



Project for  
Solar-Terrestrial  
Environment Prediction



第13回宇宙天気ユーザーズフォーラム  
@科学未来館

サイクル25はどうなるのか？

今田晋亮

(名古屋大学 宇宙地球環境研究所・講師)

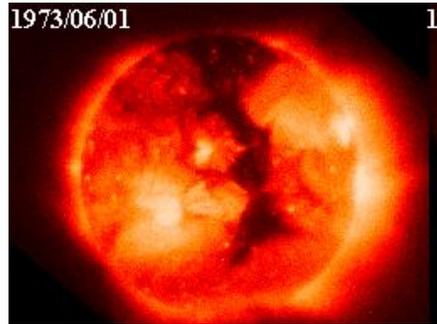
# 今日の内容

- 1. 太陽ってどんな星
- 2. 太陽の黒点の数って周期的に変わる？
- 3. 太陽の周期活動を予測する



国立天文台提供

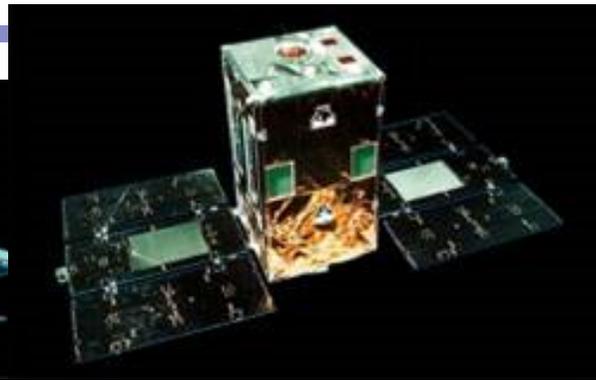
# 現代の太陽観測衛星



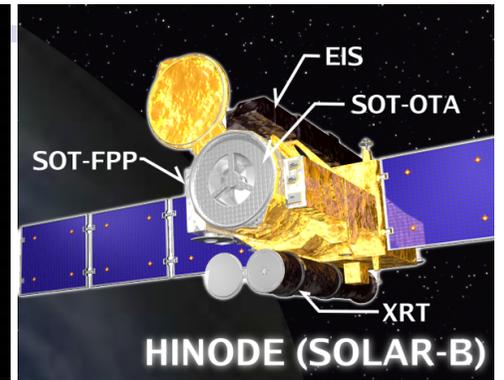
スカイラブ 米 1973~1979



ひのと 日 1981~1991



ようこう 日 1991~2004



ひので 日 2006~



SMM(Solar Maximum Mission) 米 1980~1989



SOHO 米欧 1995~



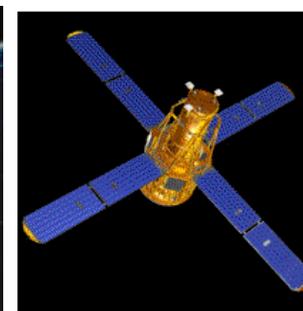
SDO 米 2010~

## 衛星観測のメリット

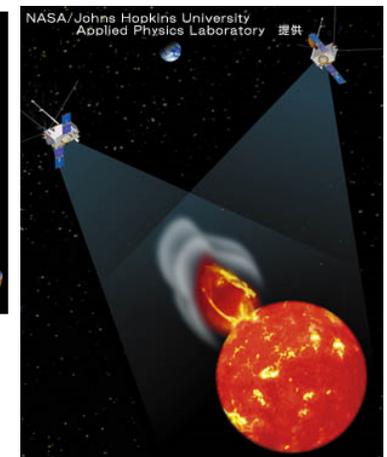
- 可視光以外(X線、紫外線など)による観測
- 地球に制約されない観測
- 大気の揺らぎの無い観測



TRACE 米 1998~



RHESSI 米 2002~



STEREO 米 2006~

# 太陽の基本構造

ほとんど水素とヘリウムの  
電離したガス(プラズマ)

1千万度  
中心(核融合)

表面  
6千度

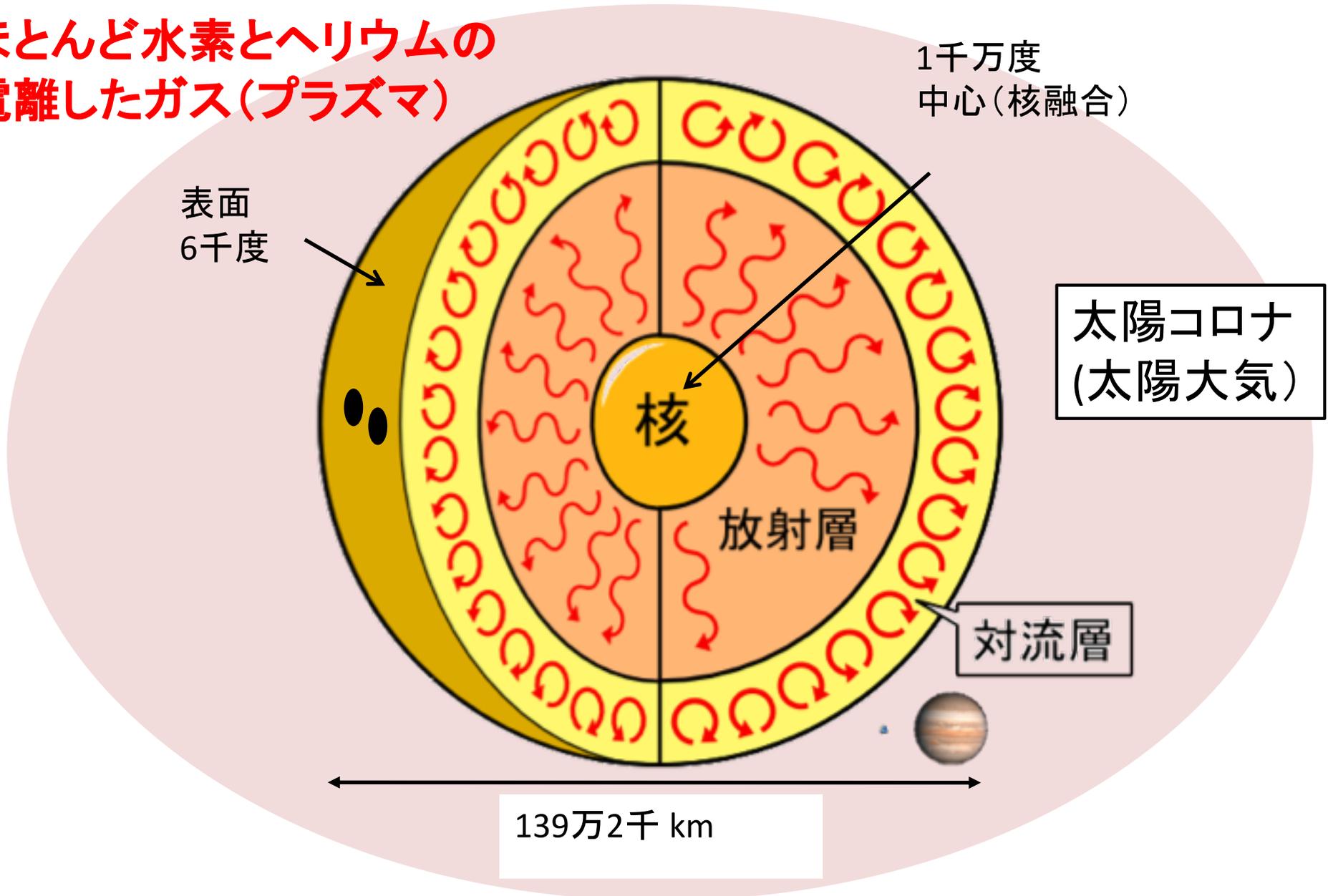
太陽コロナ  
(太陽大気)

核

放射層

対流層

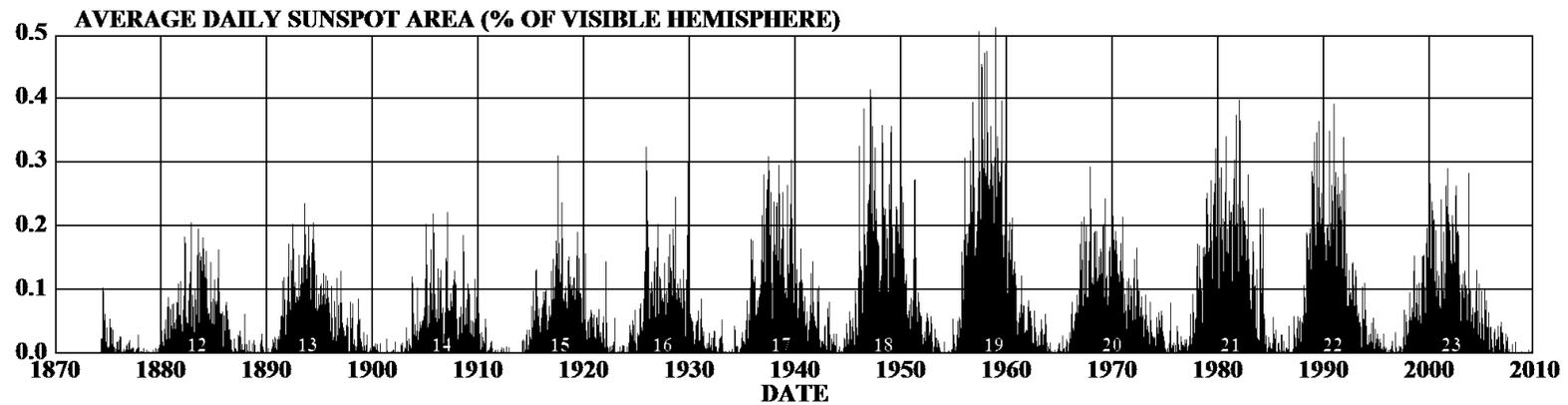
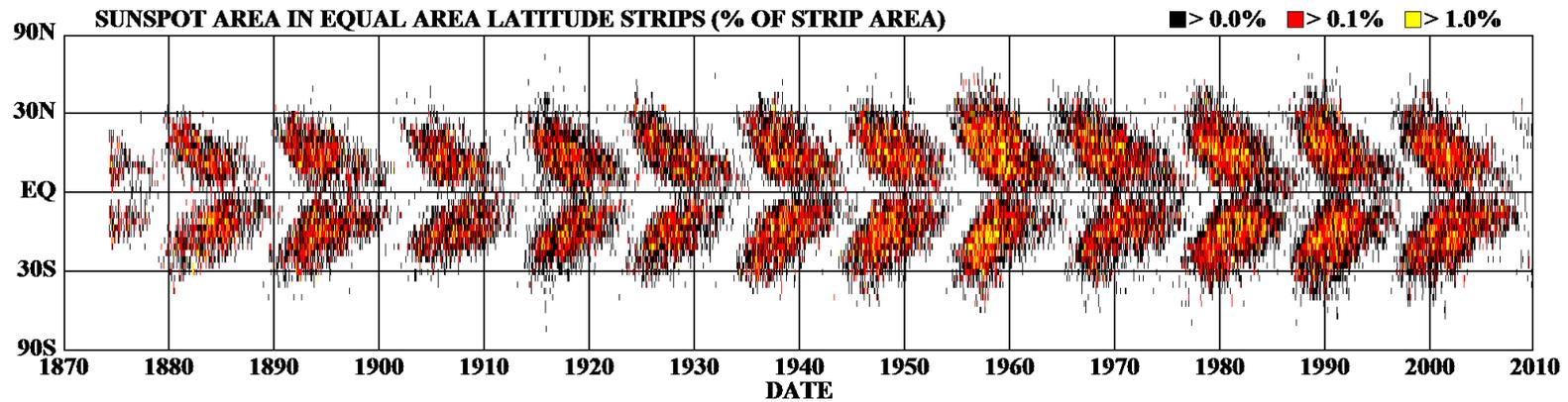
139万2千 km



