

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—2022 3月15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:

教授:徳丸宗利、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3名、4年生1名 (随時募集中!)

連絡先:岩井一正

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

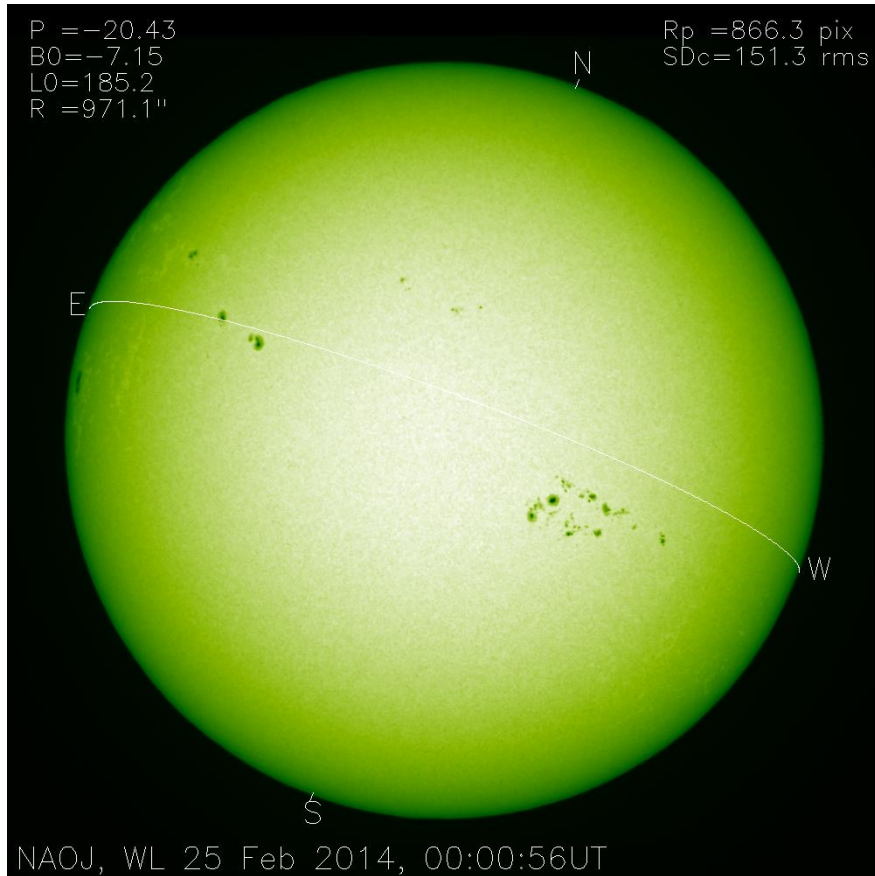
研究室のHP(右)もご覧ください  
または「名古屋大学 SW」で検索



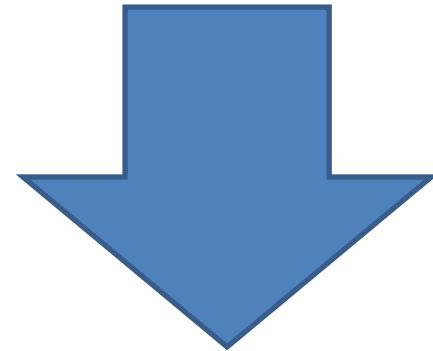
## テーマ1 太陽の外側

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・・・

# 太陽の変動



可視光の太陽光  
変動は小さい



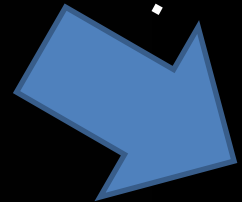
他の波長では  
どうでしょうか？

白色光の太陽  
(国立天文台太陽観測所@三鷹市)

# 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)



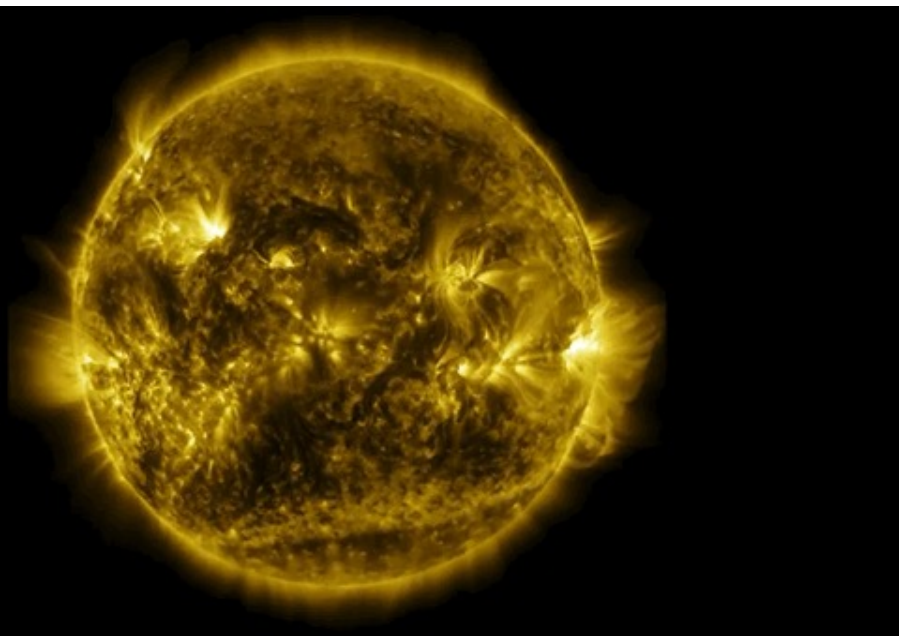
# クイズ

• 太陽風の速さは？

1. 時速30km (地球の風くらい)
2. 時速90km (自動車くらい、台風の暴風域)
3. 時速1000km (ジェット機くらい)
4. 1~3以下、または以上

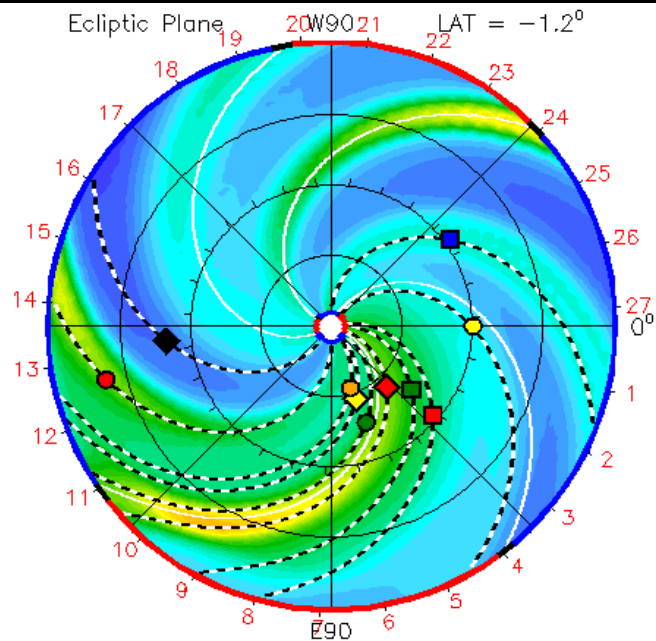
• 正解:

