

理系大学生のための  
太陽研究最前線体験ツアー  
2011年8月20日



# コンピュータシミュレーションで 探る太陽活動 太陽活動予測の取り組み

名古屋大学太陽地球環境研究所  
名古屋大学理学研究科素粒子宇宙物理学専攻  
太陽宇宙環境物理学研究室



草野完也



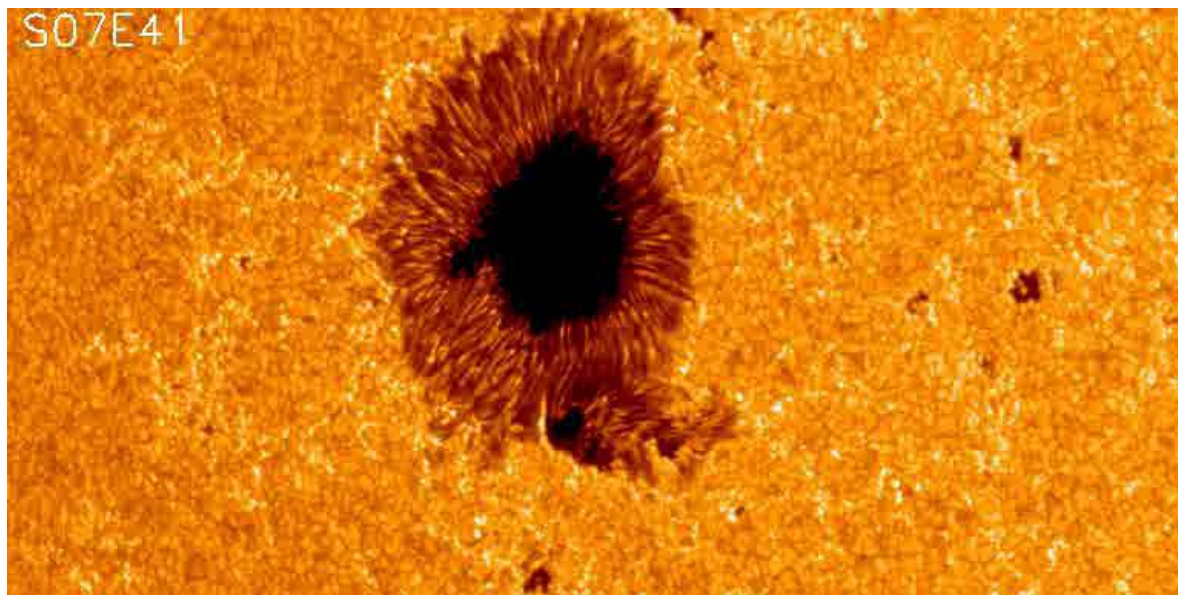
# 太陽活動の予測

---

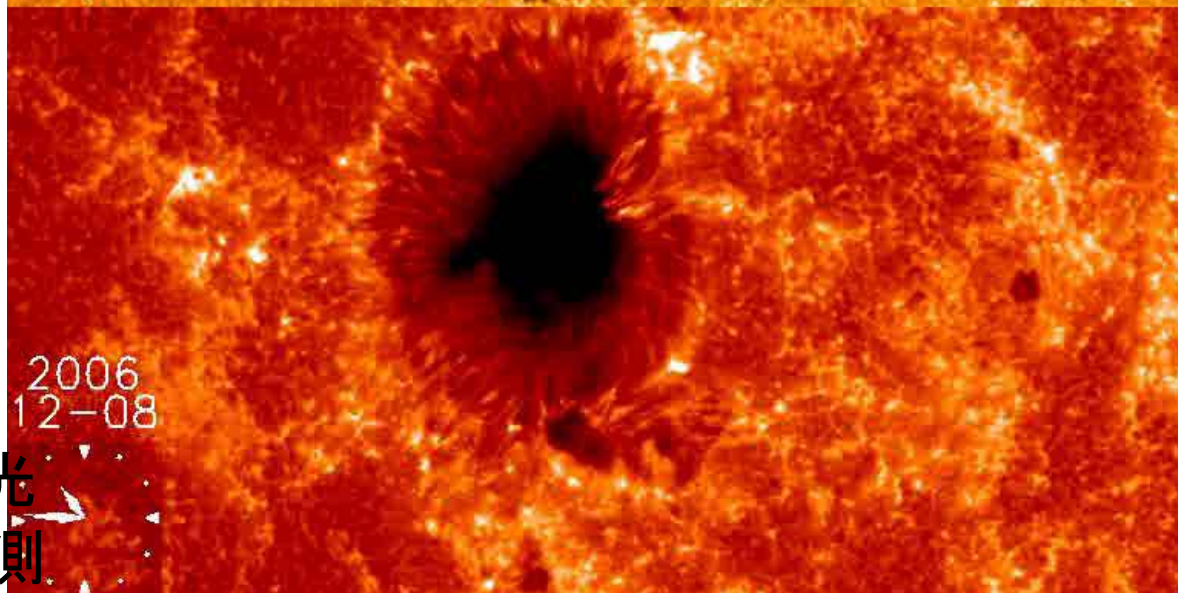
- 太陽フレア活動の予測
  - 「明日、フレアは爆発するか？」
  - 「磁気嵐はいつ起きるか？」
  - 「太陽放射線はいつどの程度増えるか？」
- 太陽黒点活動の予測
  - 「いつ太陽黒点は極大になるか？」
  - 「次の極大期の太陽黒点数はどの程度か？」
  - 「マウンダー型極小期はいつ発生するか？」

