

# SOLAR-C A案で目指すサイエンス

原 弘久<sup>1</sup>、関井 隆<sup>1</sup>、横山 央明<sup>2</sup>、磯部 洋明<sup>3</sup>、Th. Appourchaux<sup>4</sup>、A.G. Kosovichev<sup>5</sup>  
M. Rempel<sup>6</sup>、M. Miesch<sup>6</sup>、A. S. Brun<sup>7</sup>、W. Finsterle<sup>8</sup>、SOLAR-C WG

<sup>1</sup> 国立天文台 <sup>2</sup> 東京大学 <sup>3</sup> 京都大学 <sup>4</sup> IAS, France <sup>5</sup> Stanford Univ. USA, <sup>6</sup> HAO, USA <sup>7</sup> CEA, France, <sup>8</sup> PMOD, Swiss

## SOLAR-C A案

### SOLAR-C A案とはどんなミッション?

黄道面を離れた惑星間軌道から太陽観測を行なう黄道面脱出ミッション



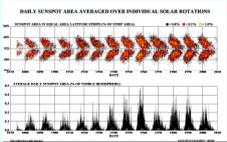
SOLAR-C/A案は40度程度(検討中)の軌道傾斜角をもった軌道から太陽観測を行ない、太陽活動周期の解明を目標に太陽極域の速度場・磁場計測を行うほか、得がたい新たな視点から太陽総放射の精密測定、高速太陽風源の分光観測などを行なう

### SOLAR-C/A案のめざすサイエンスは?

太陽活動周期の解明を最終目標に見据えた、太陽極域観測がメイン

### 太陽の活動周期

黒点数やフレアの発生頻度に代表される太陽の磁気活動度は約11年の周期で増減。また、ある周期と次の周期とは、南北半球でそれぞれ卓越する磁場の極性が反転。



太陽黒点の出現度の緯度ごとの時間変化を表わしたbutterfly diagram(蝶形図、上)と、黒点数の時間変化(下)。  
<http://solarscience.msfc.nasa.gov/>より

### 太陽の活動周期のメカニズムは?

太陽内部のプラズマの流れと磁場との相互作用(ダイナモ機構)で起こると考えられているが実際のメカニズムは不明

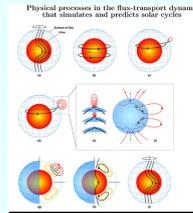
## ダイナモ機構と極域のダイナミクス

### ダイナモ機構

太陽の活動周期を、プラズマの運動と磁場との相互作用で説明しようとする。最終的には、プラズマの運動と磁場とを含み、太陽内部の動的過程を矛盾なく扱った動的ダイナモを構築するのが目標

### 運動学的ダイナモ

まずは、差動回転・子午面流など太陽内部のプラズマの大規模な流れを仮定して、これが磁場にどう作用するかを調べる運動学的アプローチを取る。代表格のいわゆる flux-transport dynamo では、子午面流による磁束の輸送過程がカギを握る



Flux-transport dynamoの一例。南向きの磁場成分から、差動回転による $\omega$ 効果でトロイダルな成分が作られ、さらに $\alpha$ 効果で生成したポロイダル成分が子午面流で極に運ばれて磁場の極性を反転させる。Dikpati & Gilman (2006)より

### ダイナモ機構の理解を進めるには何が必要か? 極域のダイナミクス

太陽内部のプラズマの流れを知ることが、ダイナモ理論に課される観測的制約として最も重要な意味をもつ。特に極域でのダイナミクスに関する観測的情報が不足している

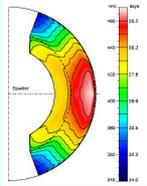
## 黄道面離脱軌道からの日震学観測

### 日震学とは

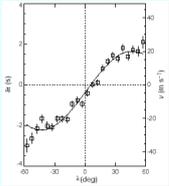
太陽内部を伝わる音波を利用した内部構造診断の手法

### これまでに太陽内部の差動回転や子午面流の測定に成功

ただし極域の流れが不明



日震学の手法で測定した内部の差動回転



局所の日震学の手法で測定した太陽表面付近の子午面流(左)とその概念図(右)。Giles et al (1997)より。

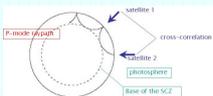


### 極域を調べるには

調べたい領域の真上から、射影による空間分解能の劣化やドップラー速度の測定精度の劣化なしに波動場を測定するのが有効

### さらに

黄道面内の観測装置とあわせて対流層底部速度勾配層の構造を調べる可能性も開ける



高緯度からの太陽表面波動の観測で、極域のダイナミクスを調べる。黄道面内の観測装置(図では"satellite 2")とあわせると、速度勾配層を通る音波を捉えられる

## まとめ

### SOLAR-C A案のめざすサイエンス

太陽極域からの太陽観測によって太陽活動周期の理解への道筋をつける

### 具体的には、ダイナモ機構の観測的研究の一環として

- 日震学観測による極域ダイナミクスの探査。日震学では速度勾配層の探査にも挑戦
- 極域磁気構造の精密測定

### 太陽総放射の緯度分布の測定や特徴のある軌道を活かしたサイエンスも重要

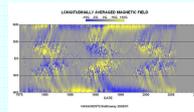
## 太陽極域観測

### 太陽極域観測が可能にする重要な観測は日震学に限らない

特に極磁場の反転過程の詳細はダイナモ機構に直接関係する他、極域大気における磁気活動現象や高速太陽風の吹き出し、また黄道面を見おろす視点からの太陽圏物理などが重要なテーマ。太陽総放射(Total Solar Irradiance, TSI)の活動周期にともなう変化を高緯度で観測することも、天体物理学的観点から意義が深い。

### 極域磁場の反転

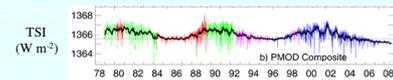
極磁場の反転は太陽活動が最大の頃に起きる。高緯度領域の磁場の精密測定により、反転の現場を詳細に捉える。



極域の反転は太陽活動が最大の頃に起きる。  
<http://solarscience.msfc.nasa.gov/>より

### TSIの太陽活動周期にともなう変動

黒点が多い時、太陽の総放射は逆に0.1%程度大きくなっている。このこと自体は白堊と呼ばれる構造の存在で説明できるが、太陽によく似た他の恒星では0.3%の変動のみみられる。太陽も高緯度観測すれば、もっと大きな変動を示すのだろうか? それとも太陽は特殊な恒星なのだろうか?



太陽総放射の年変化。太陽の活動周期にともなう約0.1%の変動を示している。しかし、太陽に似た他の恒星は約0.3%の変動を示しているのである。

### 太陽風・極域コロナの構造

極域域から吹き出す高速太陽風を加速するエネルギーの源はなんだろうか? 極域域に特徴的な構造(plume)はどのように作られているのだろうか?

Ulysses衛星により測定された太陽風速度の緯度分布。(上)太陽活動極小期、(下)太陽活動極小期のもの。極域域からは高速太陽風が吹き出している。



### 惑星間内太陽風構造や太陽圏内高緯度領域の探査(オプション)