

次期太陽観測衛星
SOLAR-C計画
Plan-A

原 弘久

国立天文台

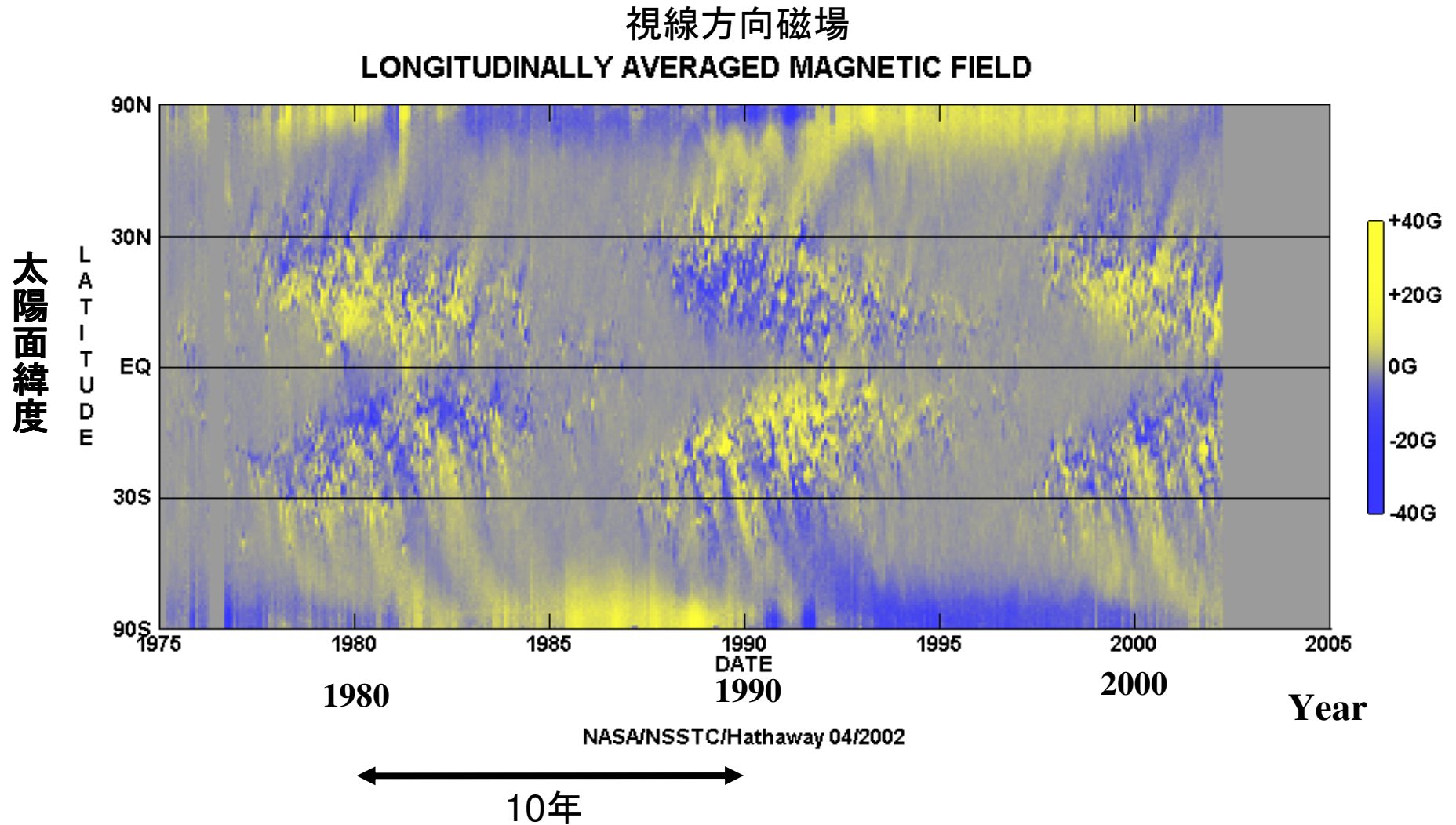
2010年1月19日

SOLAR-C Plan-Aの構想

- 新たな視点 – **黄道面外** (目標傾斜角 $\sim 45^\circ$) – からの太陽 (・太陽圏) 探査
 - 太陽内部構造・太陽周期ダイナモ機構の解明
磁場生成過程の解明へ
 - 太陽極領域表面の対流運動・磁気大気活動探査
 - 太陽風構造のリモート探査
 - 黄道光ダスト分布探査
- 2017年打ち上げを要求
 - 2022年頃と予想される極領域の磁極反転を好条件下で観測するため
- H-II Aによる打ち上げを想定

Solar Magnetic Activity Cycle

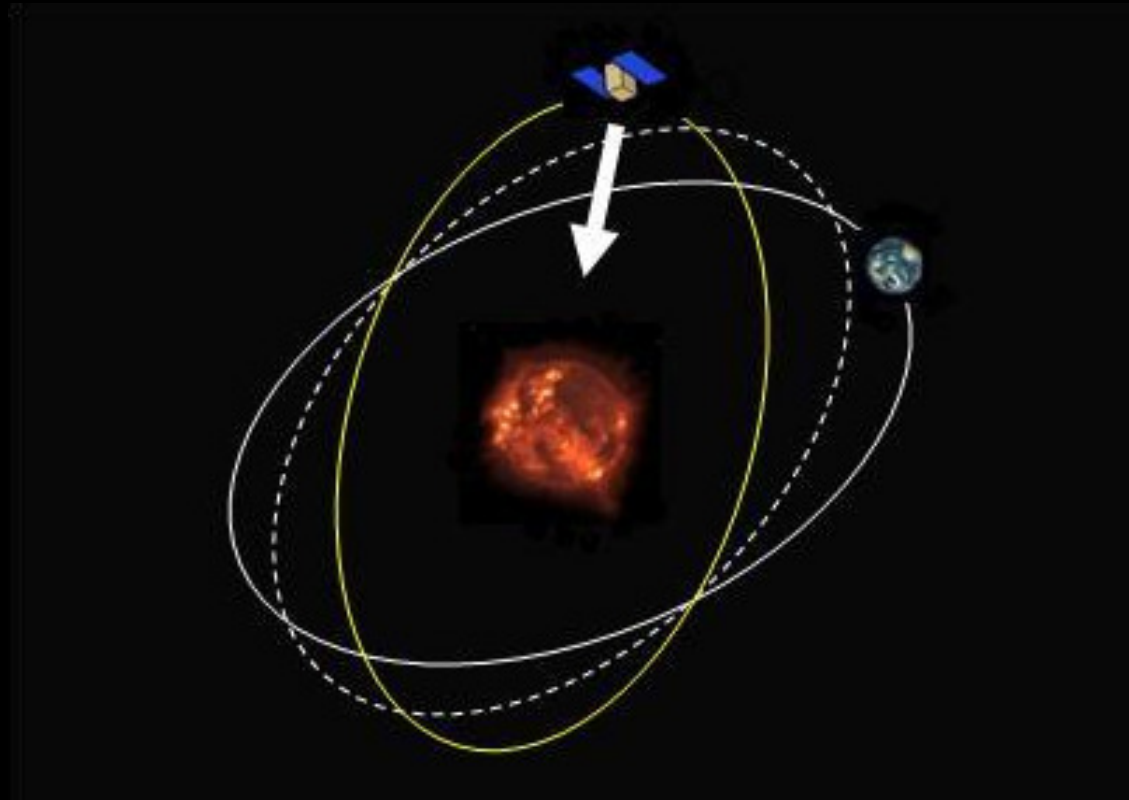
- How are magnetic fields created in the sun? (Dynamo)



