

理系大学生のための
「太陽研究最前線体験ツアー」

太陽研究最前線体験ツアー—2023 3月31日

太陽風と太陽圏研究の最前線

名古屋大学 宇宙地球環境研究所 太陽圏研究部
理学研究科 理学専攻 太陽圏プラズマ物理学(SW)研究室

岩井一正



名古屋大学
宇宙地球環境研究所
Institute for Space-Earth Environmental Research

理学研究科 理学専攻 SW研

メンバー:

准教授:岩井一正、助教:藤木謙一、
+技術系2名+事務系1名
+院生5名 (+募集中!)

連絡先:岩井一正

- 居室:研究所共同館I 336
- k.iwai@isee.nagoya-u.ac.jp
- 研究室見学(現地・オンライン)大歓迎です。

研究室のHP(右)もご覧ください
または「名古屋大学 SW」で検索



私たちの研究対象

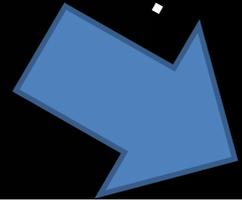
太陽と宇宙空間

ツアーのここまでは、太陽近くについて学びました。
では、その外側では何が起きているのでしょうか？
話は広大な宇宙空間へと向かっていきます・・・

紫外線で見えた太陽

太陽＝ダイナミックな変動

この先は？



SDO衛星で観測された紫外線の動画(NASA)

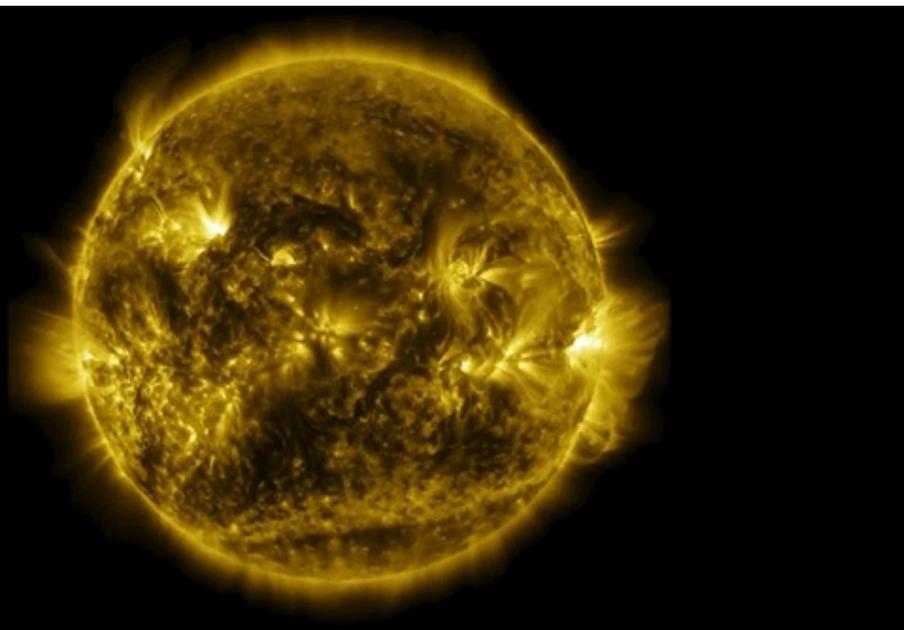
太陽風と彗星の尾

太陽コロナは、100万度を越える高温のプラズマであるため、太陽の強い重力を振り切って宇宙空間へと流出
(太陽風)

彗星の白い尾:ダスト(曲線状)
青白い尾:イオン(必ず反太陽方向)

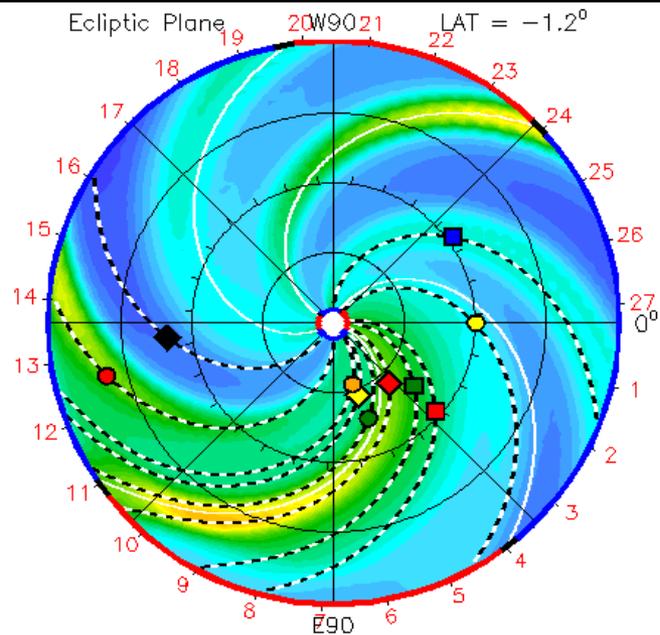


太陽活動と太陽風/太陽圏



太陽:

- 明るい領域: 活動領域/黒点
- 暗い領域: コロナホール(太陽風の流源)
- 太陽の自転と地球の公転から約27日周期で1回転



太陽風:

