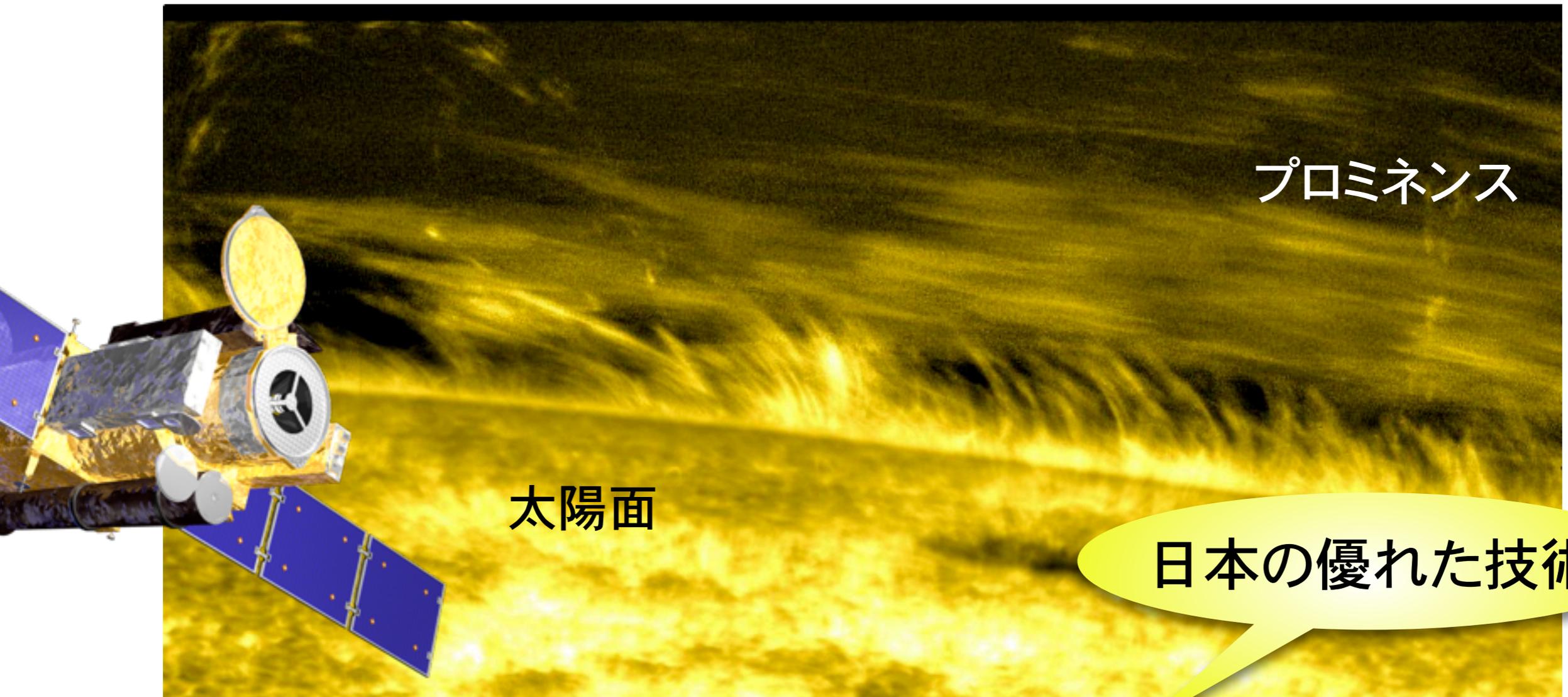


飛翔体観測による  
太陽大気波動の研究

岡本文典  
(国立天文台)