SOLAR-C Plan-Aの構想

- 新たな視点 – **黄道面外** (目標傾斜角 $\sim 45^\circ$) – からの太陽(・太陽圏)探査
 - 太陽内部構造・太陽周期ダイナモ機構の解明
磁場生成過程の解明へ
 - 太陽極領域表面の対流運動・磁気大気活動探査
 - 太陽風構造のリモート探査
 - 黄道光ダスト分布探査
- 2017年打ち上げを要求
 - 2022年頃と予想される極領域の磁極反転を好条件下で観測するため
- H-II Aによる打ち上げを想定

Solar-C Plan-A Orbit*



* 最終軌道は地球と同期して周期1年で太陽を周回

A案: 黄道面脱出による太陽探査

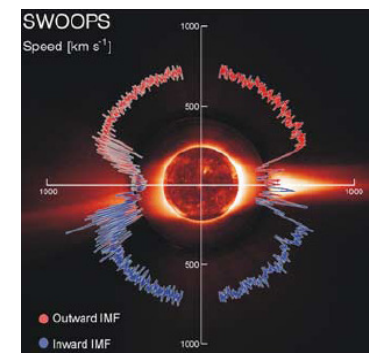
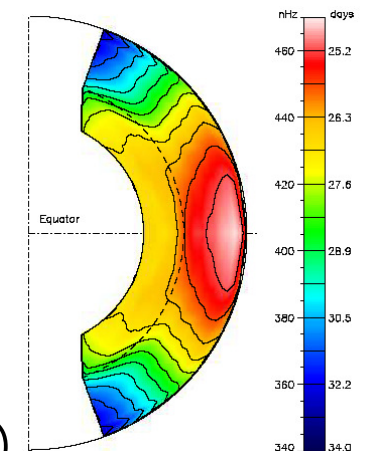
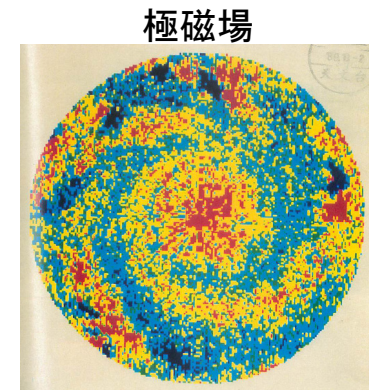
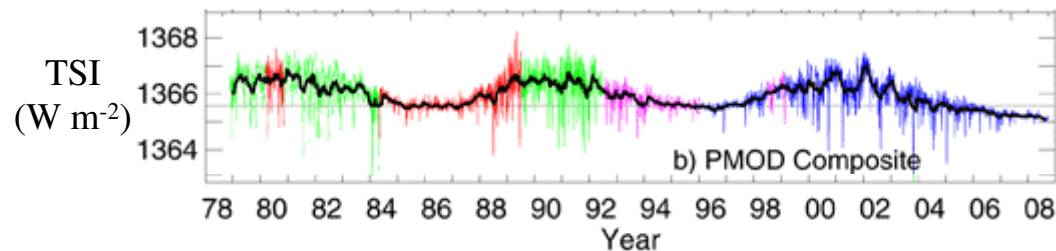
The Sun as a star

<ダイナモ磁気活動の理解に向けた探査>

- 高緯度・極領域の表面对流・磁気大気構造の探査
- 高緯度・極領域の内部流れ場探査
- 磁場生成領域とみなされる対流層底部探査
(日震学的アプローチ)