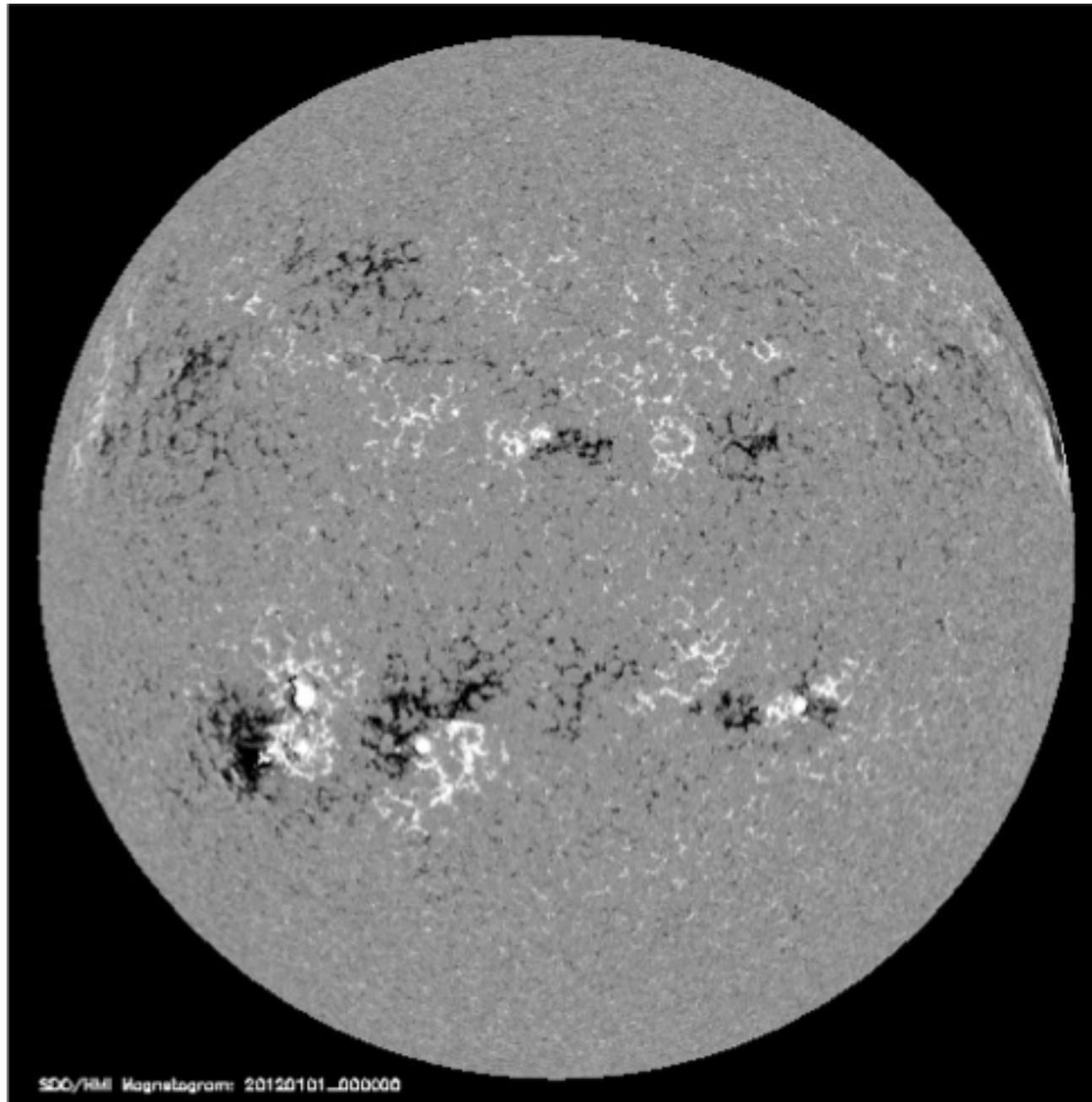
# 今日の内容

- 1. 太陽ってどんな星
- 2. 太陽の黒点の数って周期的に変わる？
- 3. 太陽の周期活動を予測する

## DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS



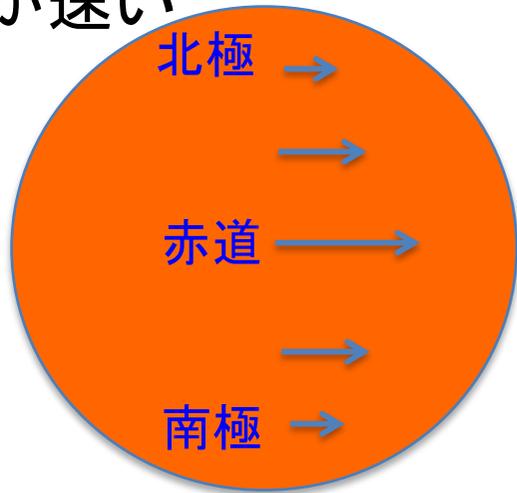
# 太陽表面磁場の時間発展



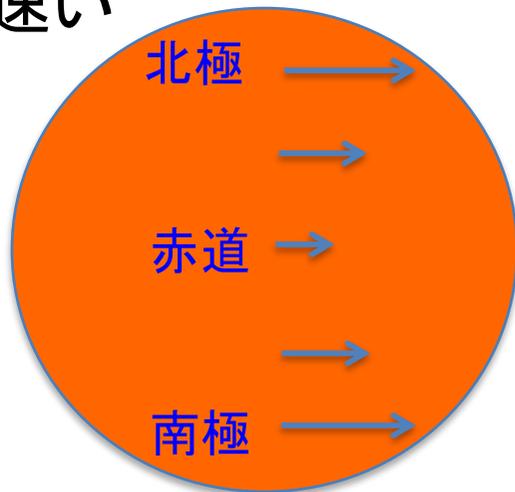
# クイズ：差動回転・子午面循環

30日で一周  
差動回転

A. 赤道が速い

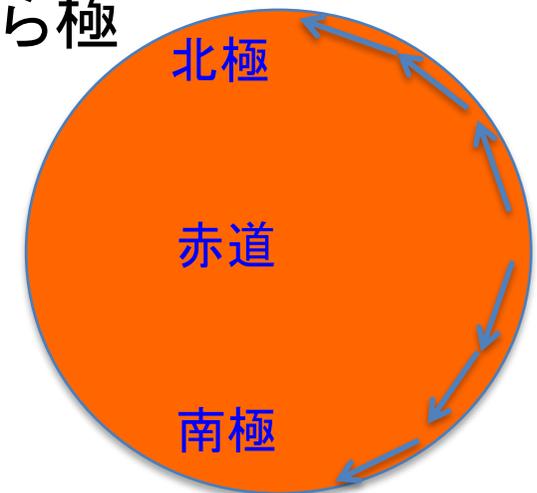


B. 極が速い

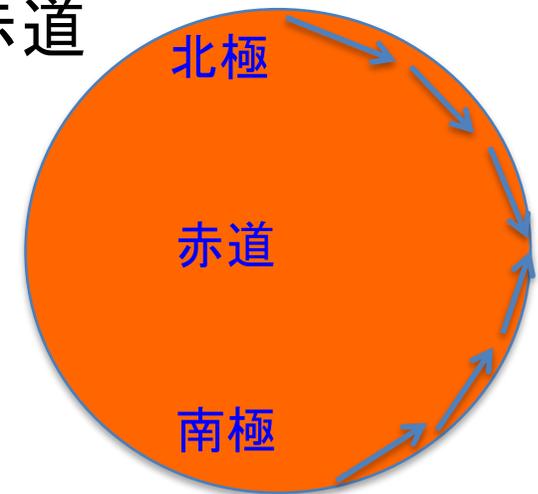


極—赤道2~3年  
子午面循環流

A. 赤道から極



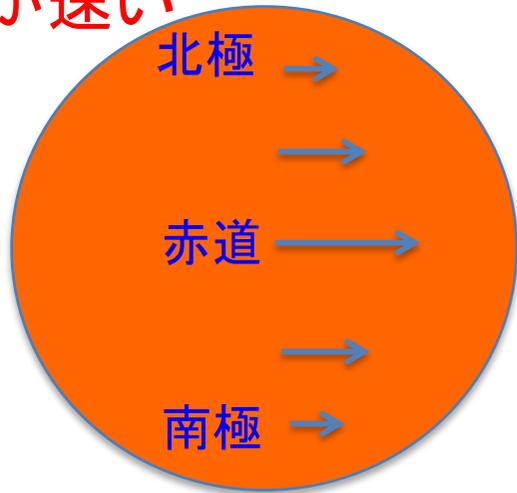
B. 極から赤道



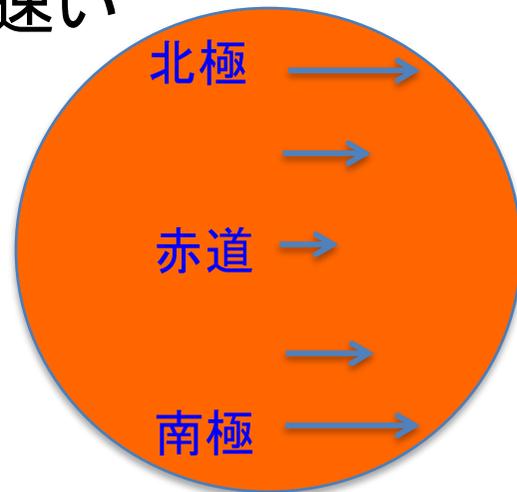
# クイズ：差動回転・子午面循環

30日で一周  
差動回転

A. 赤道が速い

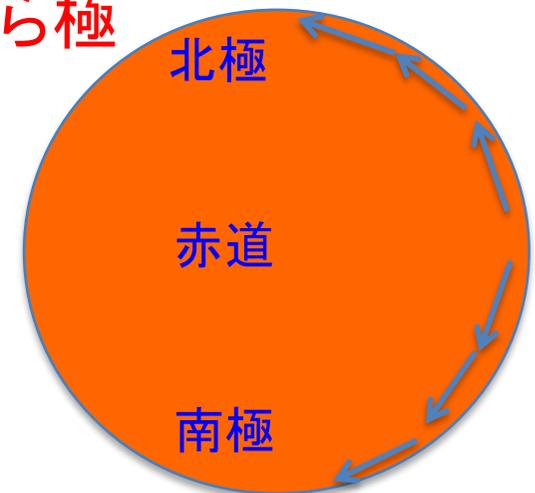


B. 極が速い

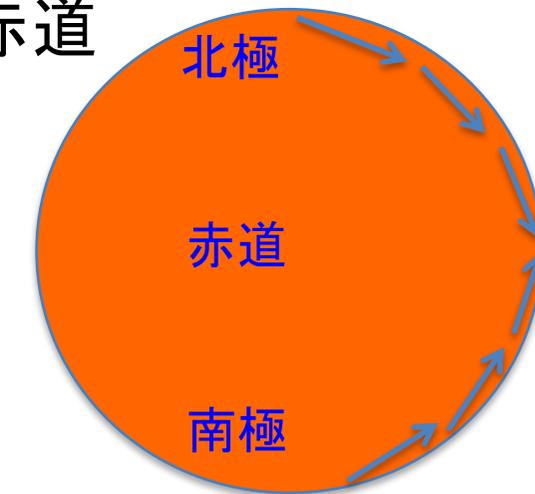


極一赤道2~3年  
子午面循環流

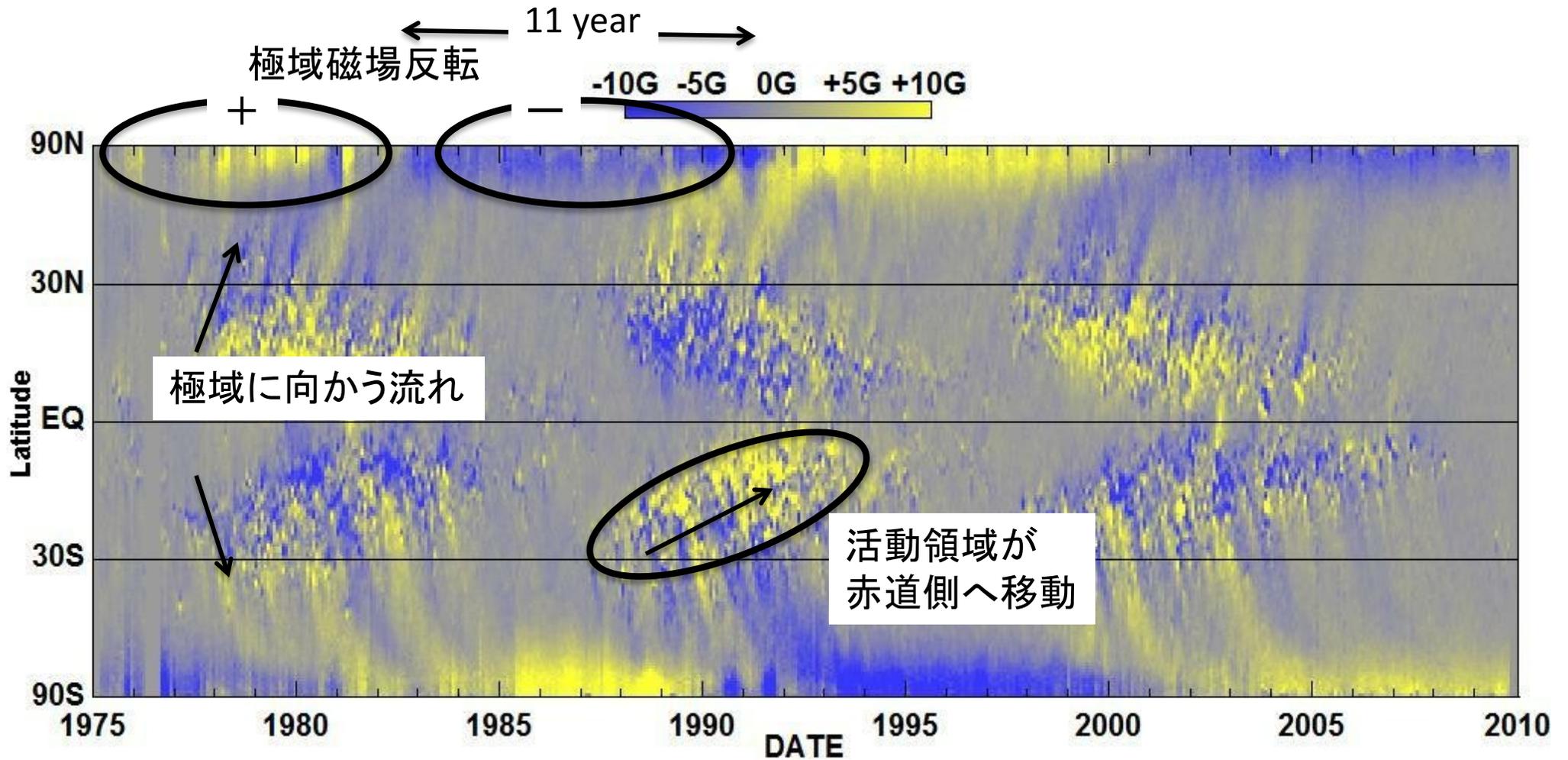
A. 赤道から極



B. 極から赤道



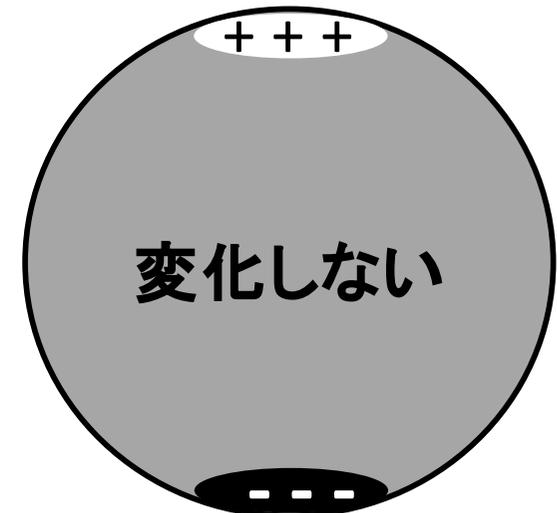
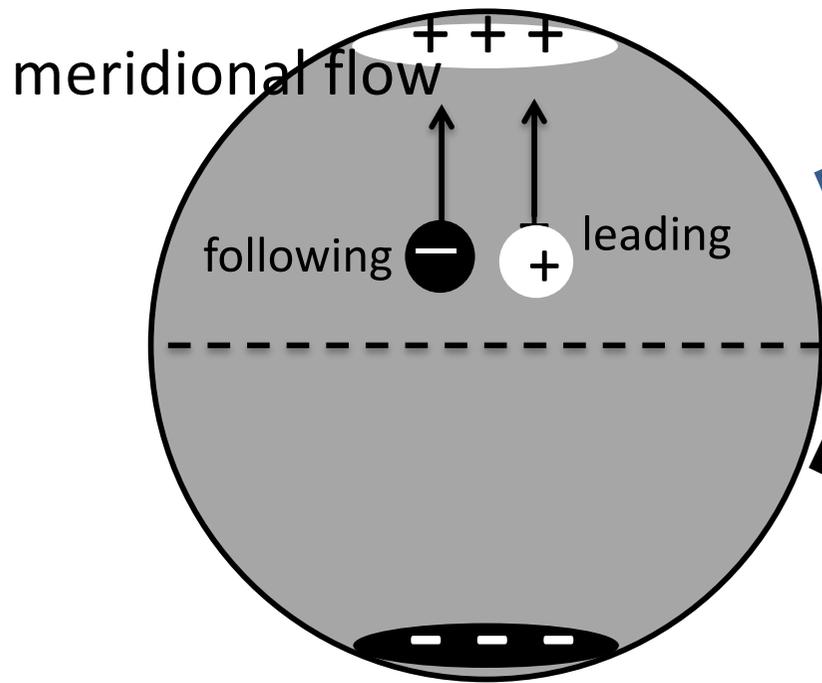
# 太陽表面磁場の時間発展



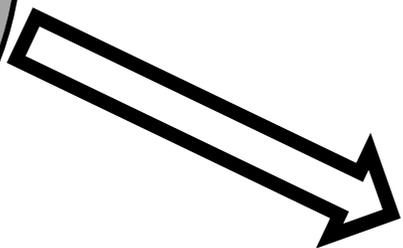
Hathaway/NASA/MSFC 2009/12

# どうやって極磁場は反転する？

先行・後行黒点が同じように運ばれたら



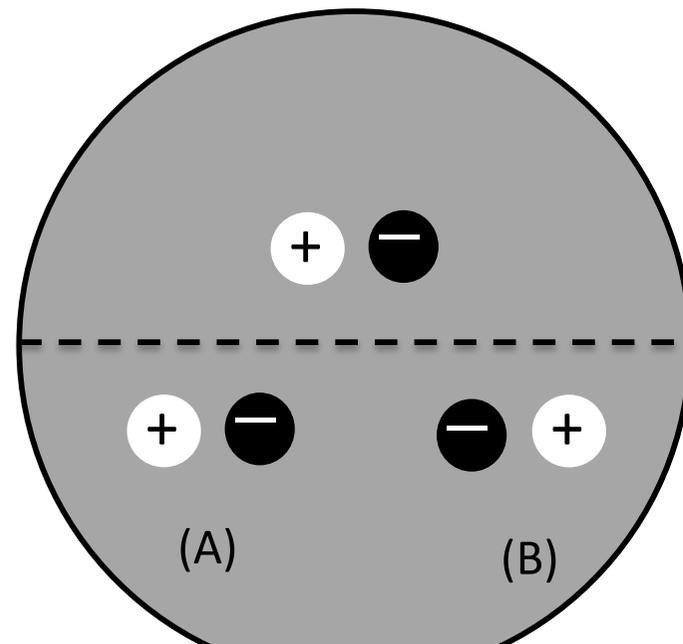
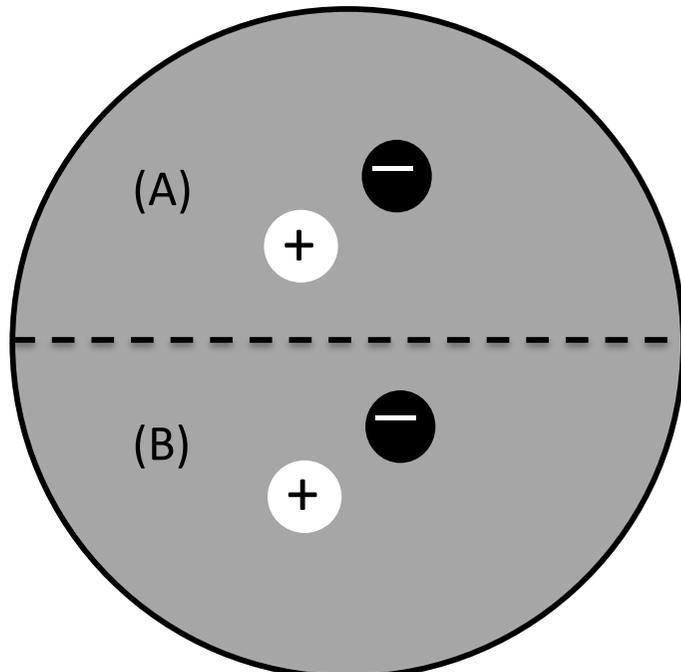
+/- の磁場はキャンセルする



非対称性がある？

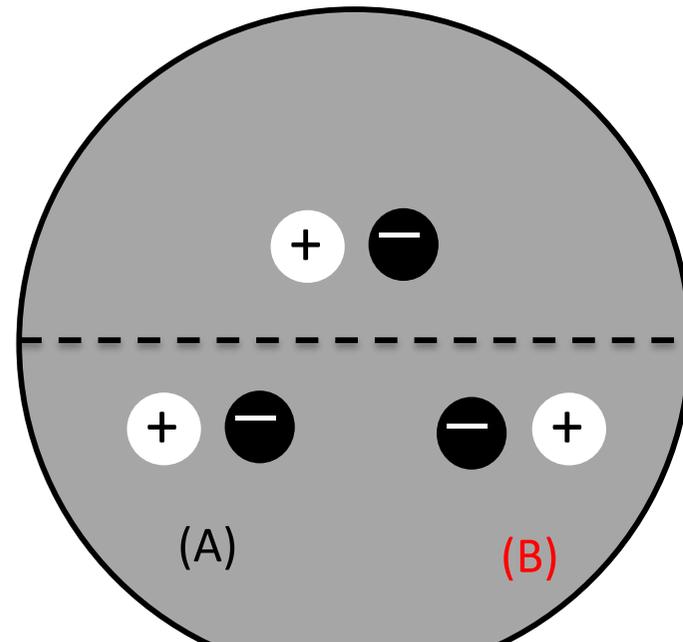
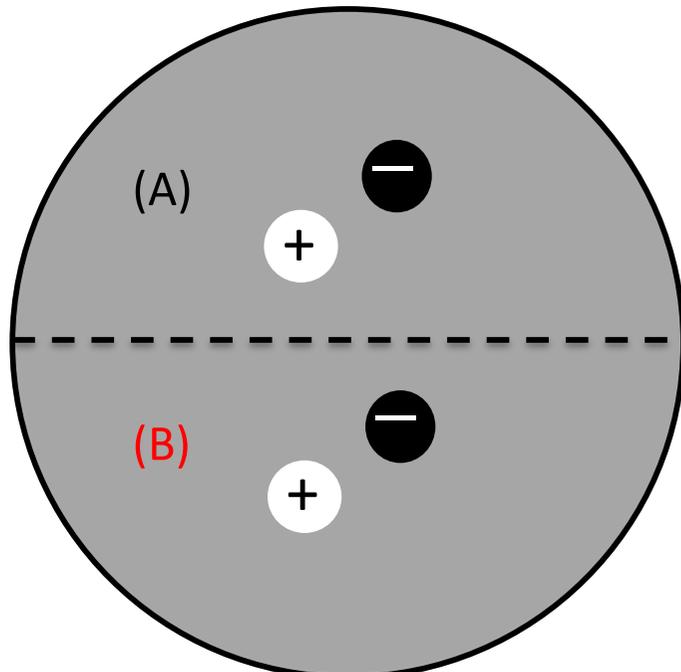
# クイズ：黒点の特徴

