた、別の産業連関分析手法を用いた場合198億円/日の損失となった。

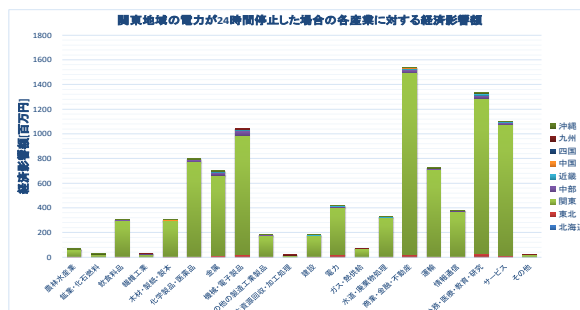


図4-1/ 関東地域の電力が24時間停止した場合の各産業に対する経済影響

## 通信・放送への影響の種類

短波 (HF)への障害としては、デリンジャー現象、電離圏負相嵐、スポラディックE層、極冠吸収などがある。

超短波 (VHF)への障害としては、プラズマバブル、スポラディックE層などがある。

## 影響の事例

発生日	影響事象概要	太陽フレア規模
1948/5/6-5/8	日本でデリンジャー現象による国内及び国外短波通信への障害 [120]。	データなし
1958/1/22	日本でデリンジャー現象による国外短波通信への障害 [120]。	データなし
1958/2/11-2/12	デリンジャー現象により世界の大部分の短波通信に障害 [158]。	データなし
1959/2/5-2/6	日本でデリンジャー現象による国外短波通信への障害 [120]。	データなし
1960/3/29	日本でデリンジャー現象による国外短波通信への影響 [120]。	データなし
1966/9/4	日本でデリンジャー現象による国外短波通信への影響 [120]。	データなし
1967/5/26	日本でデリンジャー現象による国外短波通信への影響 [120] [159]。	データなし
1972/8/2	日本でデリンジャー現象による国内短波放送への影響。全国規模で1時間継続。国外通信はケーブル通信に切り替えて通信障害回避 [120] [160]。	データなし
1989/3/6, 13 (ケベックストーム)	世界的な短波通信障害。ロランを使った海上ナビゲーションで多数の問題が起きたが、その警報を伝える短波回線が通信障害中で使えなかった [59] [145]。	X15 (3/6 14:05)
2012/3/7	Xクラス太陽フレアに伴うデリンジャー現象により日本で短波放送の受信状態が悪化 [120] [161]。	X5.4 (3/7 00:21)

## 日本社会に影響を与える頻度

宇宙天気現象	被害	発生頻度と影響				
		日常～複数回/年	1回/1年	1回/10年	1回/100年	1回/1000年
電離圏嵐 (負相嵐)	短波通信障害	低太陽活動時には影響は小	低太陽活動時には影響は小			
デリンジャー現象	短波通信障害	低太陽活動時には影響は小	低太陽活動時には影響は小			
極冠吸収	短波通信障害	低太陽活動時には影響は小	低太陽活動時には影響は小			
プラズマバブル	短波通信障害	低太陽活動時には影響は小	低太陽活動時には影響は小			

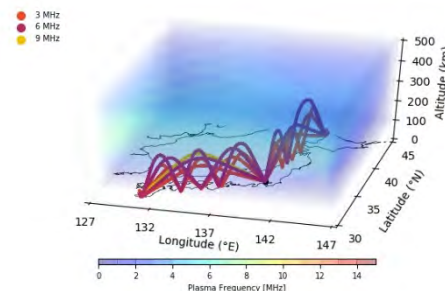
宇宙天気現象	被害	発生頻度と影響				
		日常～複数回/年	1回/1年	1回/10年	1回/100年	1回/1000年
スポラディックE層	超短波 (VHF) 通信への影響	あり	あり	あり	あり	あり
	foEs >13.3MHzでの継続時間	約3時間	約5時間			
	foEs >18MHzでの継続時間	約1-2時間	約3時間			