# フレア爆発のトリガ問題

いつ、どこで、なぜ、どうやって発生するか？



光球面



彩層

ひので可視光  
望遠鏡の観測

# 黒点の大きさとフレアの規模

大きな  
フレア

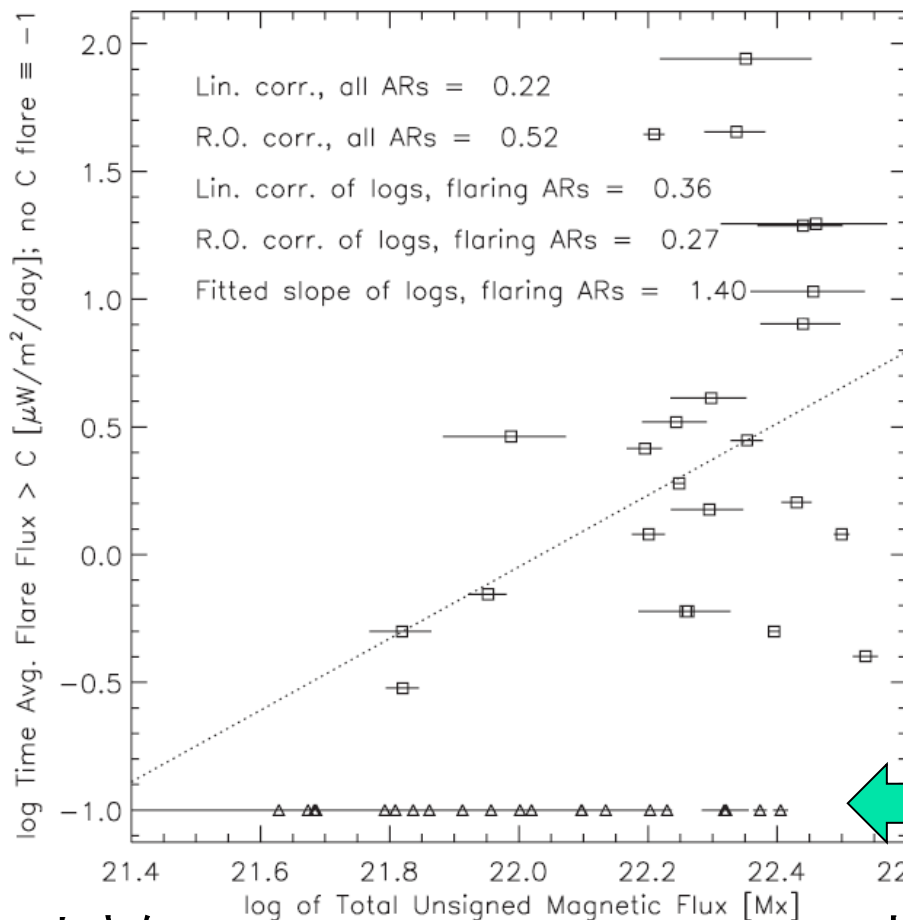
↑

フレアの規模

↓

小さな  
フレア

AR Disk-Passage Avg. Flare Flux vs. Magnetic Flux



Welsch et al.  
2009 ApJ

← フレア無し

小さな  
黒点

黒点の磁束量

大きな  
黒点

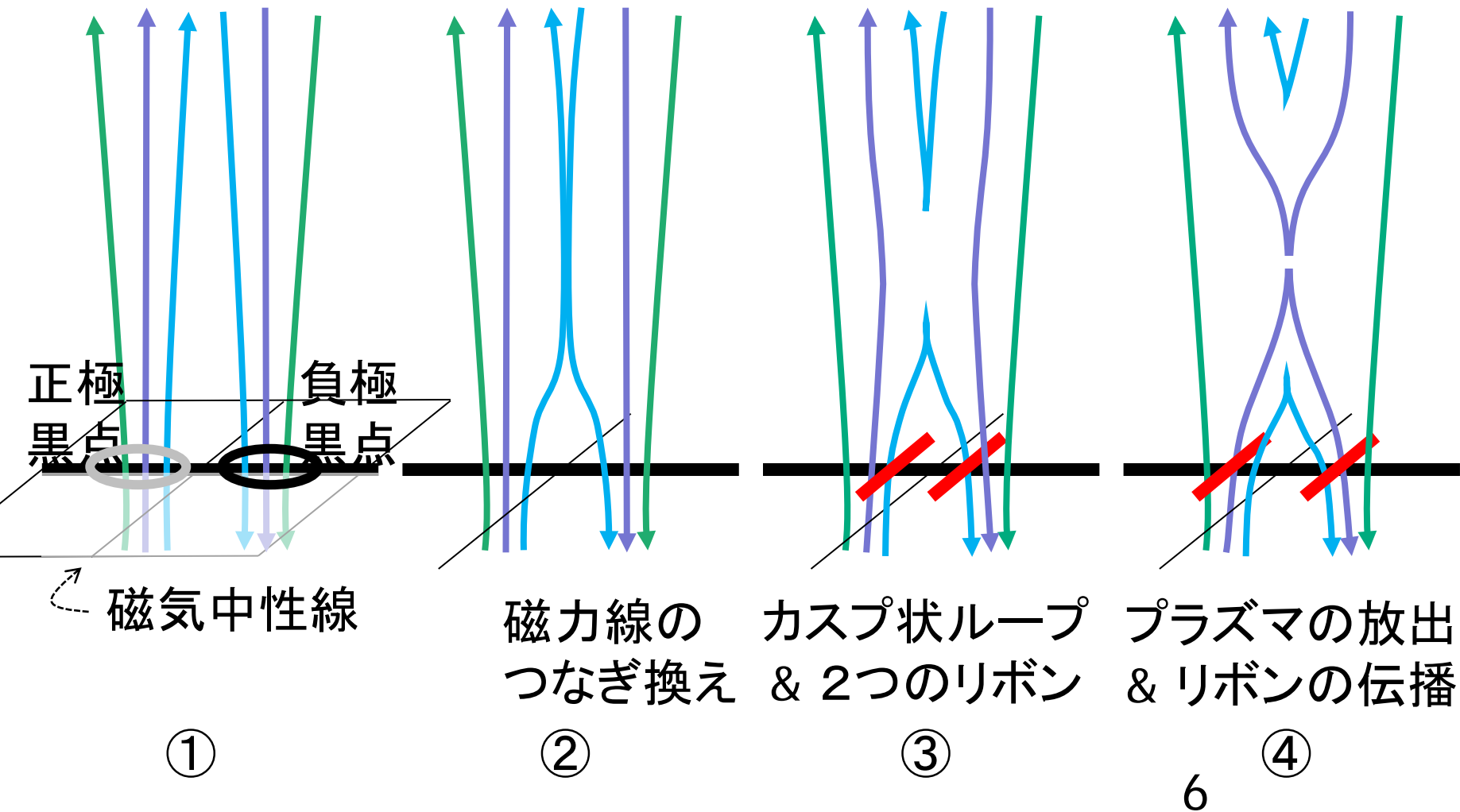
# フレアの発生予測のスコア

■ Skill Score (SS) =  $(n_{ff} + n_{qq} - n_q) / n_f$  for X-flare

1day	2day	3day	year (events)
0.112	-0.147	-0.171	2006 (4)
0.242	0.147	0.127	2005 (13)
0.052	-0.001	-0.044	2004 (9)
0.200	0.093	0.076	2003 (17)
-0.037	-0.050	-0.033	2002 (12)
-0.061	-0.034	-0.006	2001 (18)