- ① 先行・後行黒点ではどちらが赤道近くに出現するか？
- ② 先行・後行黒点の極性は異なるが、北半球の先行黒点と南半球の先行黒点と同じ？ 逆？



# クイズ：黒点の特徴

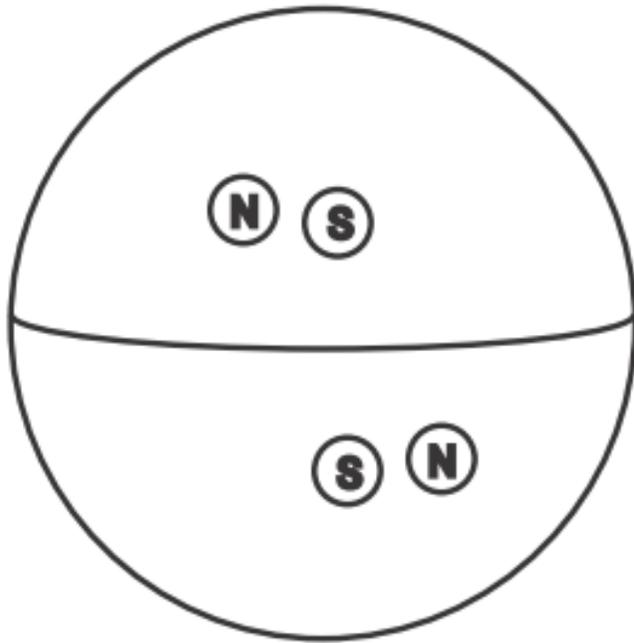
- ① 先行・後行黒点ではどちらが赤道近くに出現するか？
- ② 先行・後行黒点の極性は異なるが、北半球の先行黒点と南半球の先行黒点と同じ？ 逆？