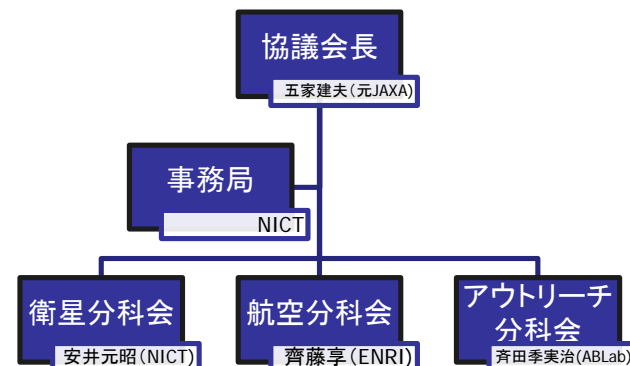
- 科研費新学術領域「太陽地球圏環境予測」<sup>1</sup> (略称：PSTEP)において、宇宙天気情報についてユーザーとの双方向コミュニケーションを形成するために2015年に設立。2021年11月までに12回開催。
- これまで、宇宙天気情報に関するニーズ・シーズマッチングおよび関連アプリケーションのフィードバック等の活動を実施。
- 本協議会において検討したアプリケーション例
  - WASAVIES<sup>2</sup>：人工衛星と地表面で観測した宇宙線強度から大気圏内（高度約100kmまで）の宇宙線被ばく線量率を推定
  - HF-START<sup>3</sup>：短波無線通信や宇宙天気利用者のために開発された短波帯の電波伝搬シミュレータ
- PSTEP報告書「科学提言のための宇宙天気現象への影響評価」<sup>4</sup>への情報提供にも貢献
- 個々の案件について、より深い議論を行うため2021年11月に五家建夫氏（元JAXA）を協議会長に選任したほか以下の分科会を設置（カッコ内は分科会長）。
  - 衛星分科会（安井元昭(NICT)）：ひまわり衛星で新たに得られるデータの社会展開を検討する。
  - 航空分科会（斎藤享（電子航法研究所））：ICAO宇宙天気サービスを始めとする情報共有と意見集約、およびニーズシーズ検討を行う。
  - アウトリーチ分科会（齊田季実治（ABLab））：広く一般に向けた情報展開の方策や宇宙天気の学びの場の整備、および宇宙天気情報の社会での活用について検討を行う。



協議会の模様(2020年2月21日:第8回)



HF-START出力例



宇宙天気ユーザー協議会組織図

1 正式名称：文部科学省科学研究費補助金新学術領域（研究領域提案型）研究期間：平成27-31年度「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－」