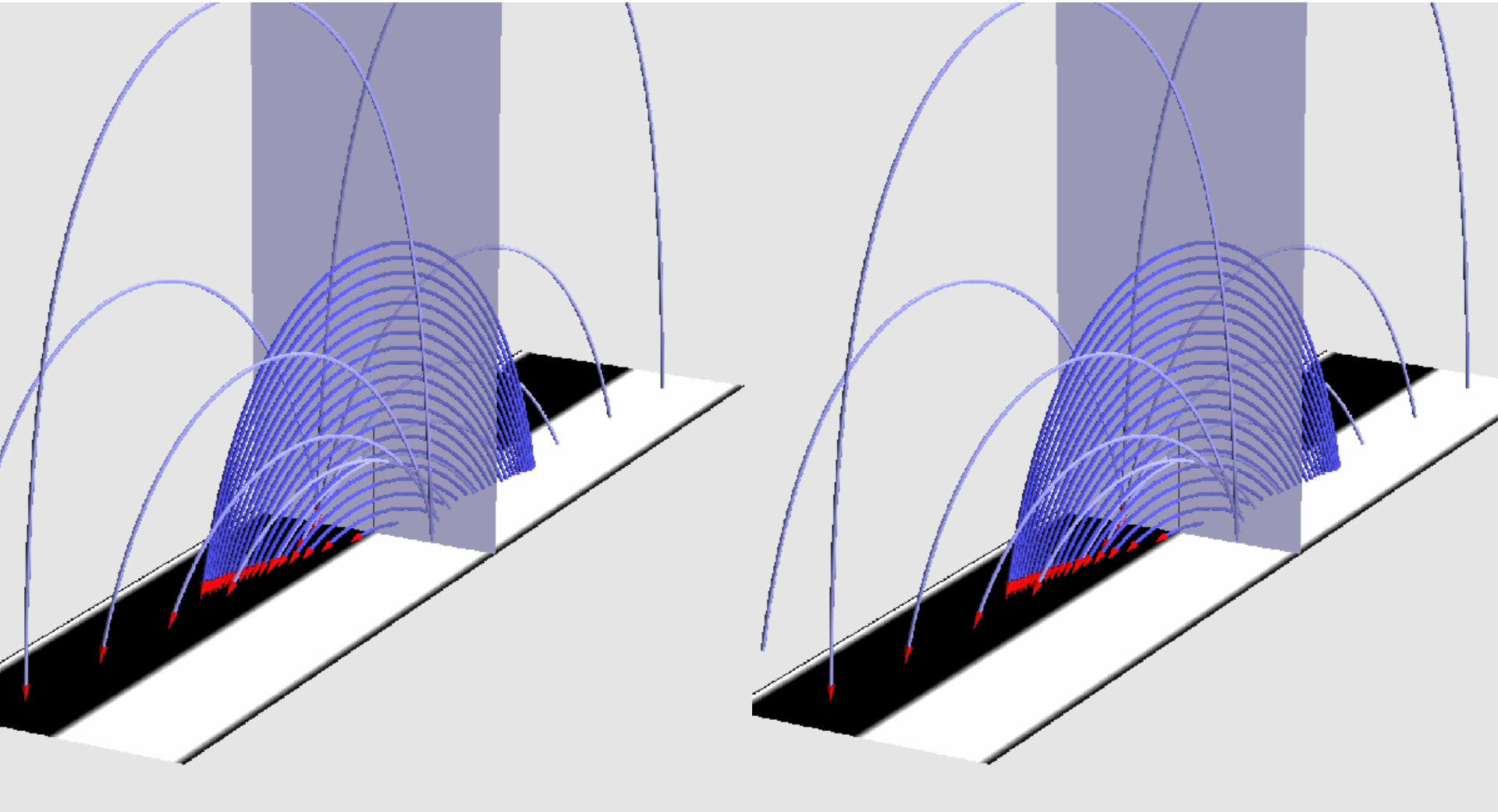
# 太陽フレアのメカニズムは？

## ■ 磁気リコネクション(Re-connection)



# Dependency on Amount of E/Flux

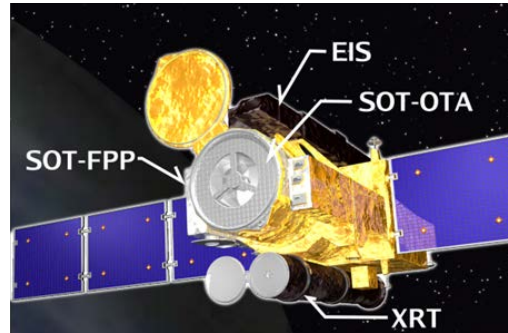
---





# 太陽面爆発の再現と予測の試み

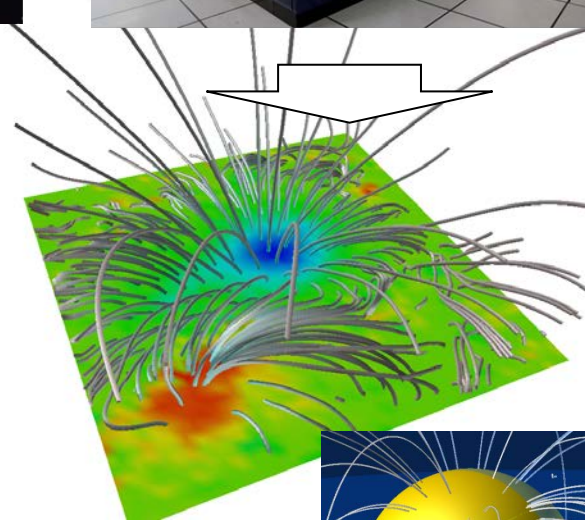
太陽観測衛星



スーパーコンピュータ

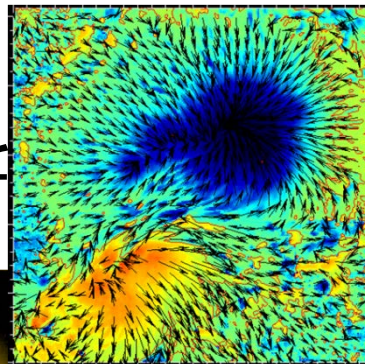


地球シミュレータ

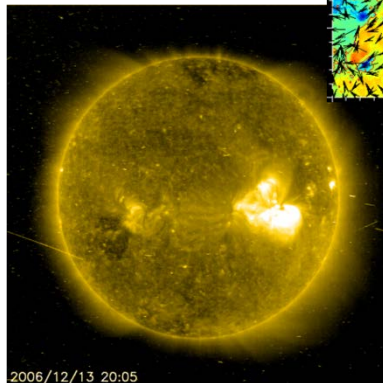
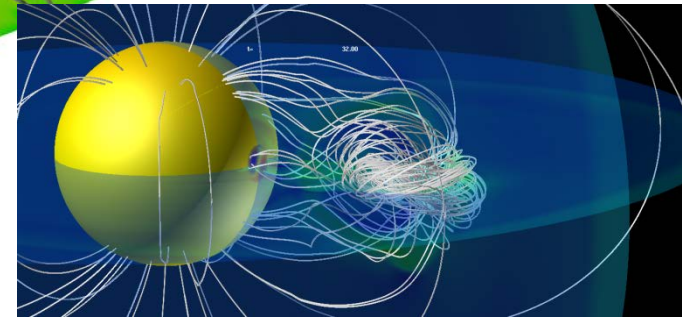