# プロローグ

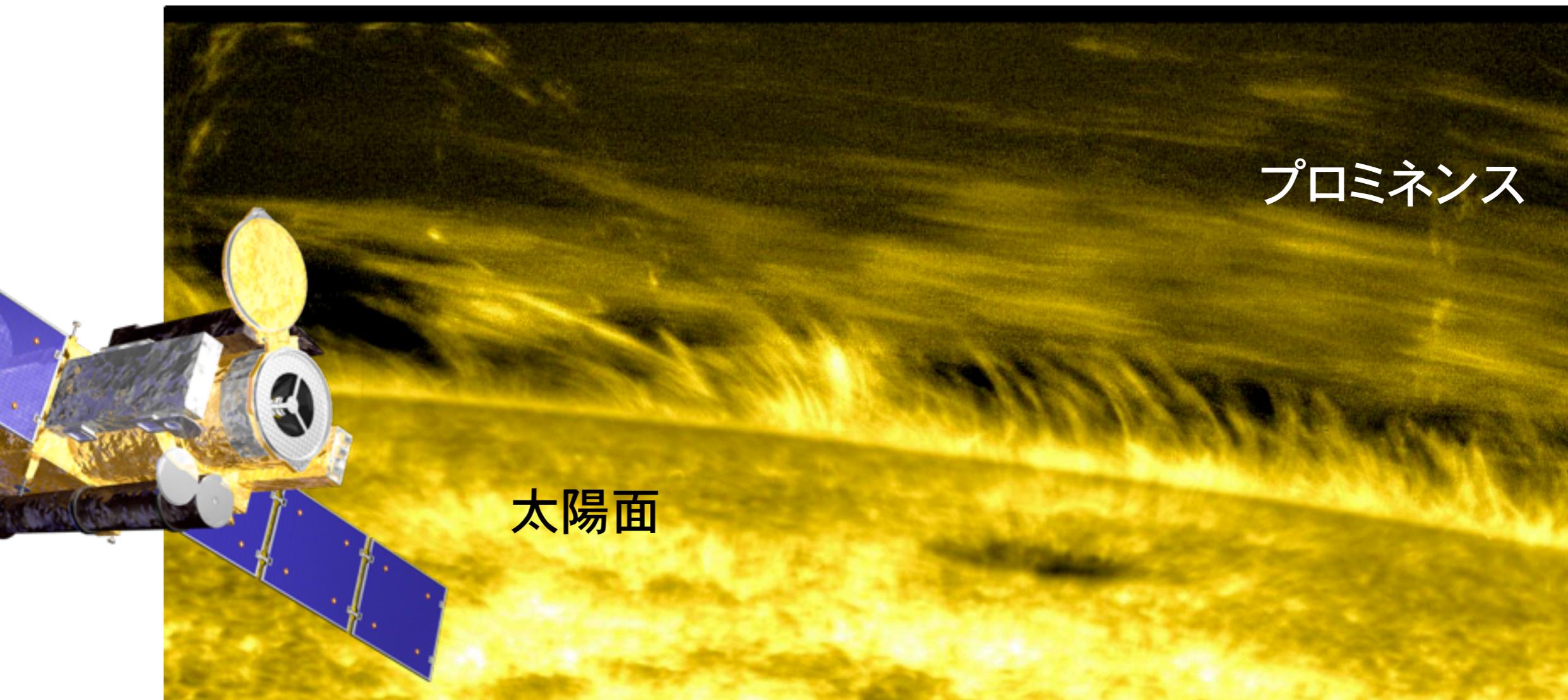


## ひので・可視光望遠鏡 低散乱の光学系

太陽面より100倍暗いプロミネンスもはっきり見える  
さらに、微細構造とその動きも判別可能

**動画のメリットを活かすべき！**

# プロローグ

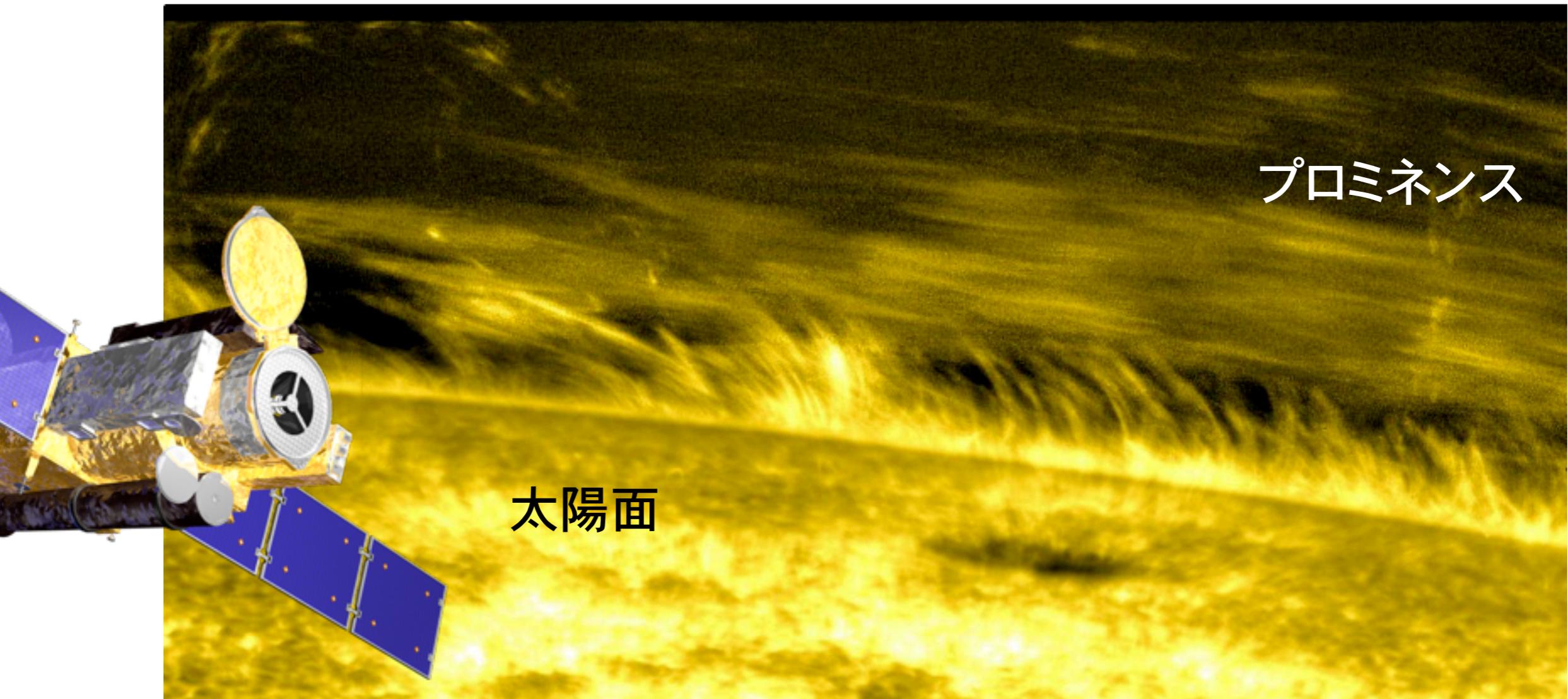


しかしながら・・・

**ただの撮像には物理量の情報が無い**

通常、太陽観測では視線方向速度、磁場強度などを測る

# プロローグ



プロミネンス

太陽面

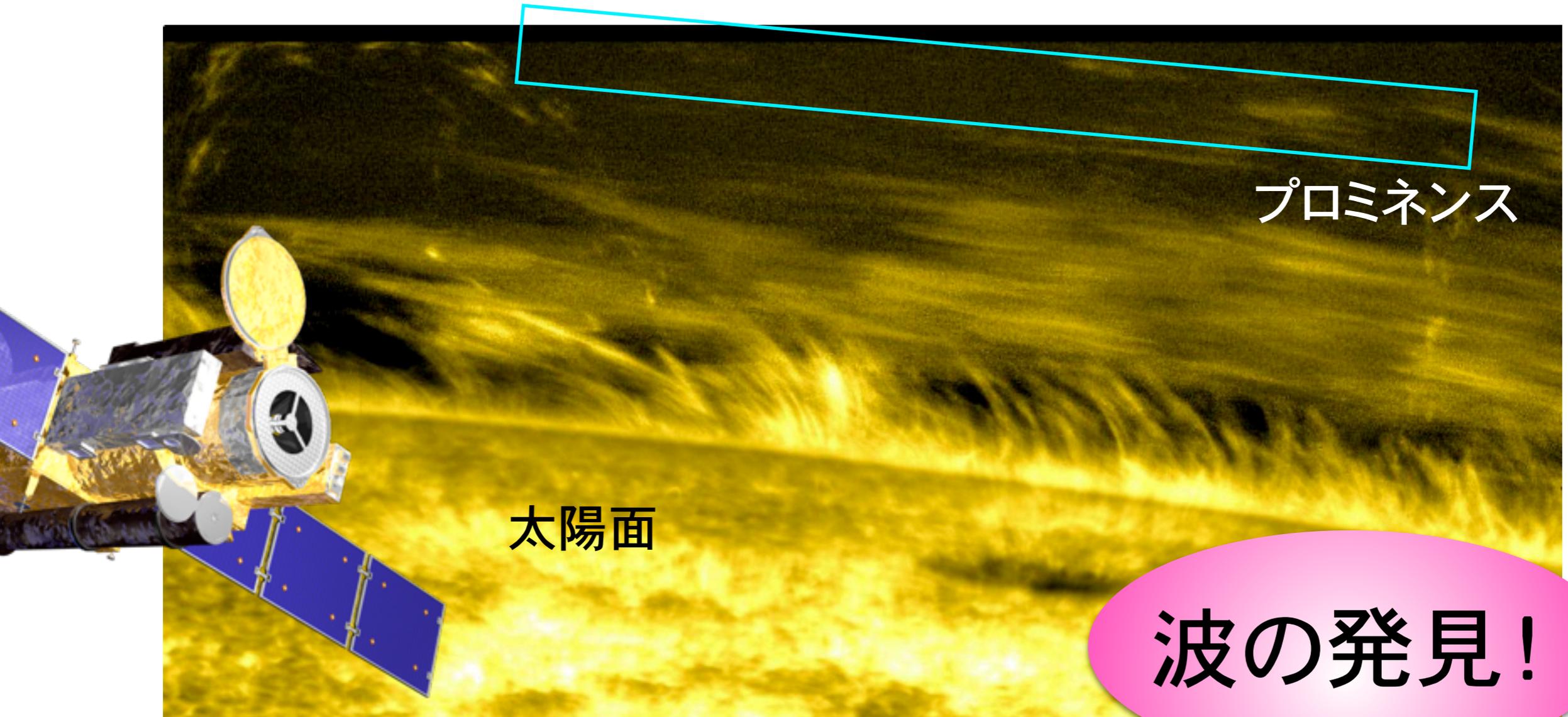
\*「このかゝるものをあきらめますか？」

はい

▶いいえ

(研究者) 人生の選択

# プロローグ



太陽面

プロミネンス

波の発見!

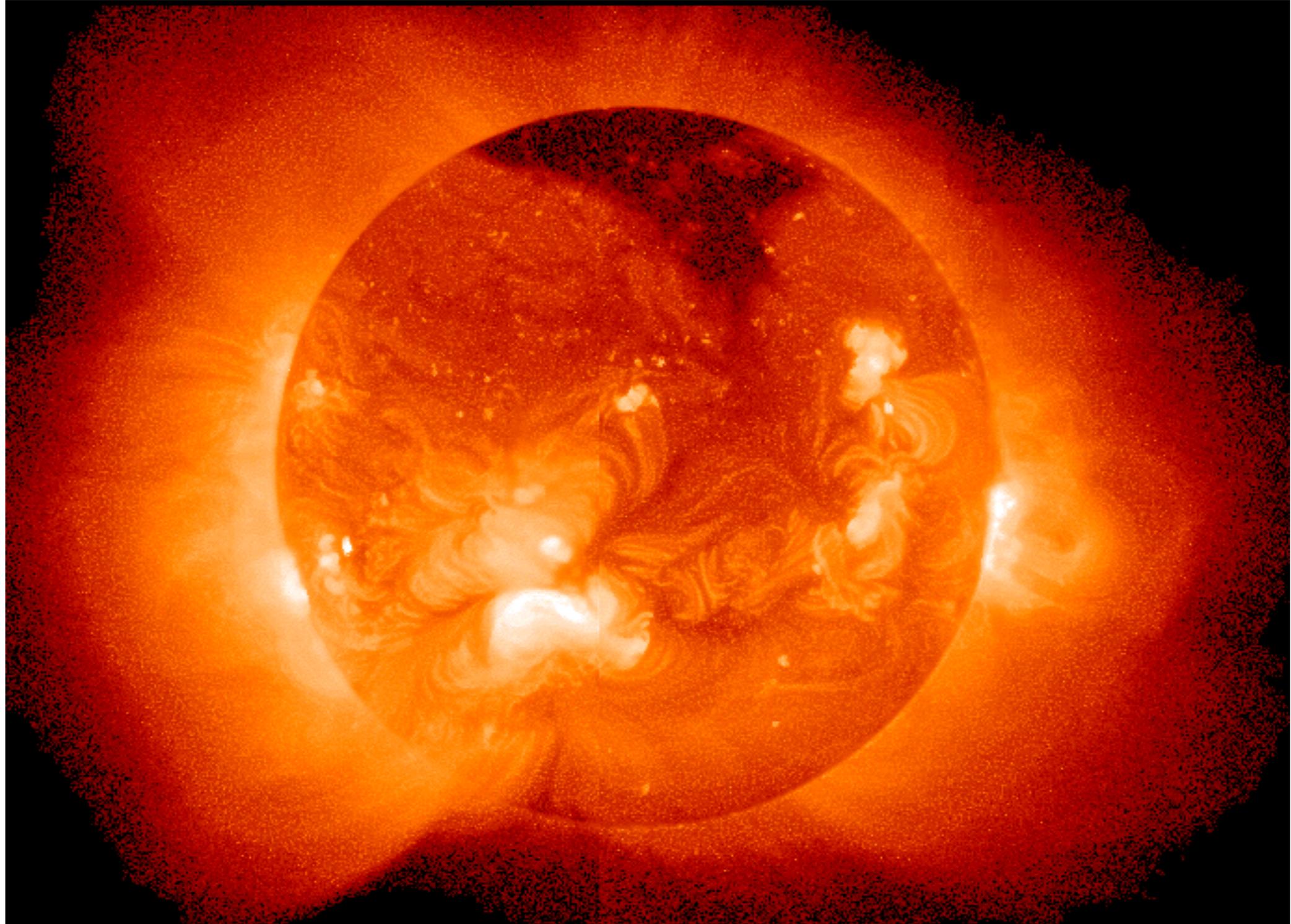
根気よく見てみると...

鉛直に振動する微細構造を発見!



なぜ波が重要か？ → コロナ加熱問題

## 太陽大気コロナ



# なぜ波が重要か？ → コロナ加熱問題

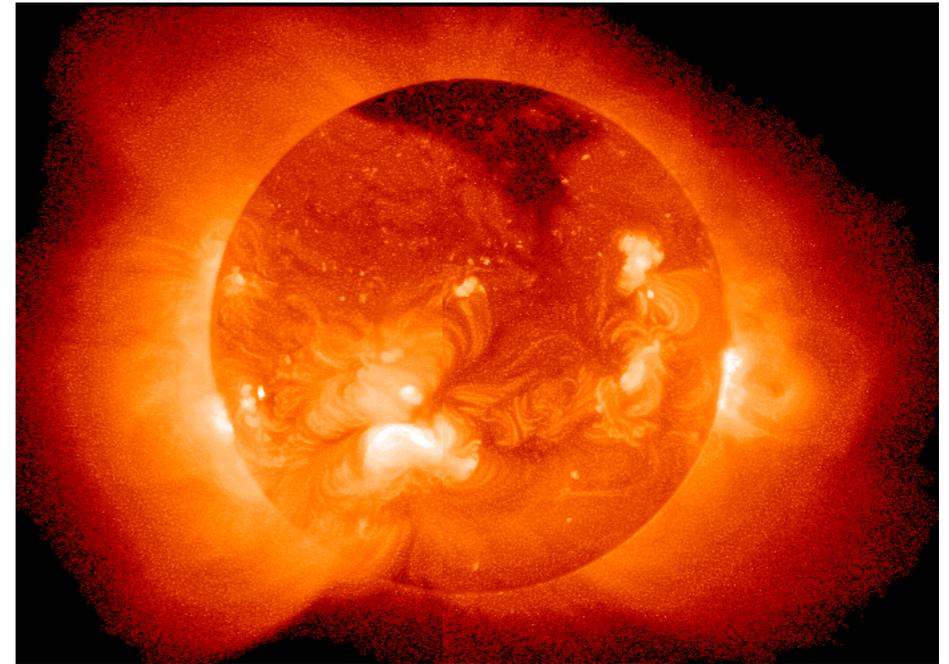
## 太陽大気コロナ

100万度もある

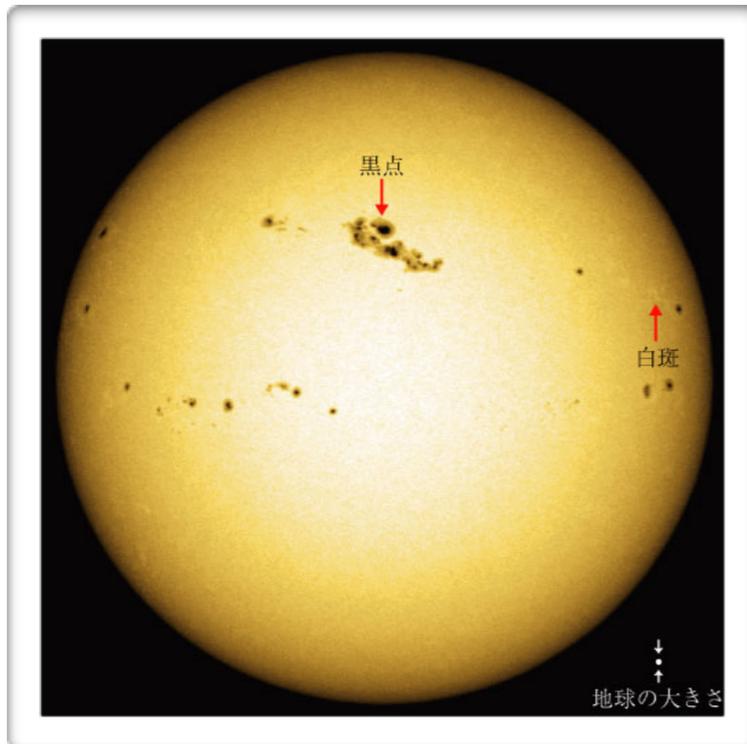
(1940年台から知られている)

なぜ熱いのかわからない

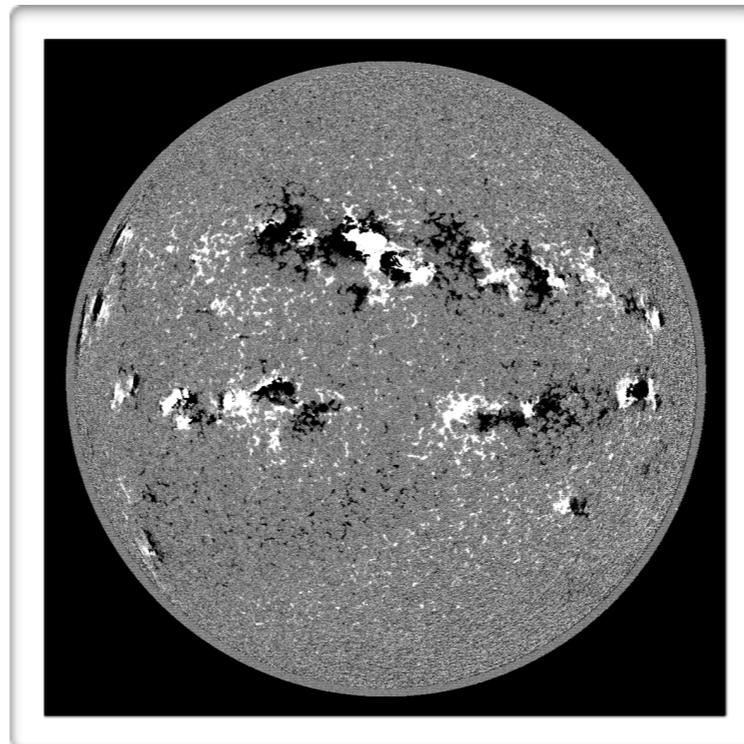
(しかし、磁場が絡んでいることはわかる)