2 <https://wasavies.nict.go.jp/>

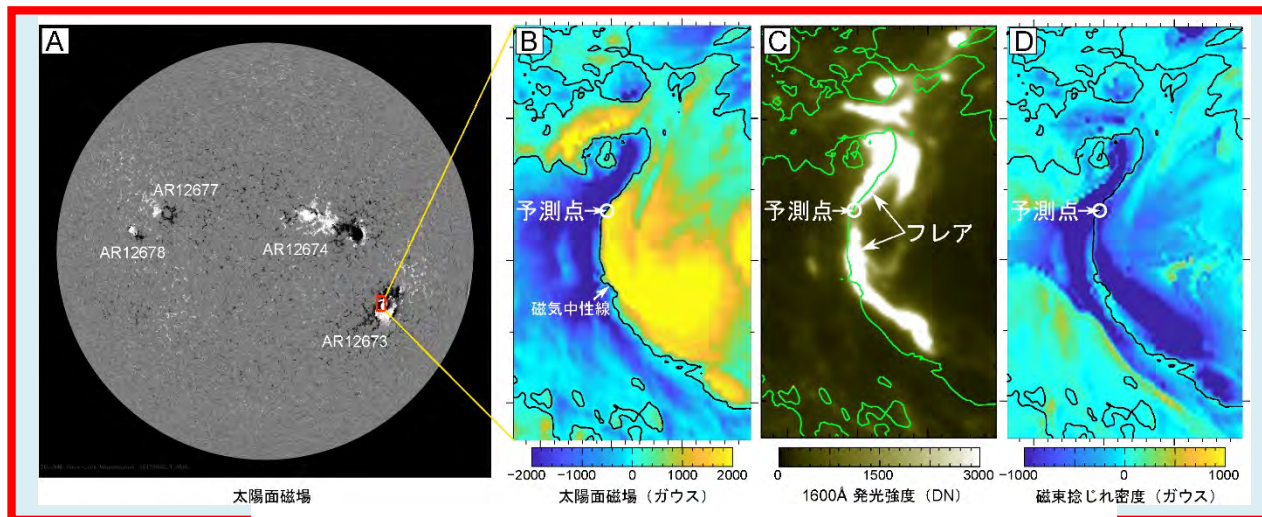
3 <https://hfstart.nict.go.jp/jp/>

4 <https://www2.nict.go.jp/spe/benchmark/>

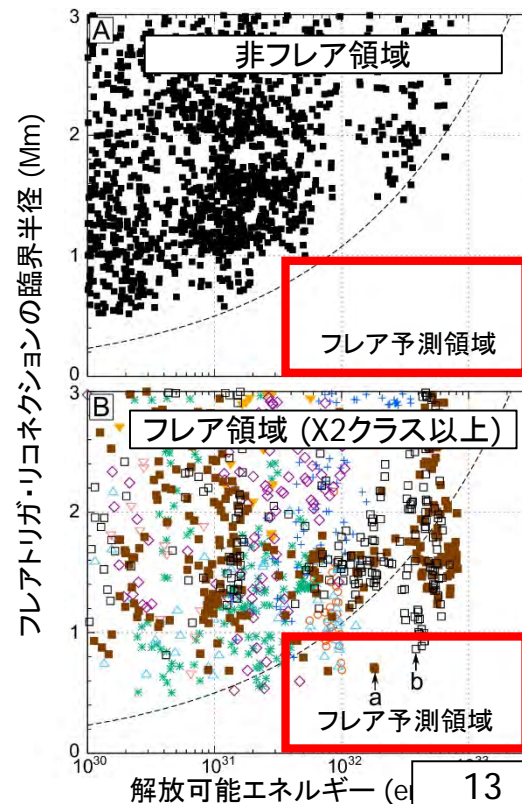
## 巨大太陽フレアの物理予測スキーム( $\kappa$ -スキーム)の開発に世界で初めて成功 (Kusano et al. 2020 Science)



- 巨大太陽フレア(X2以上)を位置と規模を正確に予測
  - 確度85%以上(7活動領域中、6活動領域のフレアを予測)
- ➔ 従来の経験的予測の確度は50%以下
- フレア発生を決定する物理変数「磁束捻じれ密度」を発見
  - 「ナノフレア」によるコロナ加熱の理解への貢献も期待される。



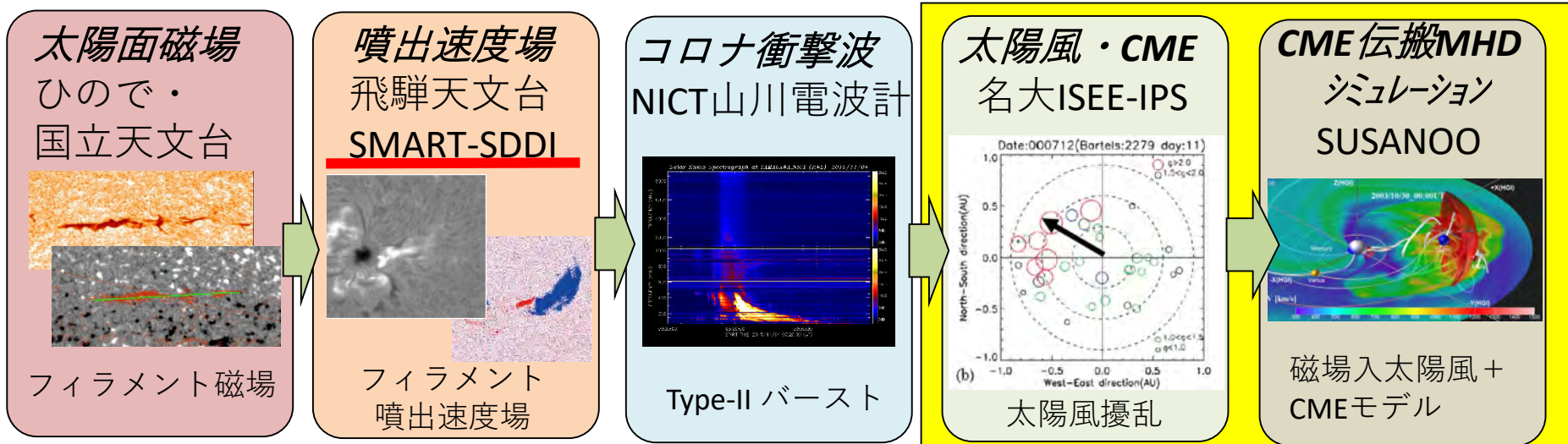
$\kappa$ -スキームによる第24太陽周期最大フレア(2017年9月)の予測