太陽面爆発の再現と予測

太陽黒点と太陽磁場

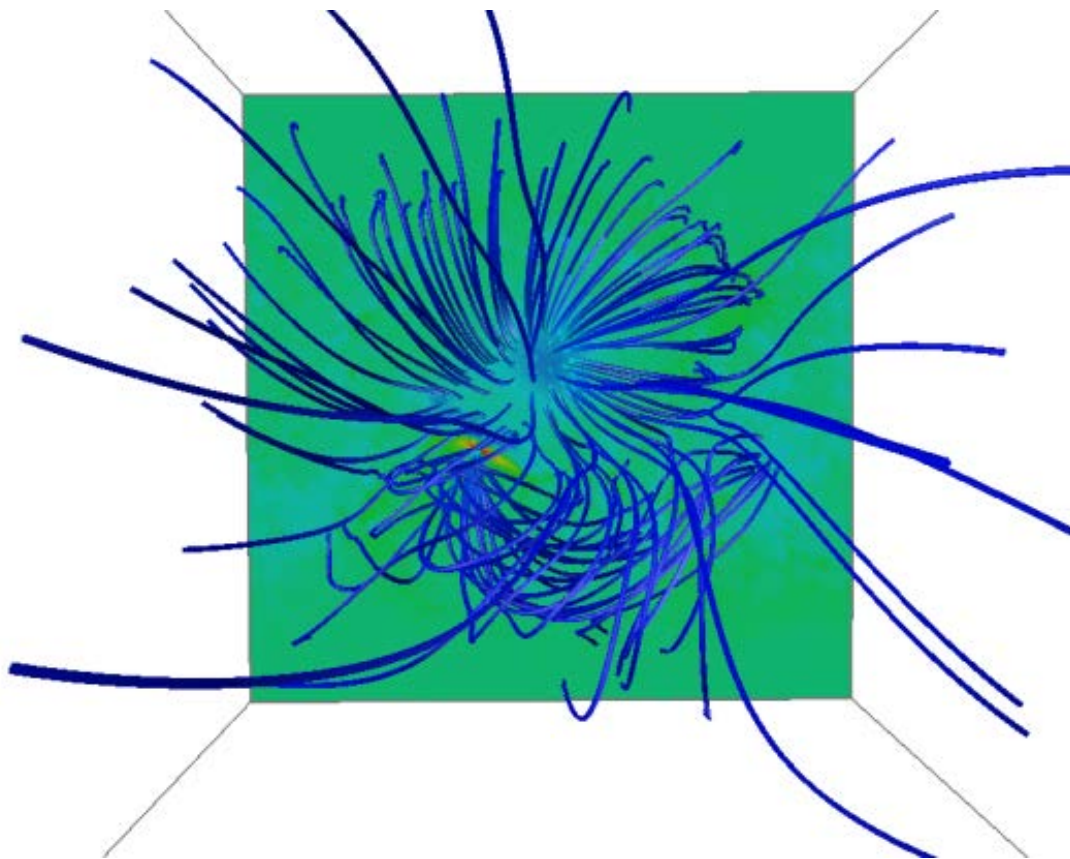


2006年12月13日に発生した太陽フレアとフレア領域における太陽表面磁場

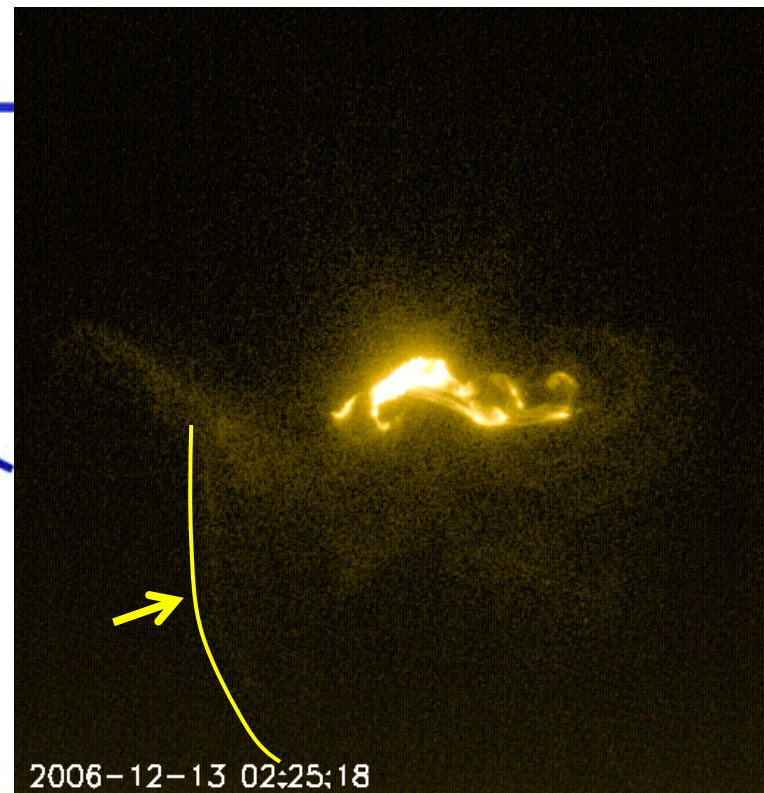




# フレアによる衝撃波形成の再現



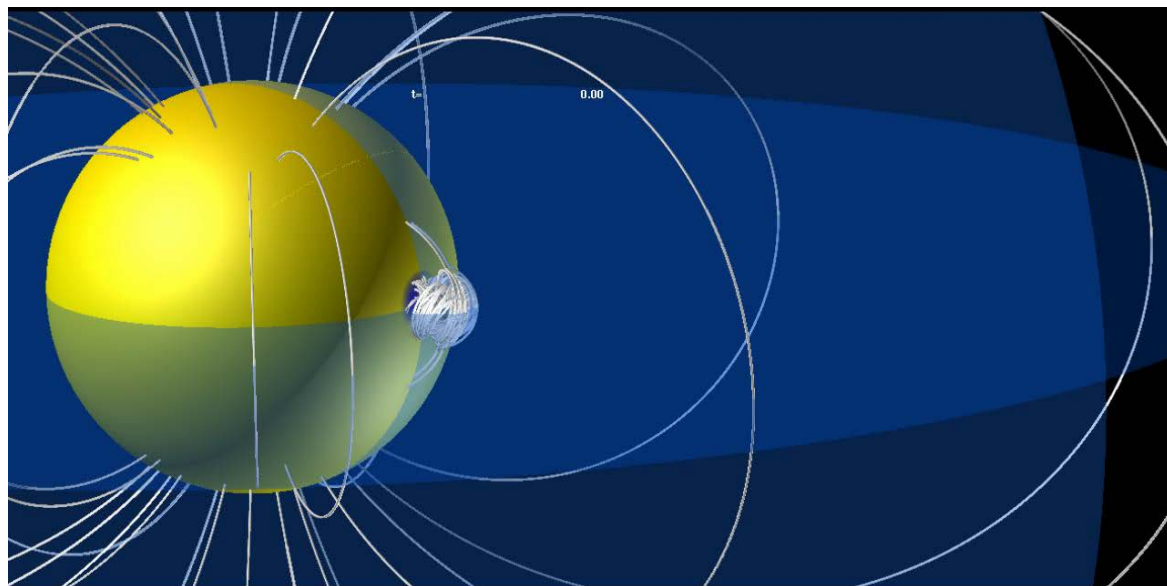
コンピュータシミュレーション



太陽フレアのX線観測  
(ひので衛星)

京都大学浅井歩博士提供