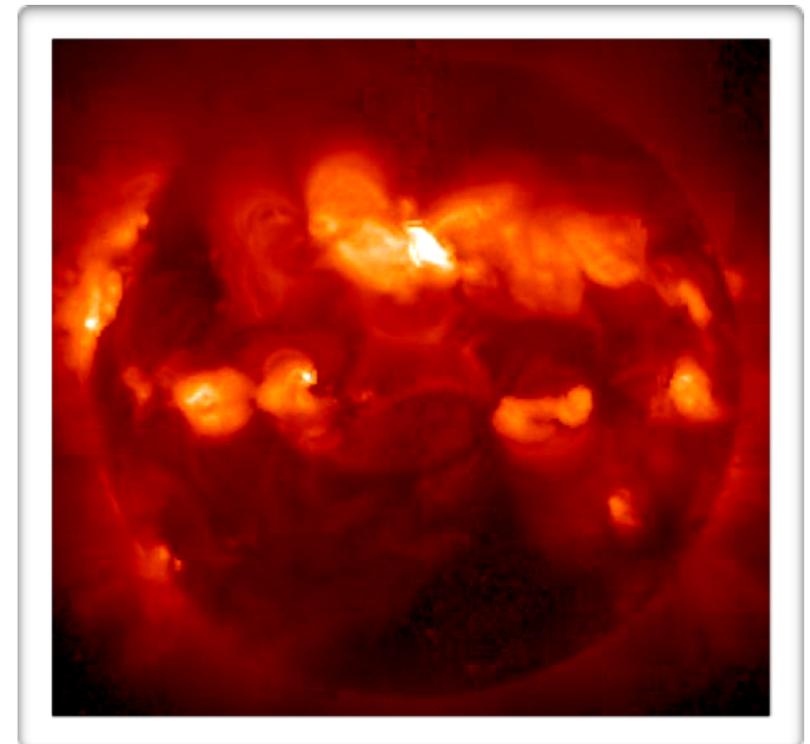
白色光



磁場強度



X線強度



# なぜ波が重要か？ → コロナ加熱問題

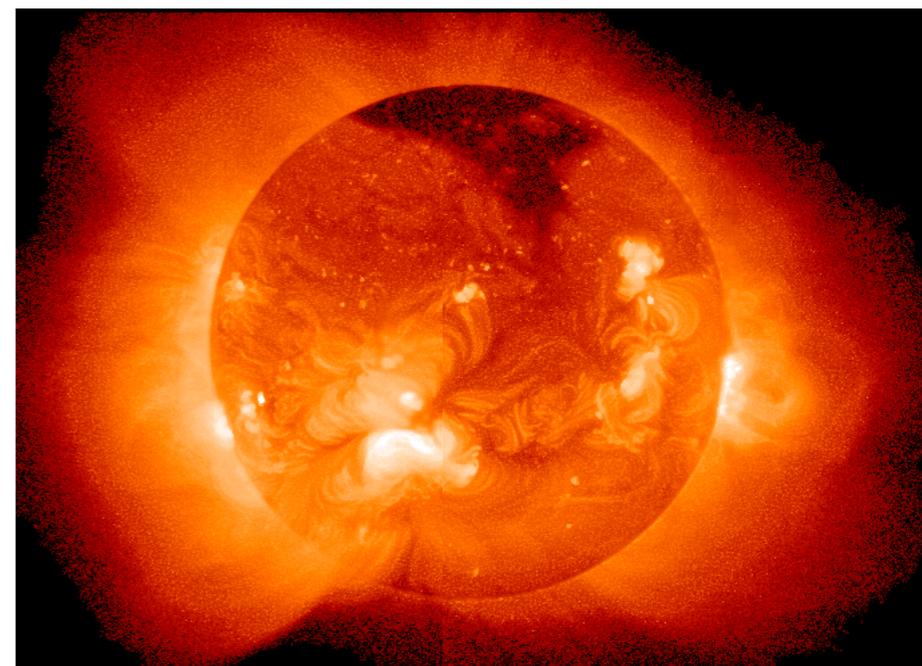
## 太陽大気コロナ

100万度もある

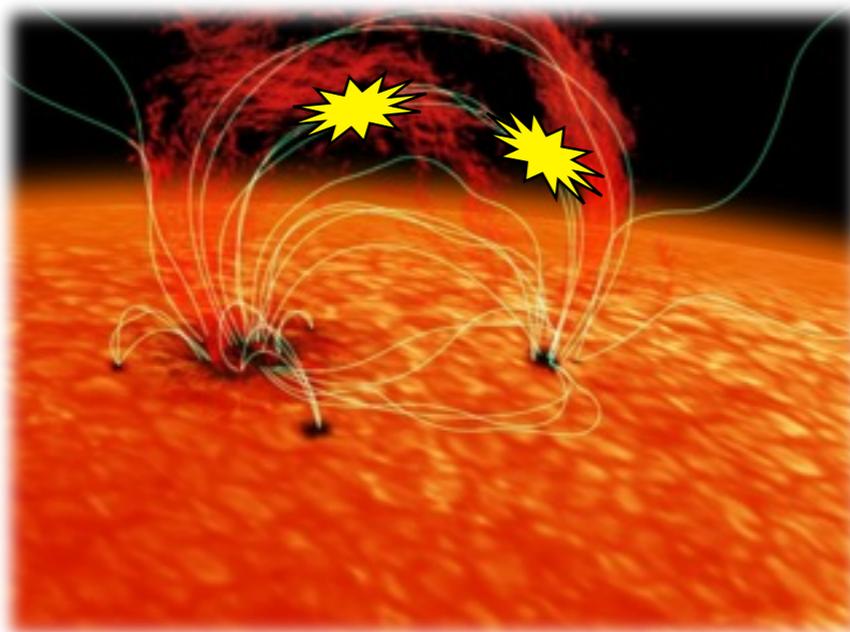
(1940年台から知られている)

なぜ熱いのかわからない

(しかし、磁場が絡んでいることはわかる)

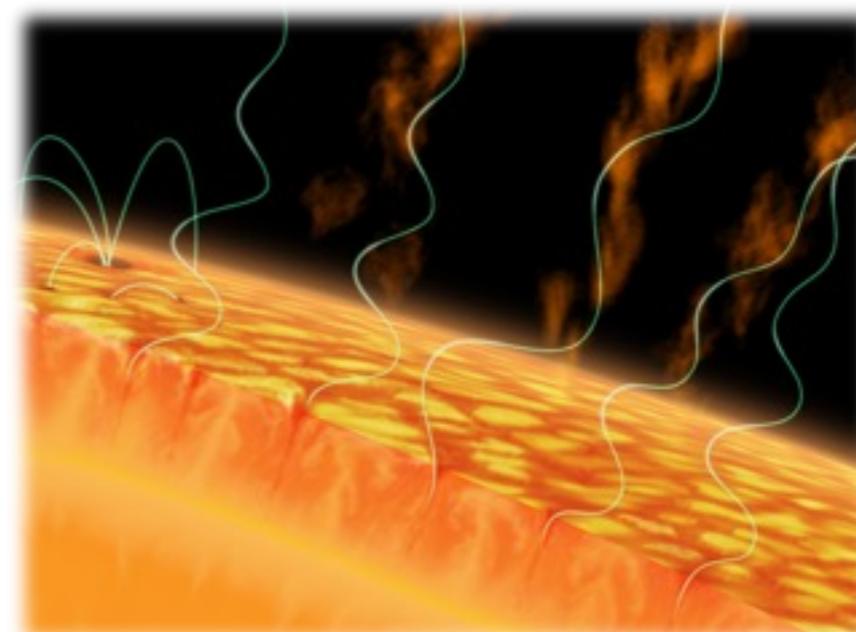


### ナノフレア加熱説



これまでの望遠鏡では分解できなかった小さなフレア(ナノフレア)がエネルギー源となり、コロナに熱を供給している

### 波動加熱説



太陽表面から無数に生えている磁力線が、太陽表面の対流などの運動により揺すられることで、エネルギーをコロナに運び、コロナで熱に変換する

# なぜ波が重要か？ → コロナ加熱問題

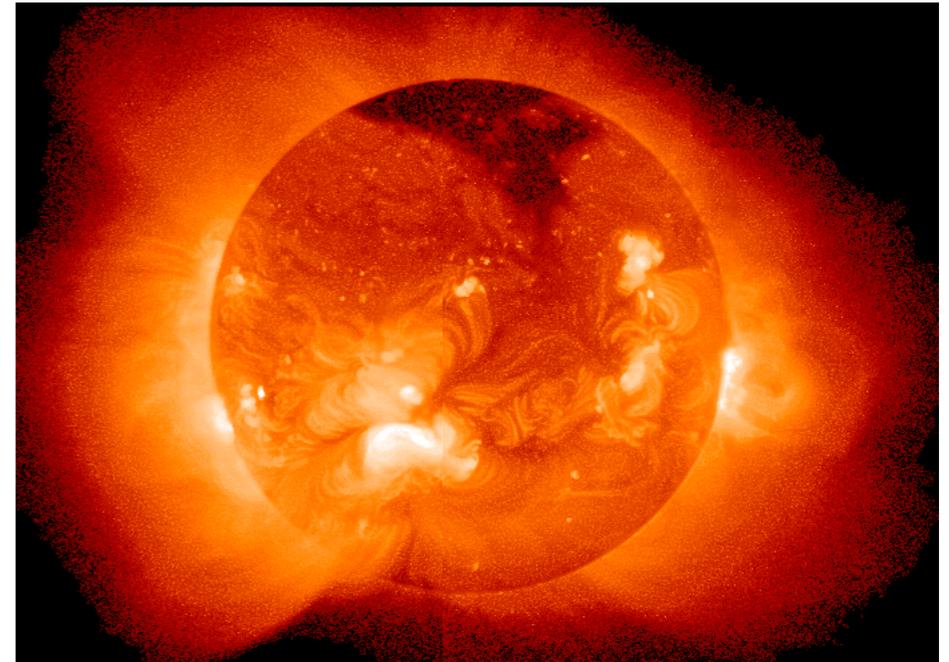
## 太陽大気コロナ

100万度もある

(1940年台から知られている)

なぜ熱いのかわからない

(しかし、磁場が絡んでいることはわかる)



波動エネルギー → 熱エネルギー

(ナノフレアよりも速い加熱が可能)

(アルヴェン波なら高い所までエネルギーを運べる)

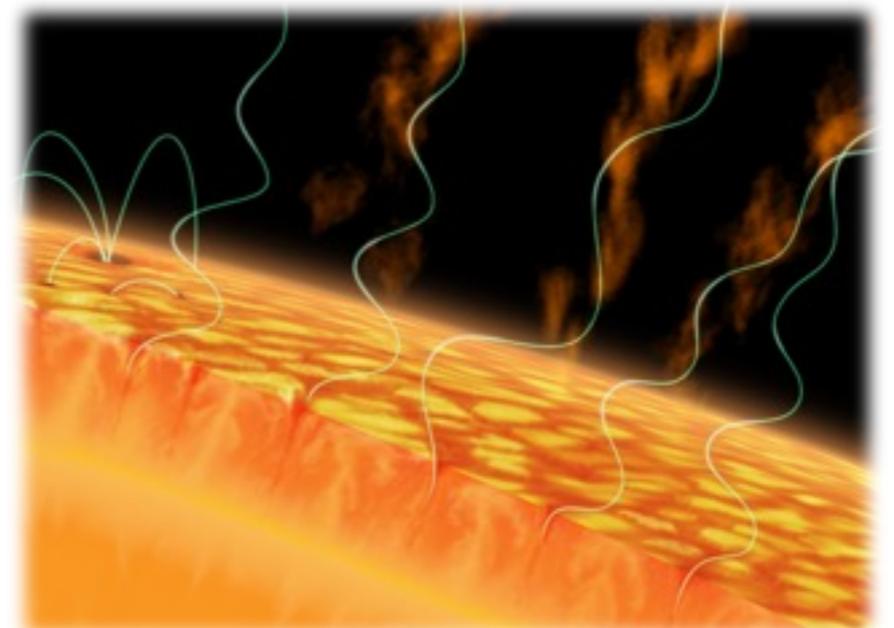
長年見つからなかった

(ナノフレアの方が大事?)