その他の成果

- 深層学習によるフレア予測スキーム (Nishizuka+2018)
- 「ひので」衛星によるフレア前活動の解析 (Bamba+ 2017, 2018, 2020)
- 現実的な3次元磁場の再現 (Miyoshi+ 2020, Kawabata+ 2020)
- フレア予報の国際比較ワークショップ (Leka+ 2019a, 2019b, Park+2020)

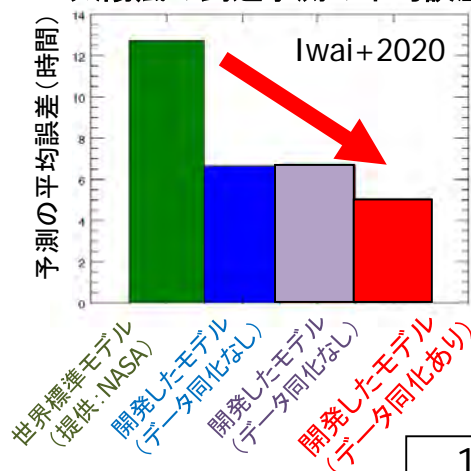
太陽からのプラズマ噴出がコロナ質量放出(CME)となって地球軌道に到達する過程を正確に予測するための**観測体制の整備**と**データ同化モデルの開発**



成果:

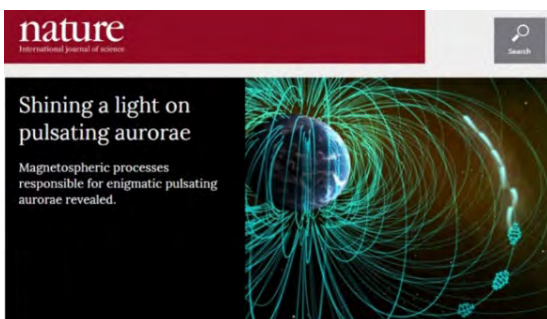
- ・フィラメント磁場の方向に南北半球に依存した規則性を発見 (Hanaoka+ 2017)
- ・フィラメント噴出の運動を完全に捉える装置が稼働を開始 (Ichimoto+2017)  
噴出の前兆現象やCMEの発生予測を可能とするパラメータ発見 (Seki+ 2017, 2020)
- ・Type-II 電波バースト(コロナ衝撃波)の自動検出システム完成・実用化
- ・CMEシミュレーションによりの太陽嵐再現に成功 (Shiota+ 2016)
- ・IPSのデータをシミュレーションと同化することにより予測精度向上 (Iwai+ 2020)

太陽嵐の到達予測の平均誤差



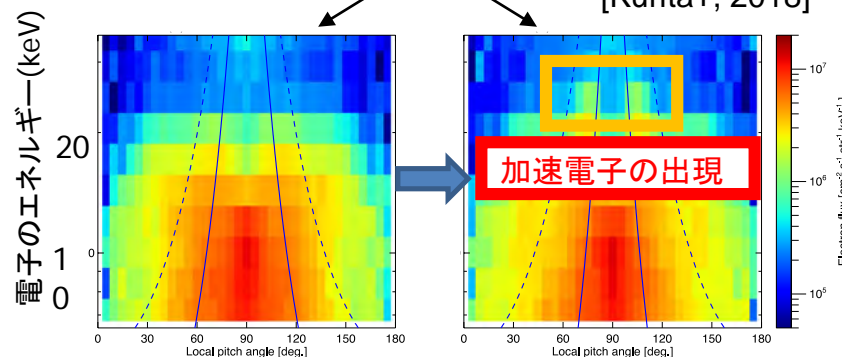
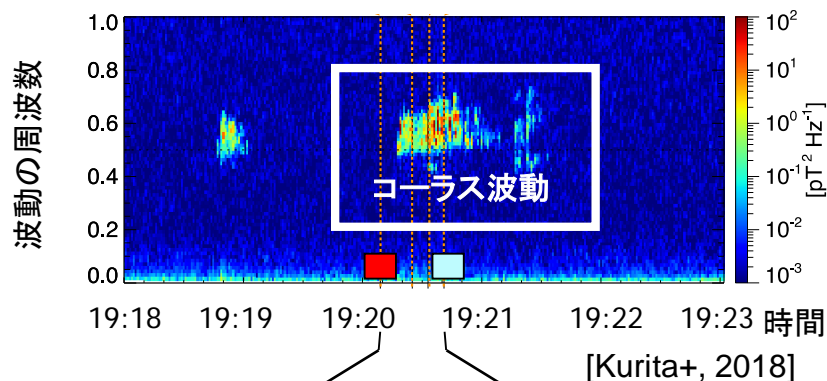