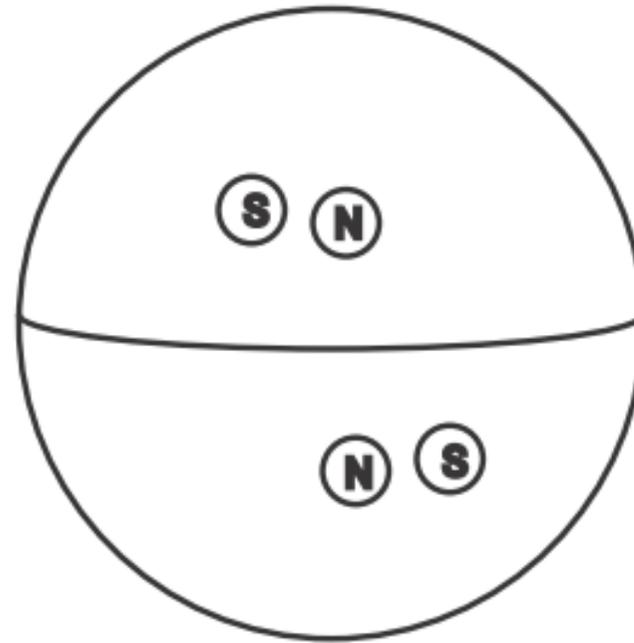
# 黒点の特徴

## Joy's & Hale-Nicholson's Law

ジョイの法則： 先行黒点が後行黒点より赤道より出現する  
ちなみに先行黒点と極磁場は同極性



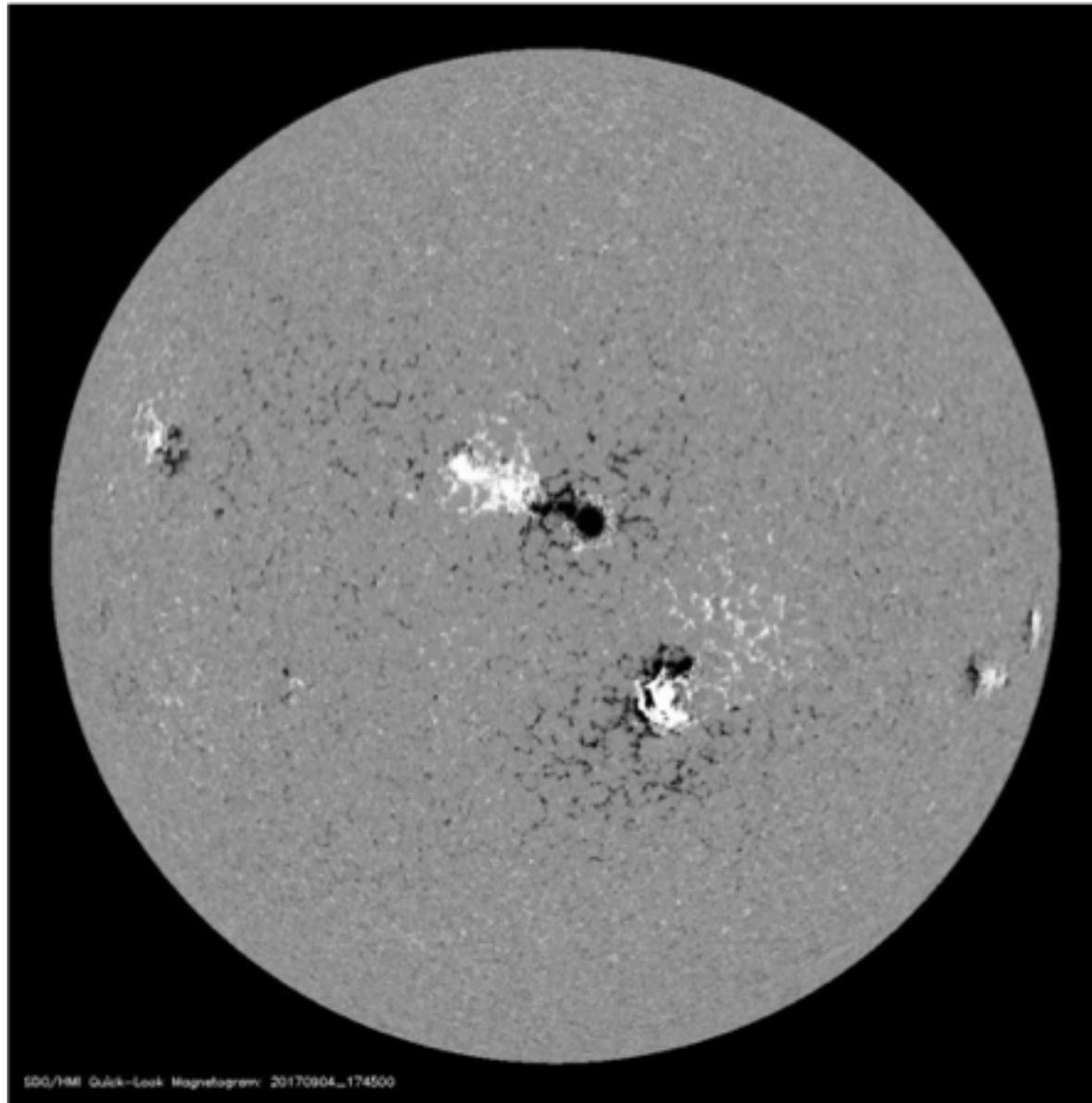
1986-1996  
Cycle 22



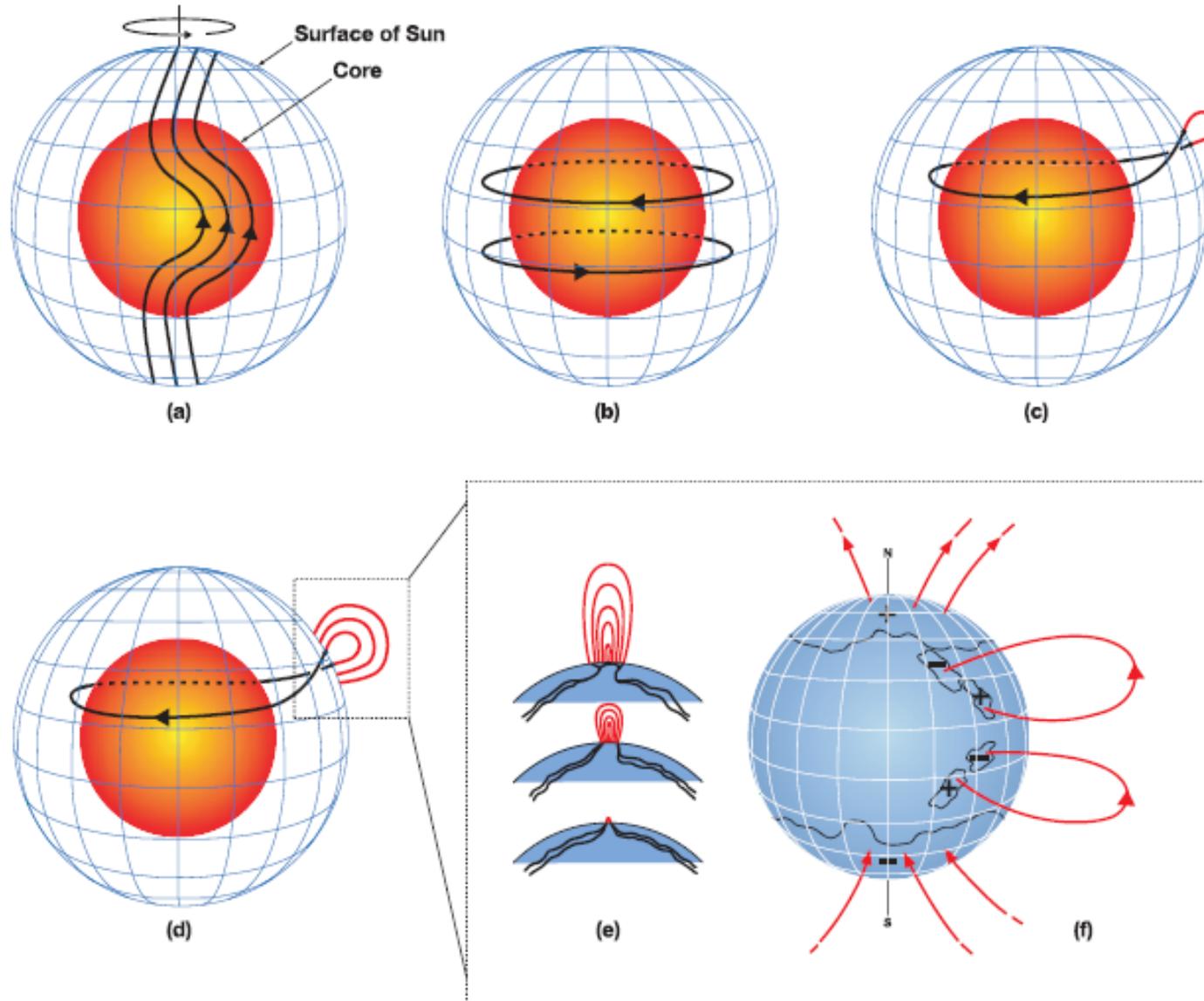
1996-2007  
Cycle 23

ヘール・ニコルソンの法則： 極性の順番は1つのサイクルで決まっている、南北半球で逆、次の周期とも逆<sup>5</sup>

ちなみに9月6日のフレアを起こした  
黒点は？



# Babcock-Leighton ダイナモモデル

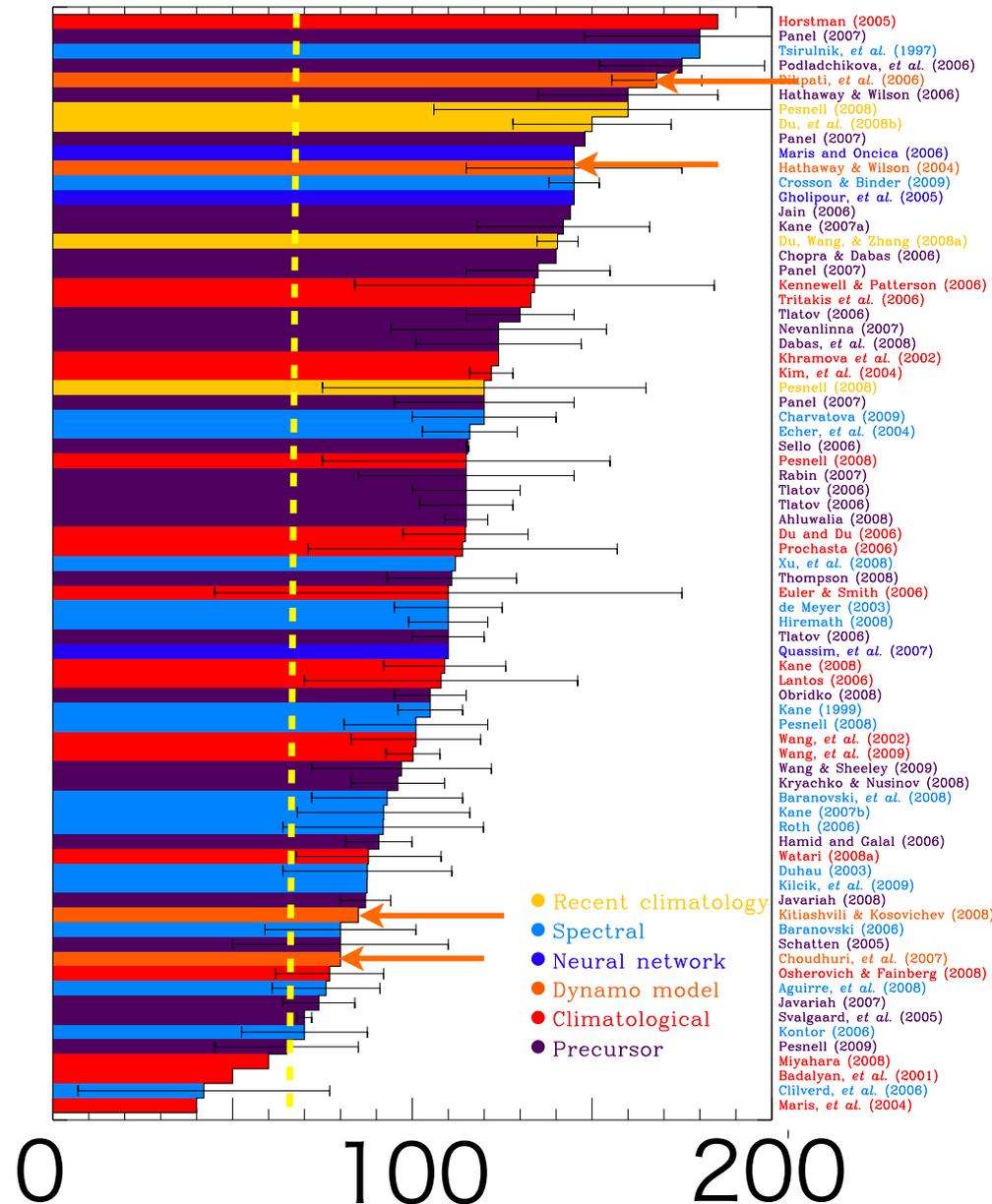


Dikpati et al. 2006

# 今日の内容

- 1. 太陽ってどんな星
- 2. 太陽の黒点の数って周期的に変わる？