しかし、ついに発見！



### 波動加熱説



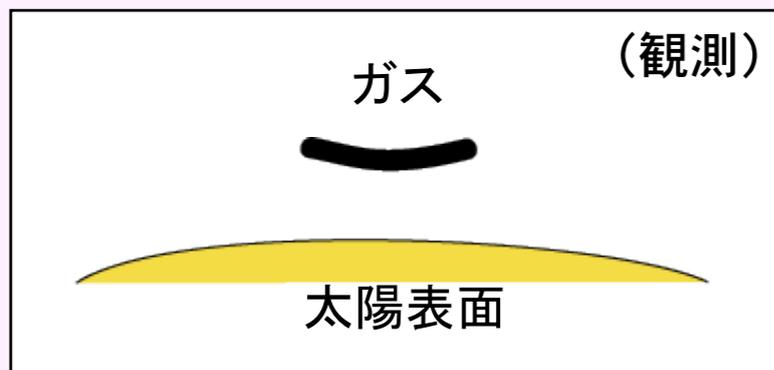
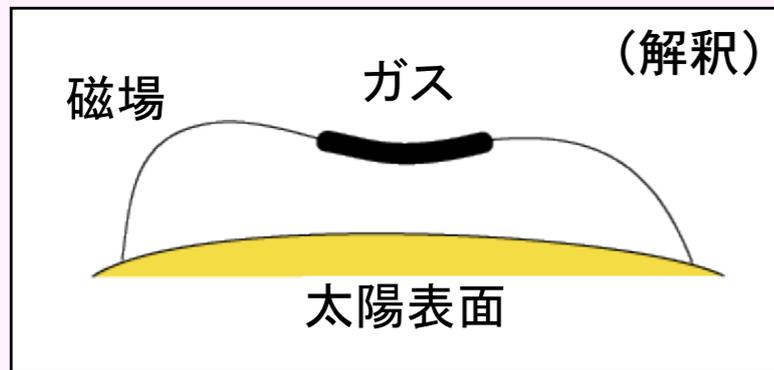
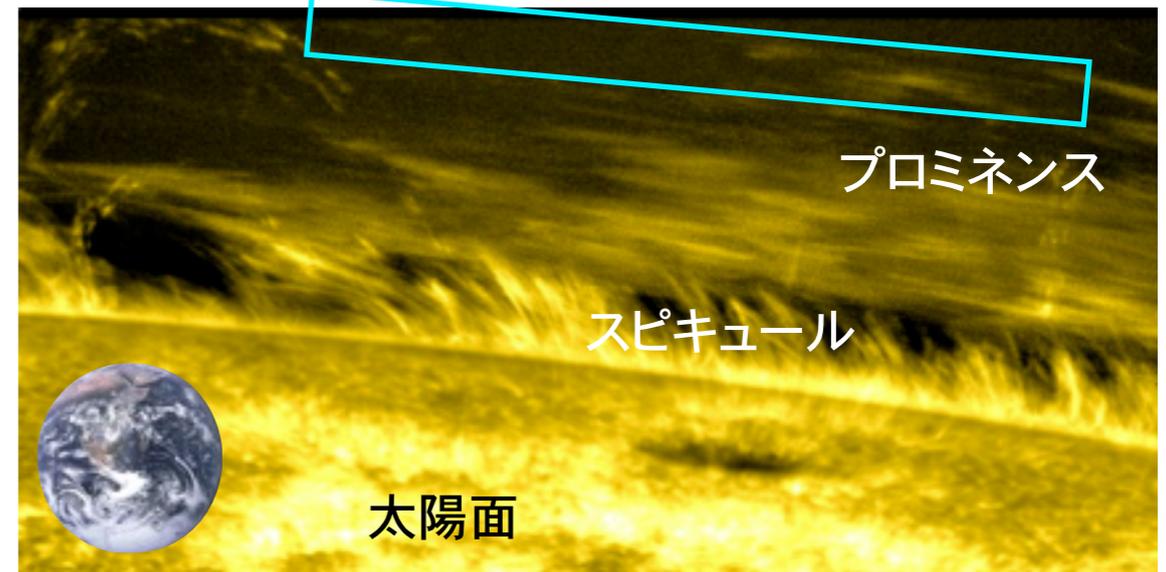
太陽表面から無数に生えている磁力線が、太陽表面の対流などの運動により揺すられることで、エネルギーをコロナに運び、コロナで熱に変換する

# 動画から波動検出

太陽観測衛星「ひので」



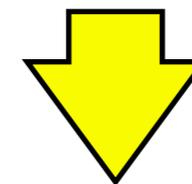
可視光望遠鏡 (SOT)



微細構造 = 磁力線



微細構造の振動 = 磁場の振動



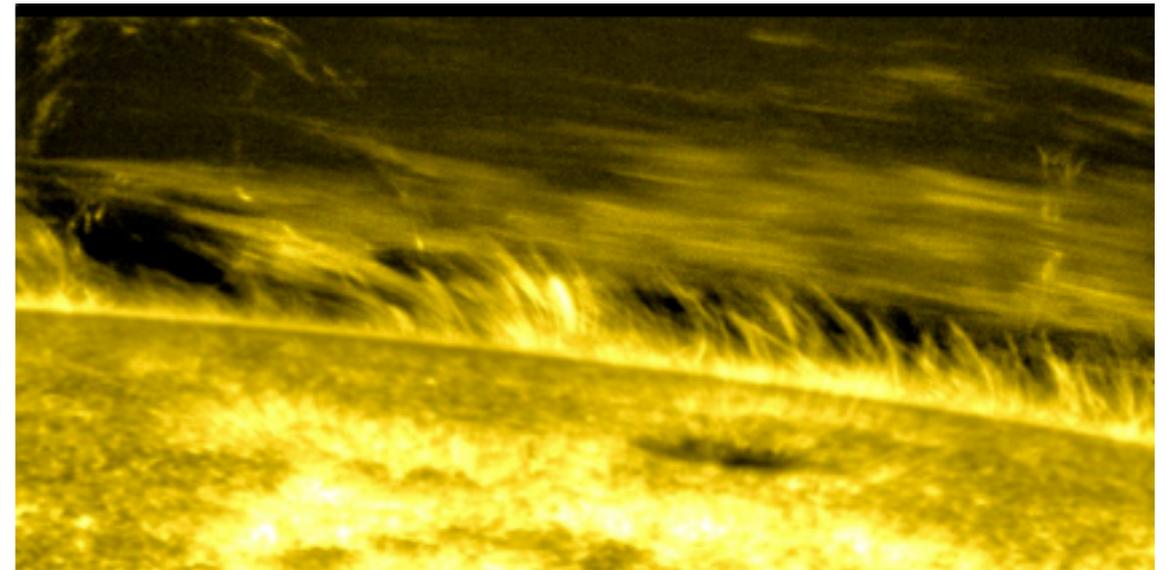
**磁場を伝える波**  
【アルヴェン波の発見】

# 波動の性質

波 なみのはやさ といえは **位相速度**

…しかし、わからず

理由：全ての位置で振動が同期



進行波であると仮定

→

**位相速度 > 1,050 km/s**

さらに、数密度を  $10^{10} \text{ cm}^{-3}$  と仮定

→

**磁場強度 > 50 G**

(コロナ震動学)

エネルギー輸送量

→

**>  $2 \times 10^6 \text{ erg/cm}^2/\text{s}$**

(静穏領域コロナの加熱 [ $10^5$ ] には十分)