# 宇宙嵐の再現 太陽から地球へ

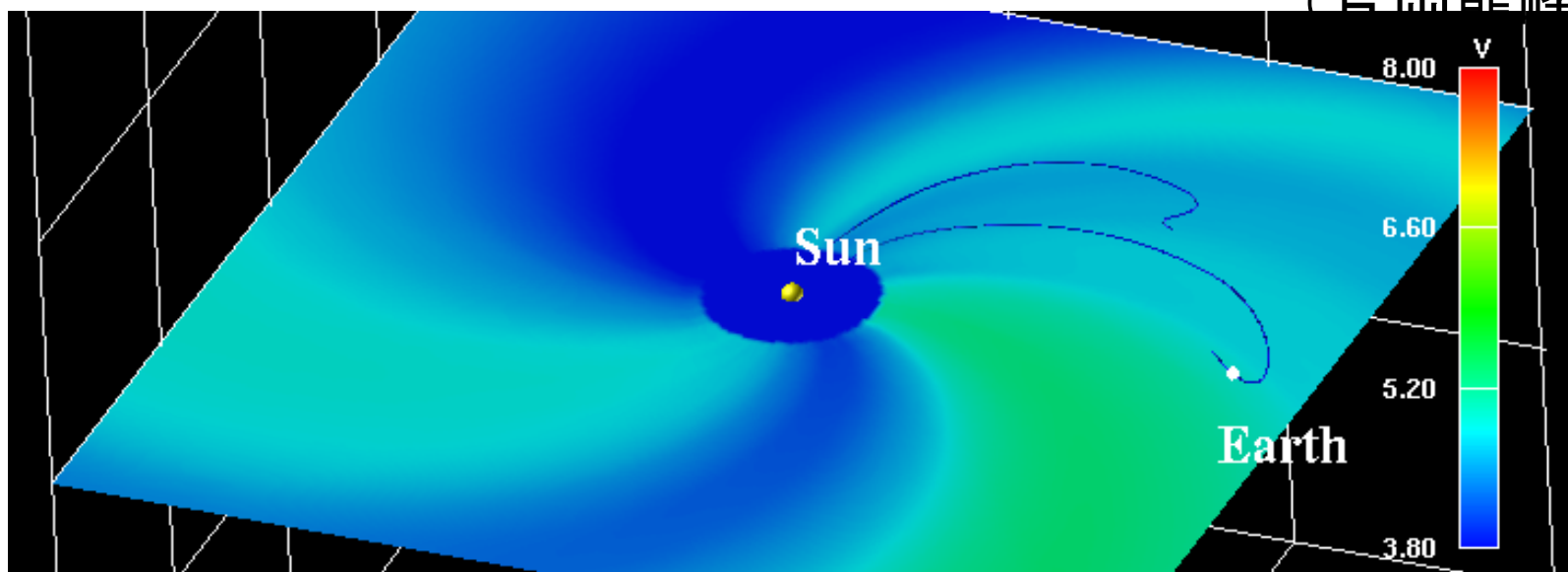


コロナ質量放出  
シミュレーション

(塩田大幸)

惑星間空間コロナ質量  
放出シミュレーション

(片岡龍峰)

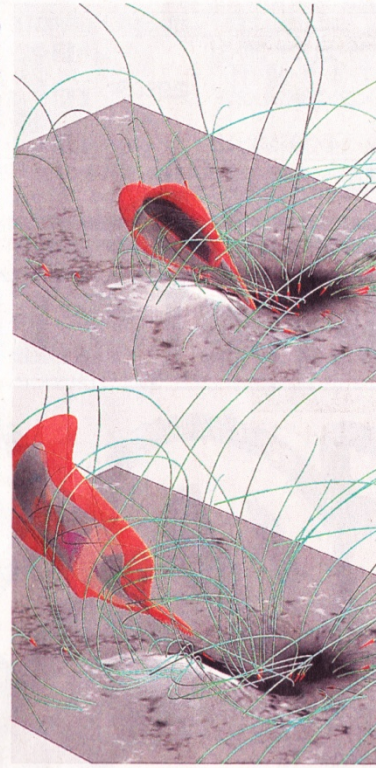




# 太陽嵐 スパコンで再現

「宇宙天気予報」精度アップ期待 京大など

太陽表面の爆発（フレア）で「太陽嵐」が起こり、地球周辺の磁場を乱すまでの過程を、京都大、名古屋大などの研究チームがスパコンで再現することに成功した。太陽嵐やその影響を予測する「宇宙天気予報」