- 3. 太陽の周期活動を予測する

# サイクル24 (現サイクル)の予測結果



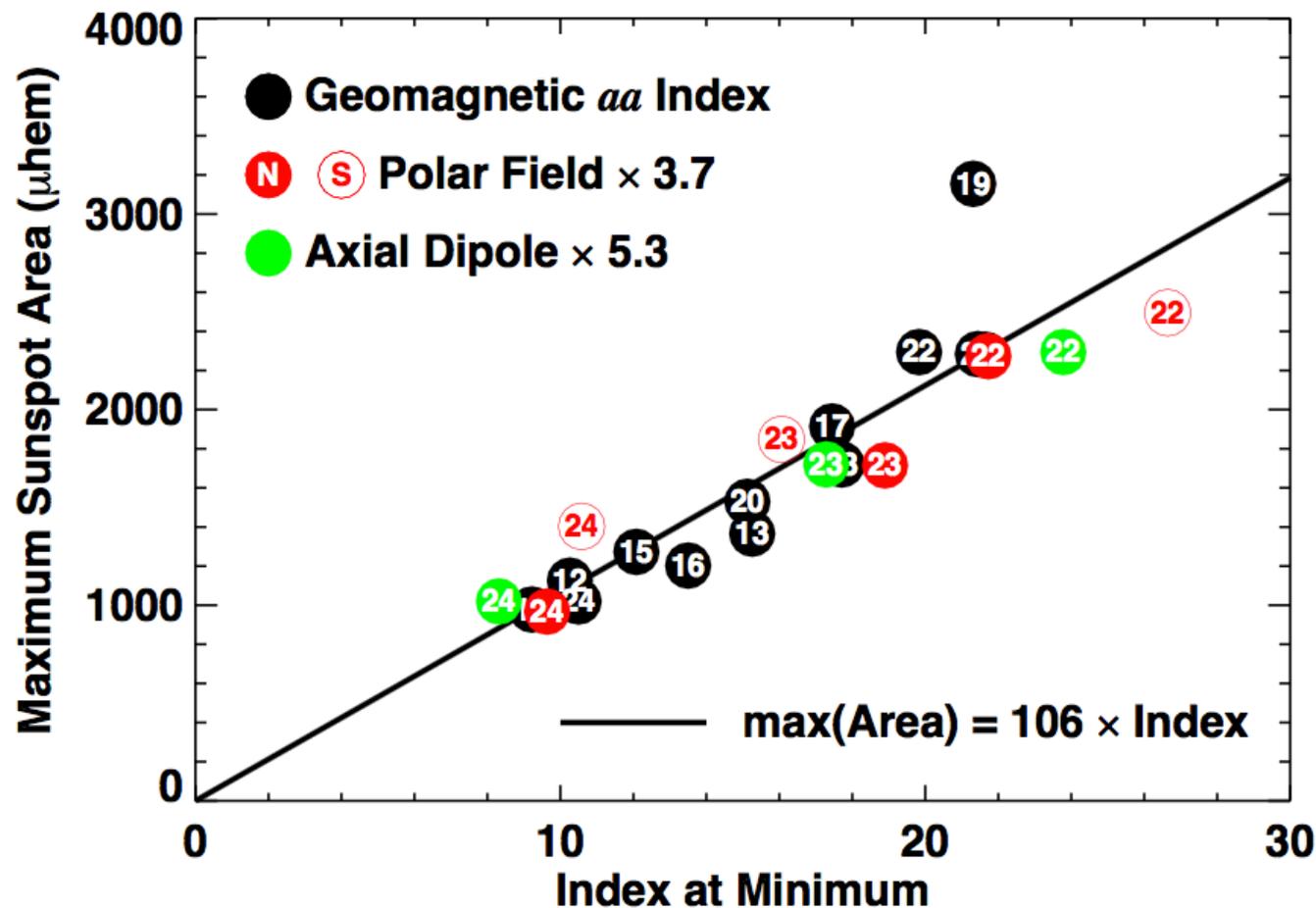
0 100 200

黒点相対数

# どうやって予測するのか？

- 統計的外挿
  - 統計数理的なモデル、機械学習など
- プレディクター
  - 地磁気活動指数、前周期の長さなど
- 物理モデル
  - ダイナモモデルなど

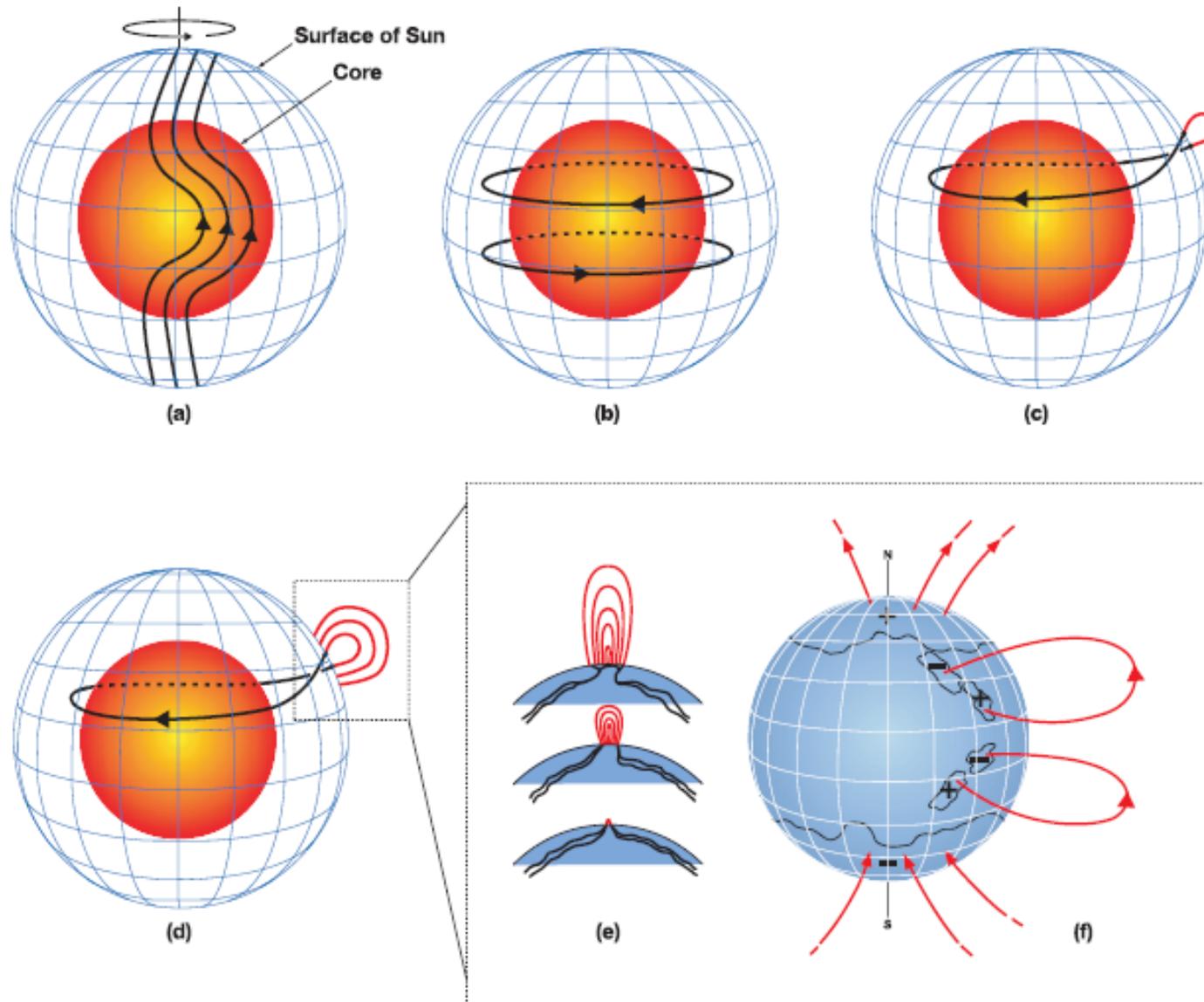
# 周期活動の特徴： 太陽周期活動極小期の極域磁場



Hatherway & Upton 2016

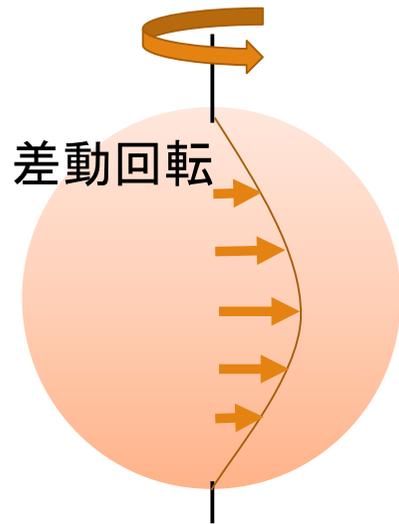
今日はこの特徴を使って予測する方法を詳しく説明する

# Babcock-Leighton ダイナモモデル

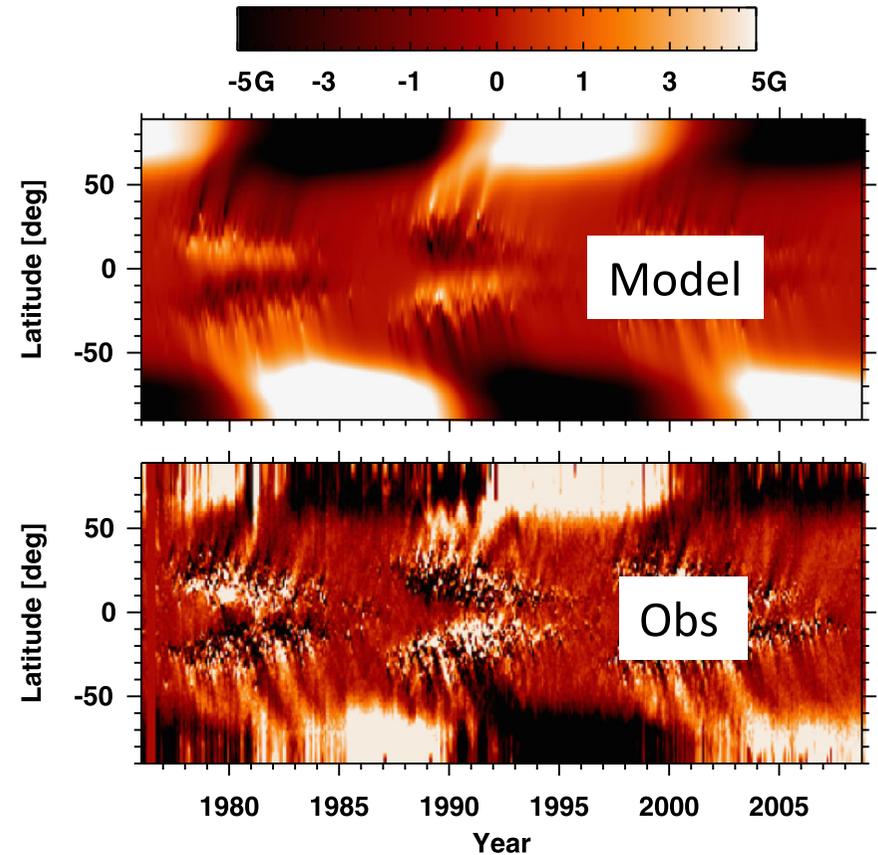
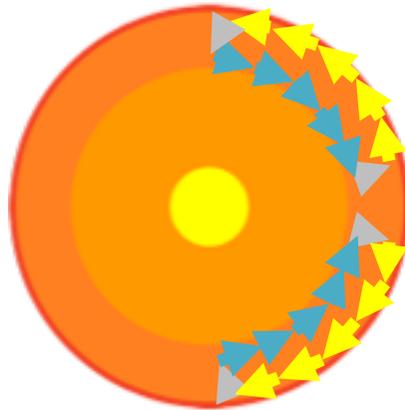