- 太陽大気の一部は重力を振り切って宇宙空間に流出
- 高速風 (~800km/s) から低速風 (~300km/s) まで多様に変化
- 太陽風は螺旋状に分布

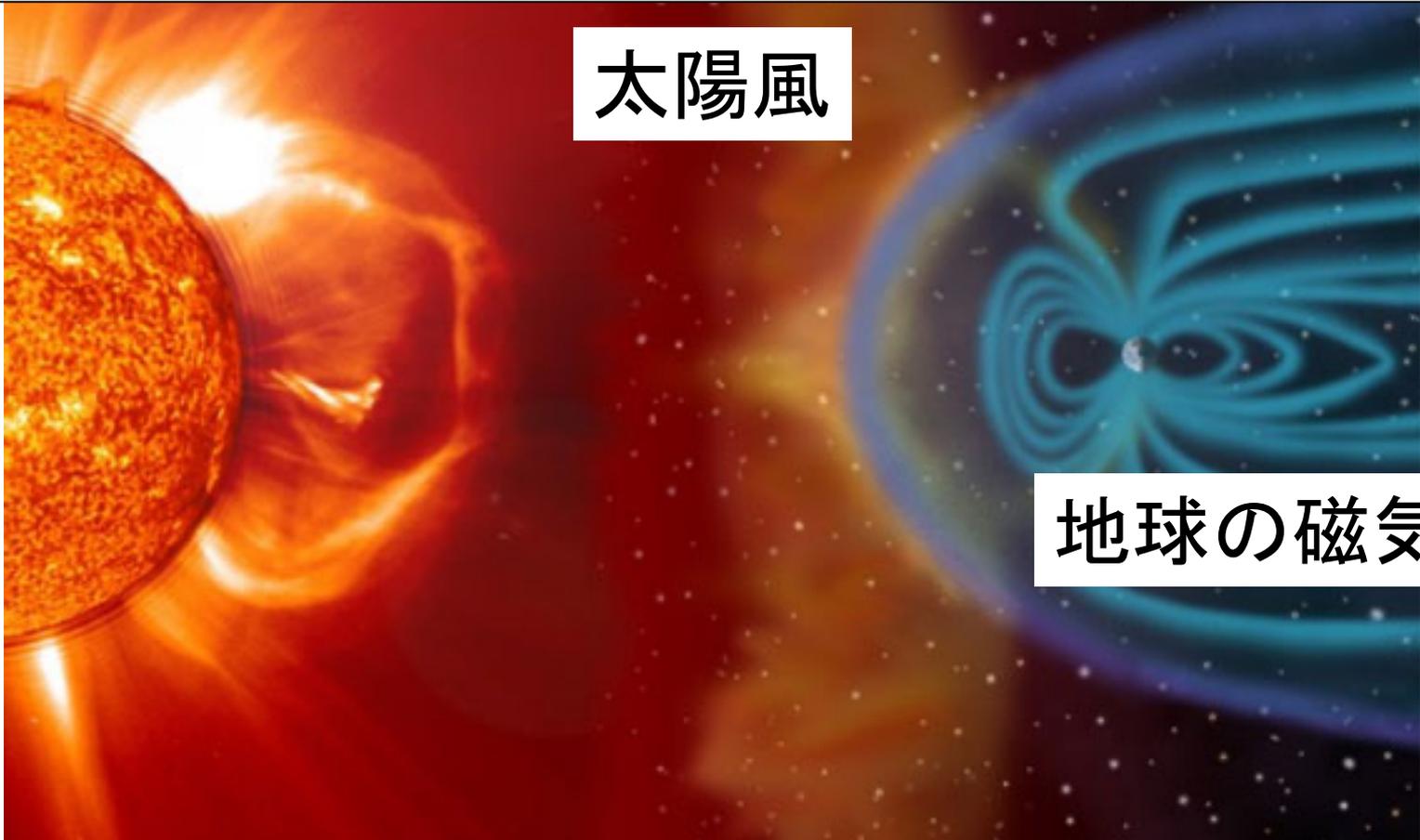
太陽風と地球

太陽風: 電離した大気の流れ

地球: 固有磁場を持つ天体

地球磁気圏: 地球の磁場の影響が届く領域

太陽風によって、夜側に吹き流されたような形状



太陽風

地球の磁気圏

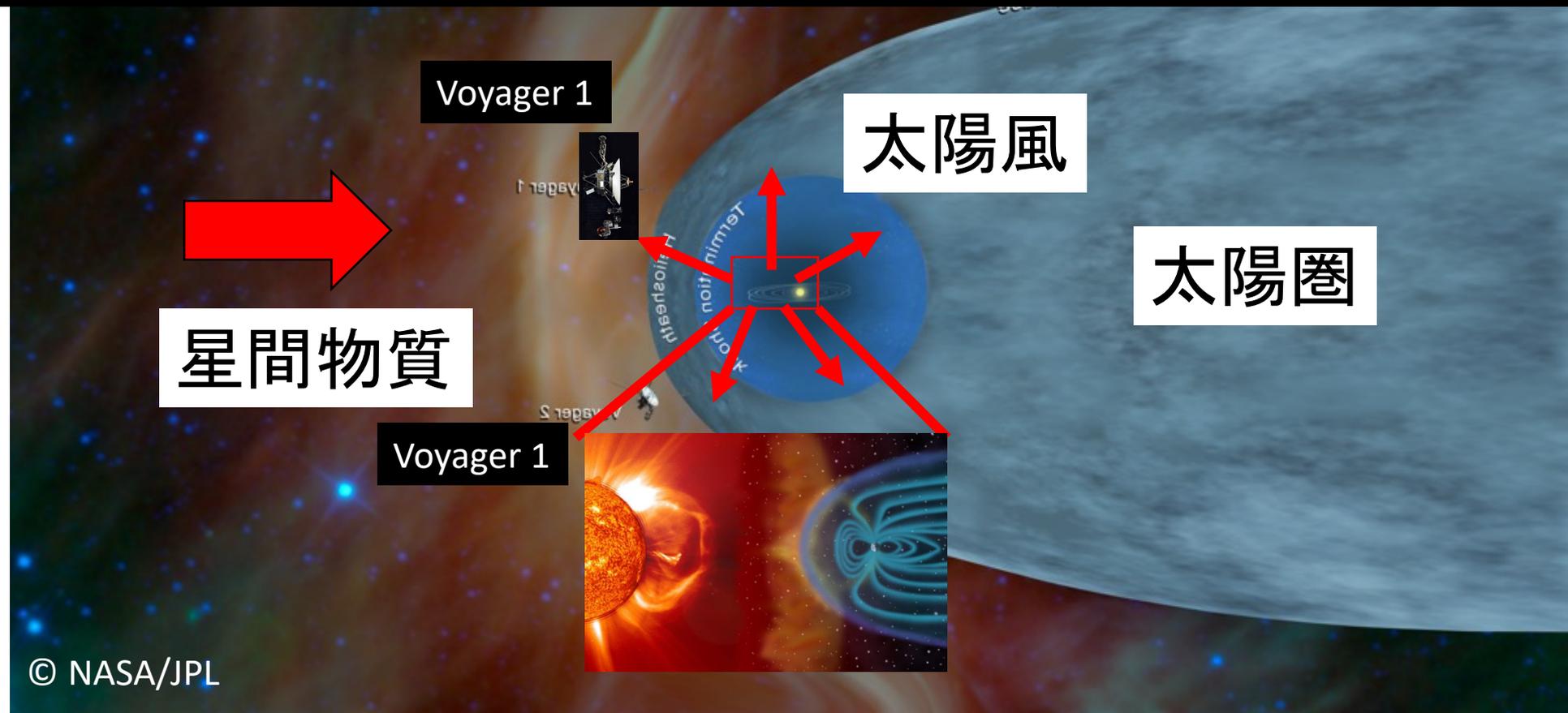
太陽風と太陽圏

太陽風は太陽から放出され、いつか星間物質と接触

太陽圏: 太陽風が届く範囲(~120 AU)

1 AU: 太陽—地球間の距離 = 約150,000,000 Km

海王星: 約30AU、カイパーベルト: 約30~50AU

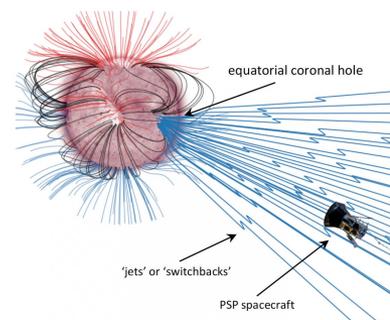


太陽風研究の時代が到来

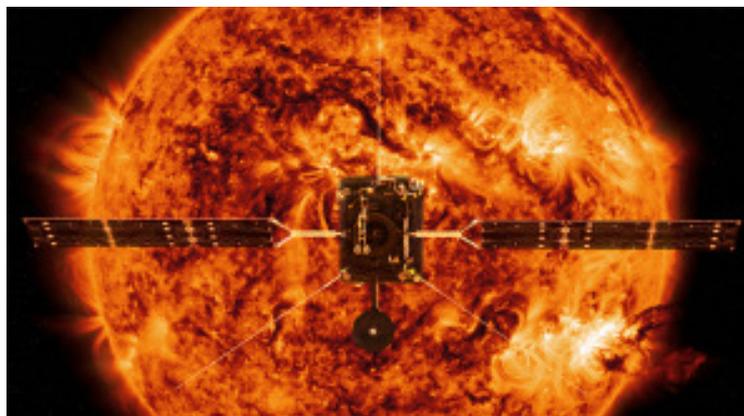


Parker Solar Probe (PSP)

コロナ～内部太陽圏のin situ観測 (<10Rsまで接近 @2025)
太陽風加速領域の直接探査



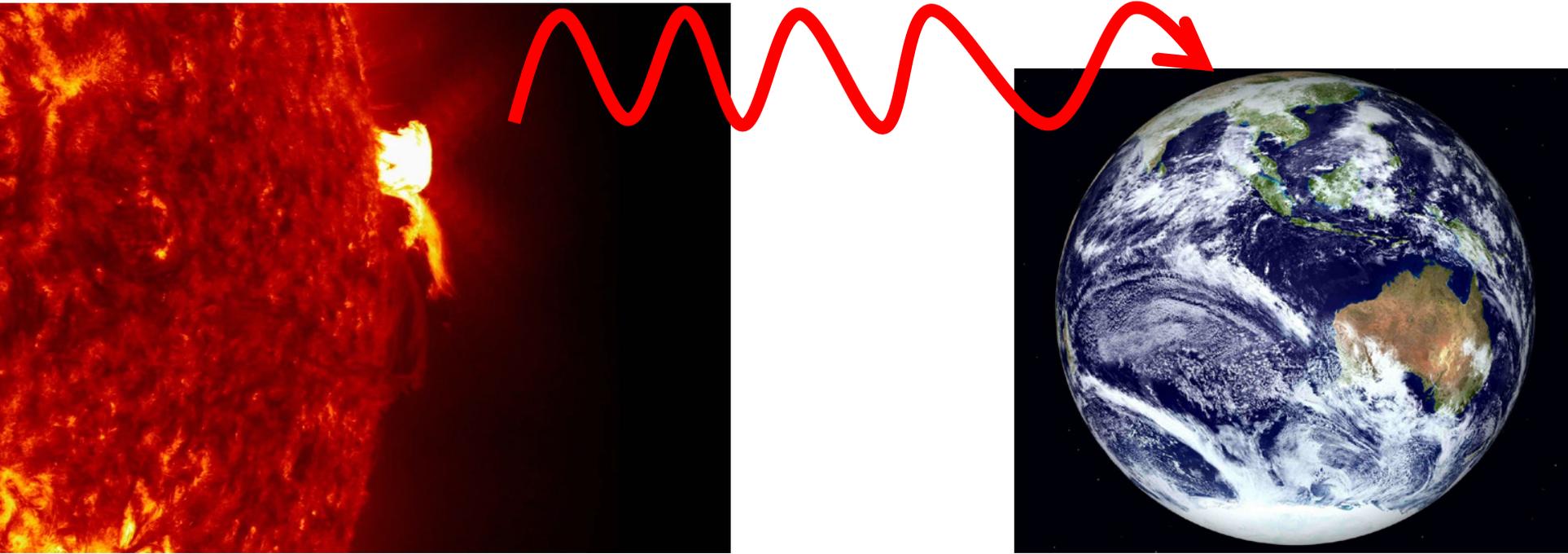
続々と新事実が見つかる



Solar Orbiter (SO)