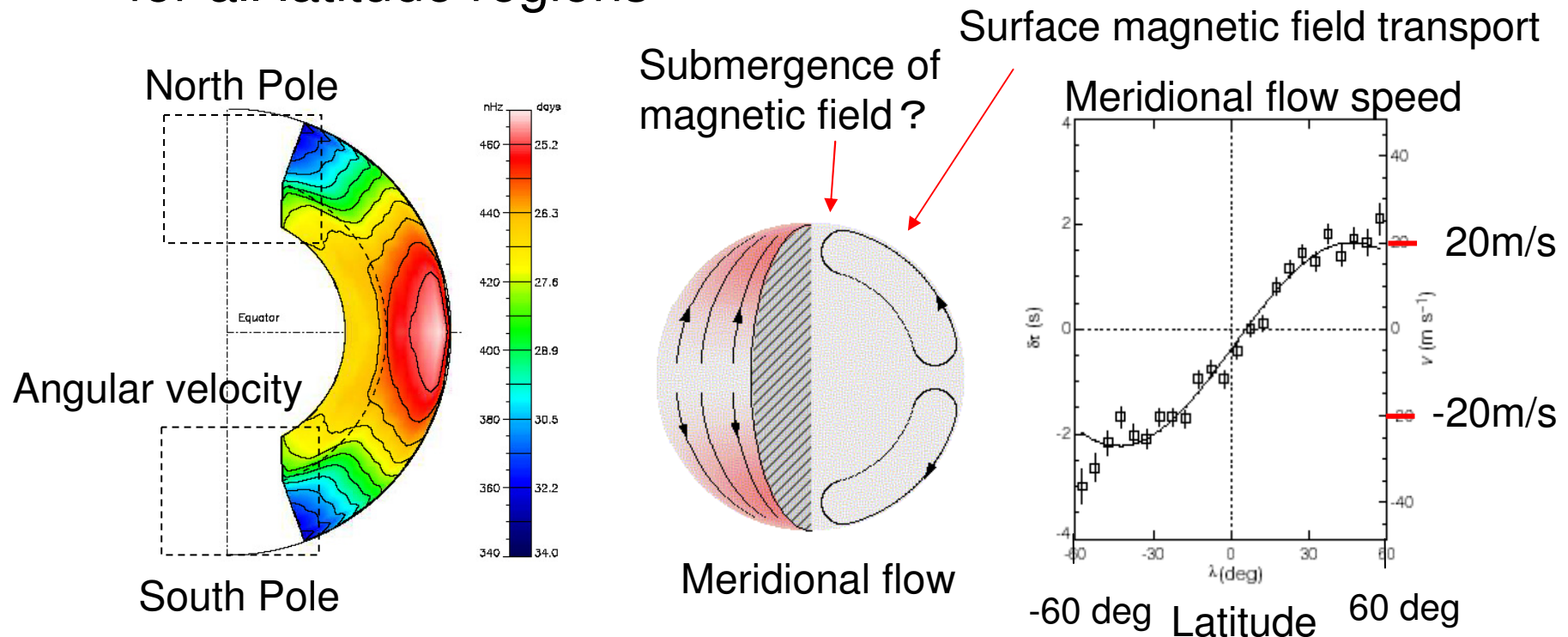
<Vantage pointからの探査>

- 極領域コロナホールからの高速太陽風探査
- 黄道面外からの太陽総放射量の測定
- (太陽-地球間空間の太陽風密度構造の直接撮像)
- (黄道光ダスト構造の黄道面外からの探査)

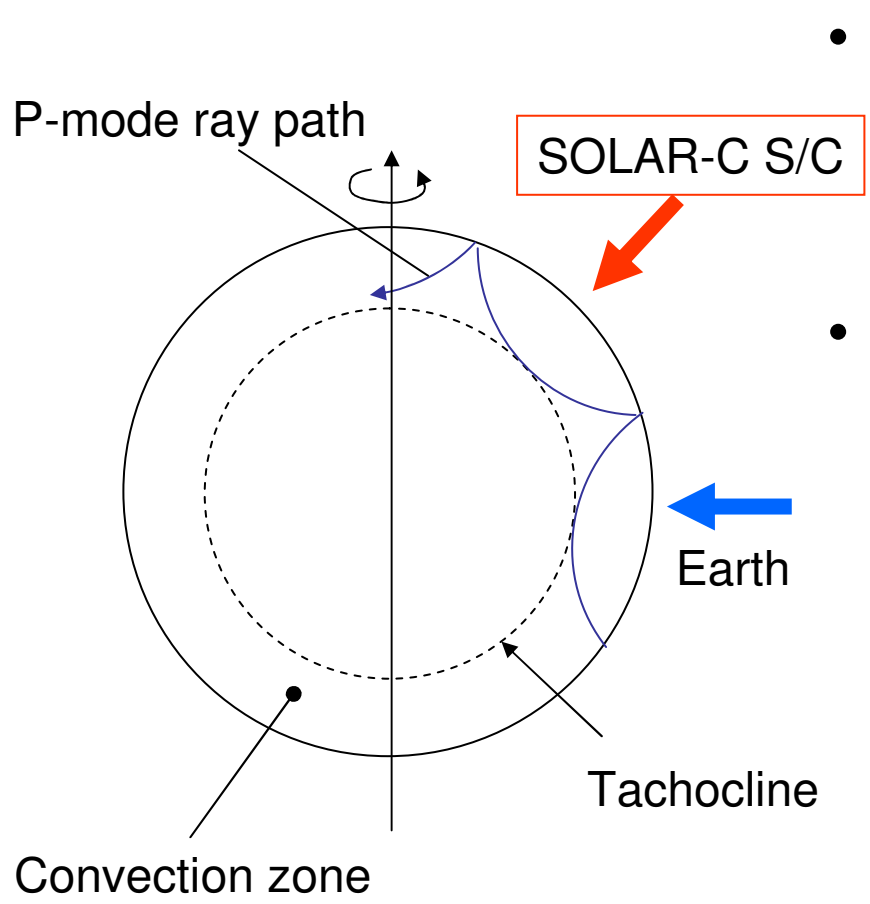


Rotation and Meridional Flows

- Basic quantities to understand the solar dynamo
- cannot be determined from observations in ecliptic plane for high-latitude and polar regions
- Need out-of-ecliptic helioseismic observations to fill up for all latitude regions