Dikpati et al. 2006

# 数値計算による太陽表面磁場の再現実験



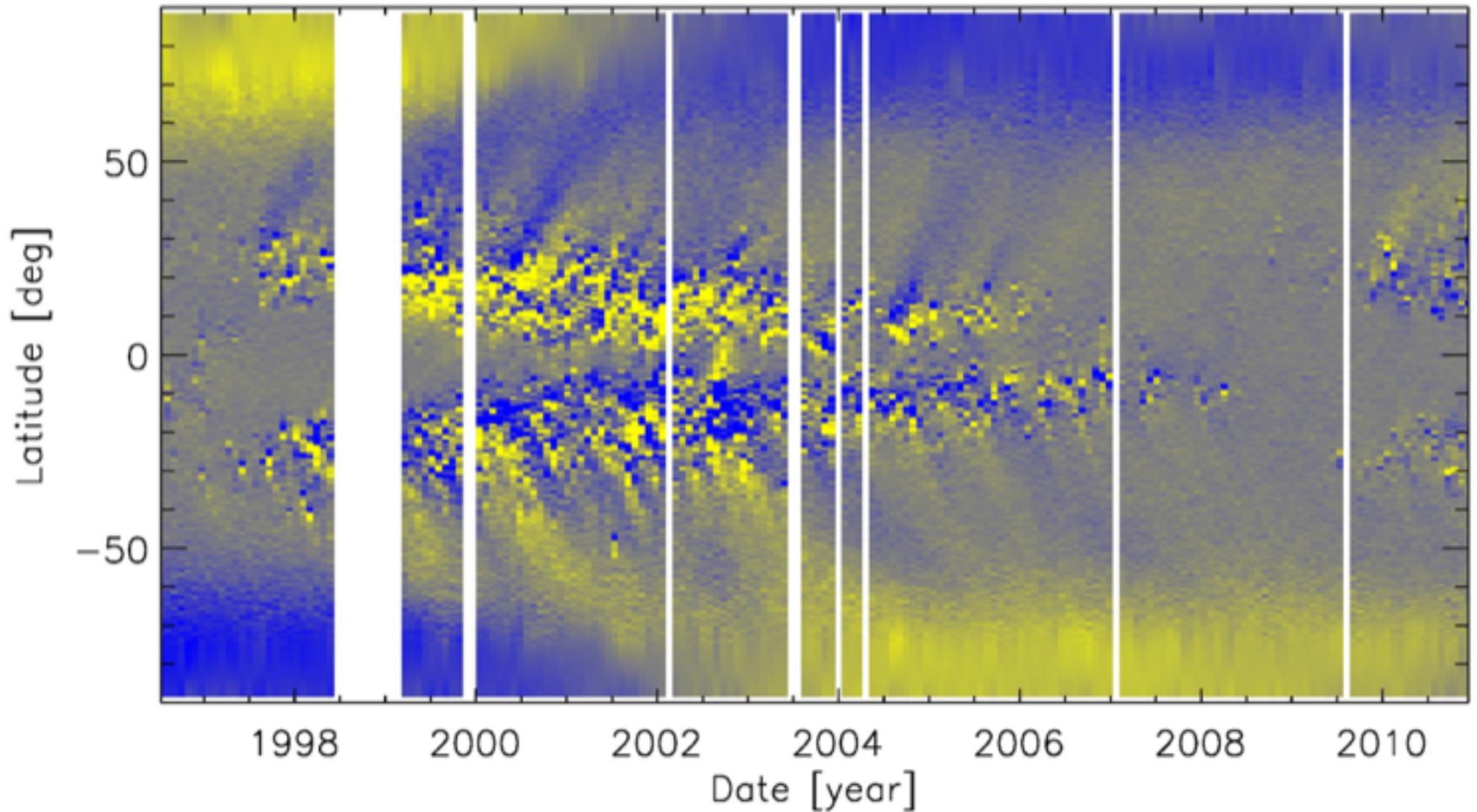
子午面循環流



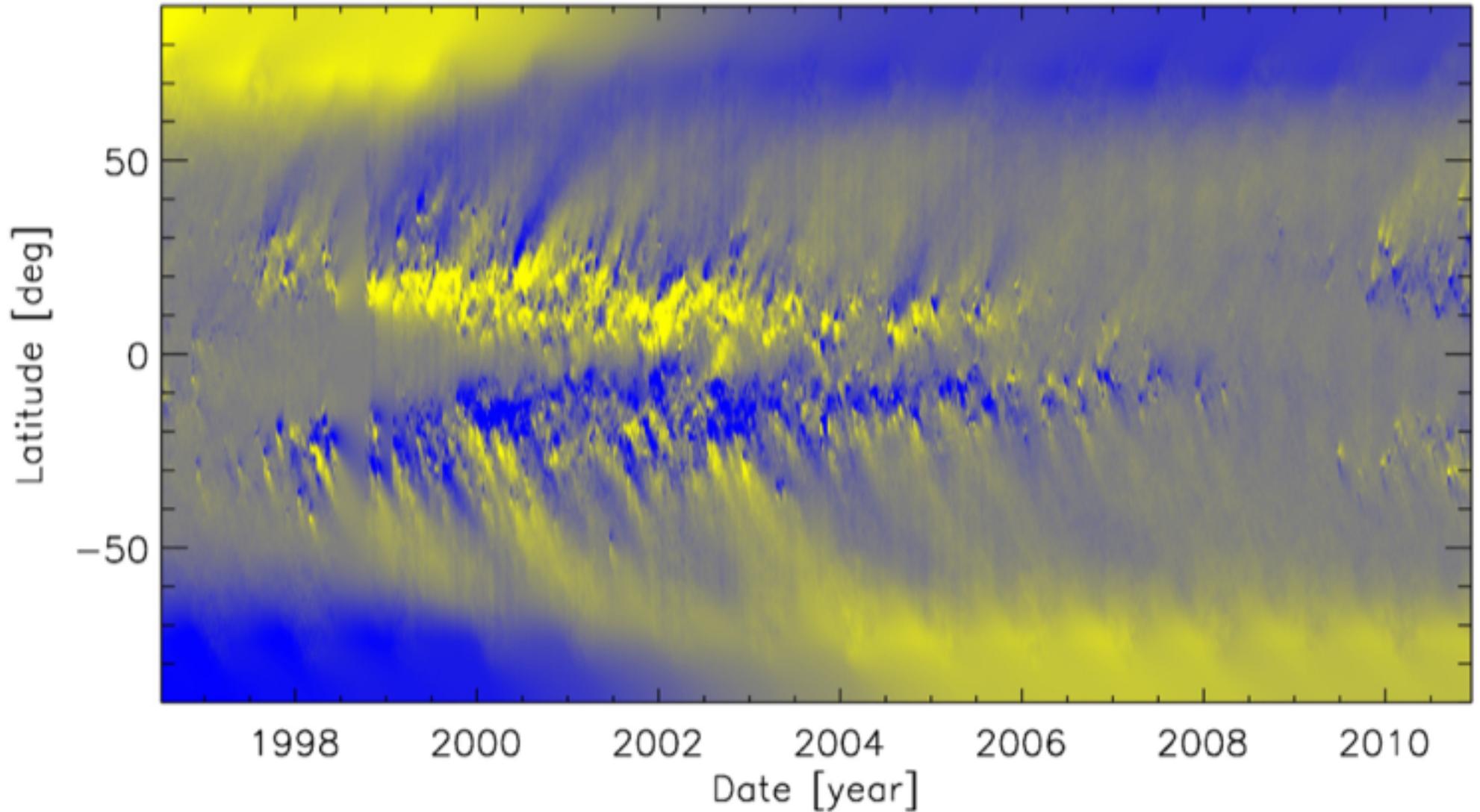
$$\frac{\partial B_r}{\partial t} = -\omega(\theta) \frac{\partial B_r}{\partial \phi} - \frac{1}{R_\odot \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} [v(\theta) B_r \sin \theta] + \frac{\eta_h}{R_\odot^2} \left[ \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial B_r}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 B_r}{\partial \phi^2} \right] + S(\theta, \phi, t),$$

Jiang, 2012

# データ同化結果(観測)



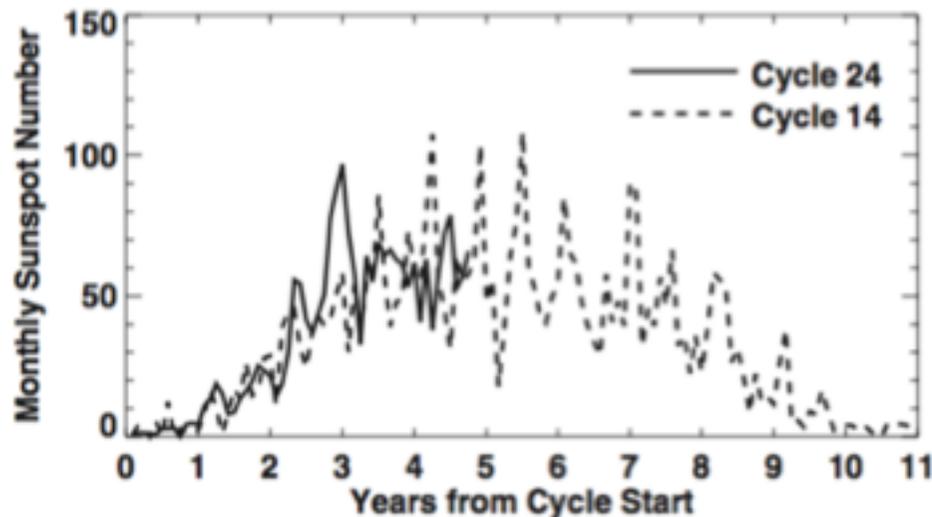
# データ同化結果(数値計算)



# 予測に向けて： 未来の浮上磁場をどう扱うか？

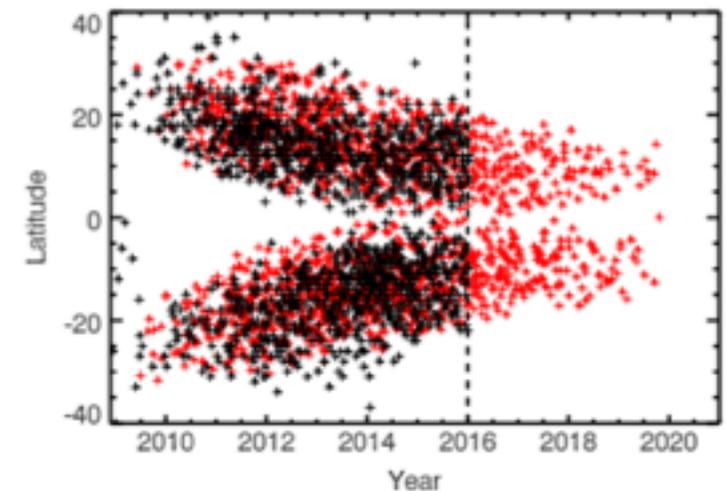
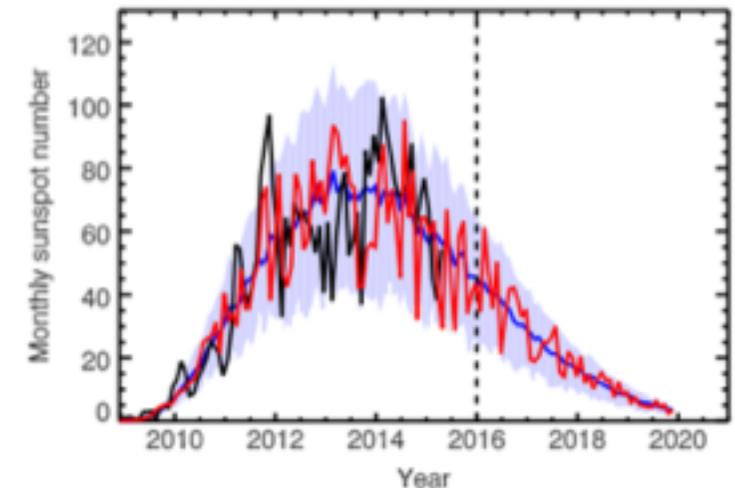
Cameron et al. (2016)