内部太陽圏のin situ観測
(0.3AUまで接近)
極域を含む太陽の遠隔探査
傾斜角 $\sim 25^\circ$ @2026

太陽と地球環境の関係



- 放射線(粒子)
- X線・紫外線
- 爆発で吹き飛ばされた太陽大気の一部

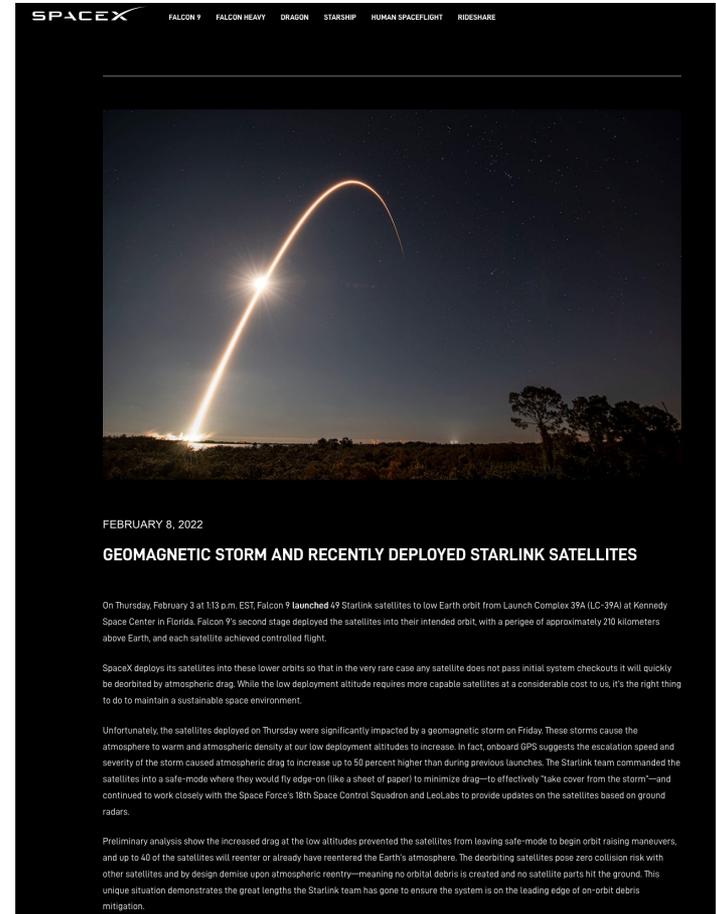
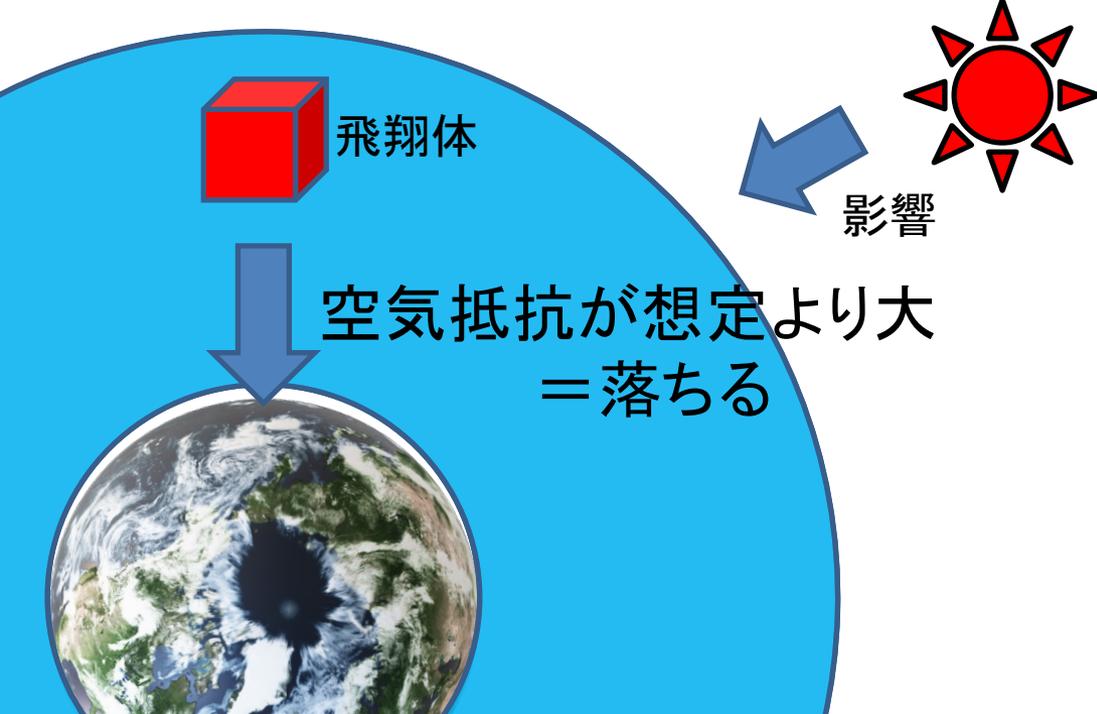
地球は絶えず太陽からの衝撃波、太陽風、太陽放射線、紫外線にさらされている

今そこにある危機

2022年1月29日に発生した太陽嵐の影響

- 2月3日に打ち上げられたSpaceX社のStarlink衛星49機中40機が喪失
- なぜこんな影響が起きるのか？

太陽嵐の影響で大気が加熱(=膨張)