- 「あらせ」衛星の精密観測と観測データに基づく粒子シミュレーションにより、非線形波動(コーラス波動)が非線形現象(フェーズ・トラップ)を通して電子を加速し**放射線帯の変動**に重要な役割を果たしていることを初めて実証。
- 「あらせ」衛星と地上観測の連携によって、ロスコーンに**降下する電子の直接検出**に世界で初めて成功 (Kasahara et al. 2018 Nature)

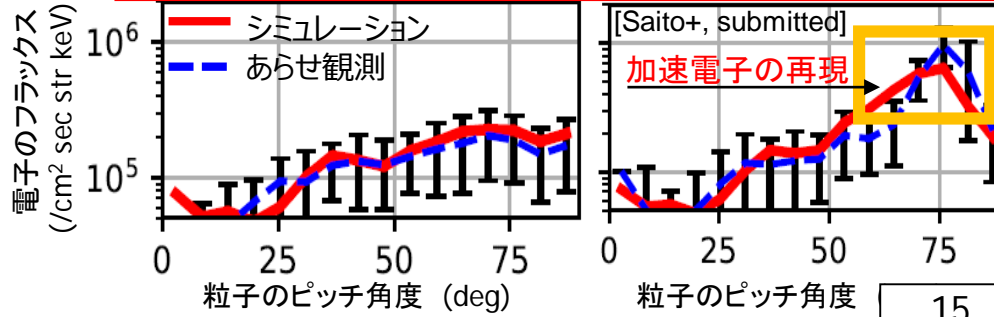


- 宇宙空間で**プラズマ波動と粒子の相互作用の直接検出**にも世界で初めて成功 (Kitamura et al. 2018 Science)

「あらせ」衛星による精密観測



「あらせ」観測とデータ駆動粒子シミュレーションの比較



# 地磁気誘導電流(GIC)予測【A03+A01】

- 電離圏から地下に至る電磁場伝播の時間発展を解くことができる3次元シミュレーションモデルを開発。さらに、日本の超高圧送電網のモデルを開発し、3次元物理シミュレーションモデルと組み合わせることで、全国の送電網を流れるGICを初めて計算した(Nakamura et al. 2018)。



### 電磁気圏グローバルモデル オーロラ爆発の再現に世界で初めて成功、新モデルを提案

(Tanaka 2015 Geophys Monogr., Ebihara and Tanaka 2015 JGR)