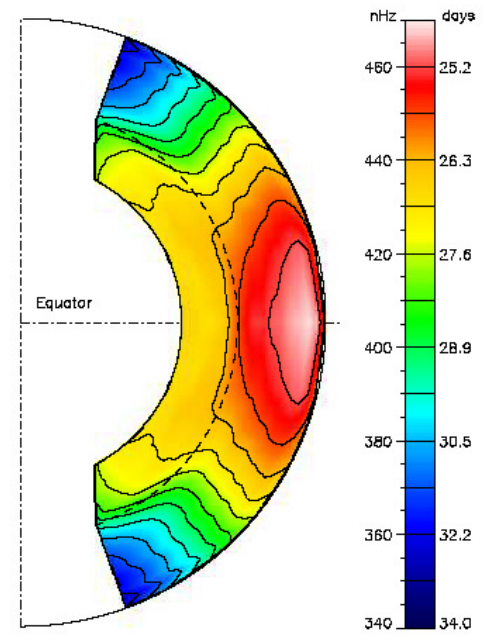


A案: 対流層底部での磁力管探査

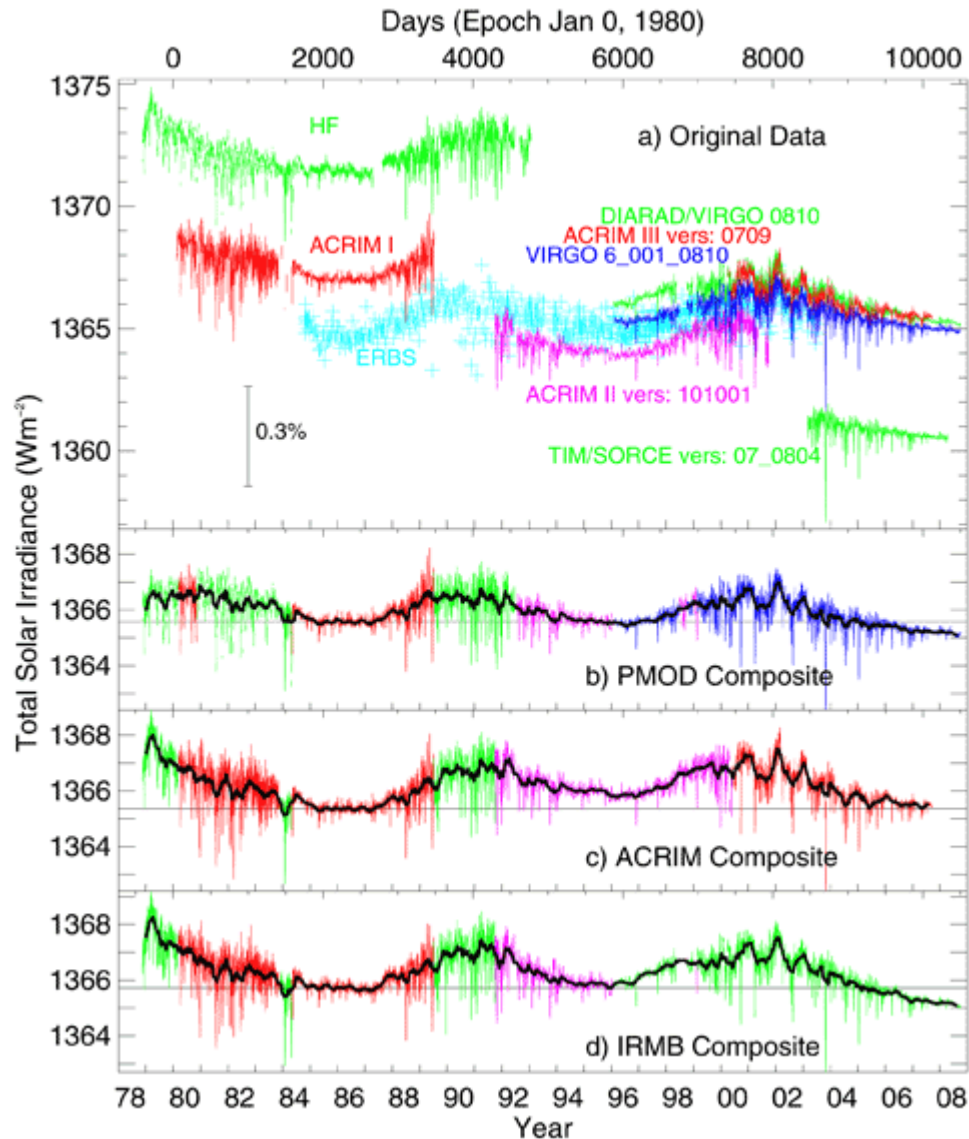


- 強磁場の磁束管が対流層底に横たわる速度シア層tachoclineで生成されていると考えられている
- 局所日震学によるtachocline位置での磁束管の探査

到達する緯度によって、極点直下領域で調査可能な深さが変化することに注意



Total Solar Irradiance (TSI) from out-of-ecliptic plane

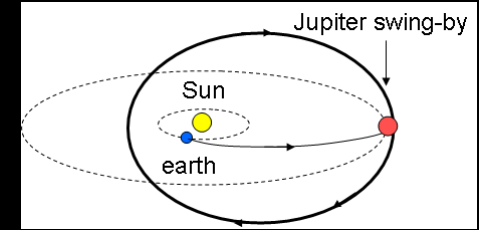


太陽の光度の緯度依存性はどのようになっているか？

- Understand the sun as a star
- Solar irradiance TSI cycle variation $\sim 0.1\%$
- Larger amplitude of variation for other sun-like stars
- Interesting to measure TSI from an orbit inclination >40 deg

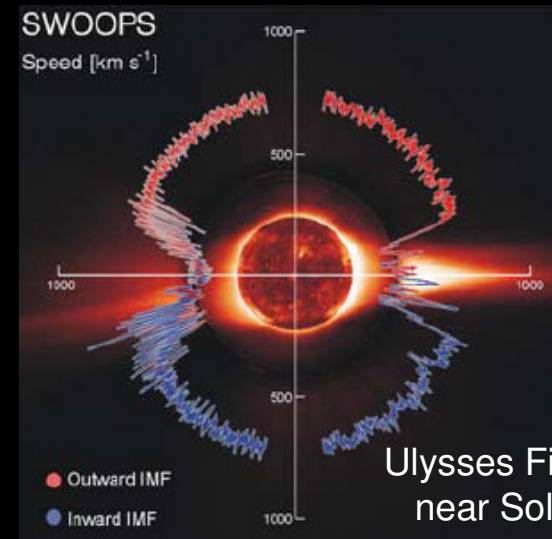
Figure from PMOD WRC homepage

Solar Wind

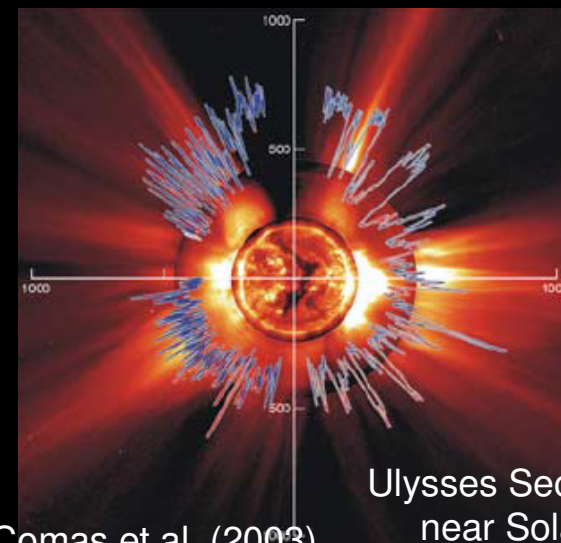


- How is the high-speed solar wind from polar coronal holes accelerated?
- Measurement of global magnetic fields in polar coronal holes, flows in transition region and low corona, and the wind speed may provide the linkage between sun and inner heliosphere.