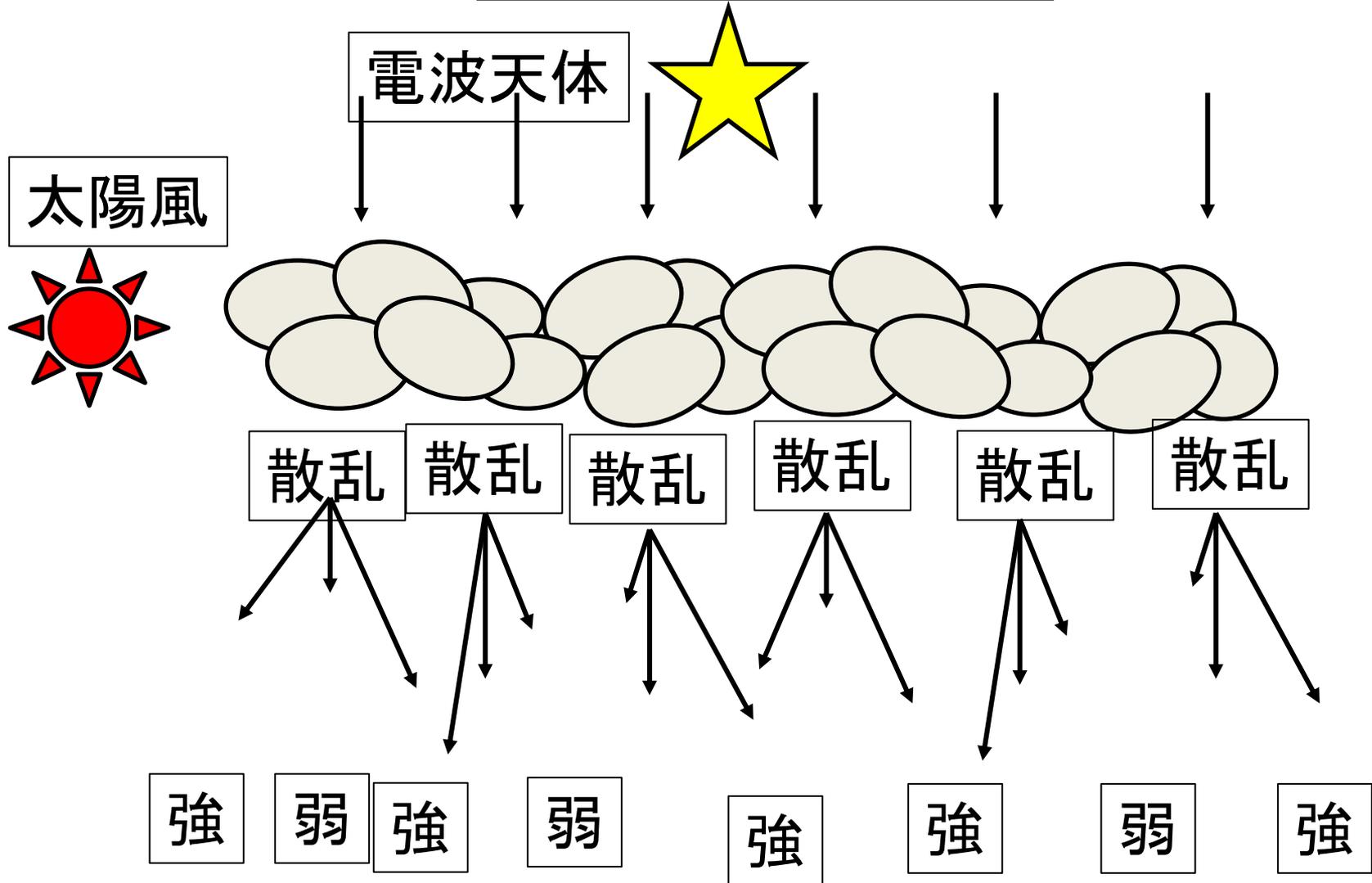
太陽嵐の影響を伝えるSpaceX社の記事 (c)SpaceX社Webページより

私たちの研究の特色

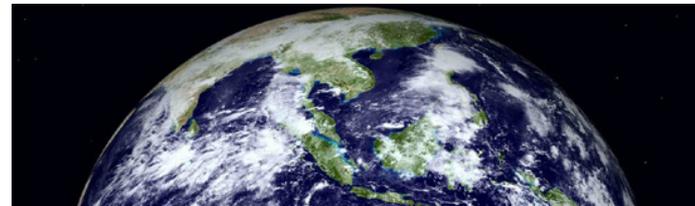
太陽風の電波観測



電波のまたたき

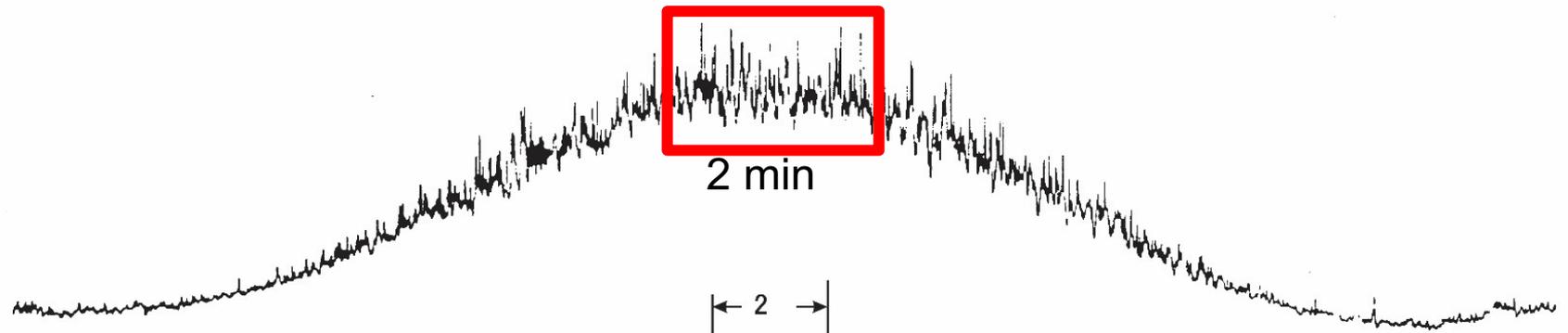


静止した観測者：
強度の時間変動が見える



惑星間空間シンチレーション (IPS)

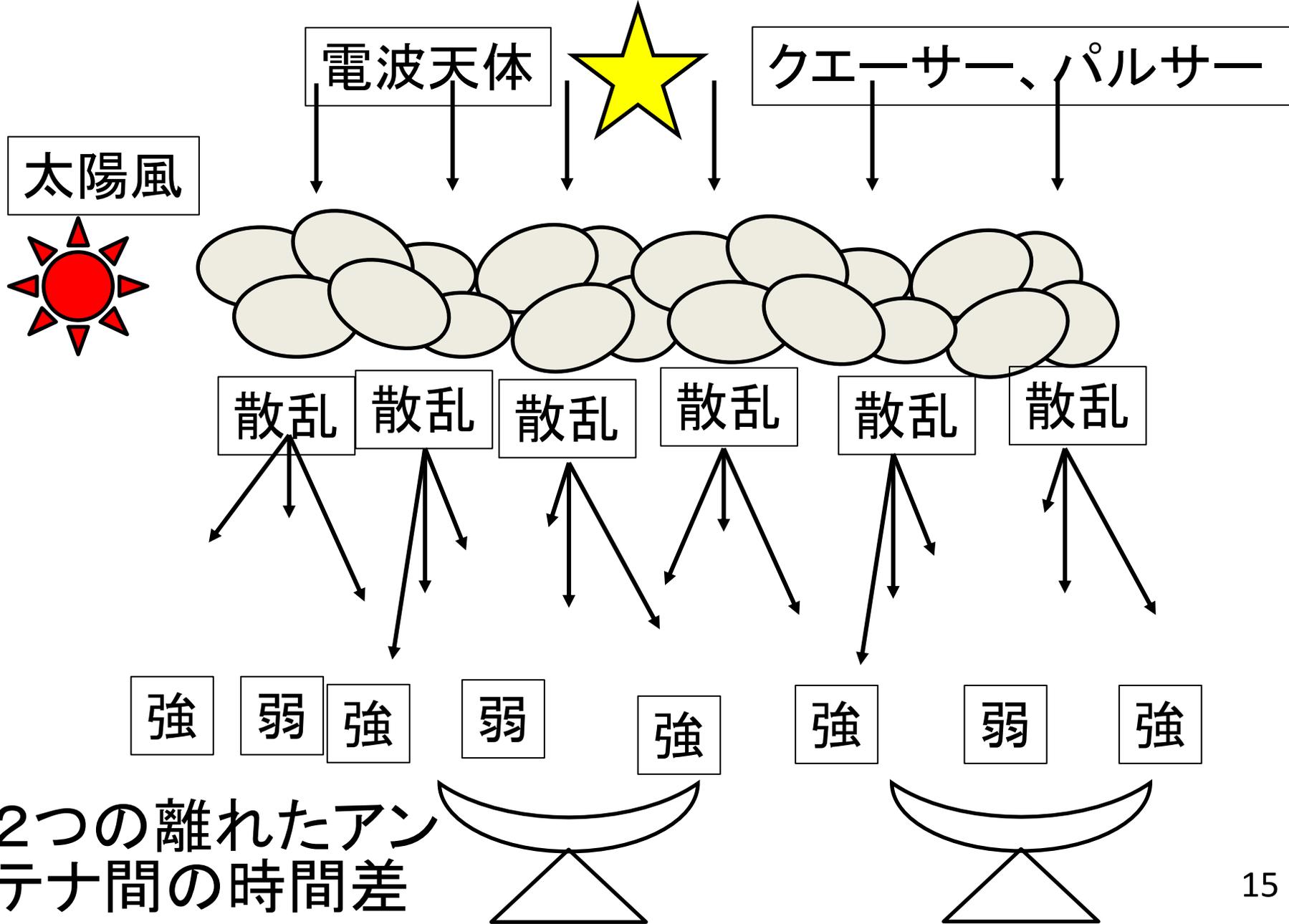
Interplanetary scintillation (IPS)



81.5MHzで観測された、電波天体のIPS

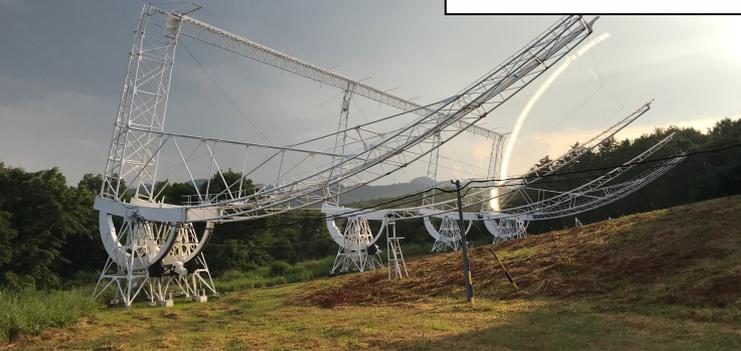
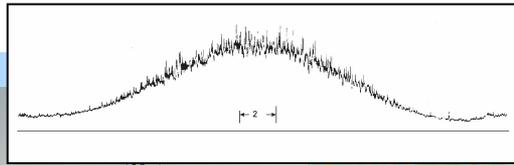
- アンテナを固定、天体が通過するのを待ち受け
- 天体の移動よりずっと細かい振動がIPS
- ゆらぎの大きさ～散乱を起こす媒質(太陽風)の密度