オーロラ・ジェット電流の再現にも成功

### 電磁場伝搬3次元シミュレーション GIC実測値との比較解析

物理モデルによる地電場計算

FDTD法で日本列島の地電場を計算するシミュレーションを開発

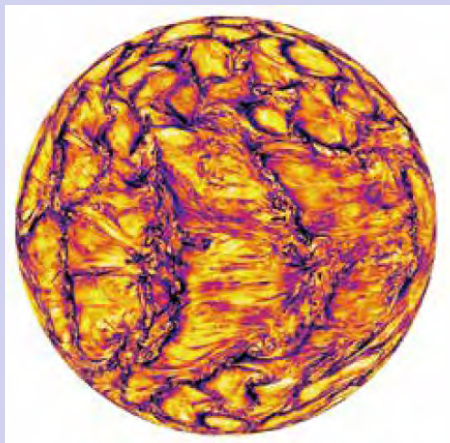
高圧送電網モデルによるGIC計算

電力会社の協力を得て、GICの定常測定を国内4箇所を開始し、実証的検証を実施

- 太陽の内部で黒点の磁場を生成する太陽ダイナモの新たなモデルを構築して、次期太陽周期活動の予測を行う。

## 太陽ダイナモの最高精度シミュレーション

「京」コンピュータによる世界最高分解能の太陽対流層全球シミュレーションにより、太陽ダイナモにおける小スケール乱流の新たな役割を解明

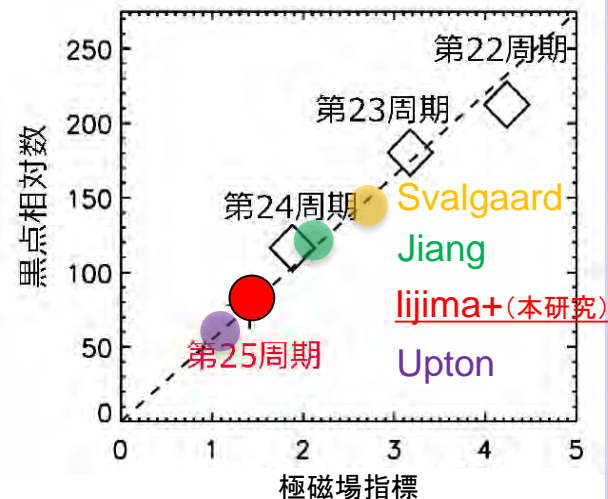


Hotta et al. 2016 Science

## 次期太陽周期の活動低下を予測

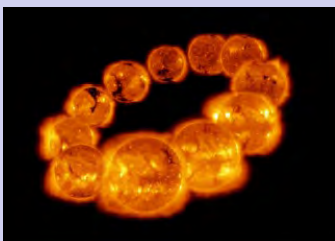
太陽表面磁場の輸送モデルを開発し、次期太陽周期活動が10%以上弱くなることを独自予測

Iijima et al.  
2017



## 太陽活動変動の長期間再現

- ひので衛星: 広領域磁場モザイク観測
- 国立天文台: 偏光精密観測による磁場解析
- 京大飛騨天文台: 彩層分光観測
- 国立天文台、京都大学、コダイカナル観測所: 過去100年間の太陽観測データベース化



ひので衛星が観測した太陽周期

## 次期太陽周期予測国際ワークショップ

国際的比較研究を先導 (2017, 名大)





## PSTEPセミナー

インターネットを利用し、毎月全国の拠点（約20ヶ所）をつないで、学際的議論を領域全体で展開。領域終了後もSpace-Sun-Earthランチセミナーとして拡大し継続中。

## PSTEP若手支援事業

本領域独自に博士課程後期及び若手研究者の研究を公募を通して支援

## PSTEPサマースクール陸別

全国から分野と組織を超えて、約100名の大学院生が参加



## 太陽地球圏環境予測 オープン・テキストブック

大学院生を対象とし、自由にインターネットからアクセスできる太陽地球圏環境予測の教科書を制作・公開。現在英語版を準備中

● PSTEPセミナーに参加する研究機関

京都大学大学院理学研究科付属  
飛騨天文台 / 岐阜県高山市

情報通信研究機構 (NICT) / 東京都小金井市



国立天文台 / 東京都三鷹市



気象庁地磁気観測所 / 茨城県石岡市柿岡

## PSTEP国際シンポジウム等

- 第1回 (PSTEP-1) 2016年1月(名古屋大学)
- 第2回 (PSTEP-2) 2017年3月(京都大学)
- 第3回 (PSTEP-3) 2018年5月(NICT)
- 第4回 (PSTEP-4) 2020年1月(名古屋大学)

## 多様な国際共同研究

- 大型地上太陽望遠鏡による日米共同研究
- フレア予測国際比較研究
- 次期太陽周期予測国際比較研究
- 中国華東師範大学と古宇宙線共同研究
- ベルリン自由大学と宇宙線影響共同研究<sup>ほか</sup>

## 国際組織との連携・支援

- 欧州宇宙天気会議での独自セッション開催
- 国際ネットワークVarSITIを主導し、ナイジェリア、インド、ロシア、インドネシア、ベトナム、シンガポールで国際スクールに協力
- NASA宇宙天気モデルセンターとの連携<sup>ほか</sup>