浮上磁場パラメータを観測的な経験則により予測。

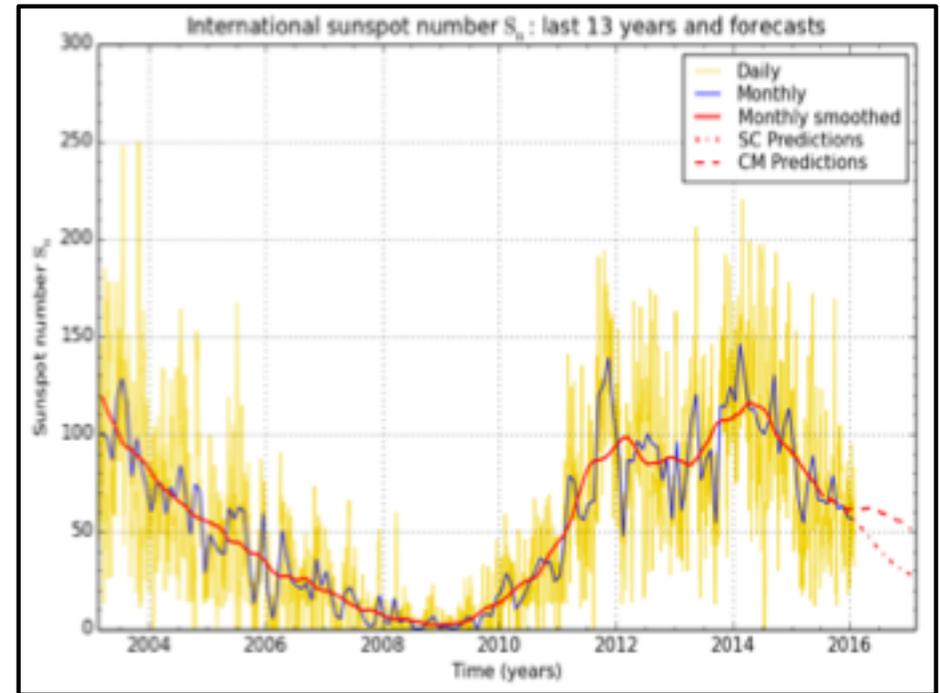
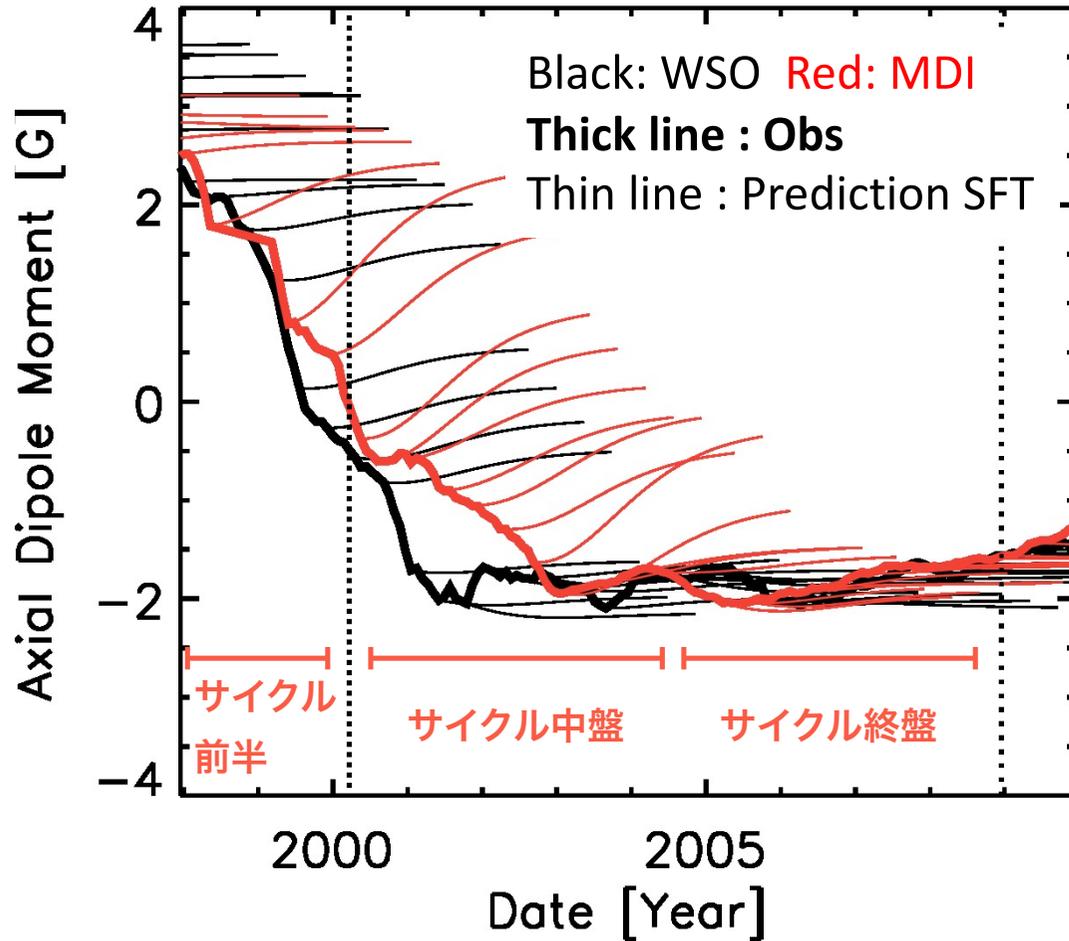


Upton & Hathaway (2014a)