極領域表面から太陽半径数倍程度の距離まで、感度を著しく上昇させたEIS or SUMERのような分光装置で輝線スペクトル形状の時間変動を観測したい



Ulysses First Orbit near Solar Min

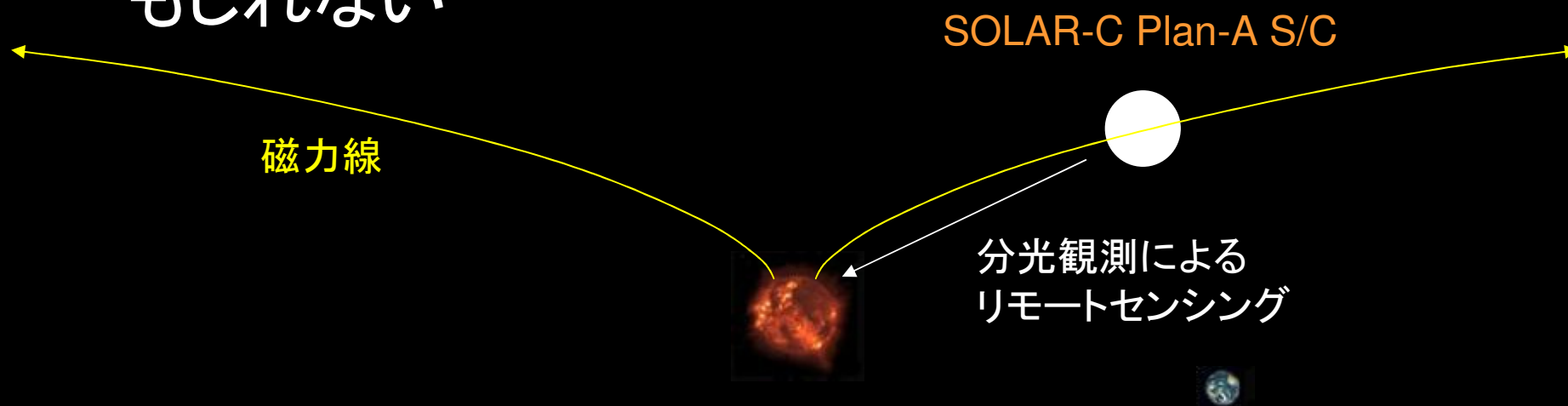


Ulysses Second Orbit near Solar Max

McComas et al. (2003)

太陽風速度・磁場の観測は必要か？

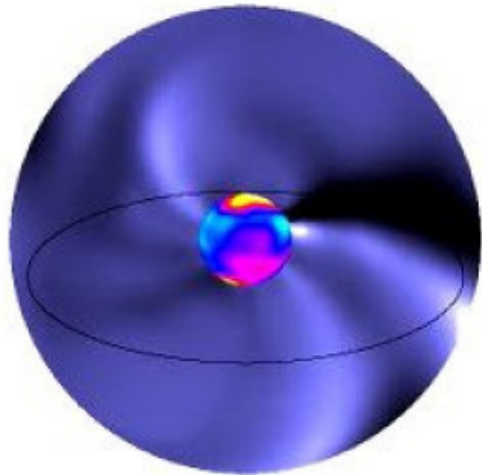
- プロトンの速度と密度くらいは最低必要か
- その場磁場測定：
イオンエンジンと両立するか？
- Ulyssesからのゲインは？
- 宇宙環境予測研究という観点で必要なのかもしれない



太陽風密度構造の直接撮像

STEREO HIをPlan-A軌道にもっていくと、太陽風構造の密度むらが検出可能に

黄道光のバックグラウンドに対し6時間積分で $\sim 4\sigma$ レベル
(Preliminary: 要チェック)