**コロナ加熱は波で解決？**

# 進行波と定在波

波 なみのはやさ といえば **位相速度**

…しかし、わからず

理由: 全ての位置で振動が同期



そうはいつでも…

進行波か定在波か区別できない

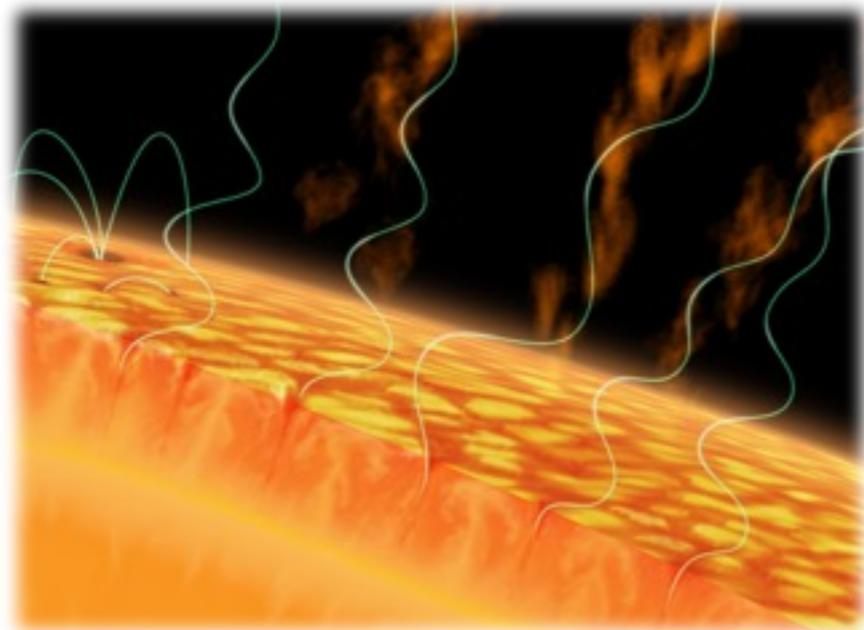
進行波

コロナへエネルギーを運ぶ

定在波

波はどこかで反射し、コロナへ届いていない

進行波の検出が重要



# 進行波の検出

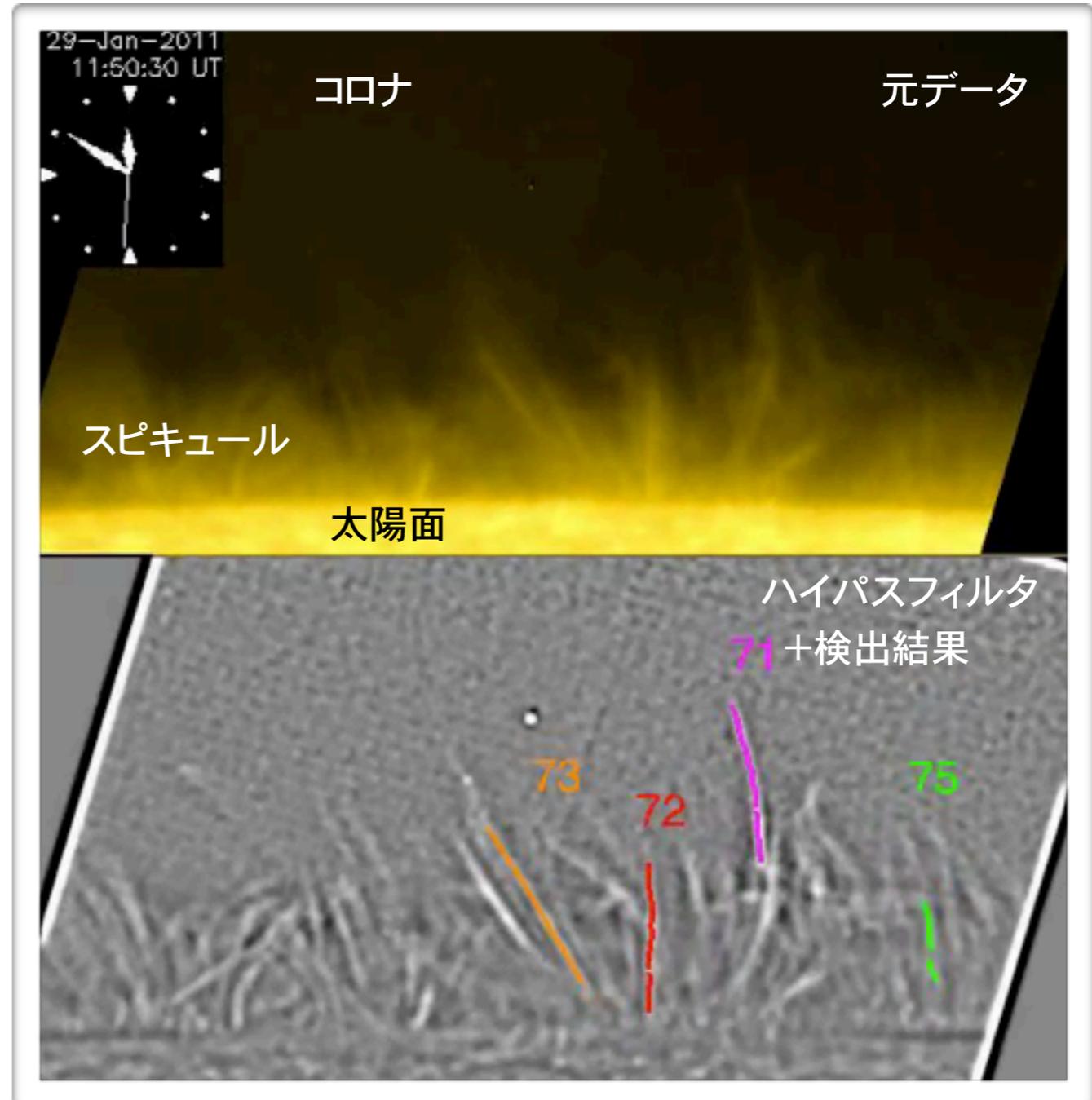
将来の統計解析  
のための下準備

ひのでの **動画** から微細構造とその時間変化を **自動検出**

太陽面から鉛直に生える  
スピキュールを使用

スピキュールを 89例  
波動を 2,500例

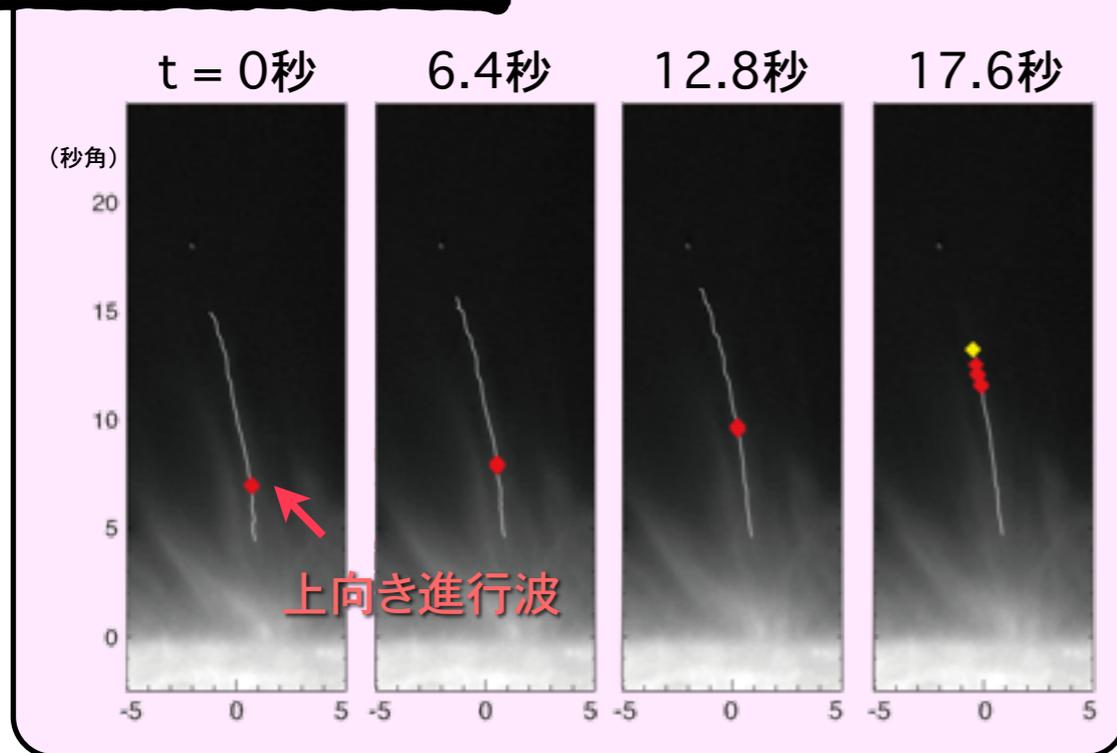
検出



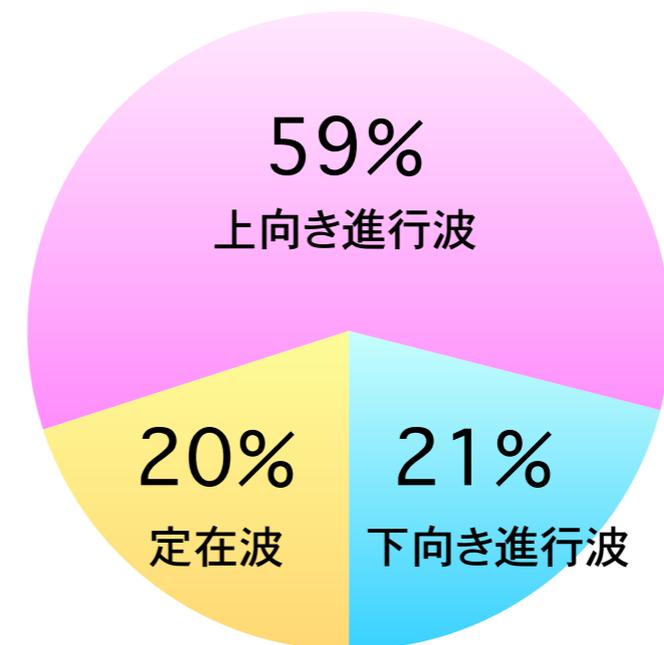
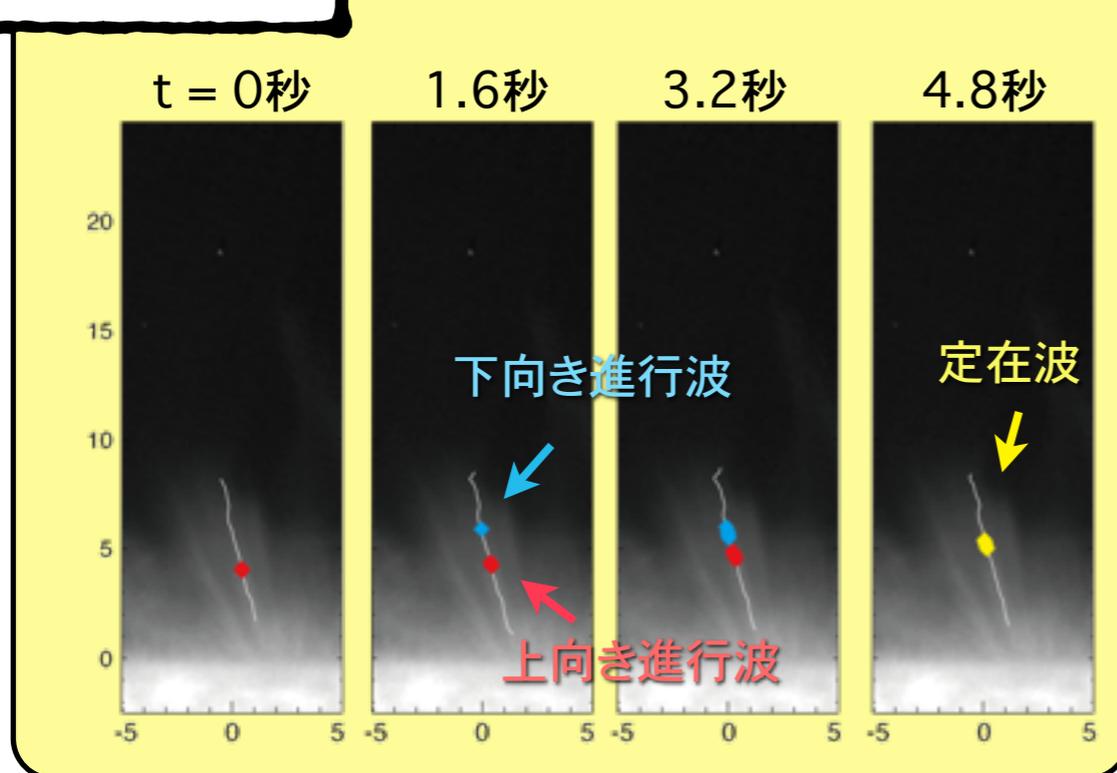
# 進行波とその統計的性質

## 上向き進行波の例

波のくねりの位置を色点で表示



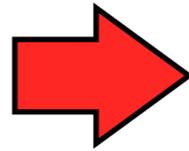
## 定在波の例



▶ エネルギーは上方へ輸送

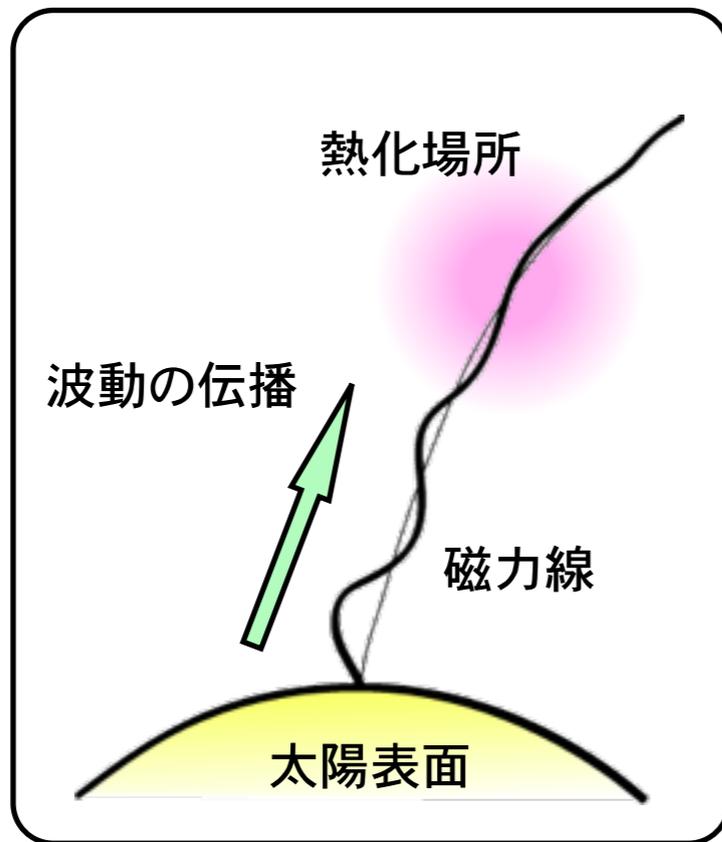
# 今度こそコロナ加熱は解決か？

波動の存在は確実

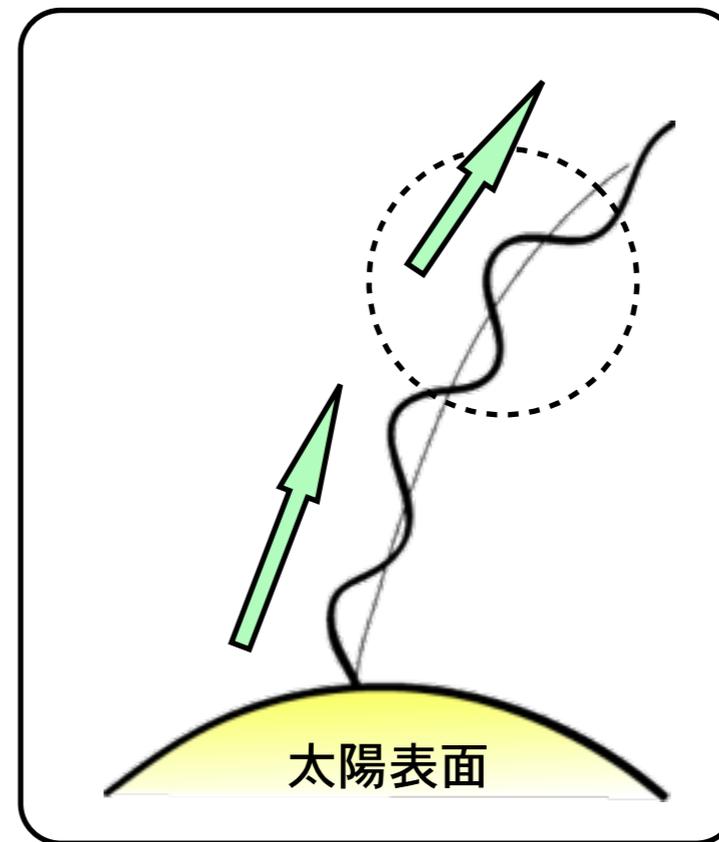


しかし、<sup>熱化</sup>散逸しないと意味がない

熱化する場合



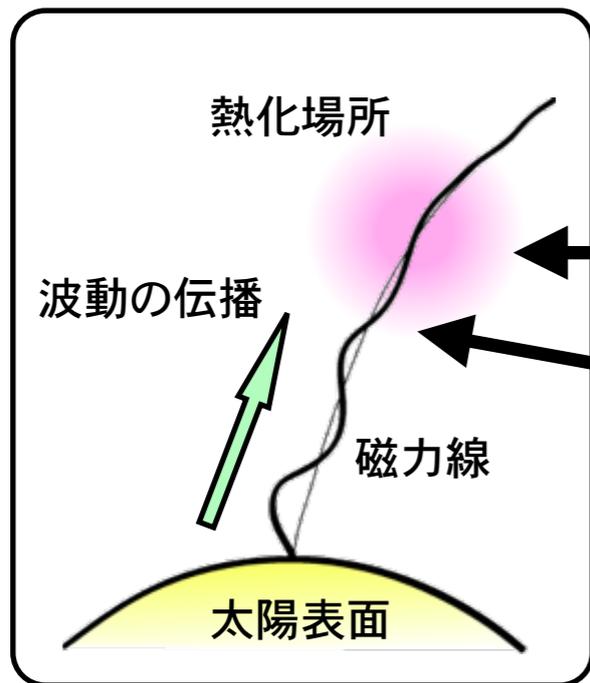
熱化しない場合



アルヴェン波は散逸しにくく、エネルギー変換の仕組みがナゾ

**波動散逸の検出が重要**

# 波動の散逸

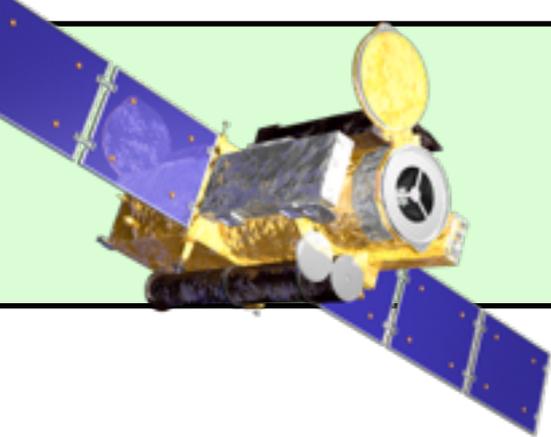


明らかにすべきポイント

熱化は本当に起こっているのか？

その際、波動の振る舞いに何か特徴が見られるか？

太陽観測衛星「ひので」



● 2次元面運動

+

(多波長分光観測による)