太陽風速度の導出



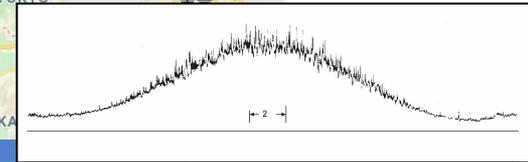
ISEEの太陽風観測

木曾

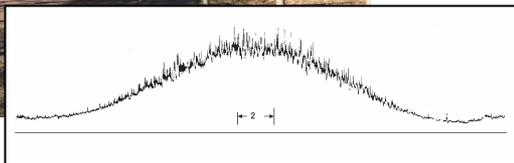


- 3局のアンテナ
- $2000\text{m}^2 \times 2 + 4000\text{m}^2$
- 3地点で3角形をつくり、時間差を測定

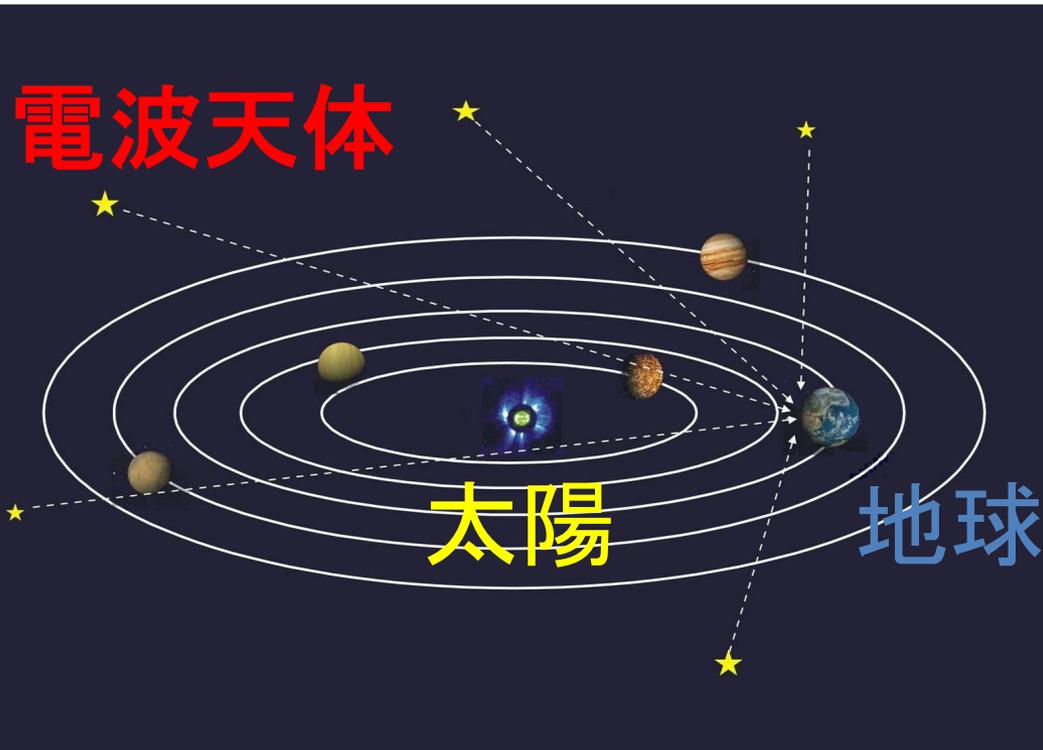
豊川



富士



IPS観測の優れた点



- 広範囲をカバー
- 短時間で全域を
探査できる
 - 擾乱の検出や
追跡に有利
- 長期間モニター
が可能

高感度のアンテナを用いれば、たくさんの
電波天体についてIPSデータを取得可能

SW研の電波望遠鏡 SWIFT

(@愛知県豊川市)

開口面積:

106 m × 40 m

~4,000m²

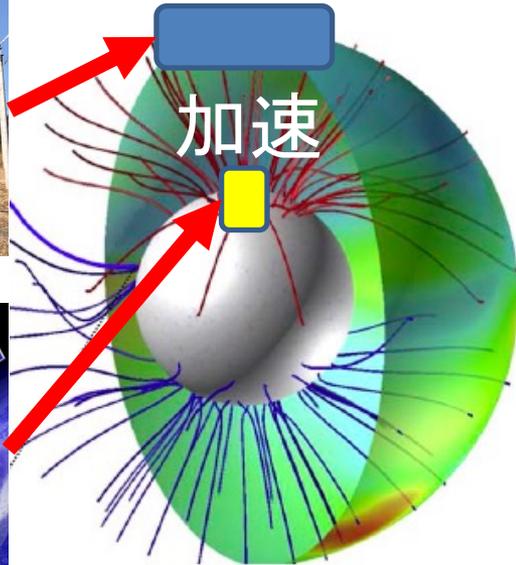
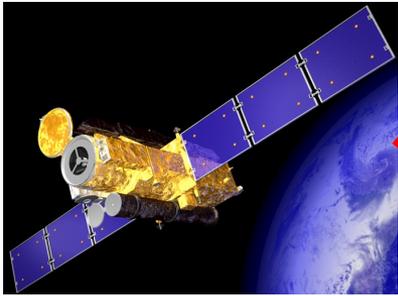
日本最大級！の
電波天文用望遠鏡



テーマ1

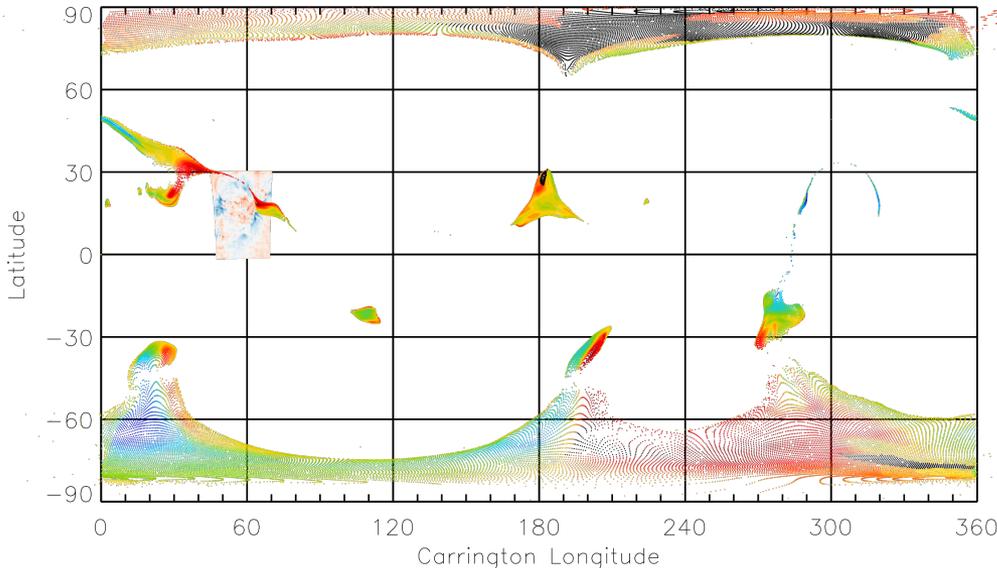
太陽風と太陽圏の謎

太陽風の流源

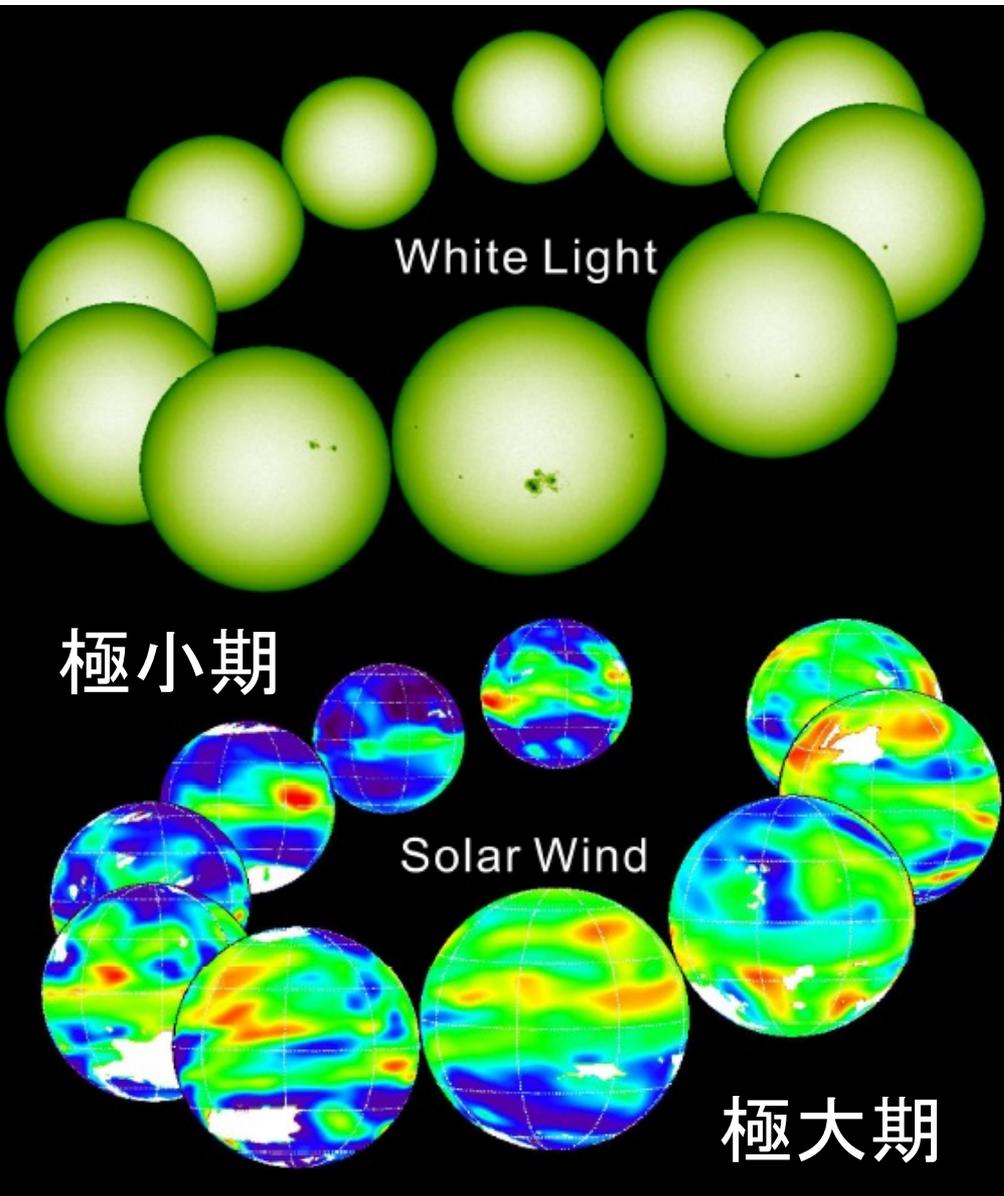


- 太陽風が太陽のどこから流出しているのか、は実はまだ良くわかっていません。
- 宇宙空間における太陽風の分布がわかる私たちのIPS観測結果と、太陽表面で太陽風の源となる高温大気を観測する太陽観測衛星「ひので」の観測結果を比較する研究が進んでいます。