# 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



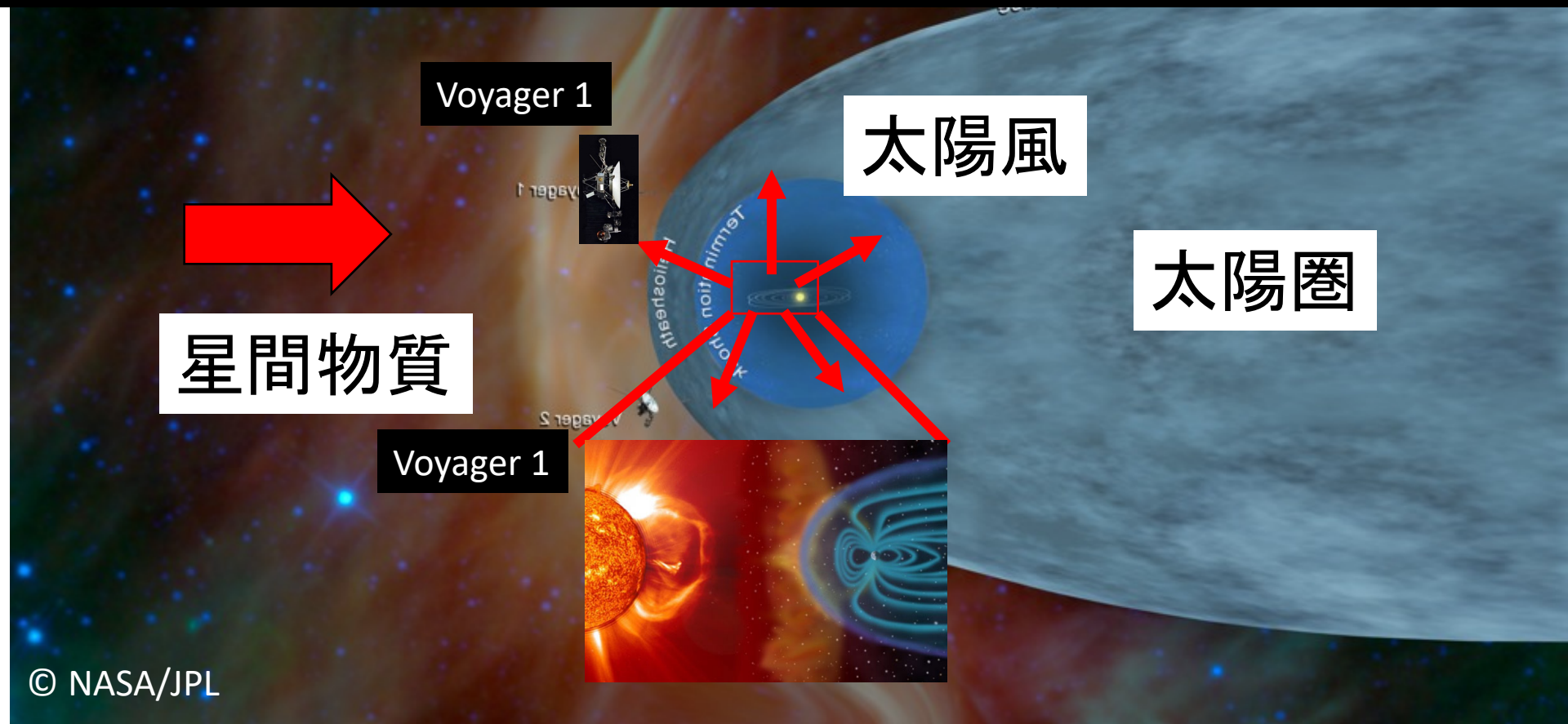
# 太陽風と太陽圏

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



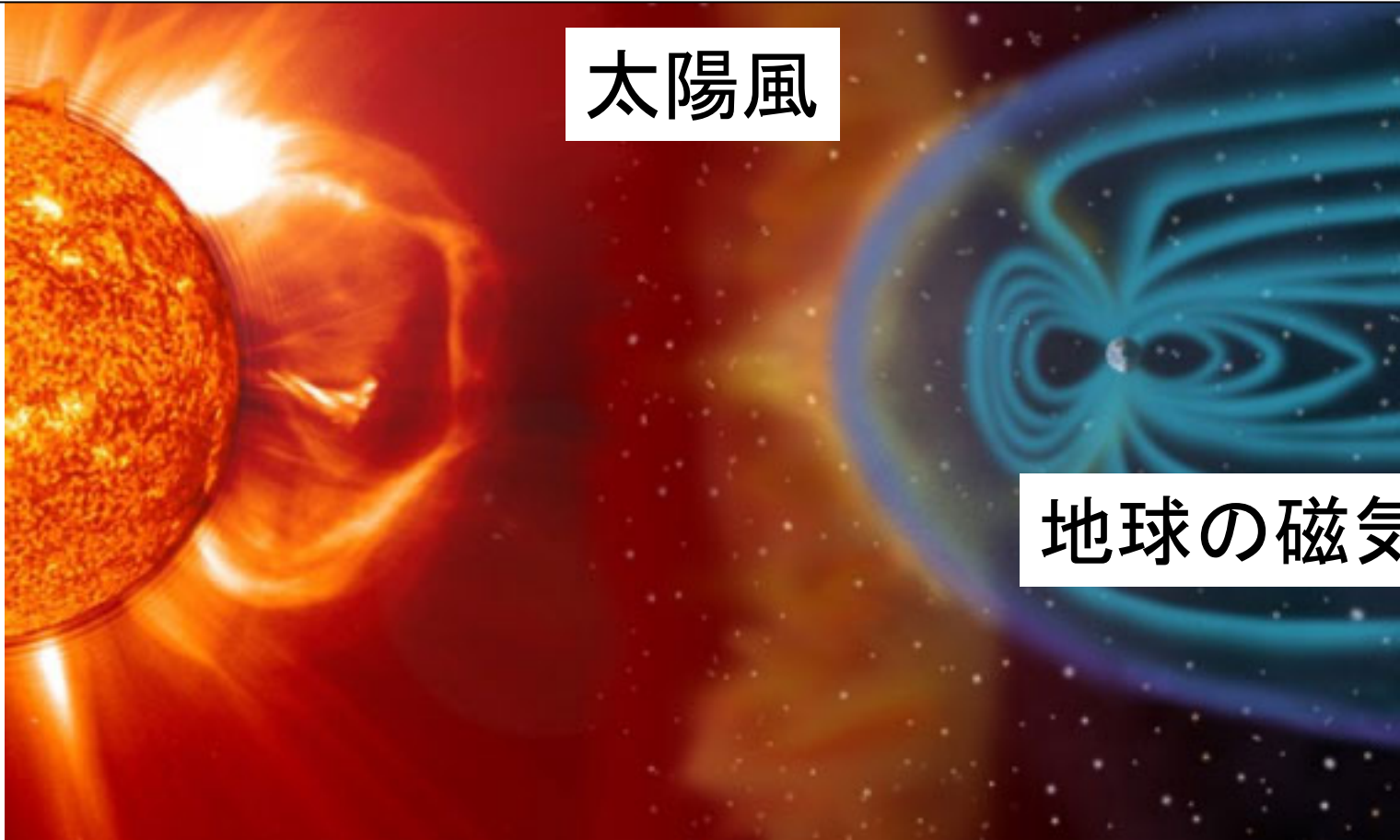
# 太陽風と地球

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: 地球の磁場の誠直が届く領域

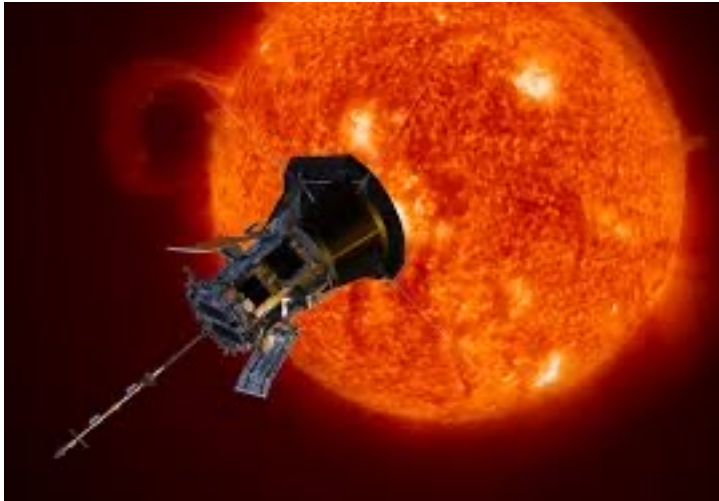
太陽風によって、夜側に吹き流されたような形状



太陽風

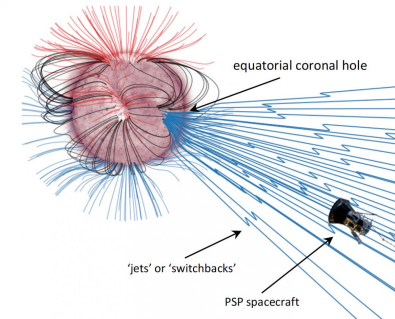
地球の磁気圏

# 2020年代：太陽圏探査機が多数飛翔



## 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)

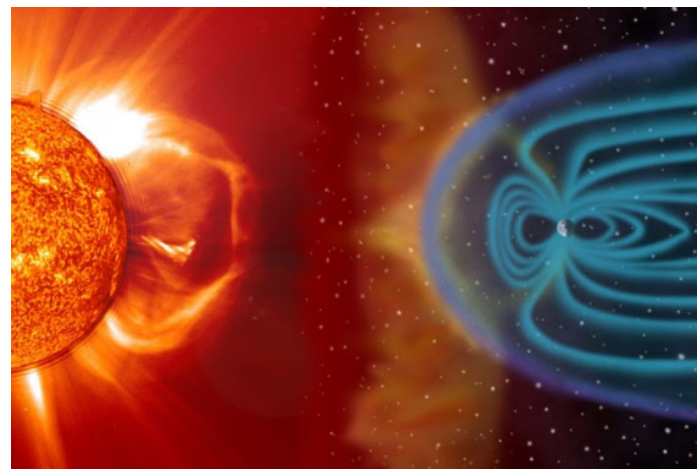
極域を含む太陽の遠隔探査  
傾斜角 $\sim 25^\circ$  @2026