①太陽表面の爆発でプラズマ（赤）、磁力線（緑）が噴出する様子を再現した図②プラズマはさらに広がり、磁力線（緑）の方向や密度が変化した

線通信や船や航空機の航行システムの乱れが発生したりする。チームは、太陽観測衛星「ひのこ」がキャッチした2006年12月13日の太陽の爆発現象のデータを解析。太陽で電離した気体「プラズマ」が大量に発生し、エネルギーを伝えて太陽嵐を起こす様子を、海洋研究開発機構のスパコン「地球シミュレータ」で再現した。

現在の宇宙天気予報は、太陽黒点の大きさや形などから経験的に予測している。この研究は、爆発後、地球に影響が出るまでの複雑な現象を数値シミュレーションする試み。爆発現象の仕組み解明にもつながり、将来は爆発そのものの予測もめざす。

「将来、宇宙天気予報に使える技術になるだろう」とチームの草野完也・名古屋大学太陽地球環境研究所教授は話している。（瀬川茂子）

新聞

新

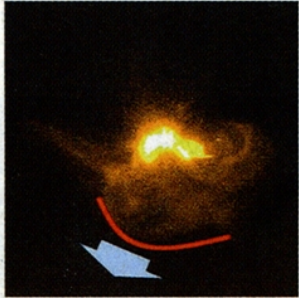
日

中

# 進む「宇宙天気予報」

名大など成功

名古屋大と京都大らの研究グループが、地球周辺の衛星通信や地上の電力網などに深刻な障害を引き起こす太陽の活動をシミュレーションすることに成功した。太陽活動や磁気嵐などを予測する「宇宙天気予報」の進展にもつながる成果で、二十六日に日本天文学会で発表される。



## 太陽活動や磁気嵐を把握

草野完也名大教授（太陽地球環境学）や柴田一成京大教授（太陽宇宙プラズマ物理学）らは、日本の太陽観測衛星「ひのこ」を使い、二〇〇六年十二月に太陽表面で起きた巨大爆発「太陽フレア」の磁場の強さや向きなどを詳細に観測。

このデータを基にスーパーコンピュータを使って三次元モデルを作り、磁力線のねじれた太陽表面の黒点近くからフレアが発生し、太陽風の激しい乱れが生じて地球に届き、磁気嵐が起こるまでの一連の現象を再現することに成功した。

現在は黒点活動が活発になってきている時期で、一三年にピークを迎えると考えられるが、経験則に基づいた大ざっぱな宇宙天気予報しかできていない。草野教授らは「今後は太陽フレアのメカニズムの解明や、物理法則に基づいた詳細な宇宙天気予報を目指したい」と話している。

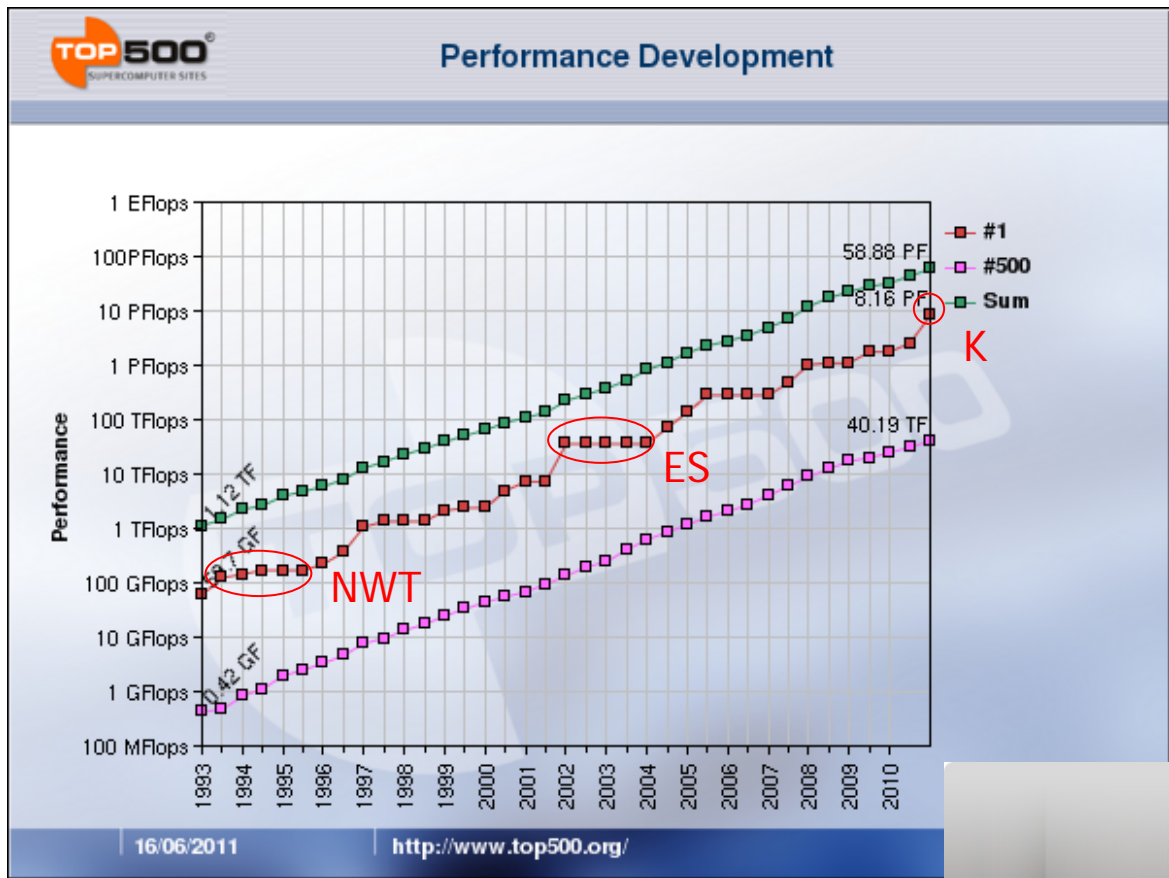
太陽フレアのエクソス線像①と、3次元シミュレーションで再現された磁力線と衝撃波面。矢印の方向に衝撃波が伝わっている