CR=2113



太陽風の長期的な変動

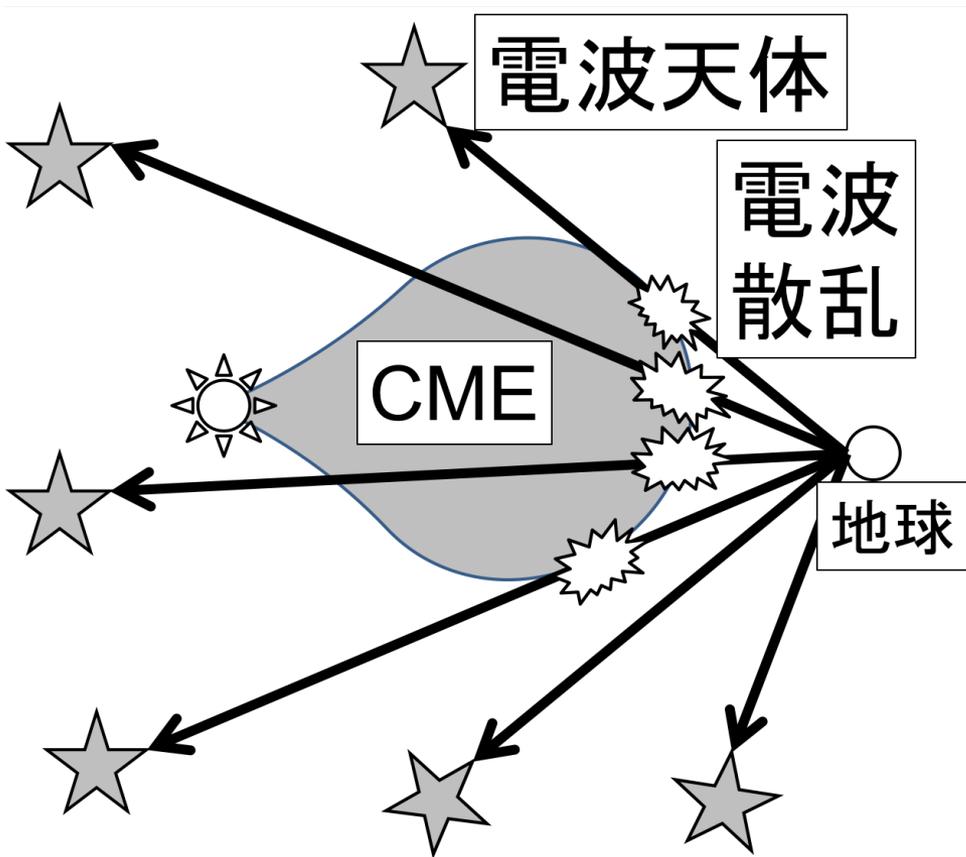


- 太陽には黒点が多く出現する活発な時期と黒点がほとんど出現しないがあり、約11年周期で繰り返しています。
- 私たちのIPS観測から、太陽風の分布もこの11年周期に応じて、大きく変動していることがわかりつつあります。

テーマ2

宇宙天気予報への応用と実用化

リアルタイム宇宙天気予報を目指して



電波(電磁波)の速度



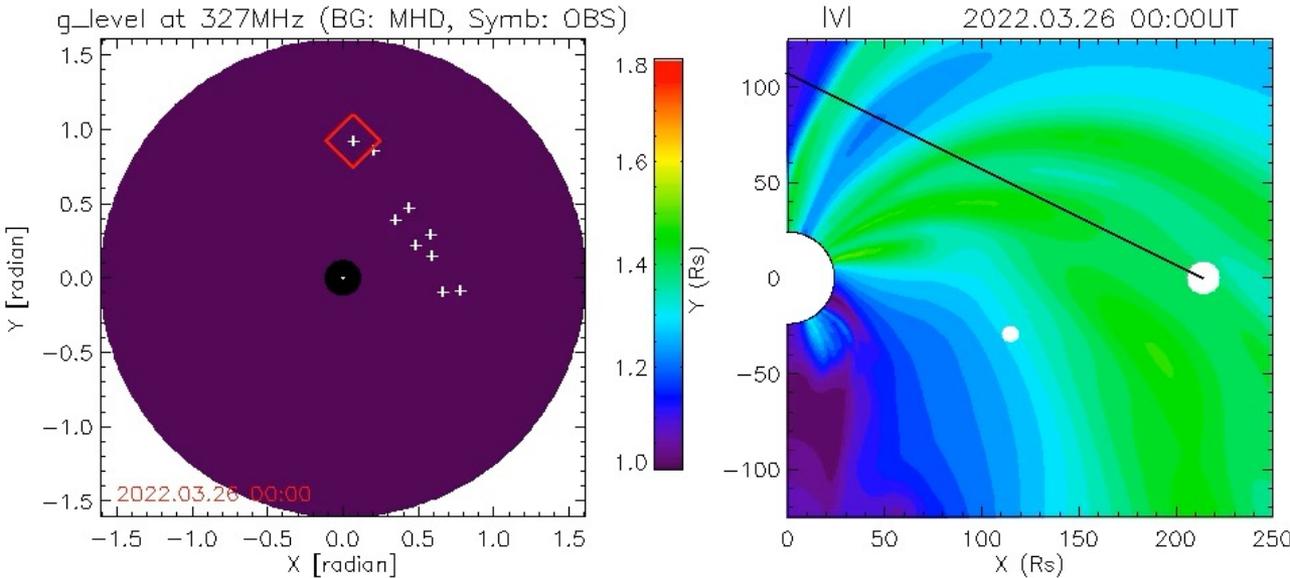
CME(爆風)の速度



電波観測から爆風の到来前に、その予報が可能

IPS観測は「宇宙の気象レーダー」
政府の宇宙天気予報機関(情報通信研究機構)との共同で
実用化に向けたシステムを開発中

IPS計算とデータ比較



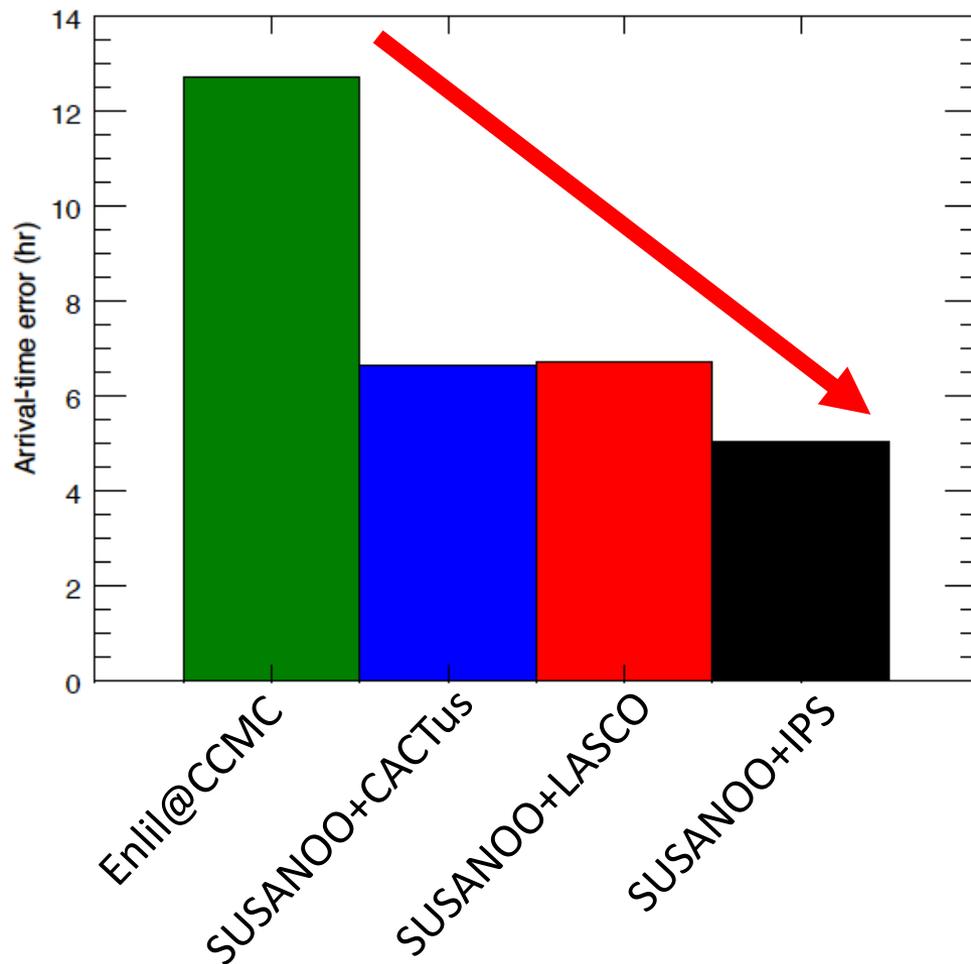
- コンピュータシミュレーションを用いて太陽圏を再現。
- 擬似太陽圏内で電波の散乱を解くことで擬似IPS観測