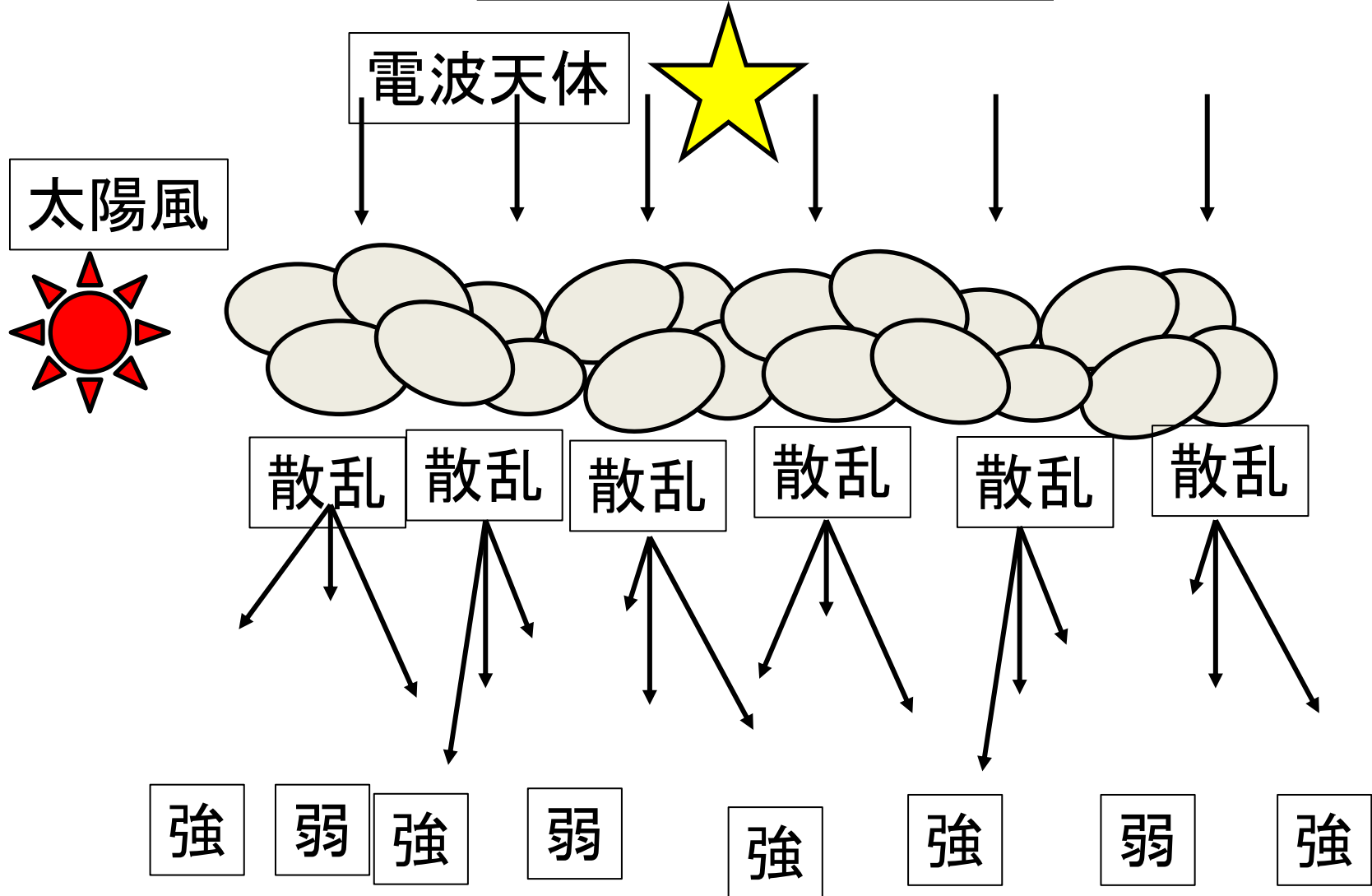
# 太陽風の地上観測

## テーマ2

太陽風はとても希薄で発光を観測するのは難しいです。諸外国では探査機を使った観測が行われています。もし、地球上から探査機数十機分に相当する太陽風データを1日で取得できればすごいと思いませんか？その鍵は「電波」にあります。



# 電波のまたたき



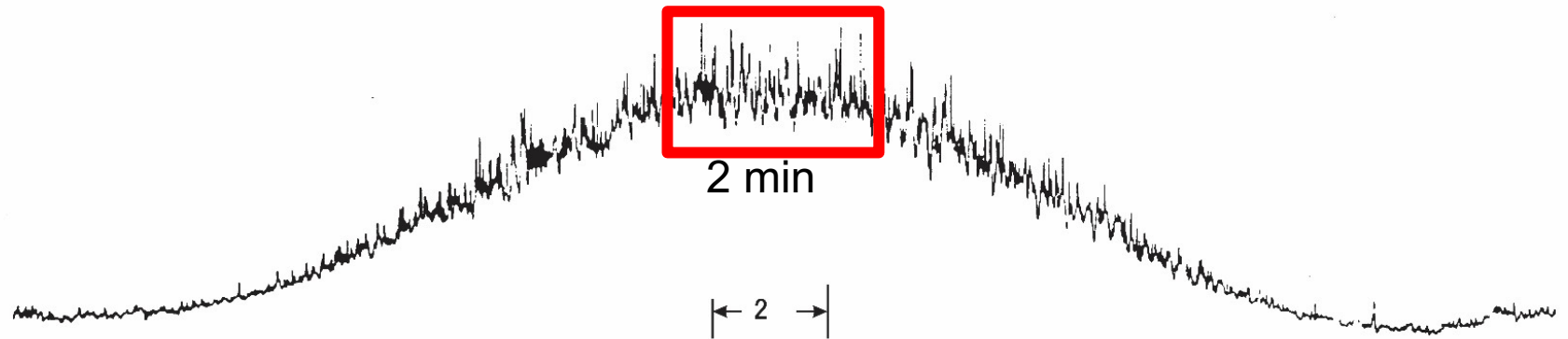
静止した観測者：  
強度の時間変動が見える





# 惑星間空間シンチレーション (IPS)

## Interplanetary scintillation (IPS)

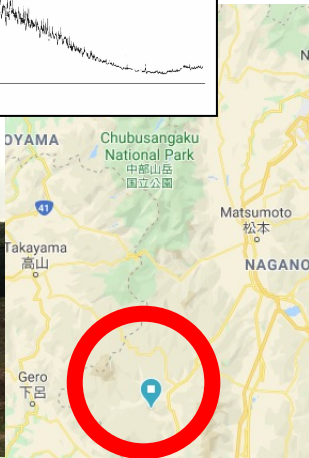
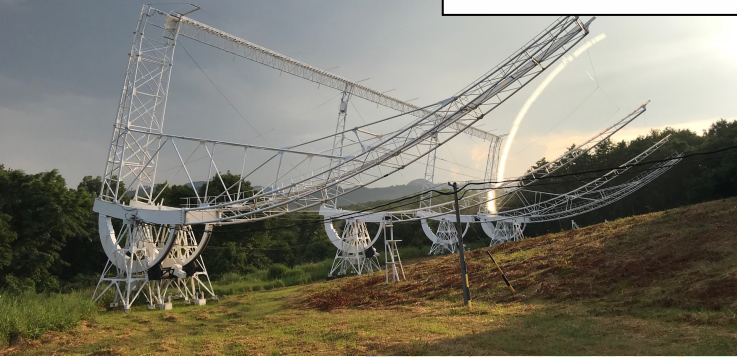
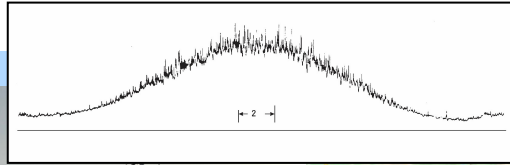


### 81.5MHzで観測された、電波天体のIPS

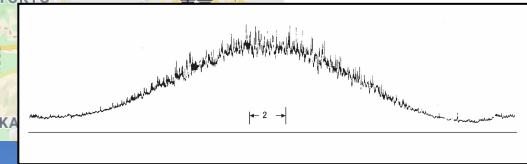
- アンテナを固定、天体が通過するのを待ち受け
- 天体の移動よりずっと細かい振動がIPS
- ゆらぎの大きさ～散乱を起こす媒質(太陽風)の密度

# ISEEの太陽風観測

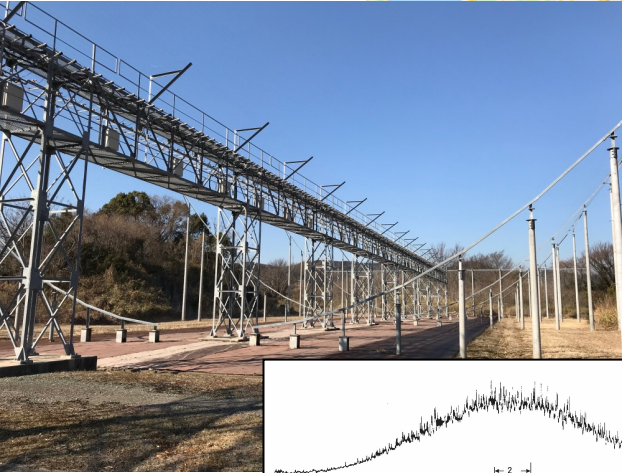
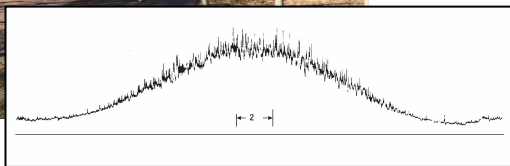
木曾