VarSITI国際スクール(イルクーツク)



第1回PSTEP国際シンポジウム(名古屋大学)





## ■ PSTEPニュースレターを年4回発行

- 分かりやすい文体で研究活動を紹介(全16号発行)

## ■ 積極的なプレスリリース、WEB発表

- オーロラ爆発の基本的な仕組みを解明 (2015.12.23)、
- NHK BSプレミアム「コズミック フロント☆NEXT 太陽の脅威 巨大フレア」(2016.1.14)、
- スーパーコンピュータ「京」による太陽の磁場生成メカニズムを初めて解明 (2016.03.31)、
- 世界最大の太陽望遠鏡によって太陽フレア前兆現象の詳細観測に成功 (2017.04.15)、
- 飛騨天文台の新観測装置、太陽からの高速噴出現象観測に成功 (2017.05.08)、
- 太陽放射線からパイロット守れ 予測システム開発(2019.11.8)、
- 太陽フレアの物理予測の実現(2020年7月)など130回以上
- WEBによって最新の研究成果を日本語と英語で定期的に発表 (Science Nuggets)

## ■ 出前授業、講演会

- 一般公開講演会・サイエンスカフェ・サイエンスイベント、小中高学校における出前授業・体験授業等全141件

## ■ 受賞

- チャンドラセカール賞(柴田一成)、URSI Appleton Prize(大村善治)等全48件



### ■ 論文成果500編以上(2021年学術雑誌EPSにて特集号発行)

#### ■ 特に計画を上回る成果

- 巨大太陽フレアの物理予測の実現、CME到達予測精度の大幅な向上
- 放射線帯における非線形粒子加速機構の解明
- 電離層擾乱の物理予測の実現、地磁気誘導電流の予測と検証
- 次期太陽周期予測の実現、紫外線変動による気候影響の解明
- 物理モデルによる次世代宇宙天気予報の開始、宇宙天気ハザードマップの公開

### ■ 活発な国際研究の推進、国際シンポジウム・研究集会の実施

### ■ 独自の若手支援・育成事業(サマースクールなど)を推進

### ■ 積極的なプレスリリースと定期的なニュースレター発行

太陽地球圏の科学的理解と宇宙天気予報の相乗的發展  
太陽、地球電磁気圏、気象分野を横断した研究領域の創出

## ■ 発表論文数

- Science誌3編、Nature誌1編を含む500編以上の査読付き論文を出版
- 本年12月にEarth, Planets and Space (EPS誌)にて特集号を出版予定

## ■ 各目標の達成度

基本目標	達成度
A01 社会が必要とする宇宙天気情報の提供	S
A01 宇宙天気ハザードマップの公開	A
A02 太陽フレアトリガ機構の解明と予測	S
A02 太陽嵐の実時間予測(ナウキャスト)	A
A03 放射線帯の過渡現象の理解と予測	S
A03 地磁気誘導電流の物理予測	S
A03 電離圏擾乱の予測精度の向上	S
A04 次期太陽周期活動の予測	S
A04 太陽気候影響メカニズムの理解向上	A

S: 目標を超える特に大きな成果を得た。A: 目標を達成する成果を得た。  
 B: 目標達成には至らなかったが有益な成果を得た。C: 十分な成果を得ることができなかった。

発展目標	達成度
A01 物理モデルに基づく精密な予報をリアルタイムで実現する次世代宇宙天気予報システムの開発を進める。	+++
A02 観測とモデルの適切な同化手法を開発し、大型フレアの発生前にその影響を定量的に予測するスキームを構築する。	++
A03 磁気嵐時の宇宙放射線、GIC、電離圏電子密度変動を予測する方法論を確立すると共に、激甚宇宙天気災害を精密に予測する為に必要な新たな知見を獲得する。	++
A04 数百年スケールの太陽活動長期変動の機構を解明し、太陽影響を組み込んだ地球システムモデルによる長期変動再現を行う。	+++

(記号なし): 発展目標に着手できなかった。+: 発展目標に着手した。++: 発展目標に着手し、一定の成果を得た。+++ : 発展目標に着手し、十分な成果を得た