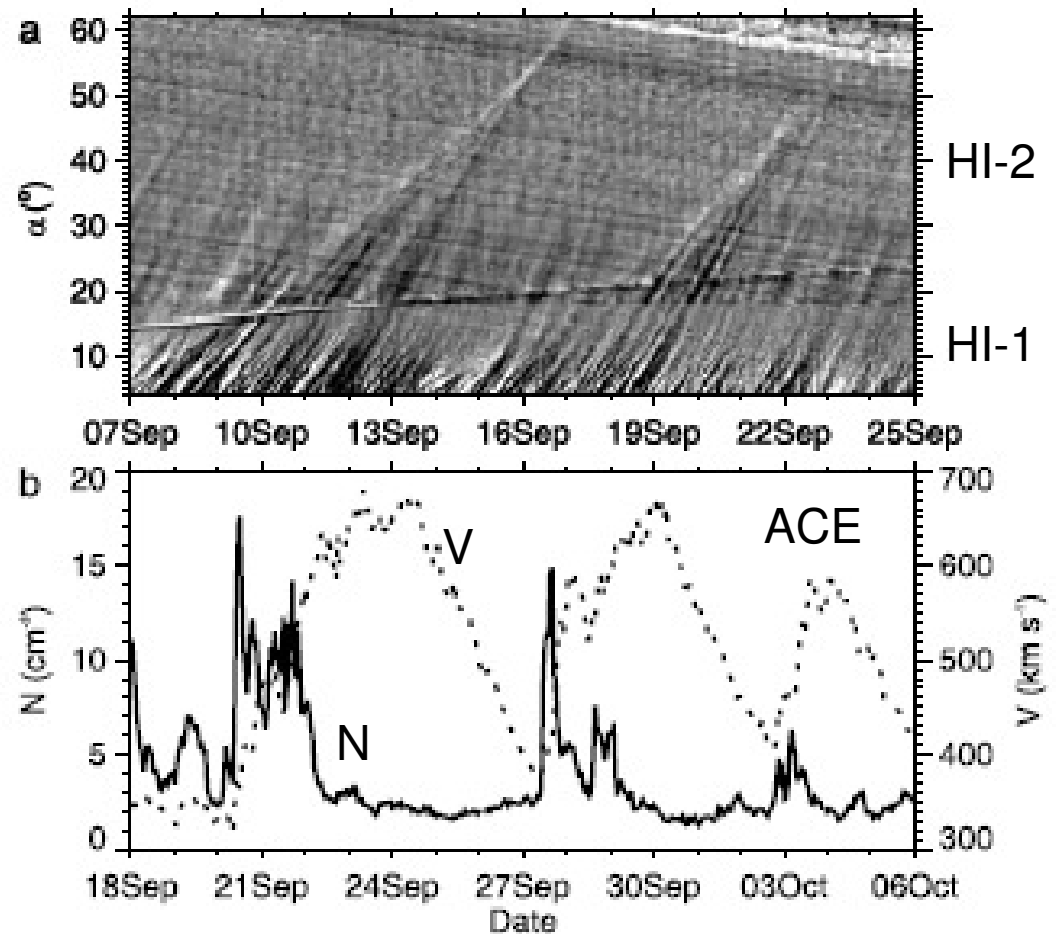


K. Hayashi

MHDシミュレーション
結果より得られる
太陽風密度構造

これはCIRです

STEREOで検出されたCIR



Rouillard et al. 2008, GRL, 35, L10110

黄道光・その成分としてのダスト

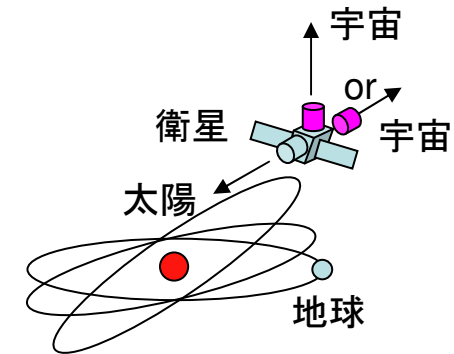
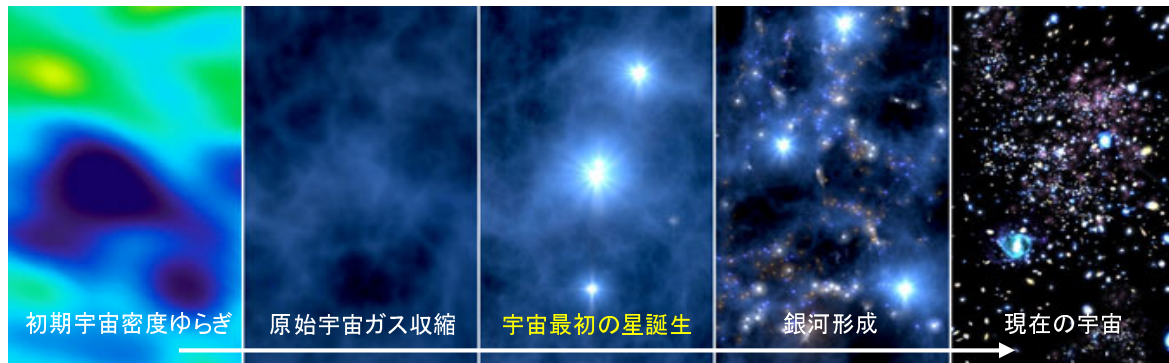
- 地球近傍、Heliosによる内部太陽圏での黄道面内からの測定があるのみ。
- 黄道面をいくらかでも脱出するなら、黄道光の空間分布を取得するのは意味がある
- 黄道光は赤外線観測のバックグラウンドとなり、差し引くべき黄道光モデルが天体の光量分布を決定する: (どのくらいの観測時間が必要なのか?)
- 検出器に衝突して、発生したプラズマを計測することでダストのin-situ観測が可能(Ulysses, 「のぞみ」などで実施) [装置重量は1kgくらい]