- 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

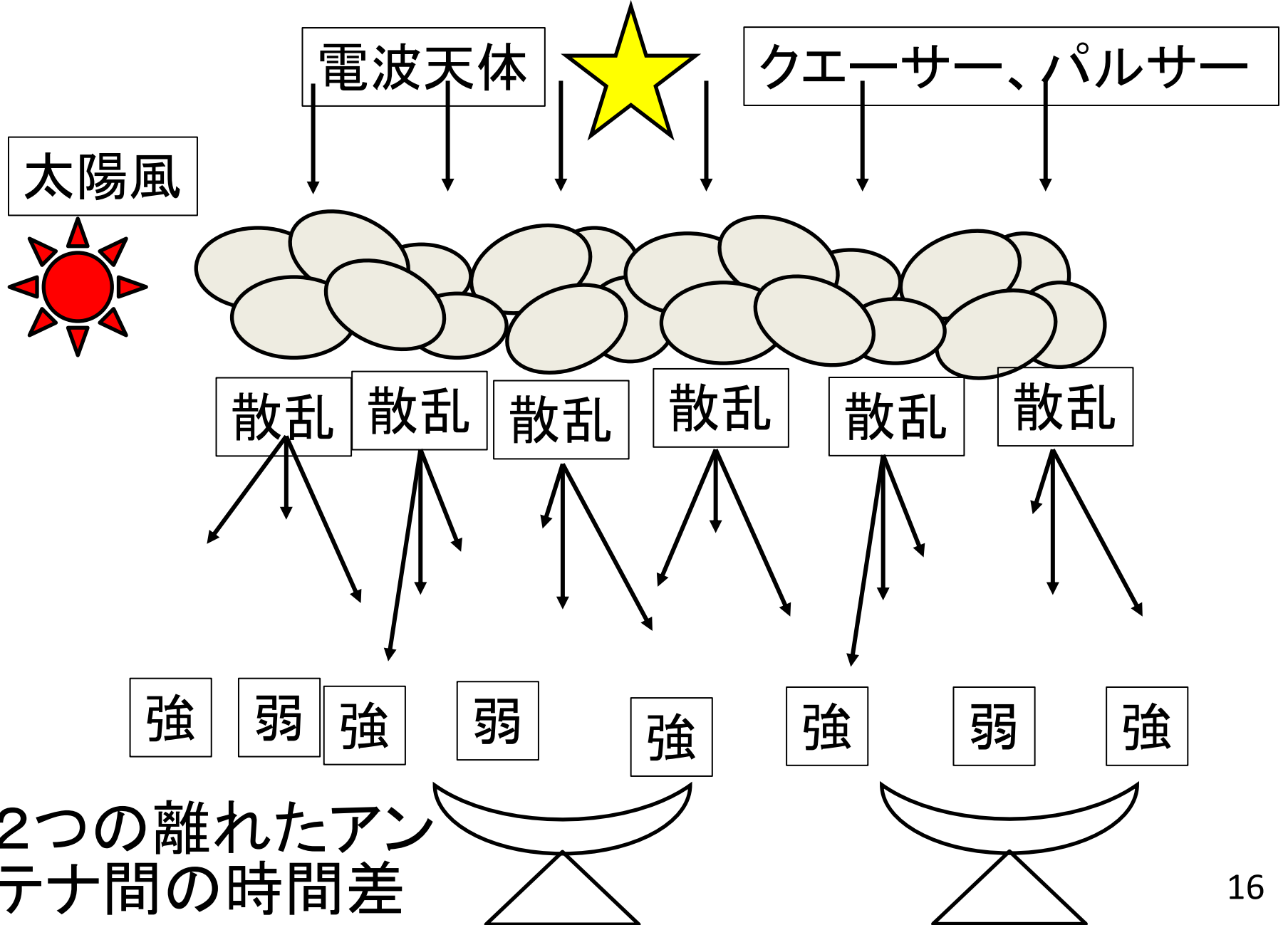


豊川

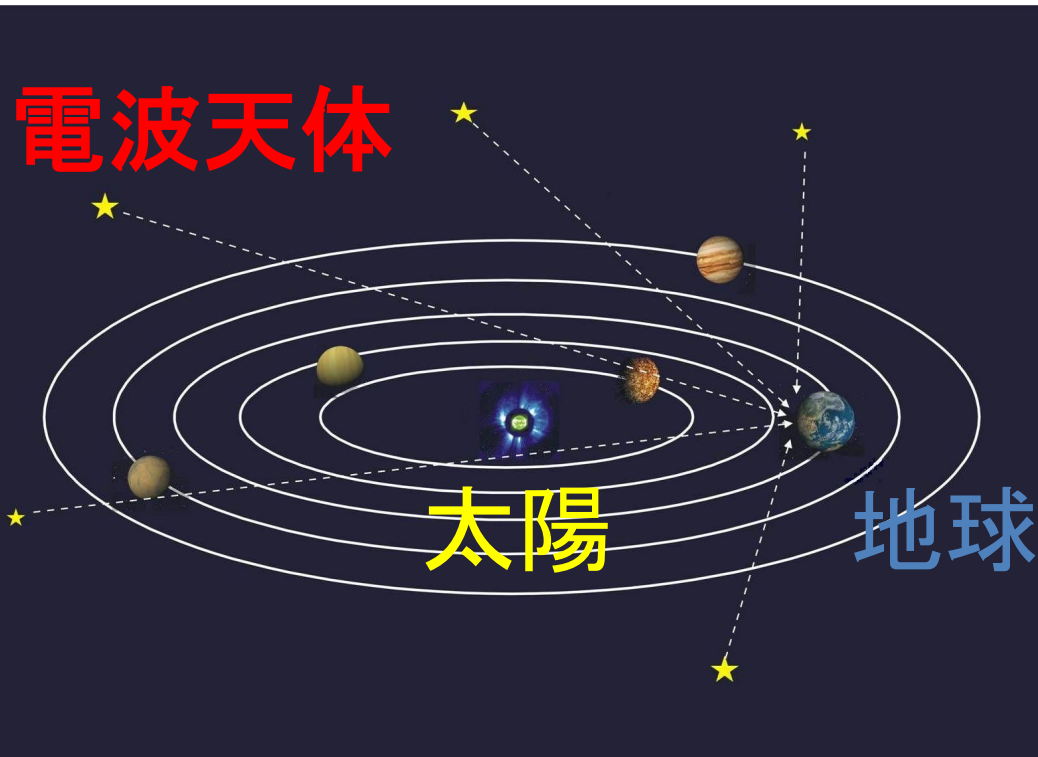


富士

# 太陽風速度の導出



# 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

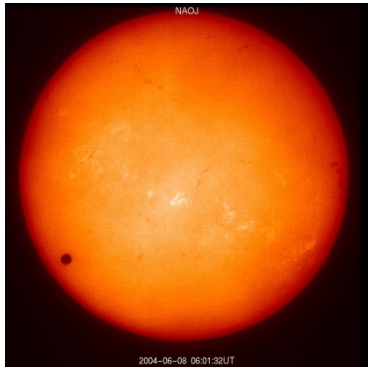
高感度のアンテナを用いれば、たくさんの  
電波天体についてIPSデータを取得可能

# クイズ：宇宙からの電波



木星(惑星)

天体からも電波が放射される。が、その強度は弱い。



太陽(恒星)

どれくらいの強さでしょうか？



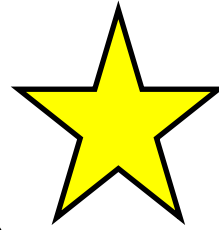
銀河(星の集まり)



# 電波観測：弱い電波をいかに集めるか

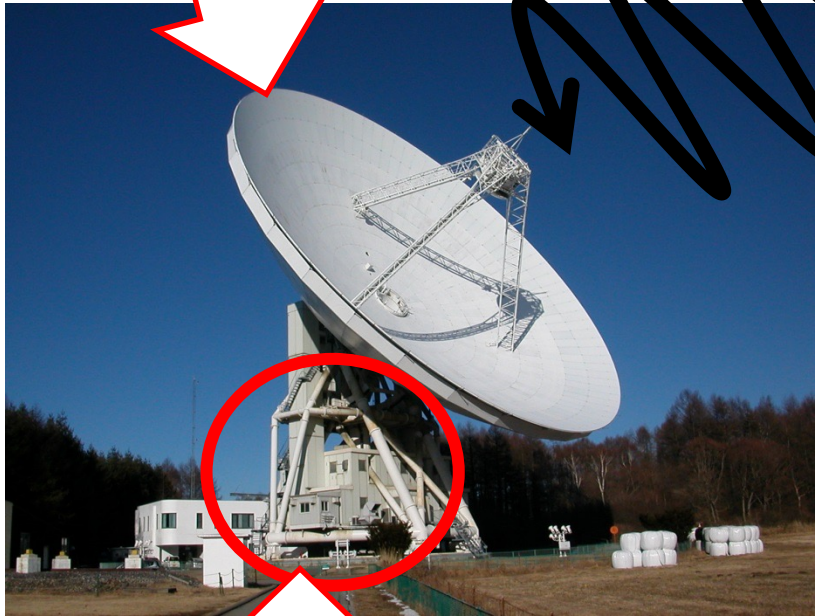
アンテナ：

電波を一か所に集める装置

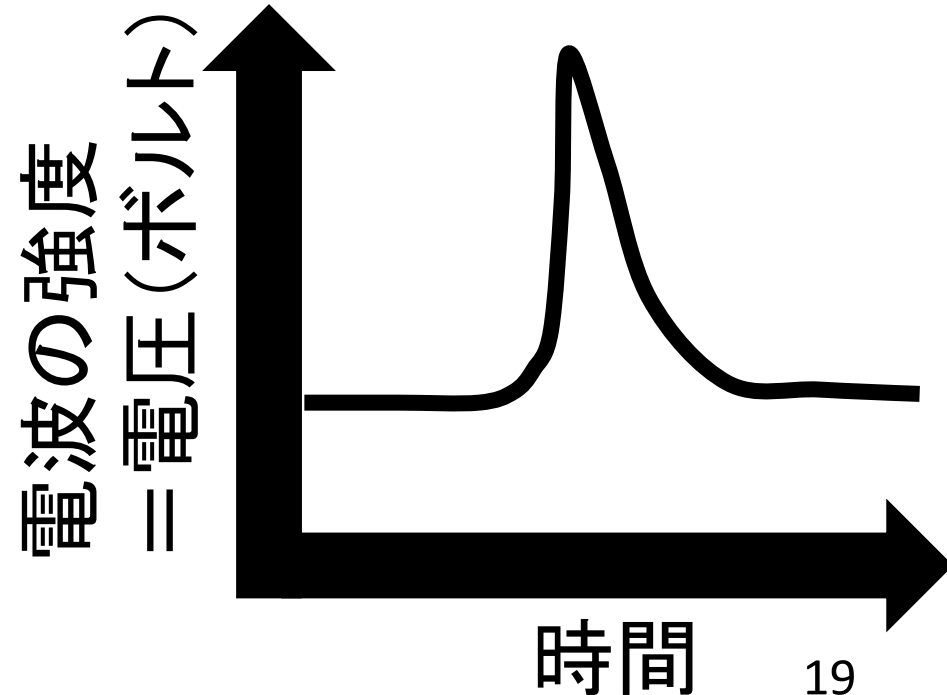


電波：

目では見えない



望遠鏡の内部：  
電波を電圧に変換



# SW研の電波望遠鏡 SWIFT

(@愛知県豊川市)