「似ている」過去のサイクルの浮上磁場パラメータを利用。



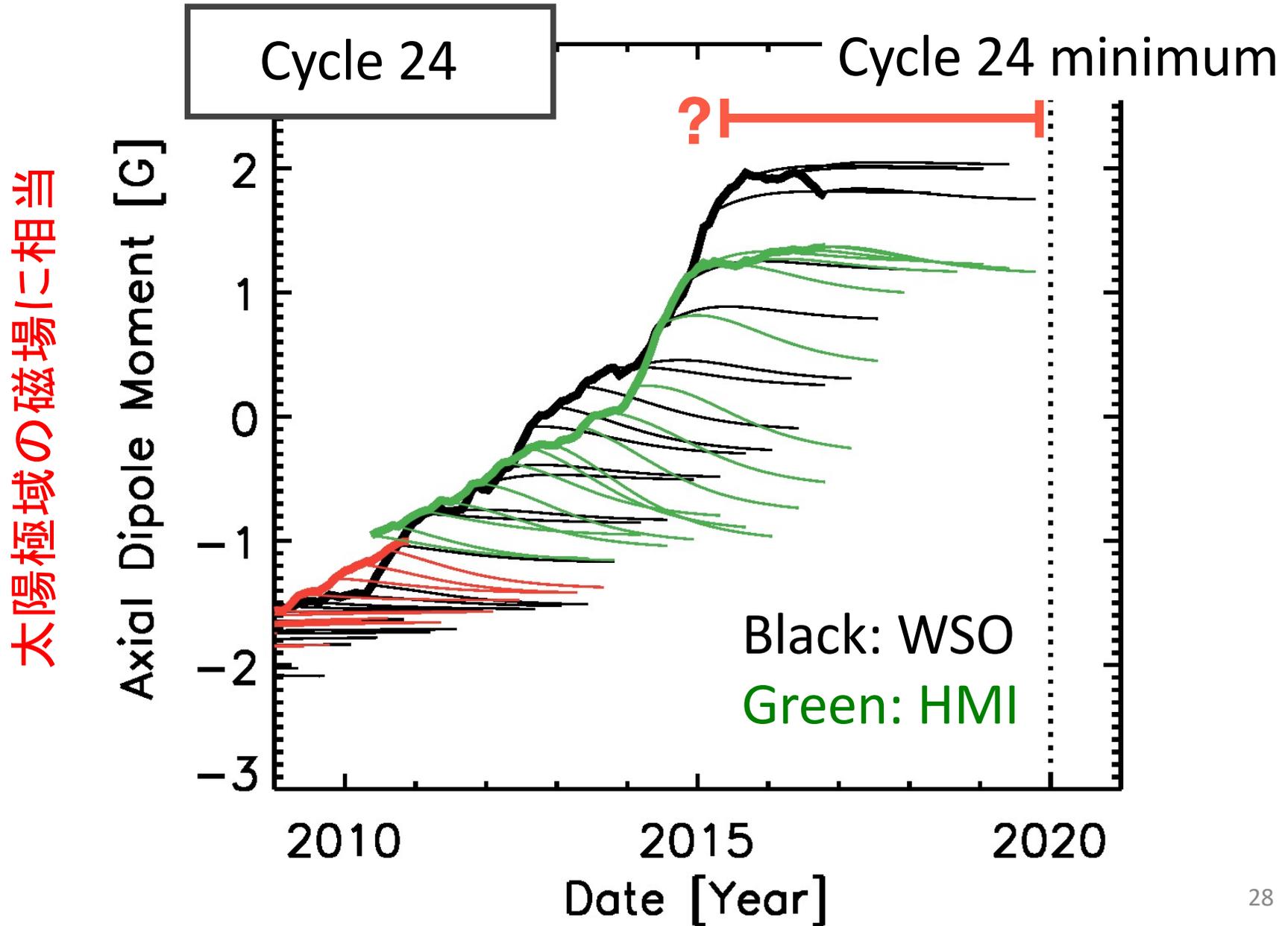
# 予測に向けて



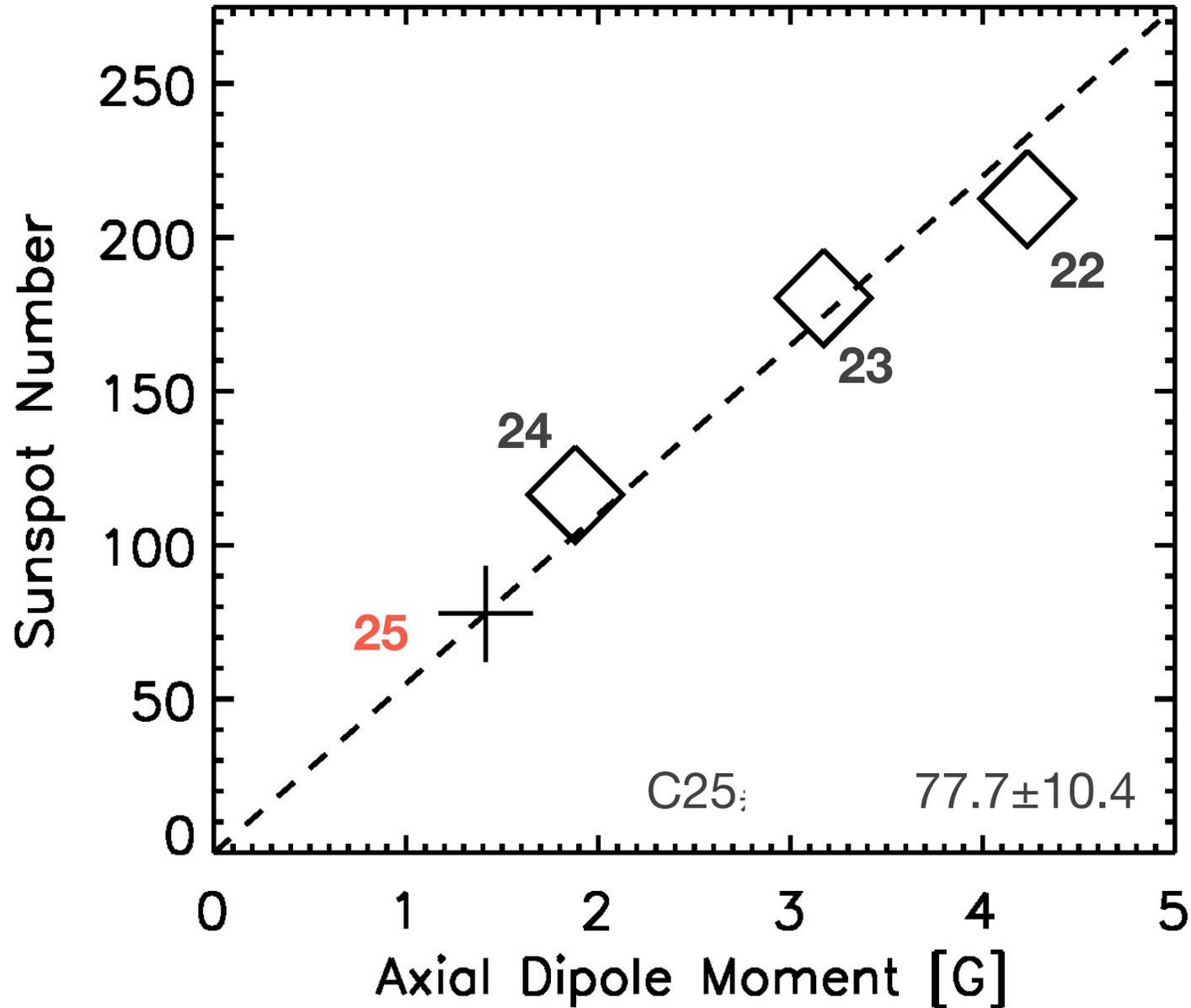
黒点出現を予測するのは非常に困難

いつだったら黒点出現に依存しない  
予測ができるのか？

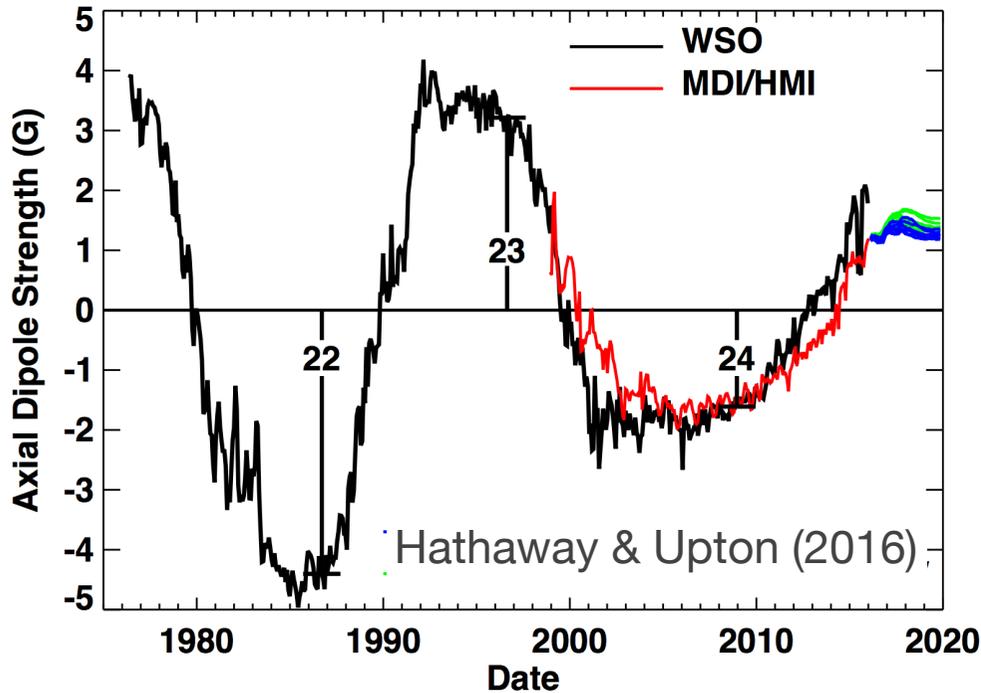
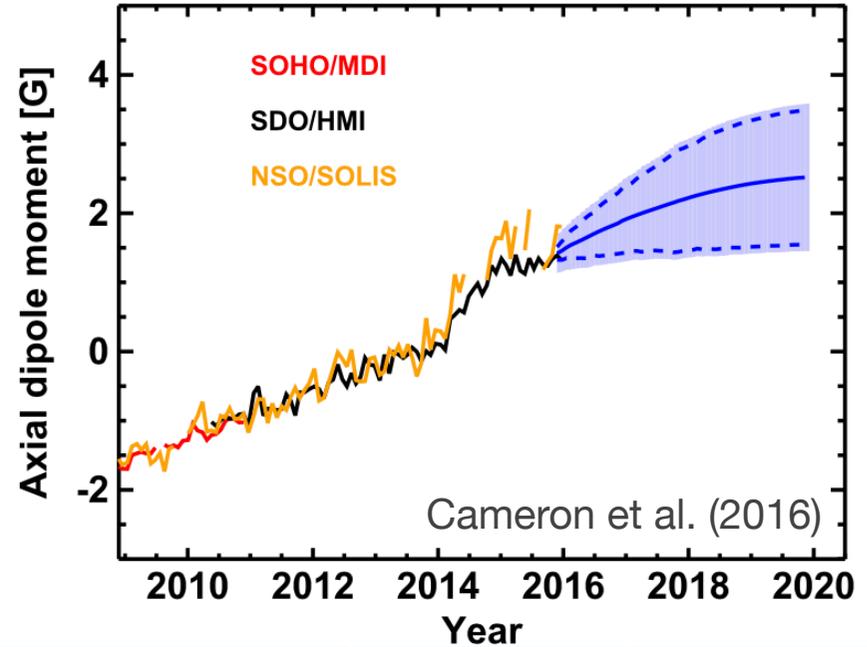
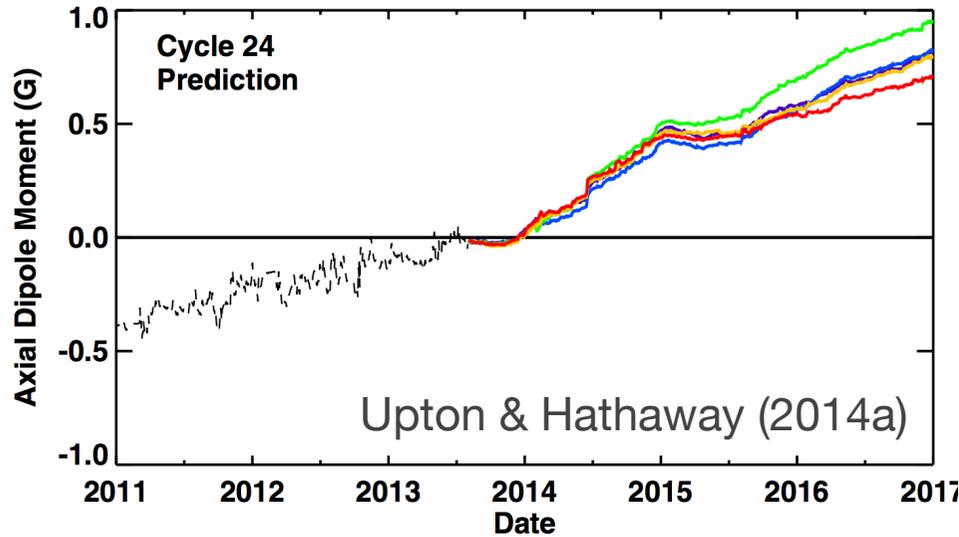
# サイクル24の極小期の極磁場予測



# Next solar cycle prediction

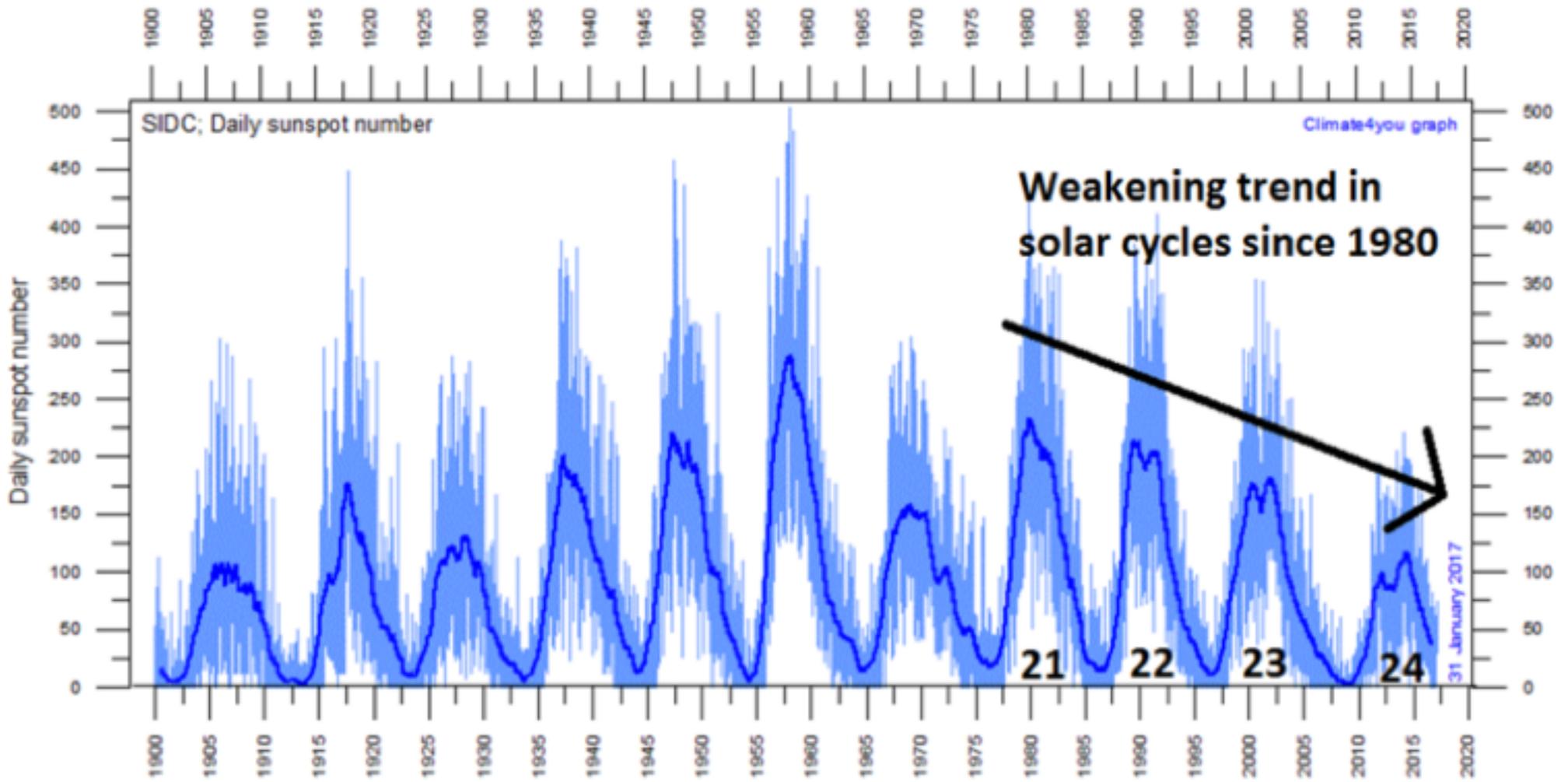


# 他の研究結果と比較



	Year	Prediction
UH14	Mid 2013	$24 \leq 25$
C+16	Begin 2016	$24 \leq 25$
HU16	Mid 2016	$24 \geq 25$
<b>Our Result</b>	2015-2016	<b><math>24 &gt; 25</math></b>

ijima et al. 2017



# まとめ

- 太陽周期活動予測は現在も混沌とした状況
- 太陽活動極小期の極域磁場から予測するのが一番良さそう
- 今のところ、磁気太陽周期活動度は低そう
- 今後マウンダー極小期のようなグランドミニマムになりうるか？ **重要な課題**