Solar-Cによる副次的科学: 宇宙赤外線背景放射の観測

JAXA/ISAS 松浦周二ほか EXZIT検討グループ

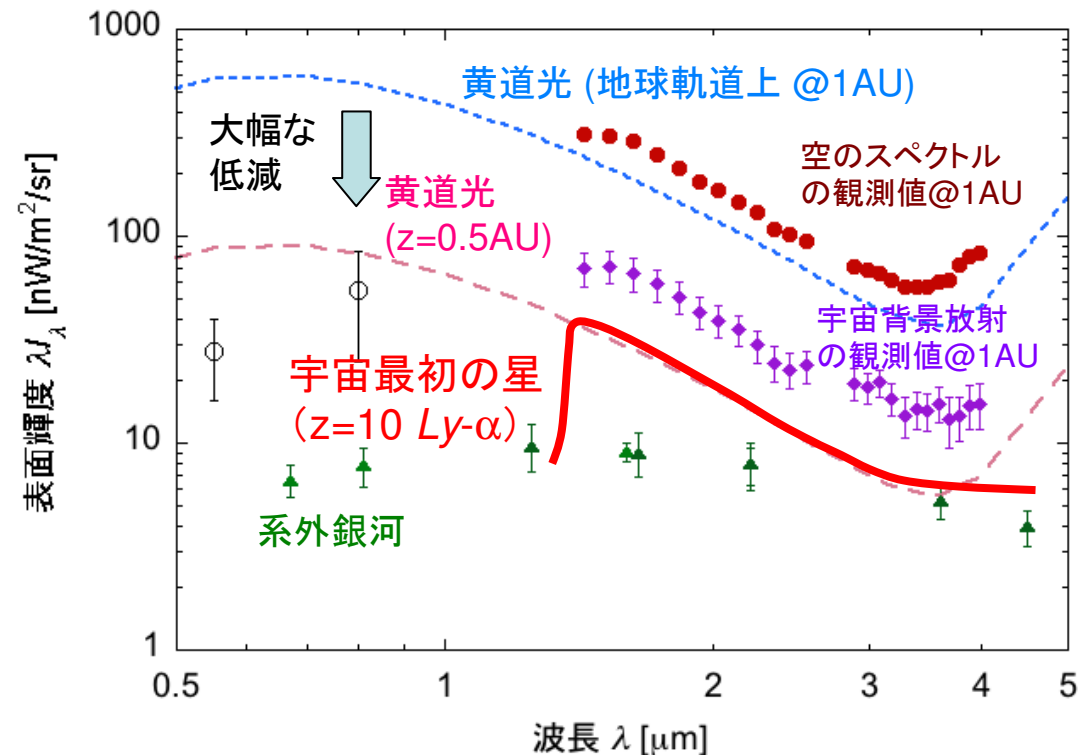
科学目的①: 宇宙で最初に生まれた星からの光を赤外線宇宙背景放射として観測

科学目的②: 黄道光の立体的観測による太陽系ダストの分布および起源の解明



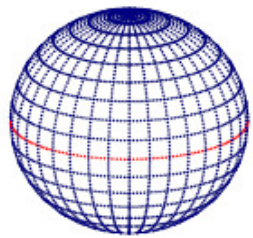
観測手法:

- 黄道面外から星や銀河を取り除いた空の拡散光成分の可視・近赤外スペクトルを観測
- 定点観測(例えばNEP)の明るさの黄道面からの距離(高さ: z)依存性からダスト分布を測定
- $z=0.5\text{AU}$ での黄道光: $\sim 10\%$ に低下
→ 黄道光の不定性に制限されない高精度の宇宙背景放射観測

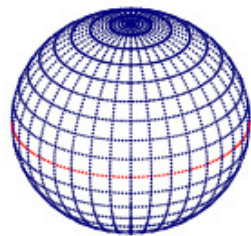


A案 How is appearance of solar poles as a function of inclination?

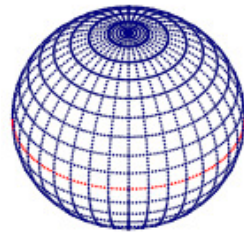
i : inclination angle between solar equatorial plane