開口面積:

106 m × 40 m

~4,000m<sup>2</sup>

日本最大級！の  
電波天文用望遠鏡

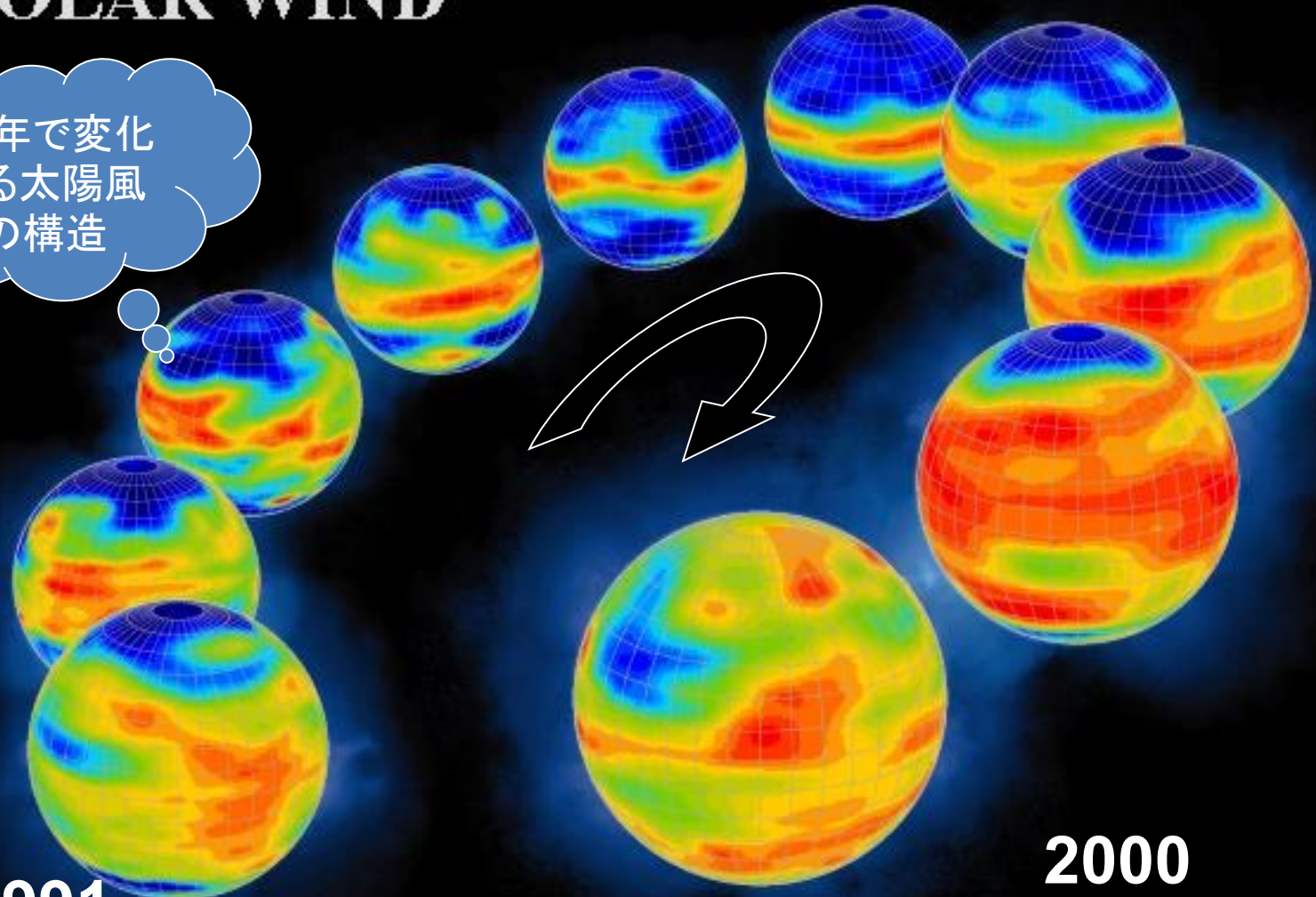




# THE SOLAR CYCLE IN SOLAR WIND

1996(太陽極小)

11年で変化  
する太陽風  
の構造



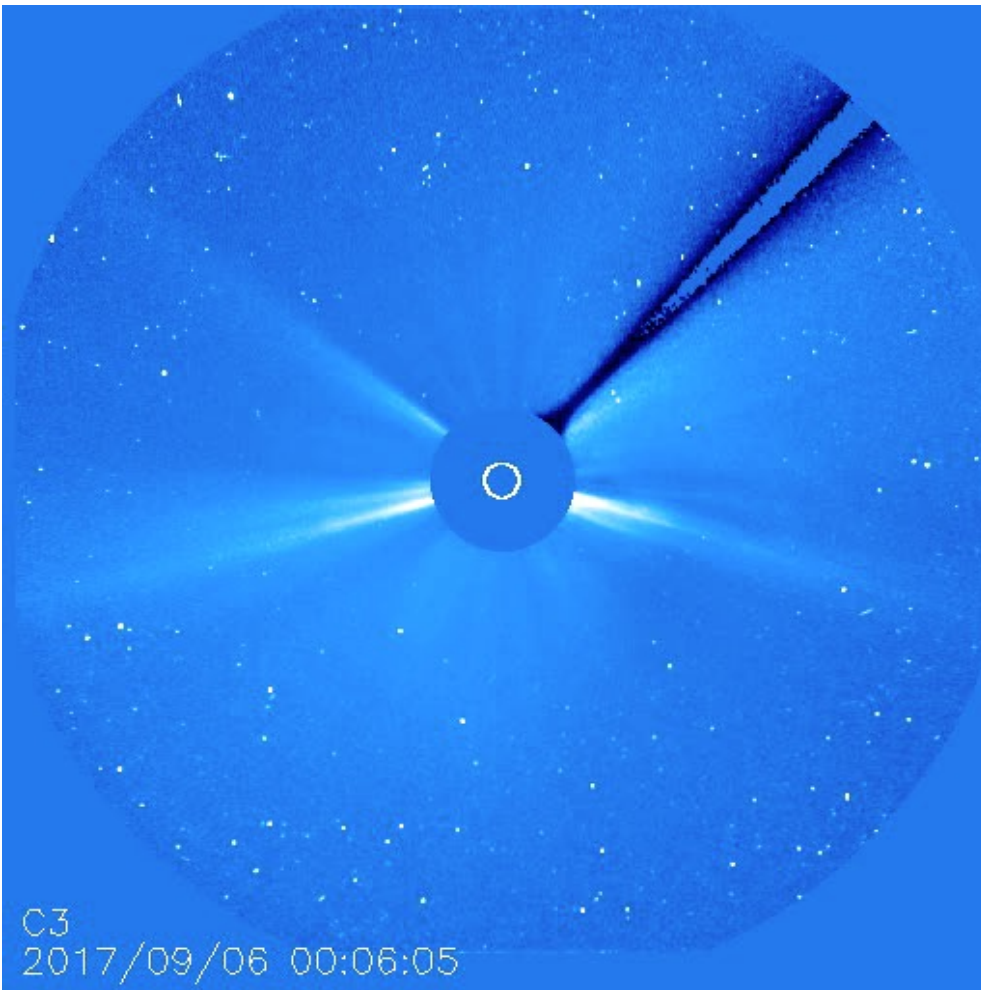
1991  
(太陽極大)

(太陽極大)