初速度	(1) 400 km/s	(2) 500 km/s	(3) 600 km/s	(4) 700 km/s	正解(IPS)
予想されるIPS分布	IPS at 327MHz (BG: MHD, Symb: OBS)	IPS at 327MHz (BG: MHD, Symb: OBS) ISEE_IPS_20170907-06UT ~ +10UT			

背景: MHD擬似IPSデータ
 シンボル: ISEEで観測された実際のIPSデータ
 散乱の程度: 赤 > 緑 > 青

観測データに最も近いシミュレーションを選択

結果



12例の到来時刻誤差の絶対値平均

既存の3DMHDシミュレーションEnlilを用いたリアルタイム予報
誤差12h(典型的値)



IPSを使わないモデル
誤差7.6h



IPS観測に対する最適解
誤差5h

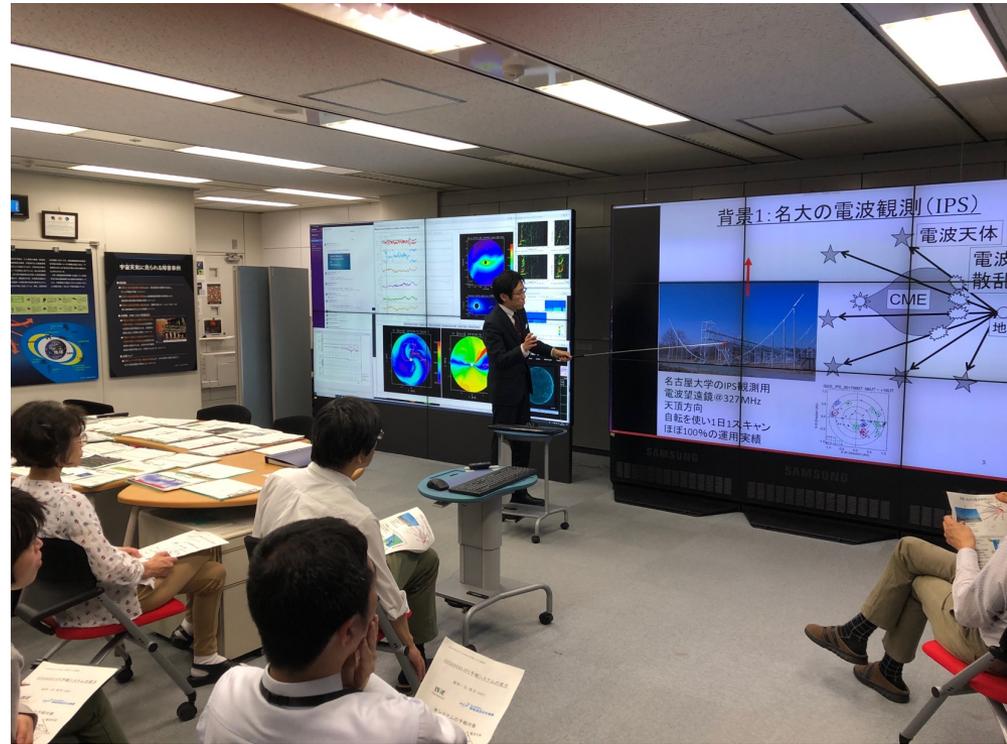
既存モデルに対して2倍程度の精度向上

宇宙天気予報の実用化

地球の天気予報: 気象庁

宇宙の天気予報: 情報通信研究機構

情報通信研究機構の宇宙
天気予報センターで導入時
に行われた説明会の様子



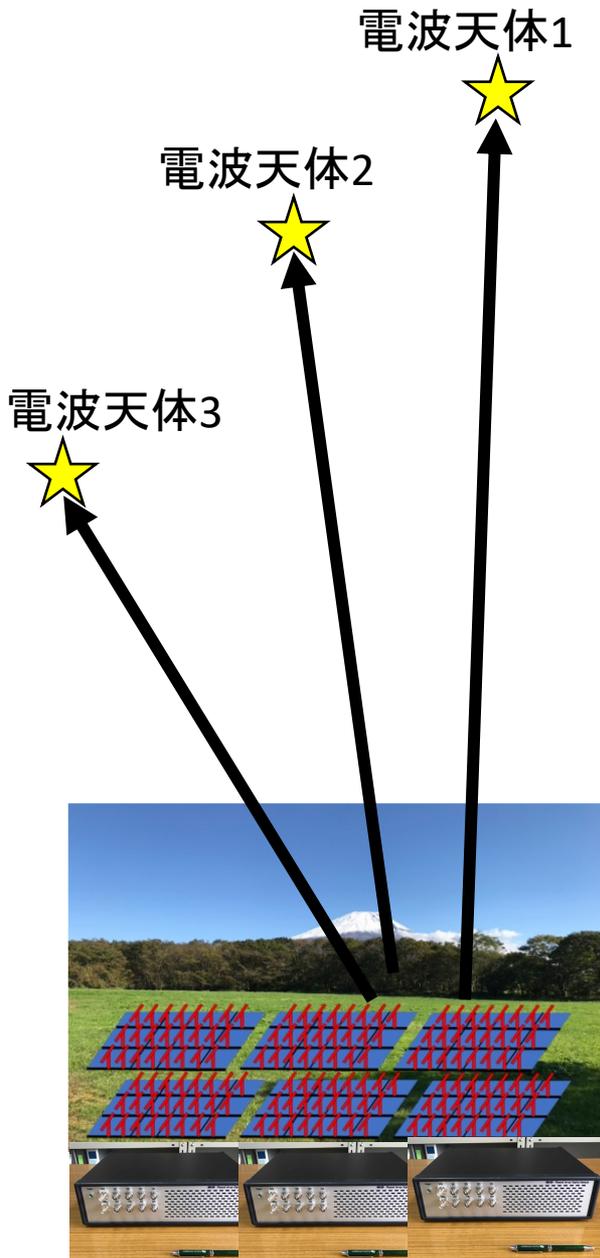
世界初!

IPSデータ同化予報システムの実用化に成功
名大のIPSデータや予報システムが、日本の予報
日本国民全員の役に立っています

テーマ3

先端の装置開発

ISEEの次世代IPS観測装置計画



2020年代に現在の10倍のIPS観測を実現して世界の太陽風研究をリード

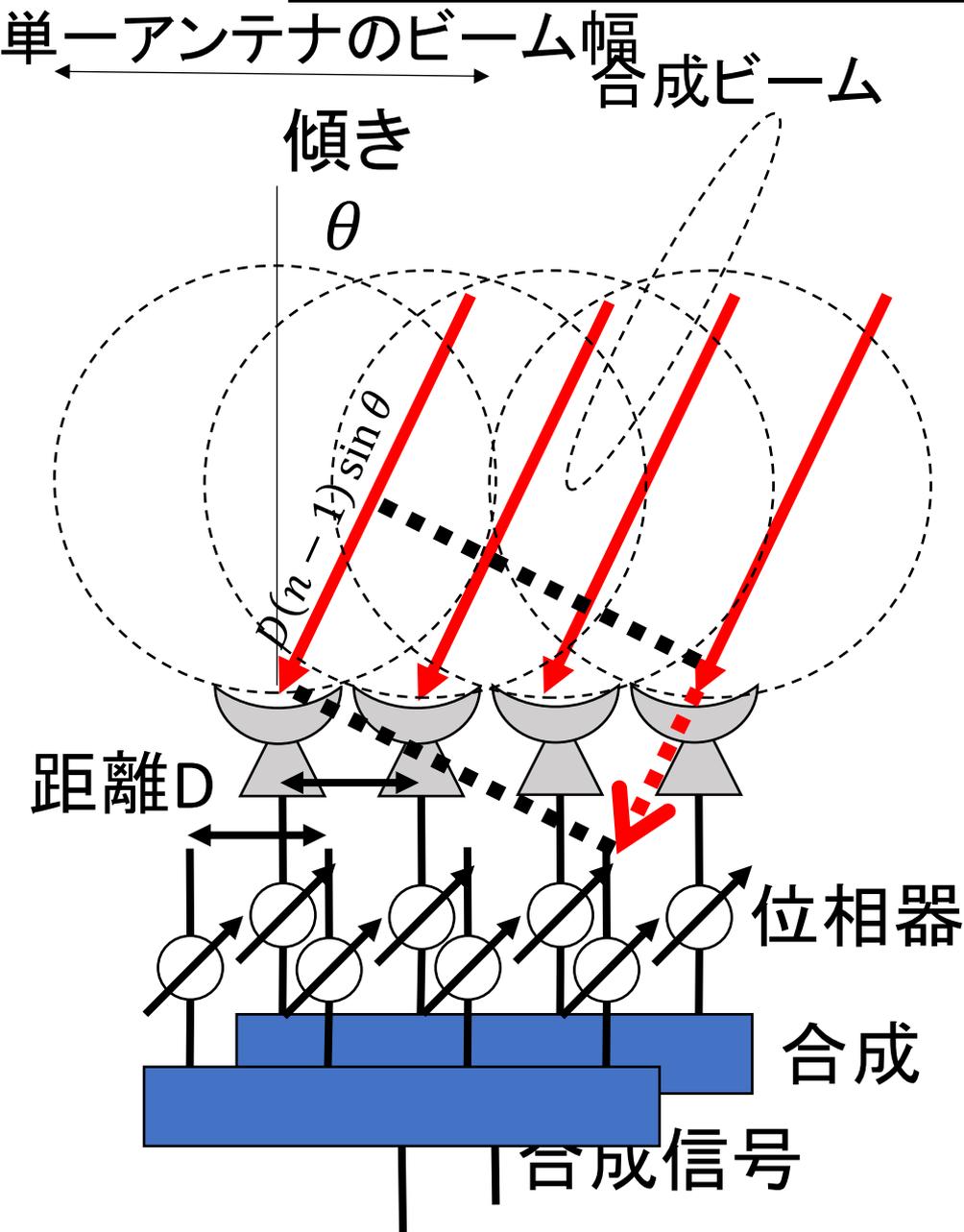
観測の目標

- 1日に最大1000天体のIPS観測を行う
- 1つの天体の観測時間: 200秒
(→55時間/日 > 24時間)