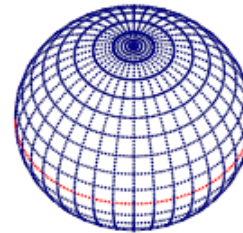
$i = 20$ deg



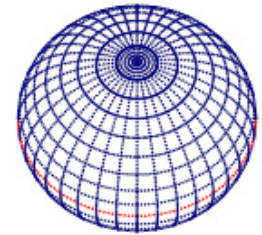
$i = 30$ deg



$i = 40$ deg

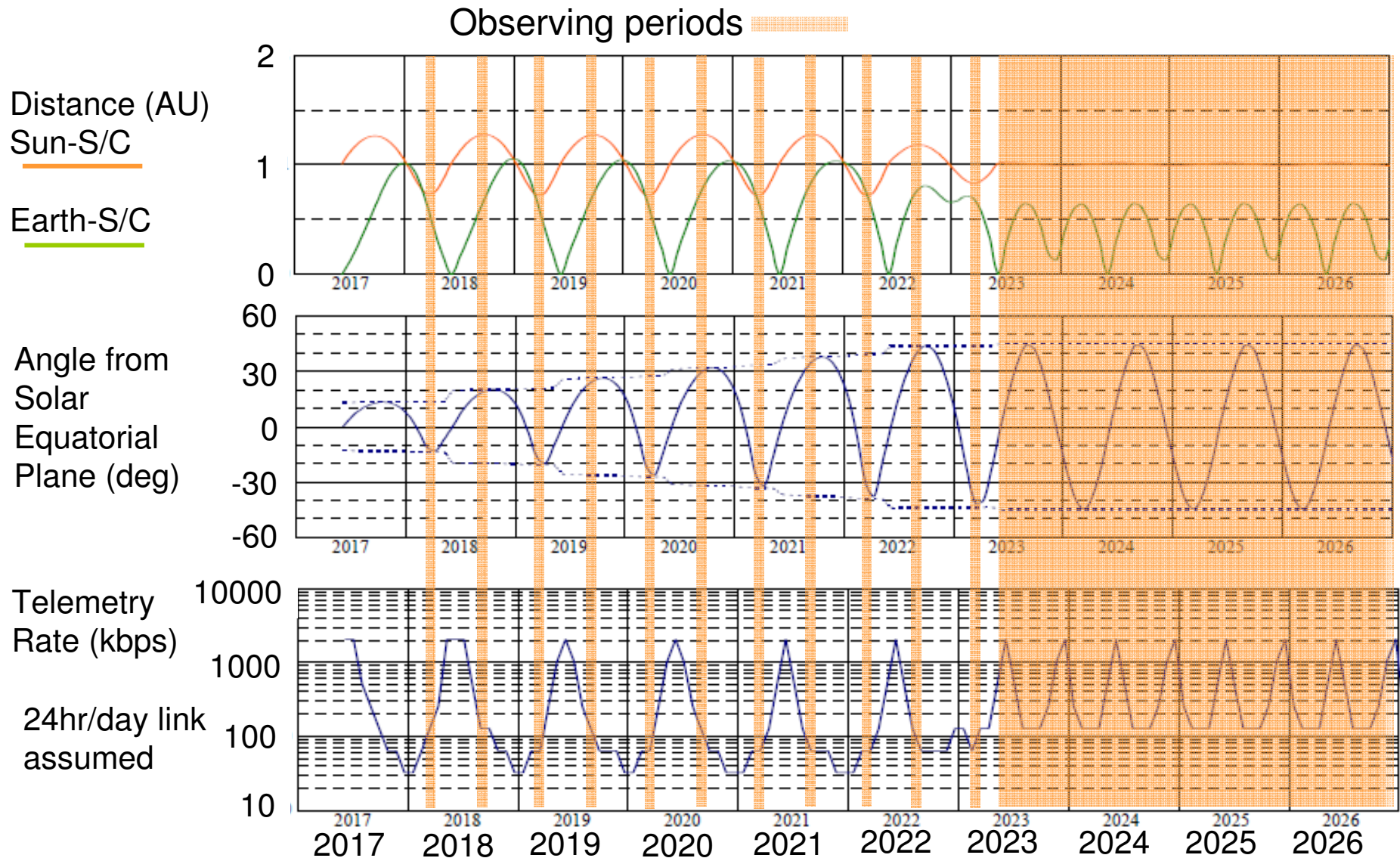


$i = 50$ deg



$i = 60$ deg

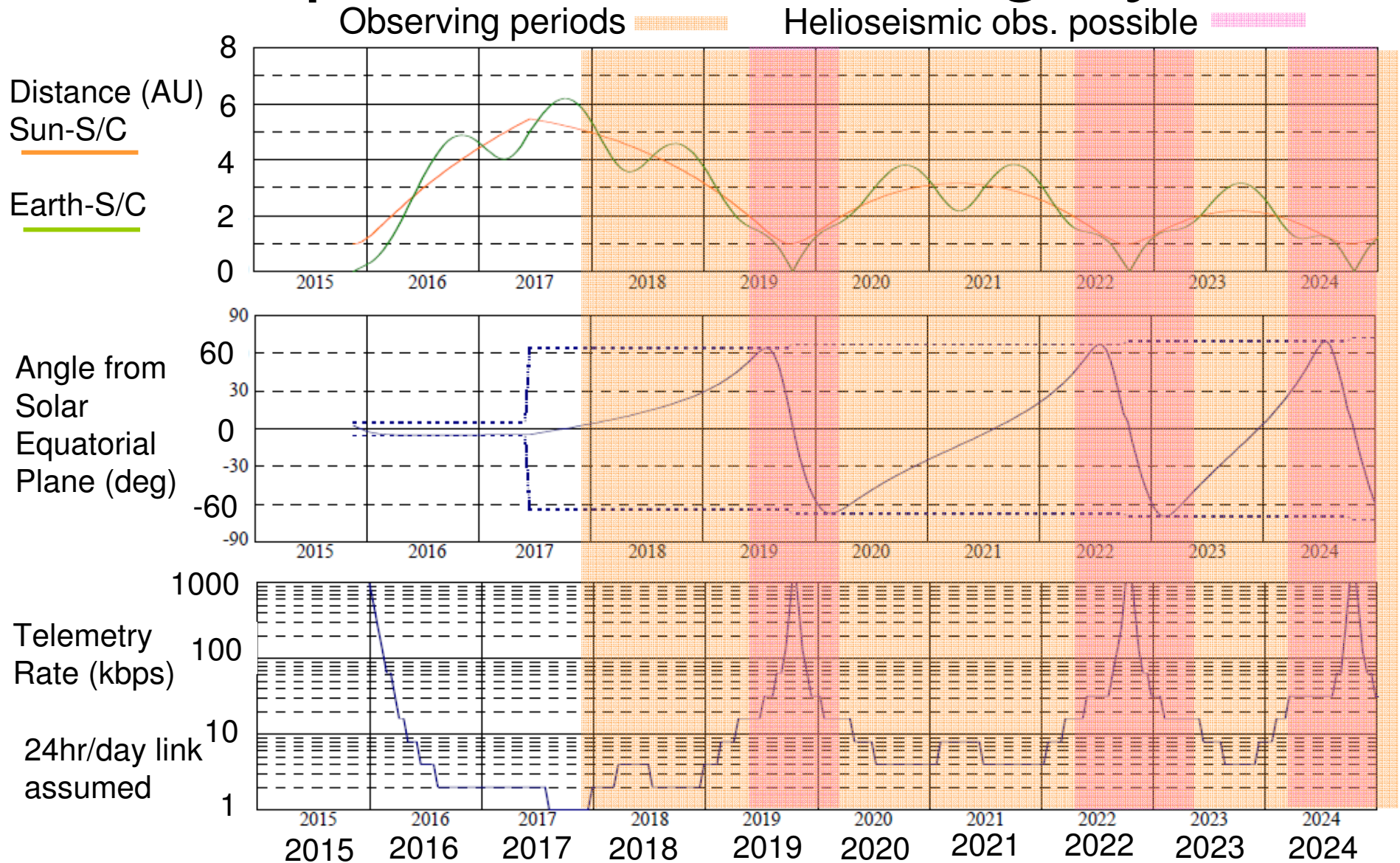
A案: Ion engine + Earth swing-by



イオンエンジン使用ケース — 最終軌道に入る前段階 —

- 軌道傾斜角を増加させる運用のため、最終軌道に入るまでは、日震学的観測は著しく観測効率が低下する。
- この期間、ポインティングをあまり要しない観測は実施可能だろう。

A案: Jupiter & Earth Swing-by



A案：搭載観測装置案

基本的には既に軌道上で動作した装置(の改良版)

- 可視光磁場:ドップラー観測装置
(太陽全面、~1”空間分解能)
- X線/EUV 望遠鏡・スペクトロメータ
- 総放射量計

オプション

- ほか(惑星間撮像装置、その場観測装置など)
太陽風・CMEイメージャー
太陽系内ダスト、赤外背景放射装置なども候補？
- 総重量~130 kg (TBD)
(システム検討のための初期想定重量)

観測装置の技術的課題

- **A案** 黄道面脱出(長期間航行)、太陽周期
 - 想定する観測装置は既に軌道上で動作したもの
 - 長期間(=長寿命)の(機構付き)連続動作
 - チューナブル狭帯域フィルター
 - 軽量化
- **B案** 紫外線領域、高解像度
 - 紫外線領域での汚染防止技術
 - 紫外線領域での偏光分光
 - 大口径(ϕ 1.5m)可視光望遠鏡
 - X線望遠鏡の高空間分解能化 or X線分光イメージング
 - EUV/UV分光装置の高空間・高波長分解能化

衛星システムとしての技術的課題

- **A案 黄道面脱出(惑星間空間の飛翔)**
 - 大電力電源系、大型太陽電池パネル (~6 kW)
 - 長距離高速通信(~100 kbpsデータ発生@0.5AU)
 - 大推力イオンエンジン(4台で120mN max 想定)
 - 高発熱機器(通信・イオンエンジン系)からの排熱
 - 衛星システムを成立させる軌道設計・熱設計
- **B案 高分解能観測からの要請**
 - 低擾乱姿勢制御 *Hinode*で基礎は確立
 - 高速通信回線(10Mbps平均通信レート)の確保
 - ←地球周回軌道天文衛星では達成できない模様