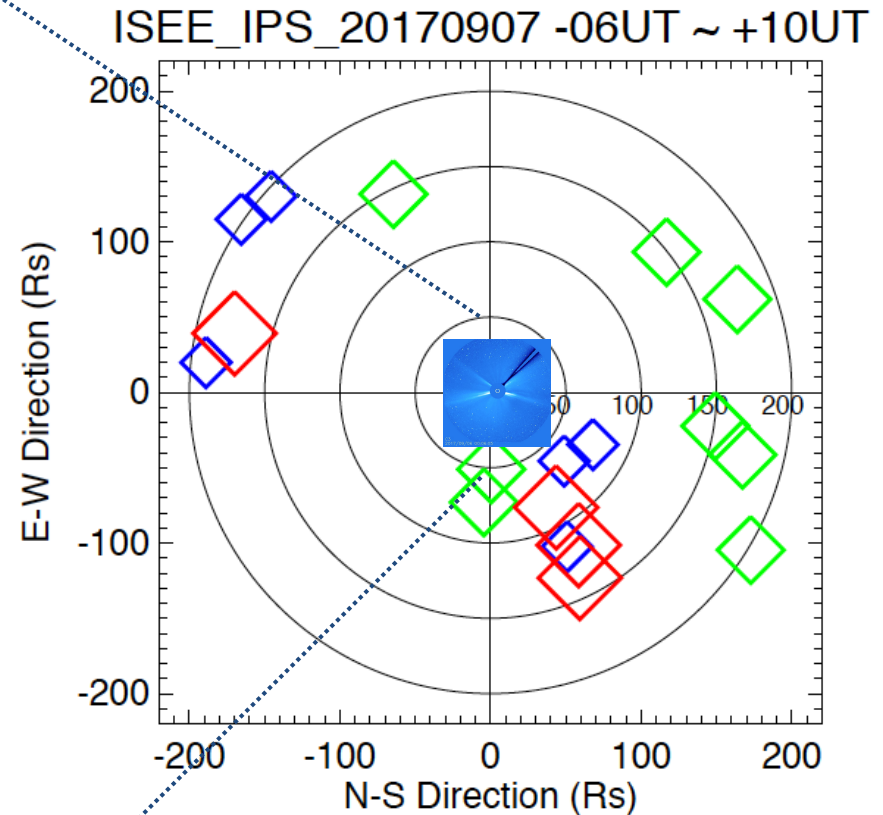
2000

青色 = 高速風  
赤色 = 低速風

# IPS観測を用いた太陽面爆発CMEの追跡



太陽周辺：  
光学観測で見たCME



宇宙空間：  
IPS観測（電波）で  
見たCME

## テーマ3

# 宇宙天気予報への応用と実用化

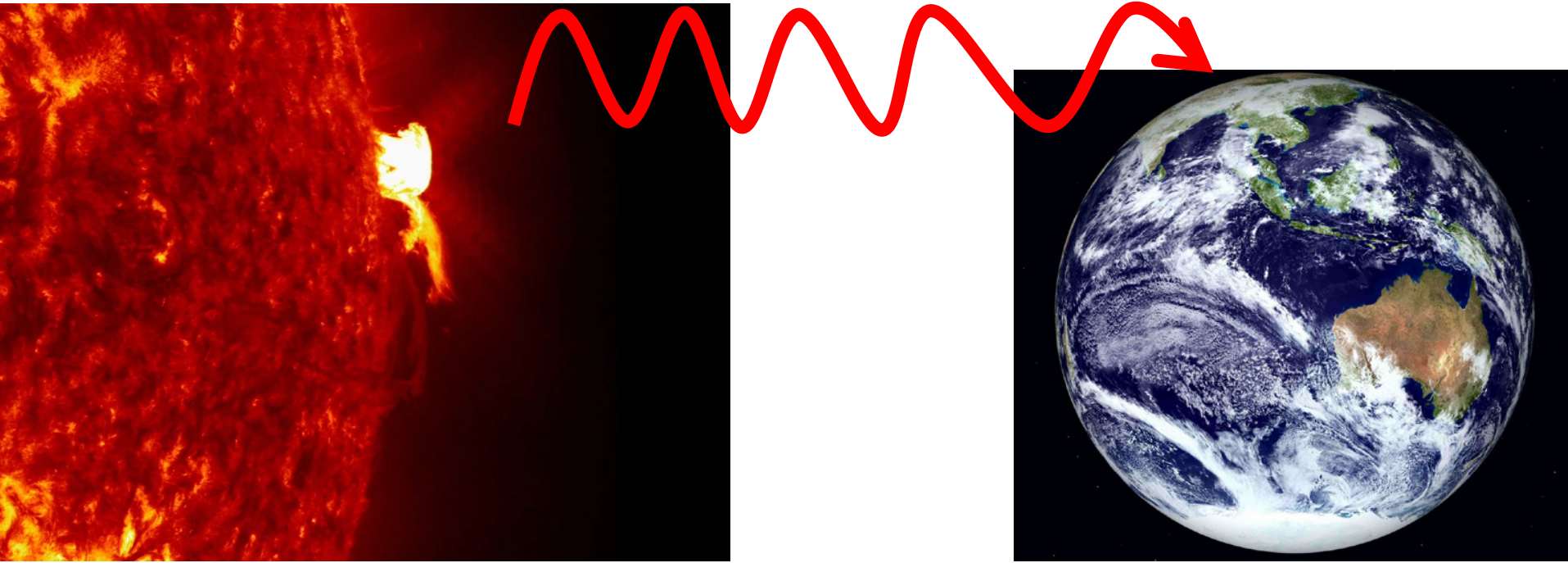
IPS観測を使えば太陽風のグローバルな構造やその変動を捕らえることができると学びました。