宇宙航空研究開発機構と草野教授の提供

中日新聞2010年3月16日



# 第2の望遠鏡としてのコンピュータ



ムーアの法則  
Doubling time

cpu クロック 3年

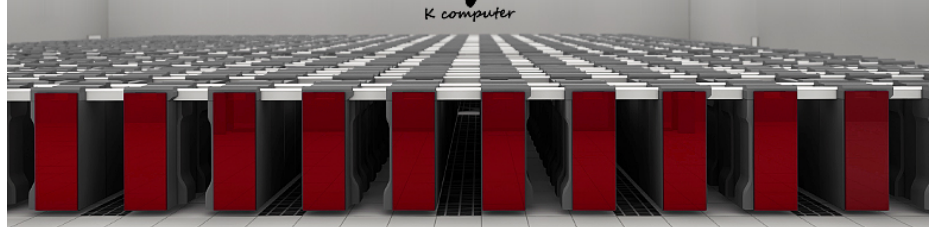
cpu 性能 1.8年

スーパーコンピュータ  
1.2年(20年で10万倍)

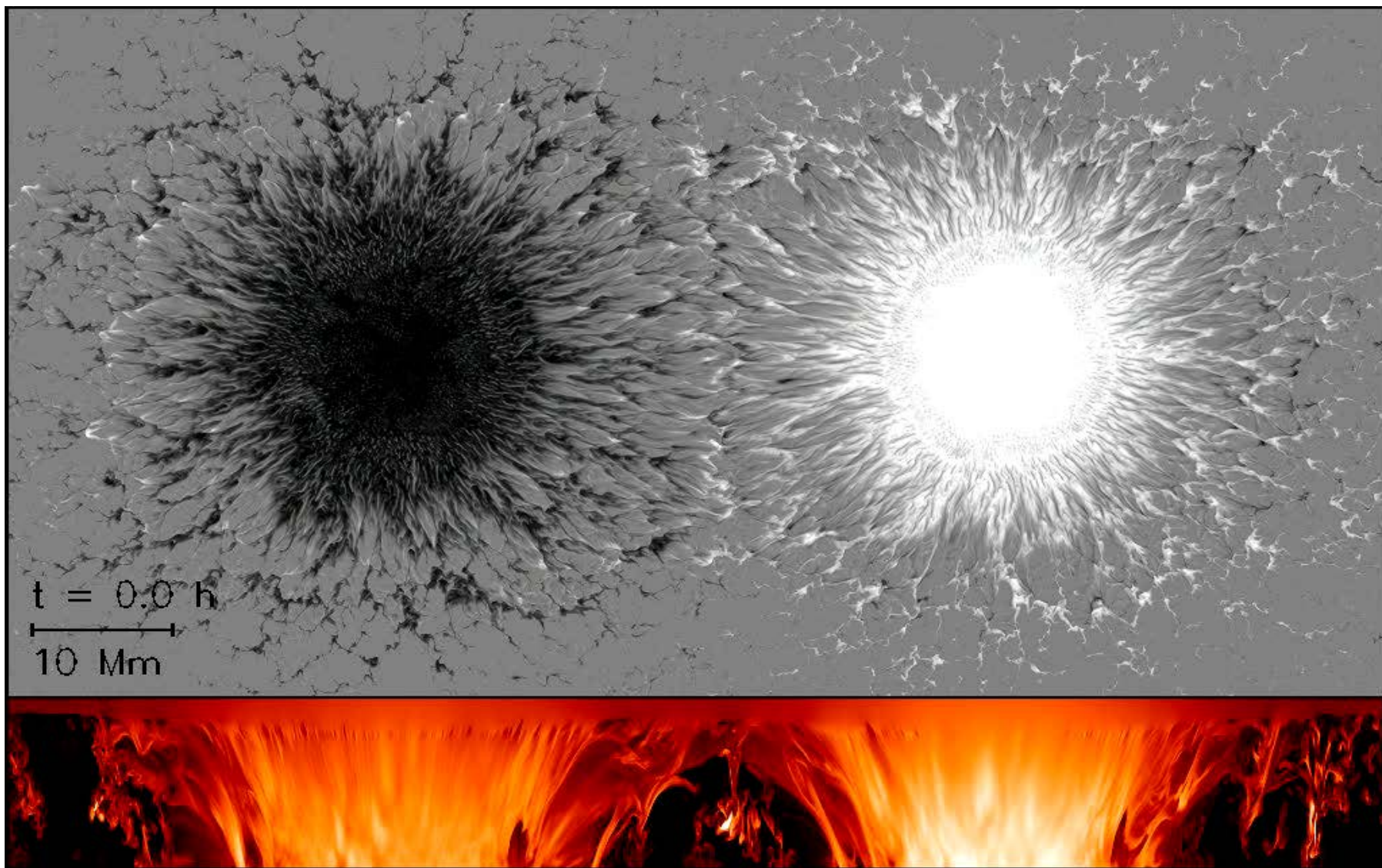
"The Singularity is Near"  
by Ray Kurzweil