どうやって解決するのか？

- 1つの望遠鏡で同時に複数の天体を観測すればいい！！
- ->広い視野の望遠鏡にマルチビームシステムを搭載する

フェーズドアレイとデジタル処理



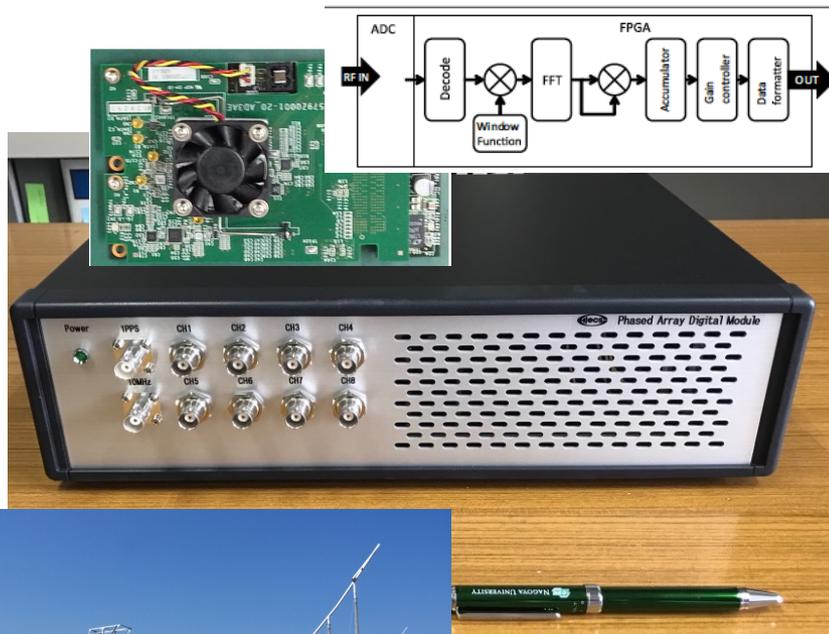
フェーズドアレイ

- 多数のアンテナの信号を特定の方向からの信号が強め合うように合成
- その方向に大きなアンテナが向いている状態を作る
- 並列処理で異なる方向に強め合うように合成すれば、複数の方向を同時に観測可能

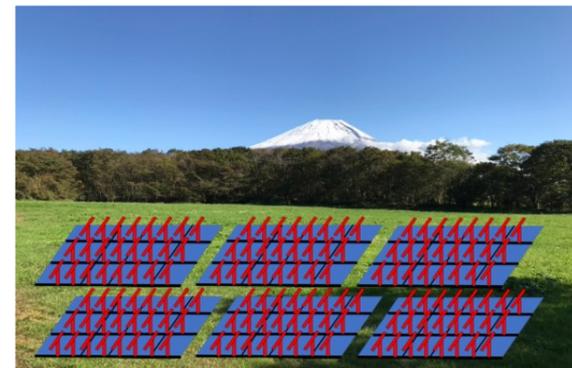
最先端の機器開発

2020年：プロトタイプ装置が完成！

2021年：次世代機の開発を本格的に開始！！

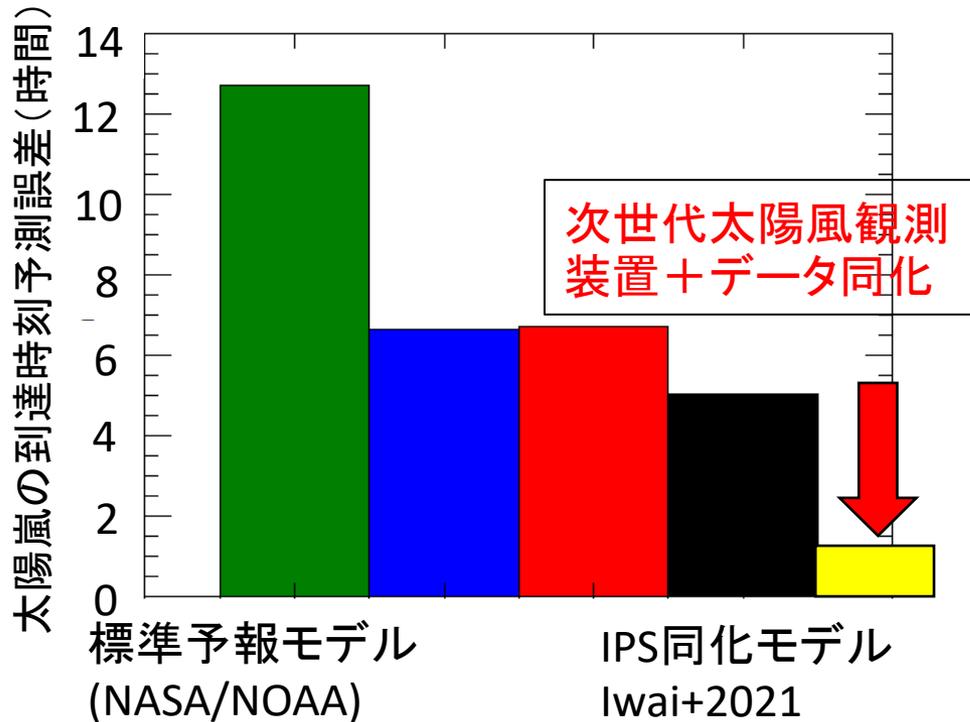


- 最新のFPGAを搭載し、独自のデジタル演算アルゴリズムを搭載
- デジタルビームフォームで1つの望遠鏡で同時に8箇所を超精密に観測可能



独自の技術・先端の装置で他に誰もできないことをやる！

次世代装置ができれば・・・

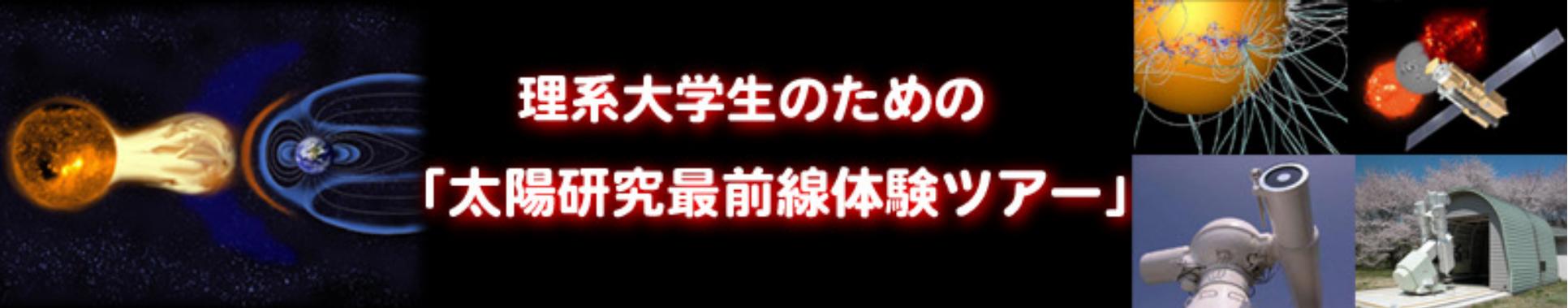


- 10倍のIPSデータを取り込むことを想定した擬似予報
- 24時間前予報精度が1時間スケール
- 多くの宇宙天気災害を回避可能(減災・評価から防災へ)

明日の地球に貢献する仕事を一緒にしましょう！

まとめの代わりに: SW研の特徴

- **IPS観測における世界トップラボ**
 - IPS観測を世界で最も学べる大学院研究室です。
- **日本最大級の電波天文用望遠鏡を独自に保有**
 - 大型望遠鏡で宇宙を観測したいという希望を叶えることができます。
- **多彩な研究手法**
 - 装置開発・観測・データ解析・シミュレーションを幅広くカバーしており、自由にテーマを選べます。
- **基礎研究と応用研究の並行実施**
 - 太陽風の基礎物理の理解と、宇宙天気予報への応用研究・機器開発研究を並行して実施。宇宙地球・天文分野では珍しいスタイルで様々な研究や進路を可能にします。



理系大学生のための
「太陽研究最前線体験ツアー」

ISEE

宇宙地球環境研究所

Institute for Space-Earth Environmental Research