● 視線方向速度  
● 多温度観測

太陽観測衛星「IRIS」



磁力線の 3次元的な動きを観測

散逸の現場に迫る

# ひのでと IRIS

## Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS)

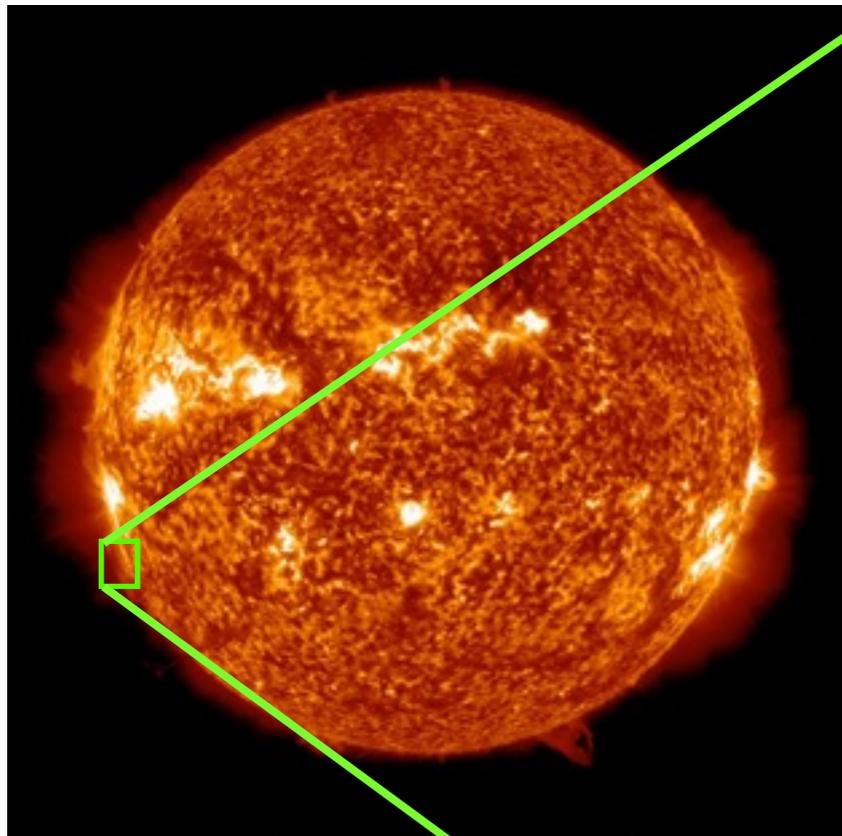


ペガサスロケットによる IRIS 打ち上げ

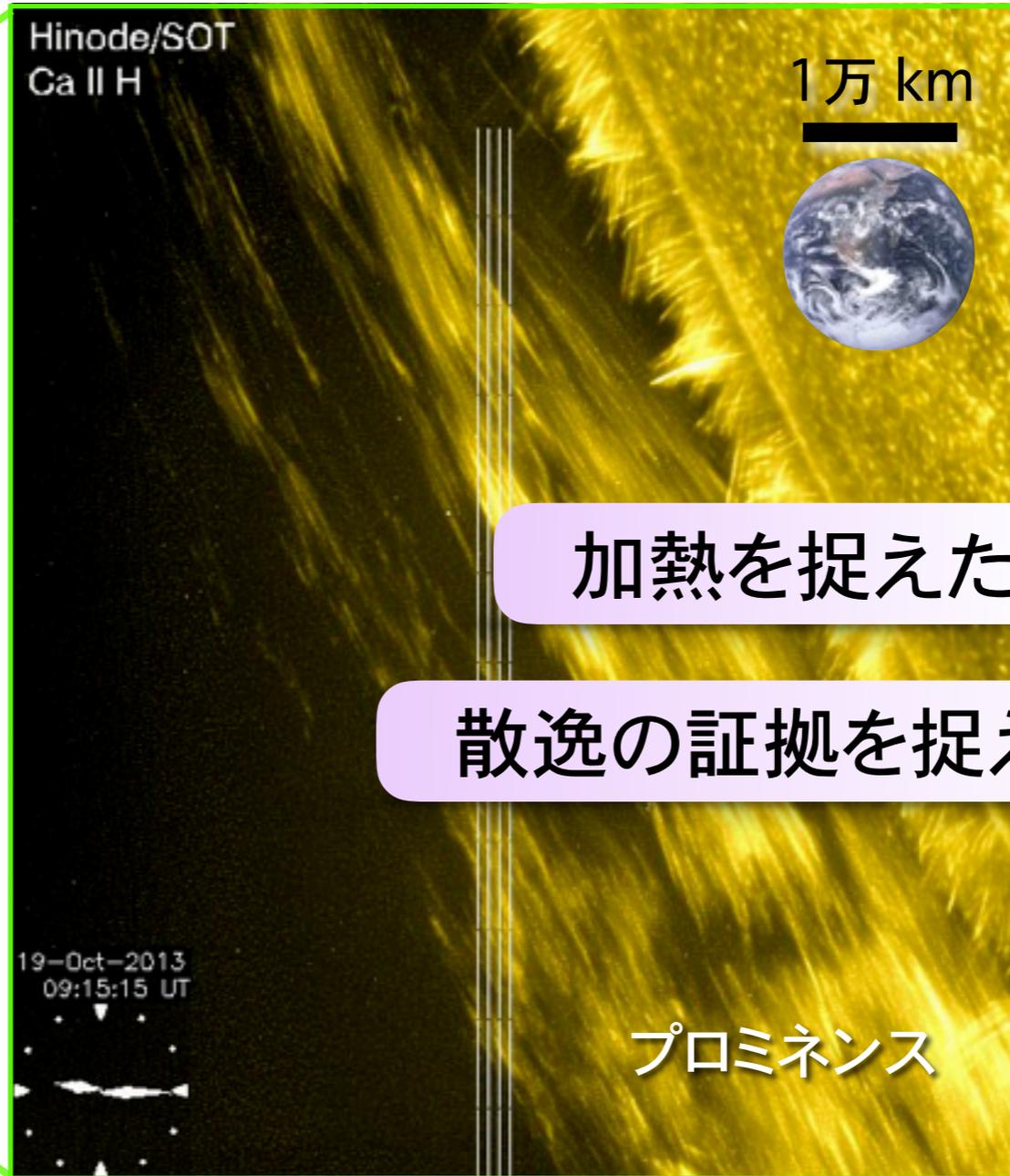
- ▶ NASA の Small Explorer Mission
- ▶ 2013年6月27日打ち上げ
- ▶ 太陽同期極軌道
- ▶ 紫外線の分光観測
- ▶ ひのでの観測を基に開発



# ひので—IRIS の共同観測



ひので画像



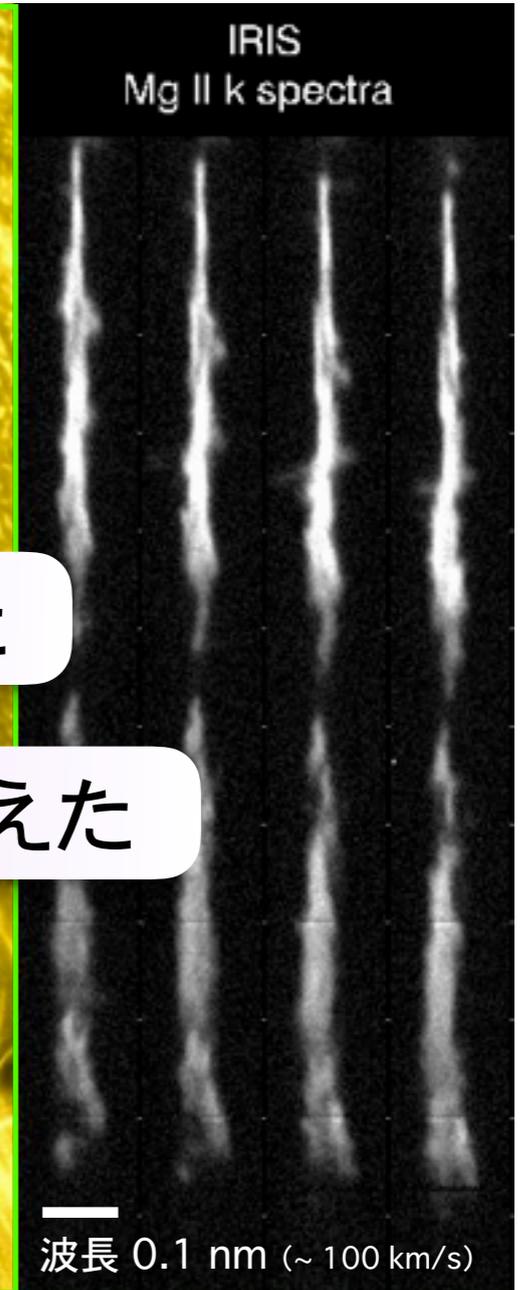
加熱を捉えた

散逸の証拠を捉えた

プロミネンス

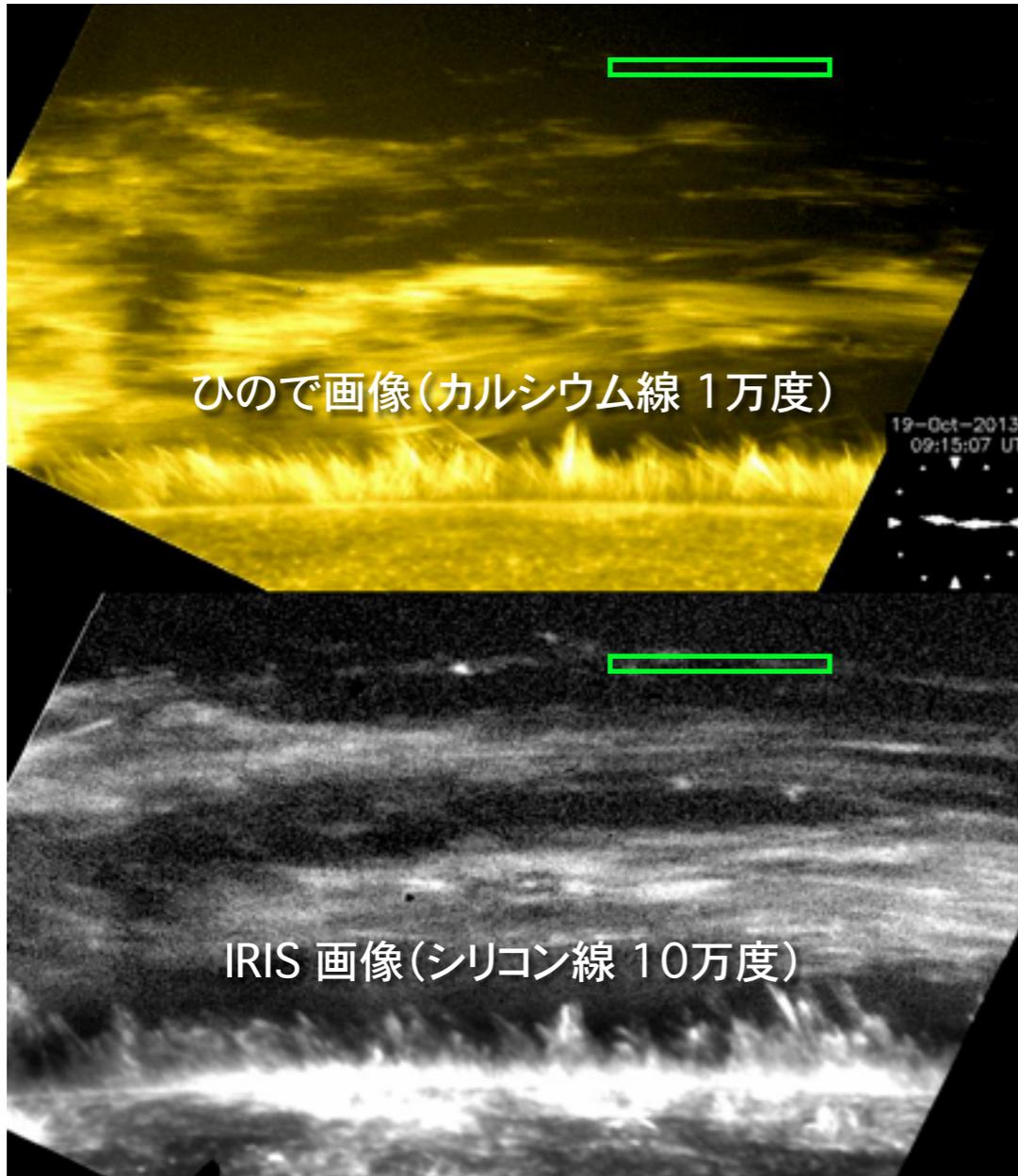
IRIS スリット位置

IRIS のスペクトル  
(4つのスリット位置)