この情報を使えば、地球に到来する太陽風を事前に知ることができるかもしれません。

近年、人類の宇宙進出が加速するにつれて、太陽風の予報に期待が高まりつつあります。



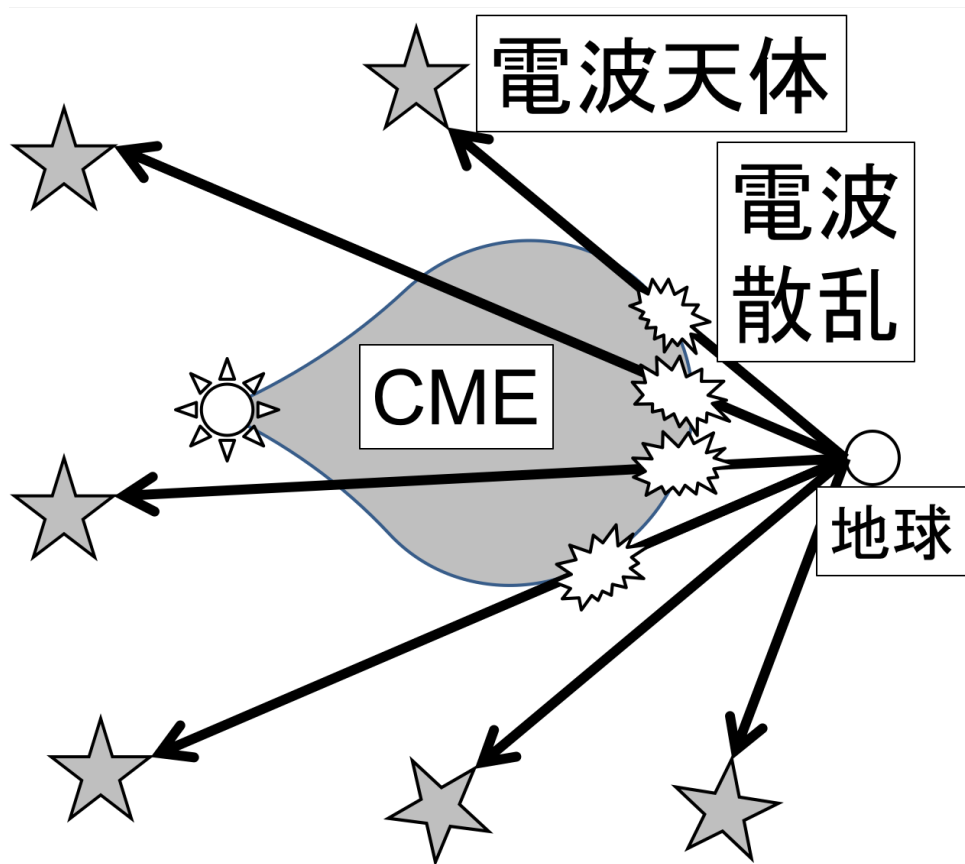
# 太陽と地球環境の関係



- 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

# 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



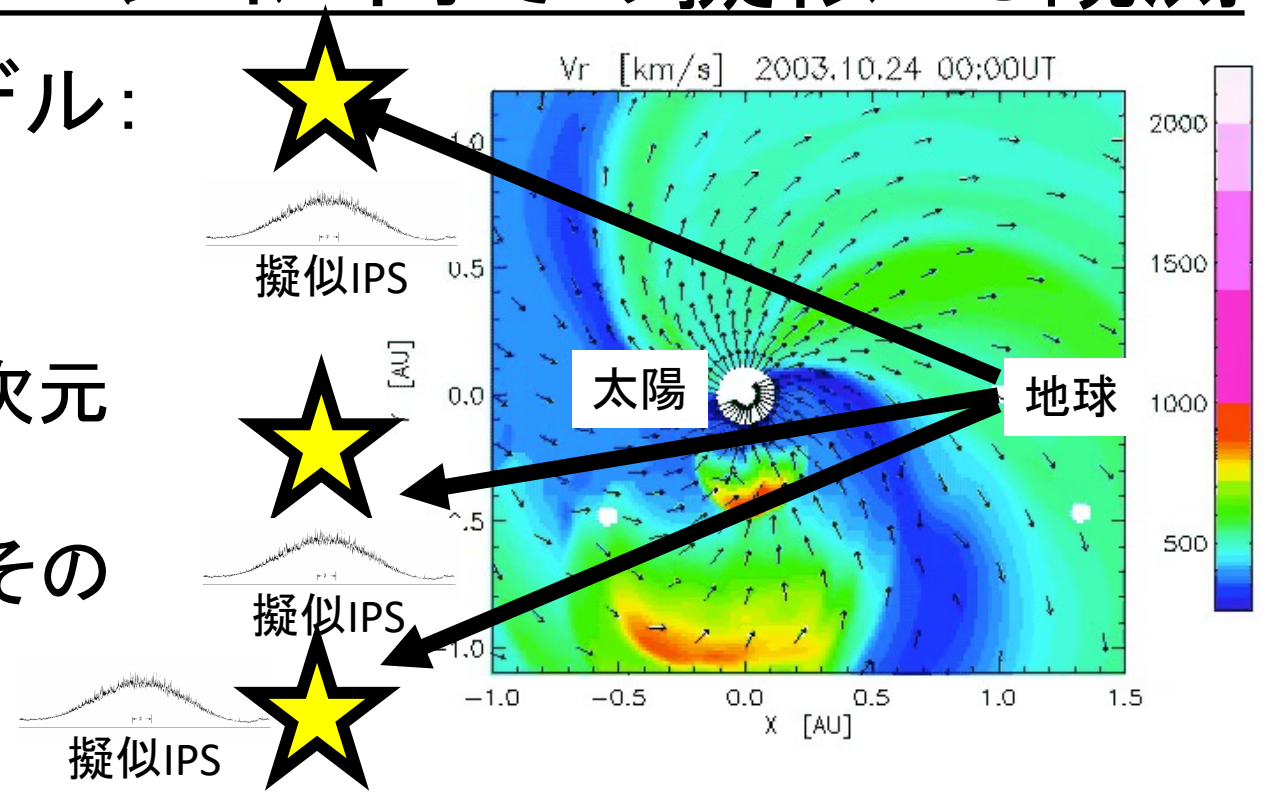
電波観測から爆風の到来前に、その予報が可能

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

# MHDシミュレーション内での擬似IPS観測

MHD太陽圏モデル:  
SUSANOO-CME

太陽圏を模した3次元空間にSpheromak (CME)を入力し、その次空間発展を解く

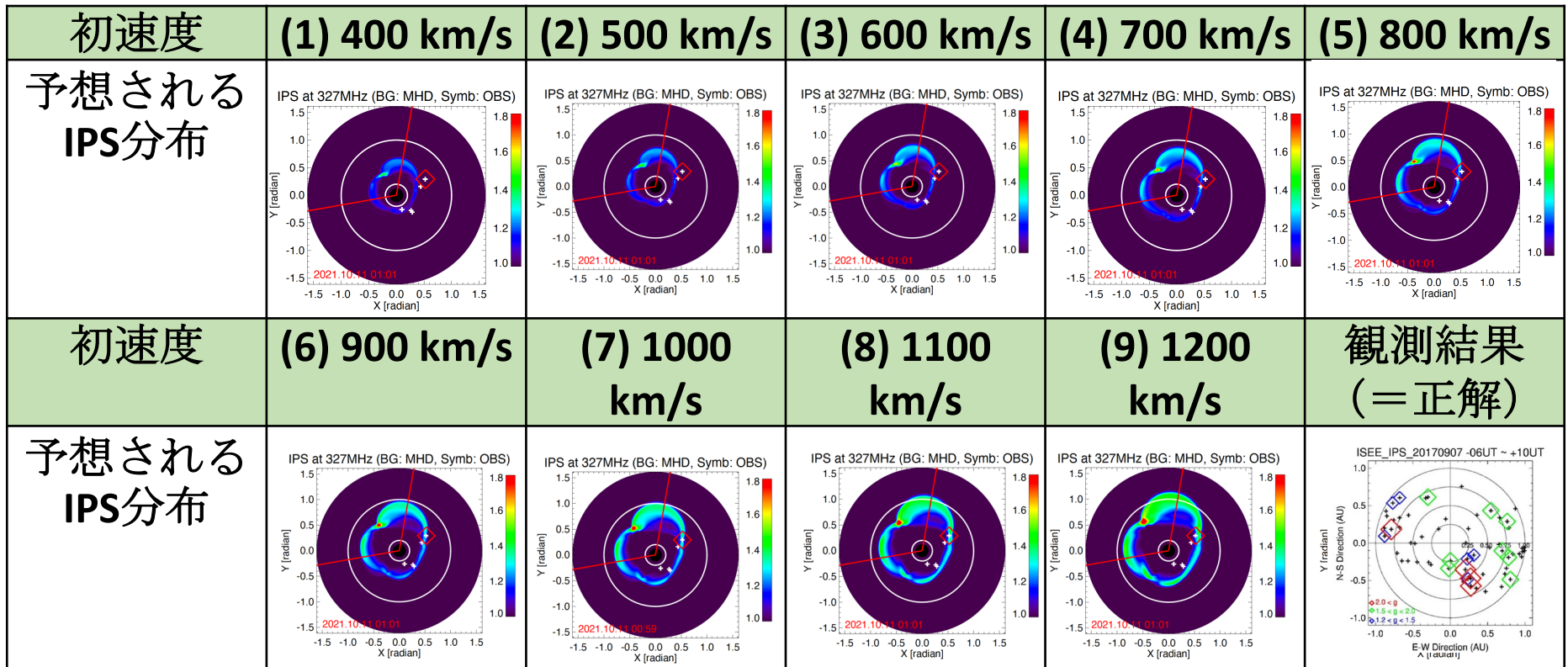


1. 太陽圏の密度の3D分布を全時間記録
2. 地球からの視線沿いに電波の散乱方程式を解く
3. 地球から見た太陽中心座標系で表示  
= 擬似IPS観測データ(観測と比較可能)

CMEの到来をより高い精度で予報できるシステムを開発

# IPS計算とデータ比較

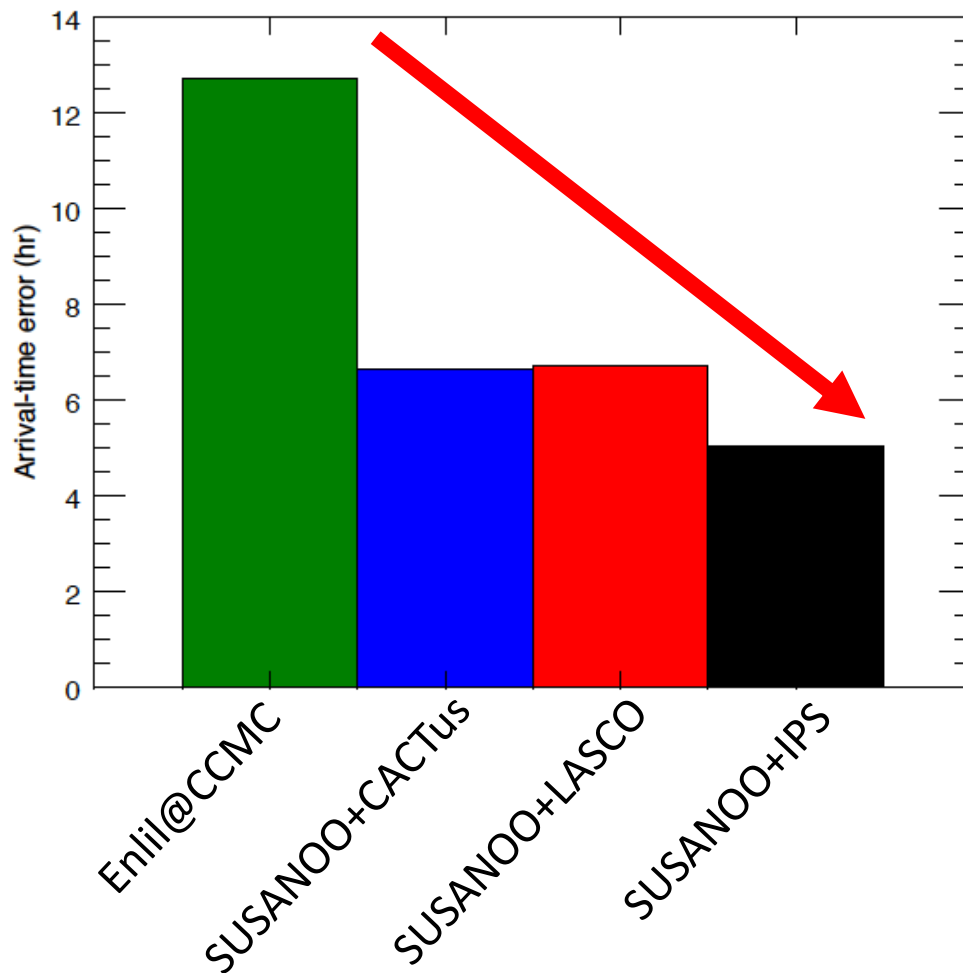
- 異なる初期パラメータで多くのCME伝搬を計算
- それぞれのシミュレーション結果から擬似IPSを計算



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

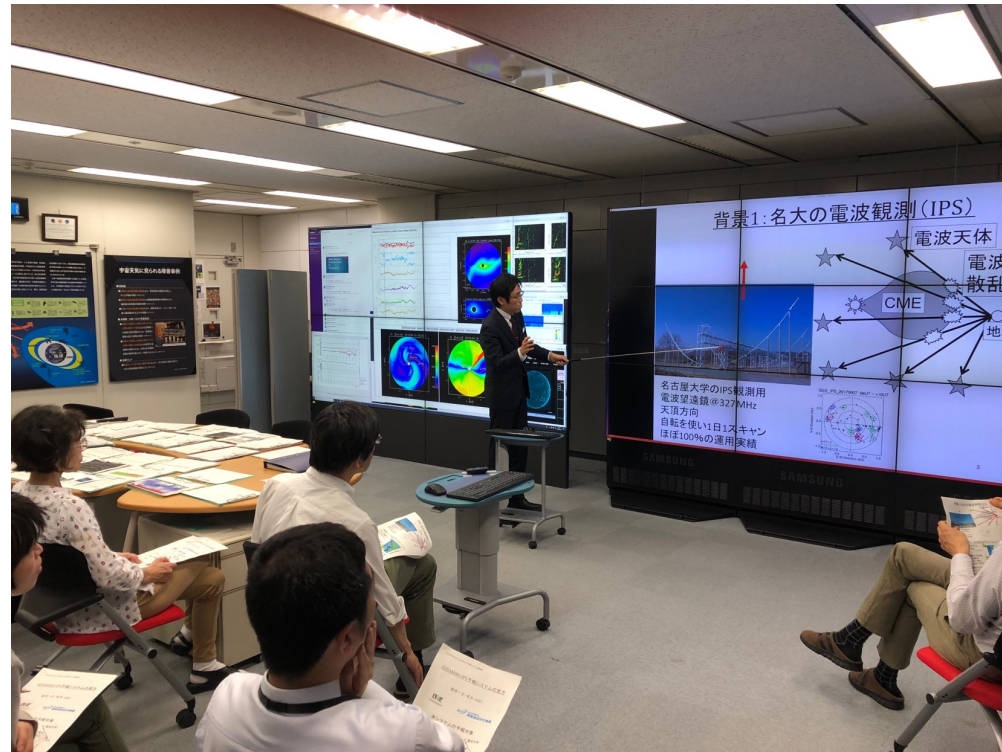


# 宇宙天気予報の実用化

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し  
名大で開発したシステムが、日本の予報に採用  
「社会と直接つながる天文学へ」