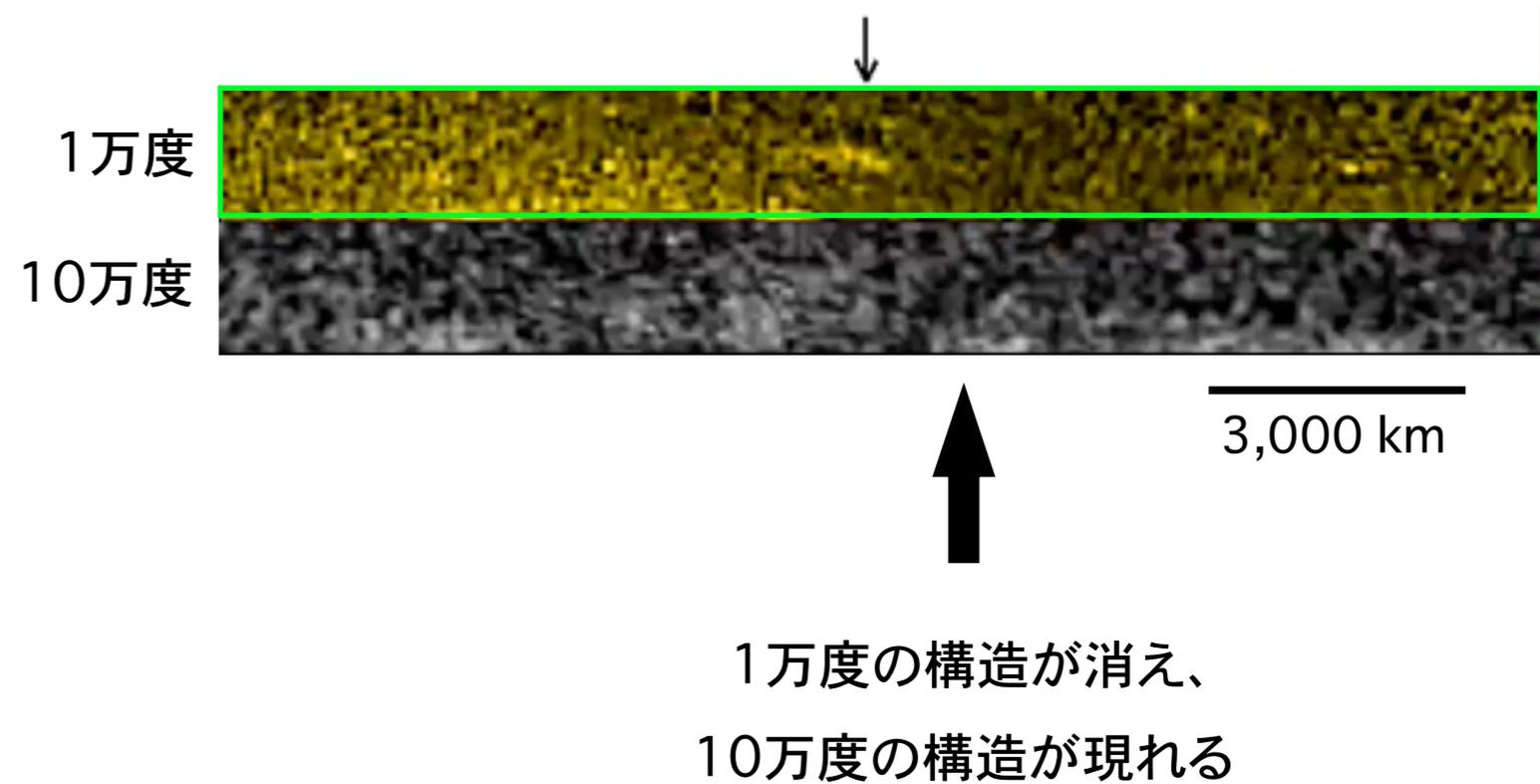


# 波動の散逸と加熱

## ① 加熱を捉えた



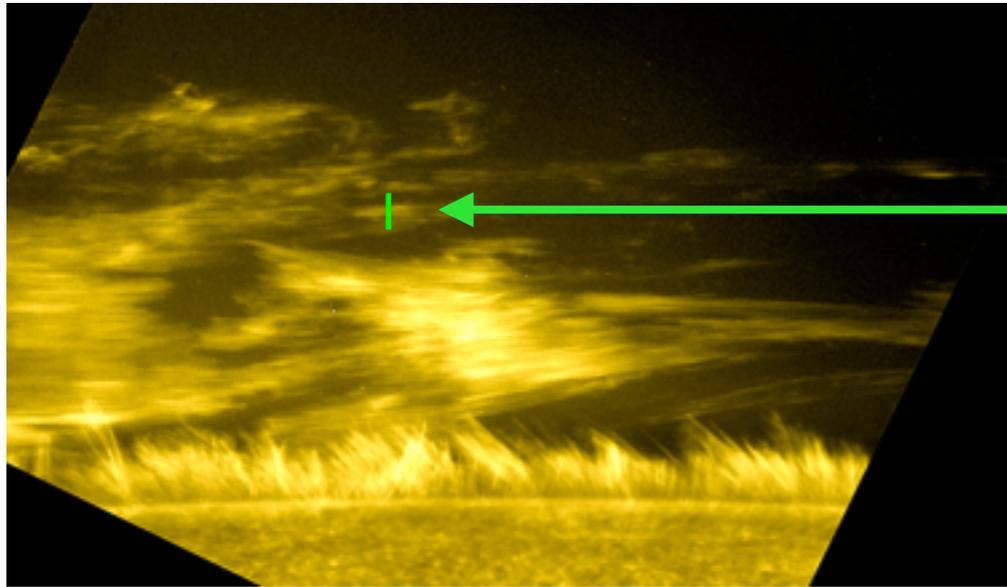
振動しながら動くプロミネンス微細構造  
(左図の一部を切り出した動画)



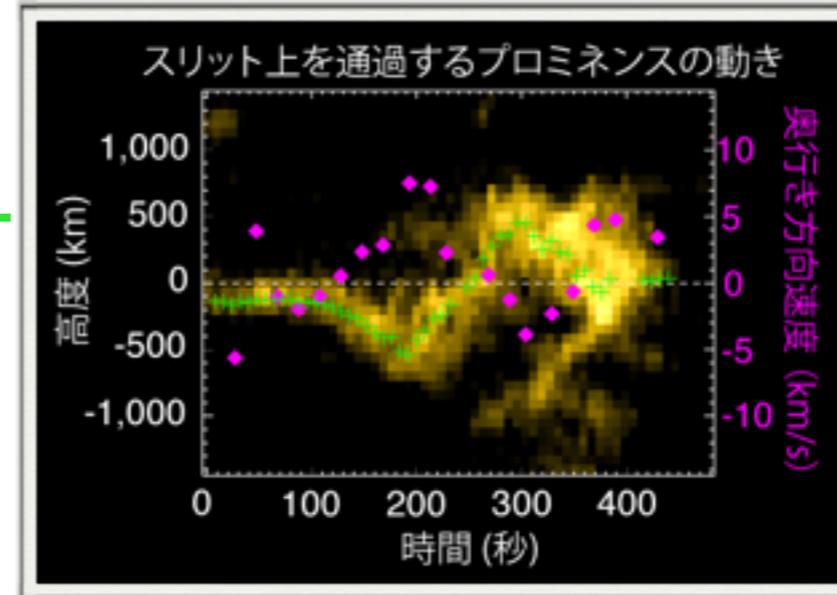
# 波動の散逸と加熱

## ② 散逸の証拠を捉えた

プロミネンスの微細構造の 3次元運動に着目



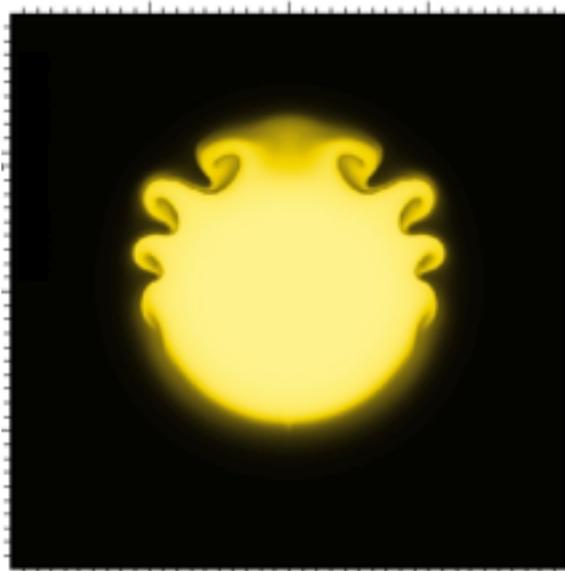
微細構造の上下運動と視線速度の関係



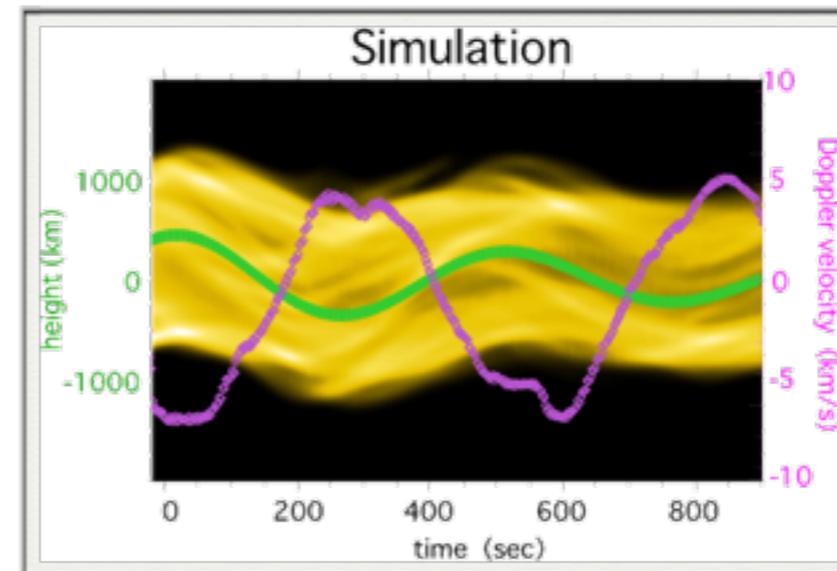
奇妙な振動  
パターンに着目

背景(黄色)+緑点: ひのちによる 2次元運動  
ピンク点: IRIS による視線速度

プロミネンスの微細構造の運動をシミュレーションで再現



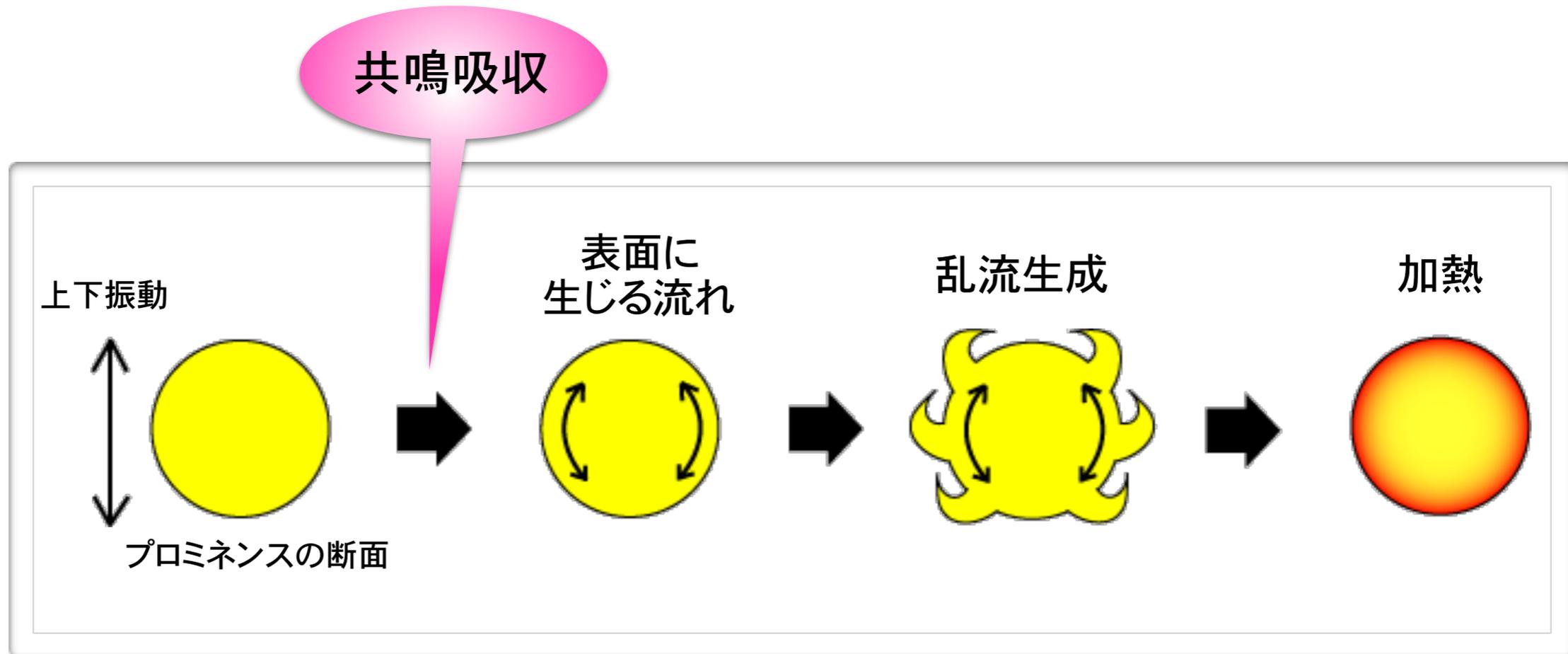
Antolin et al. 2015, ApJ



Okamoto et al. 2015, ApJ

# 波動の散逸と加熱

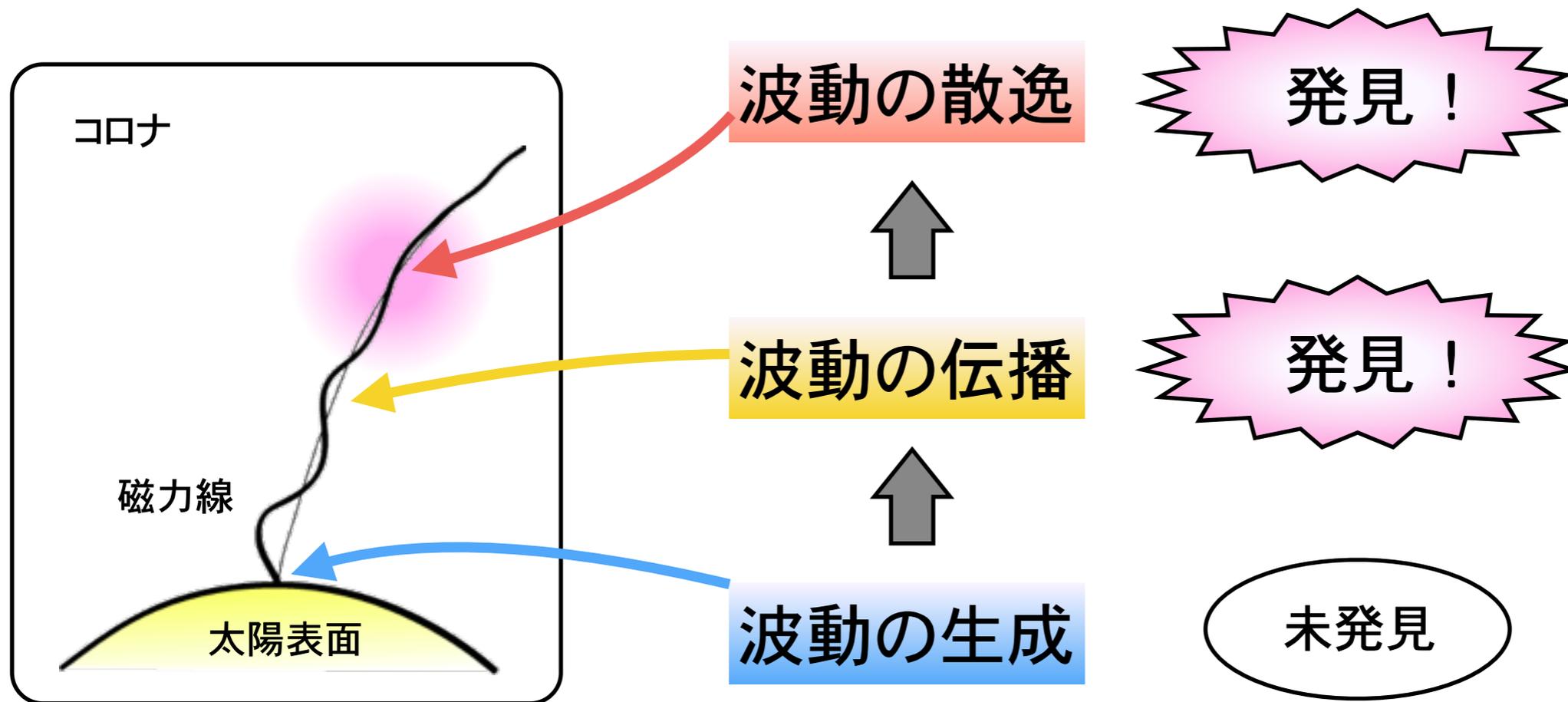
## ② 散逸の証拠を捉えた



共鳴吸収とそれに伴う一連の現象を考慮すると、  
特異な速度パターン、及び加熱も含めて観測事実を全て説明できる

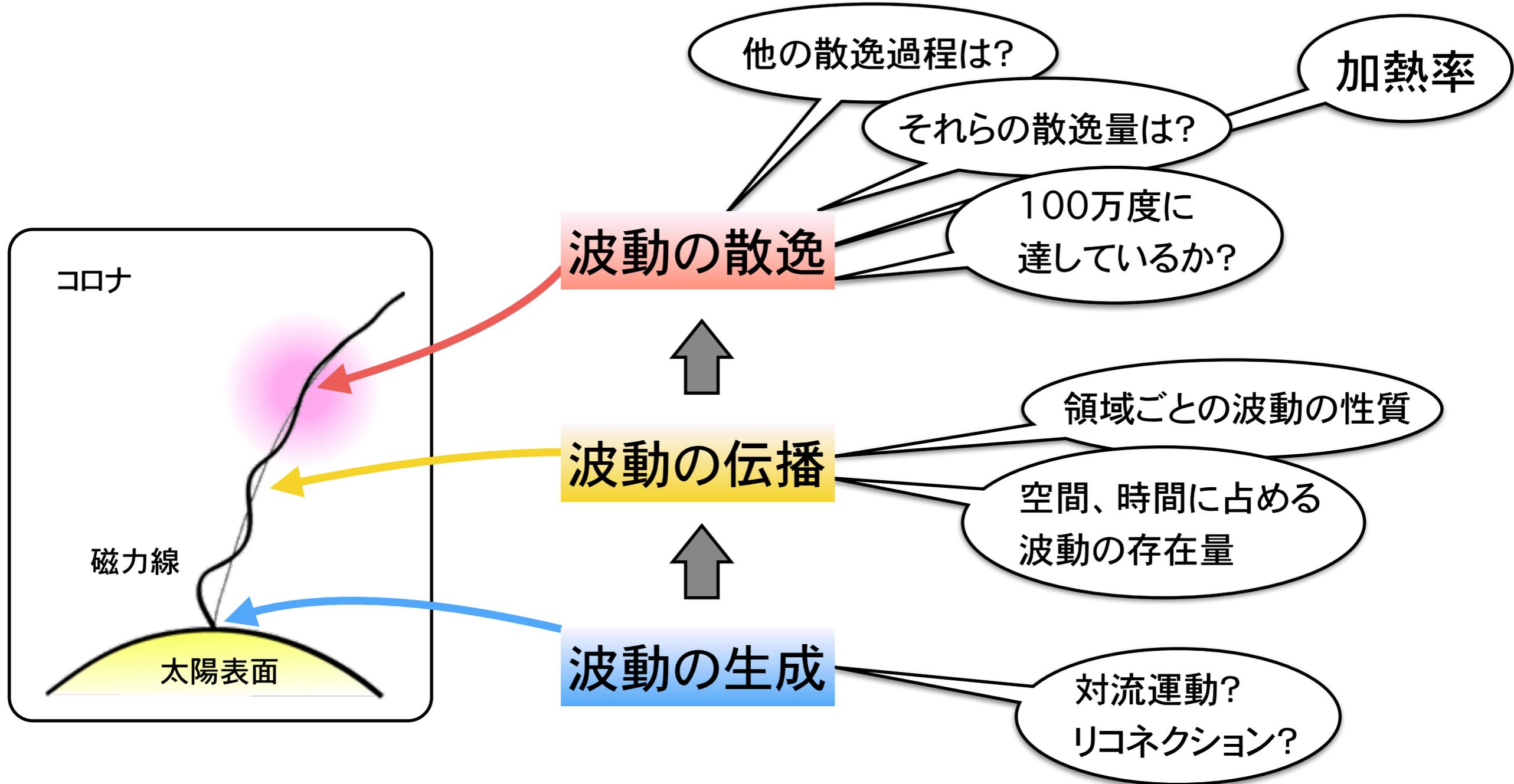
**波動散逸の初の観測的証拠**

# 波動研究、この10年の進展



三度、コロナ加熱は波で解決？

# 波動研究、この10年の進展 – 次の10年



そのために必要なこと  
(カンタンそうなのに難しい)

- ▶ ひのでの性能を持った装置を維持
- ▶ コロナ観測の空間分解能を上げる
- ▶ 彩層・コロナの磁場を測る
- ▶ 統計的にデータを処理する方法を考える

残り 2分で...

# 感謝

## 【研究とは/研究者とはどうあるべきかを考える道標】



**柴田一成氏**

京大教授  
(大学院指導教官)



**戸谷友則氏**

東大教授  
元京大准教授



**常田佐久氏**

宇宙研所長  
元国立天文台教授  
(受託先指導教官)



2010年 知床

# 感謝

## 【ひのでを使った研究機会の提供】

衛星科学運用のコアメンバーに参入

ひのでの性能を正しく把握し、それを最大限活用した研究ができた



**勝川行雄氏**

国立天文台助教



**清水敏文氏**

宇宙研准教授



**常田佐久氏**

宇宙研所長  
元国立天文台教授

# 感謝

## 【アウトリーチ活動への積極的関与】

一般講演はキレイな動画を作る大きな動機  
プレゼンの質を高める身近な目標



高梨直紘氏

同期(東大)  
現・東大准教授

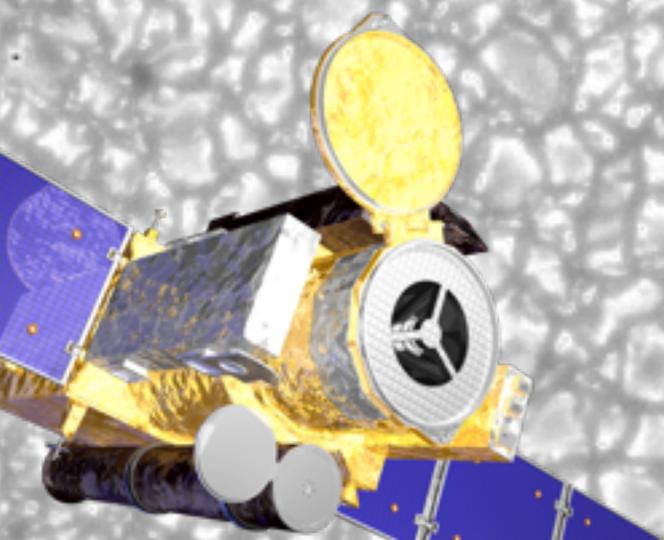
(天文学普及プロジェクト「天プラ」代表)



平松正顕氏

同期(東大)  
現・国立天文台助教

(天プラ副代表)



私のかawaii動画たちはこちら：  
<http://hinode.nao.ac.jp/user/joten/hinodemovie/hinodemovie.html>  
上がリンク切れの場合はこちらから：  
<http://www.joten.info/hinodemovie/hinodemovie.html>