## テーマ4

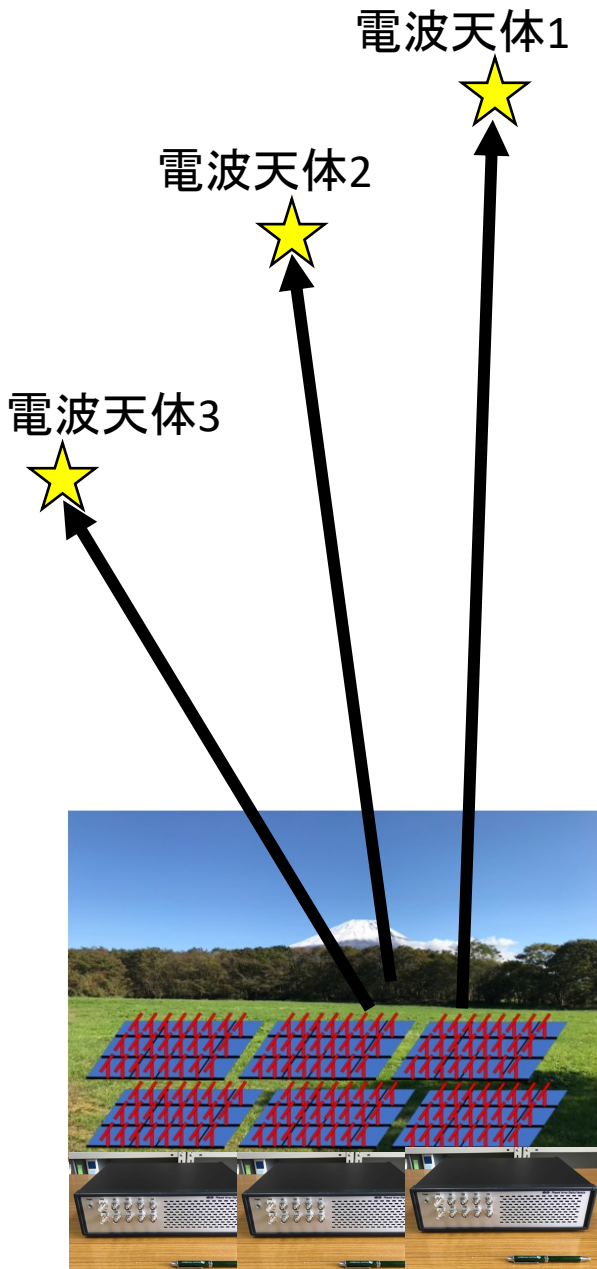
# 先端の装置開発

太陽風のIPS観測は極めて特殊な観測手法のため、装置の多くが独自開発されています。

次世代の太陽風研究をリードするべく新しい装置の開発も進んでいます。

これらの開発には大学院生も教職員と協力しつつ参加しています。

# 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

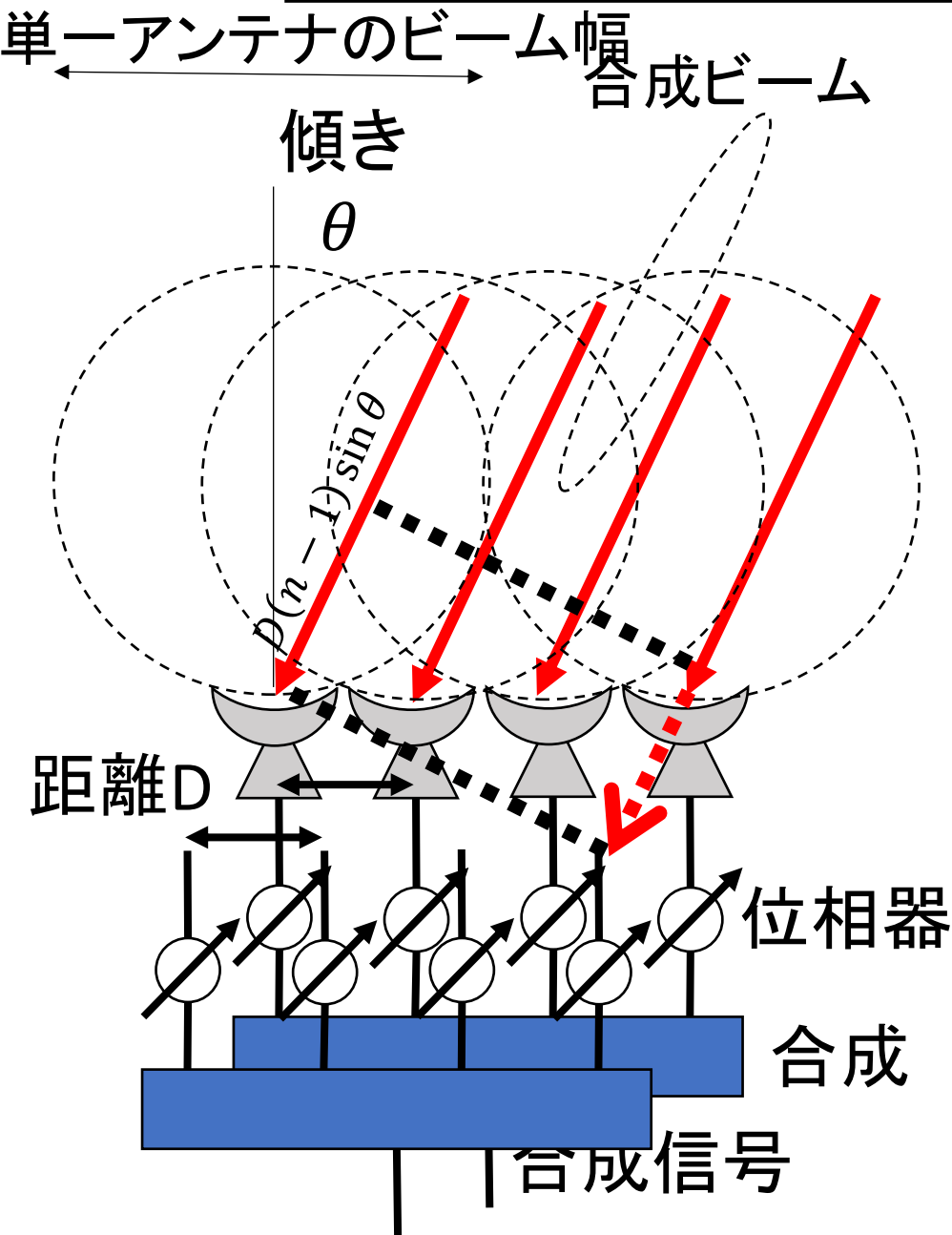
## 観測の目標

- 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

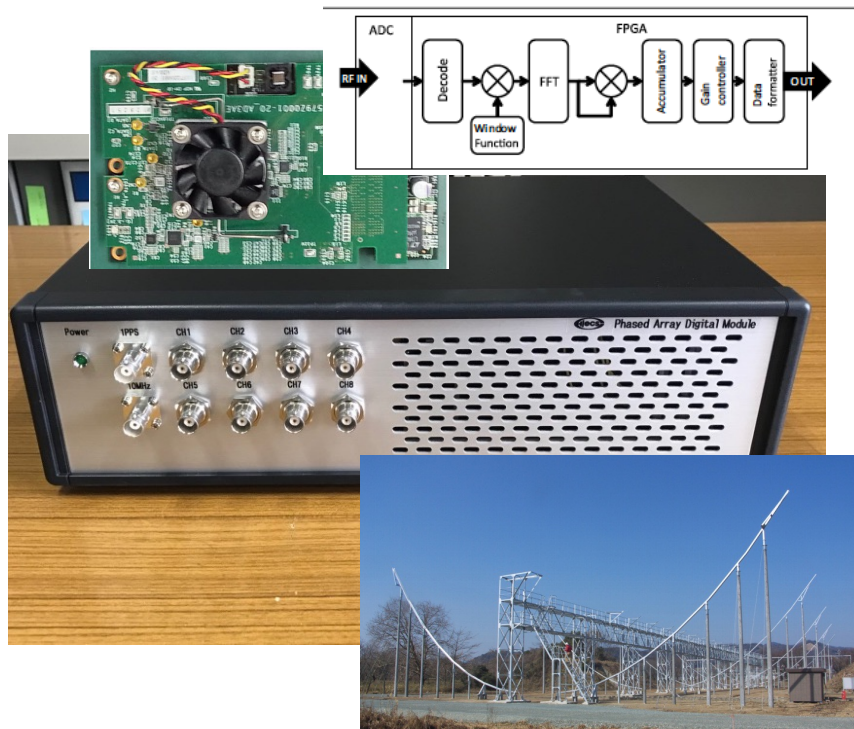
- 多数のアンテナの信号を特定の方向からの信号が強め合うように合成
- その方向に大きなアンテナが向いている状態を作る
- 並列処理で異なる方向に強め合うように合成すれば、複数の方向を同時に観測可能



# 最先端の機器開発

2020年：プロトタイプ装置が完成！

2021年：第一次開発プロジェクト始動！！



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4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！

# 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保有**
  - 大型望遠鏡で宇宙を観測したいという希望を確実に叶えることができます。
- **多彩な研究手法**
  - 装置開発・観測/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を並行実施。天文・宇宙物理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。

# まとめ

- 太陽風：太陽から吹く粒子の流れ
- 太陽圏：太陽風の影響下にある空間
- 太陽風シンチレーション観測：遠方天体の電波の変動から、その前を通過する太陽風を観測
- 宇宙天気予報：太陽から発生する擾乱が地球環境に与える影響を予測
- 名大ISEEの太陽風研究：大型望遠鏡開発と観測的研究の両輪を推進

太陽風の電波観測は日本で名大でしかできない研究です  
大学院を選ぶ時、宇宙・観測・望遠鏡・宇宙天気などに興味があれば思い出してもらえると幸いです。