地球シミュレータ

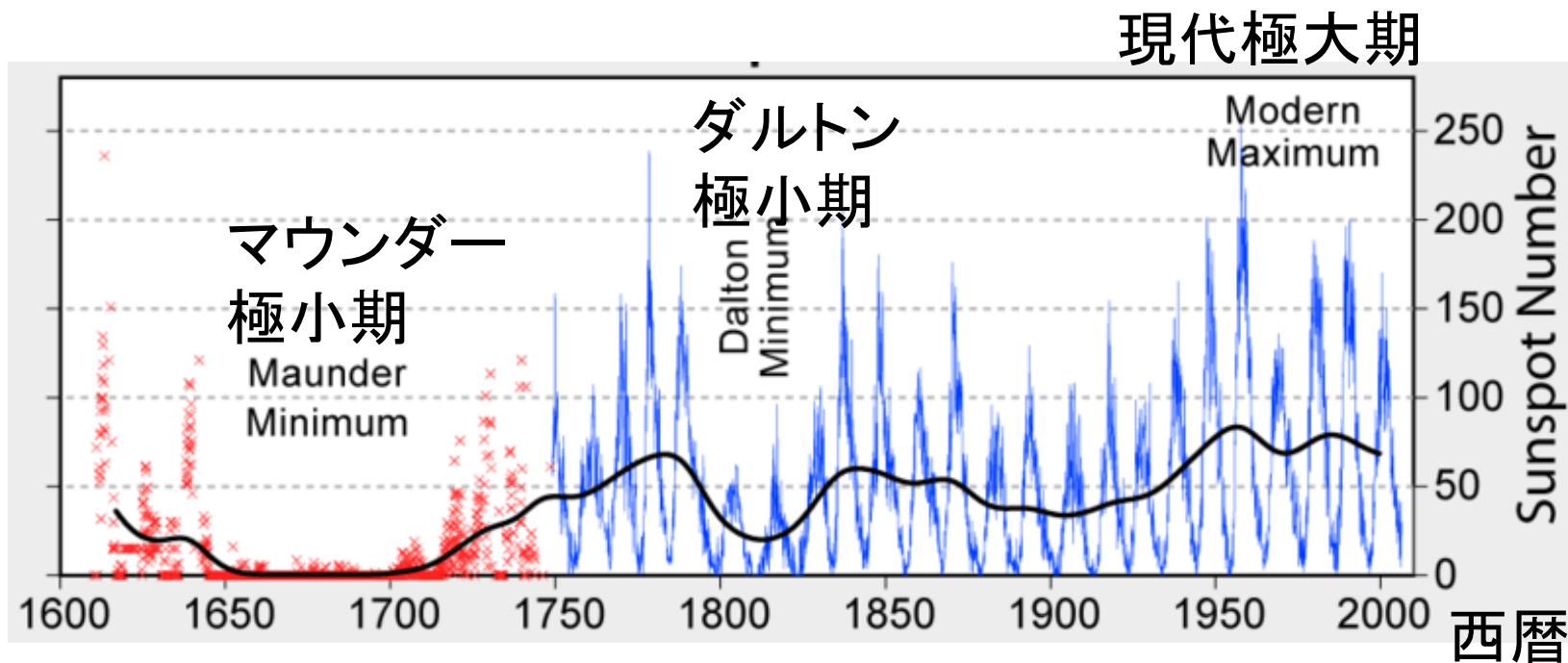


# 黒点のコンピュータシミュレーション





# 太陽黒点の長期変動と“小氷期”



「凍るテムズ川(1677)」

[http://en.wikipedia.org/wiki/File:The\\_Frozen\\_Thames\\_1677.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:The_Frozen_Thames_1677.jpg)

小氷期: 16世紀から18世紀の比較的寒冷であった時代



アントニオ・ストラディバリ(1644~1737)

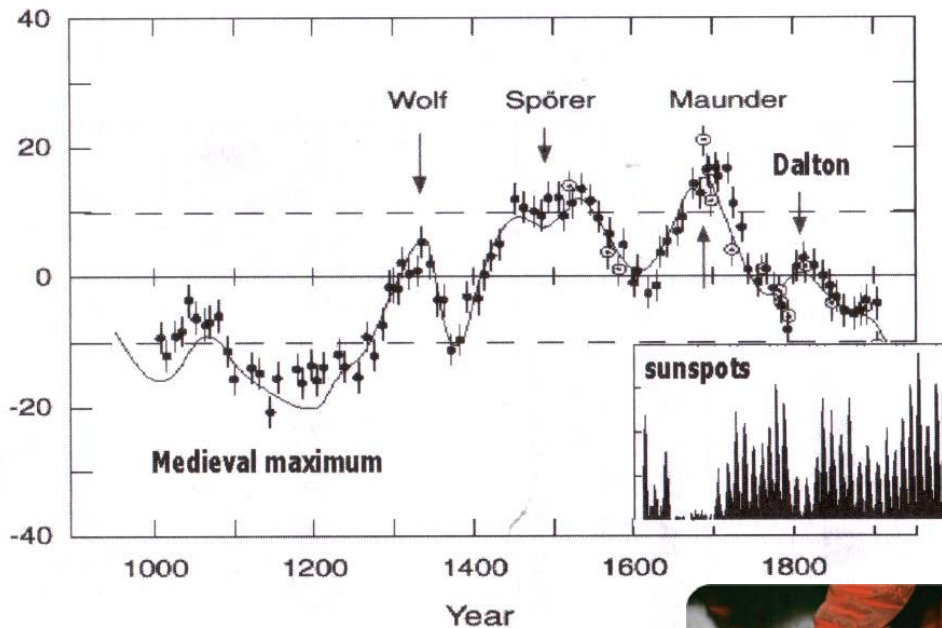


# 過去の太陽を探る“第3の望遠鏡”

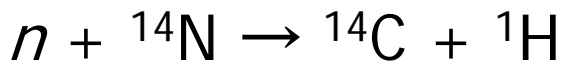
宇宙線大  
太陽活動小

宇宙線小  
太陽活動大

Carbon-14 deviation (x 10<sup>-3</sup>)



宇宙線



窒素



炭素同位体

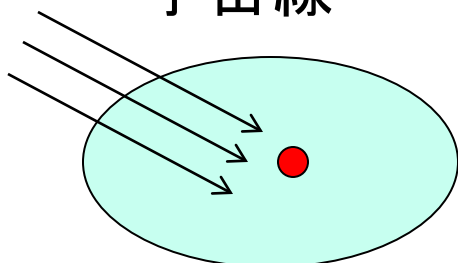


縄文杉

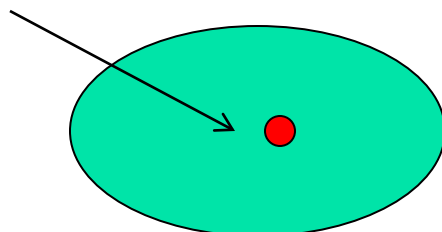


Figure 6. Variation of the <sup>14</sup>C production rate in the terrestrial atmosphere as a proxy for solar activity. Due to the long residence time of <sup>14</sup>C of 30–40 years, the 11-year cycle of solar activity, the Dalton minima, as well as earlier grand minima, clearly appear as maxima in the <sup>14</sup>C production rate.

宇宙線



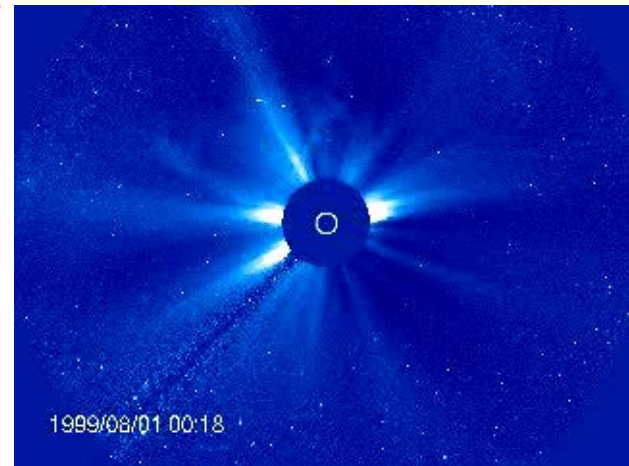
黒点極小



黒点極大

太陽風

太陽圏  
磁場



# 過去の太陽活動と気候変動

## 北半球平均気温

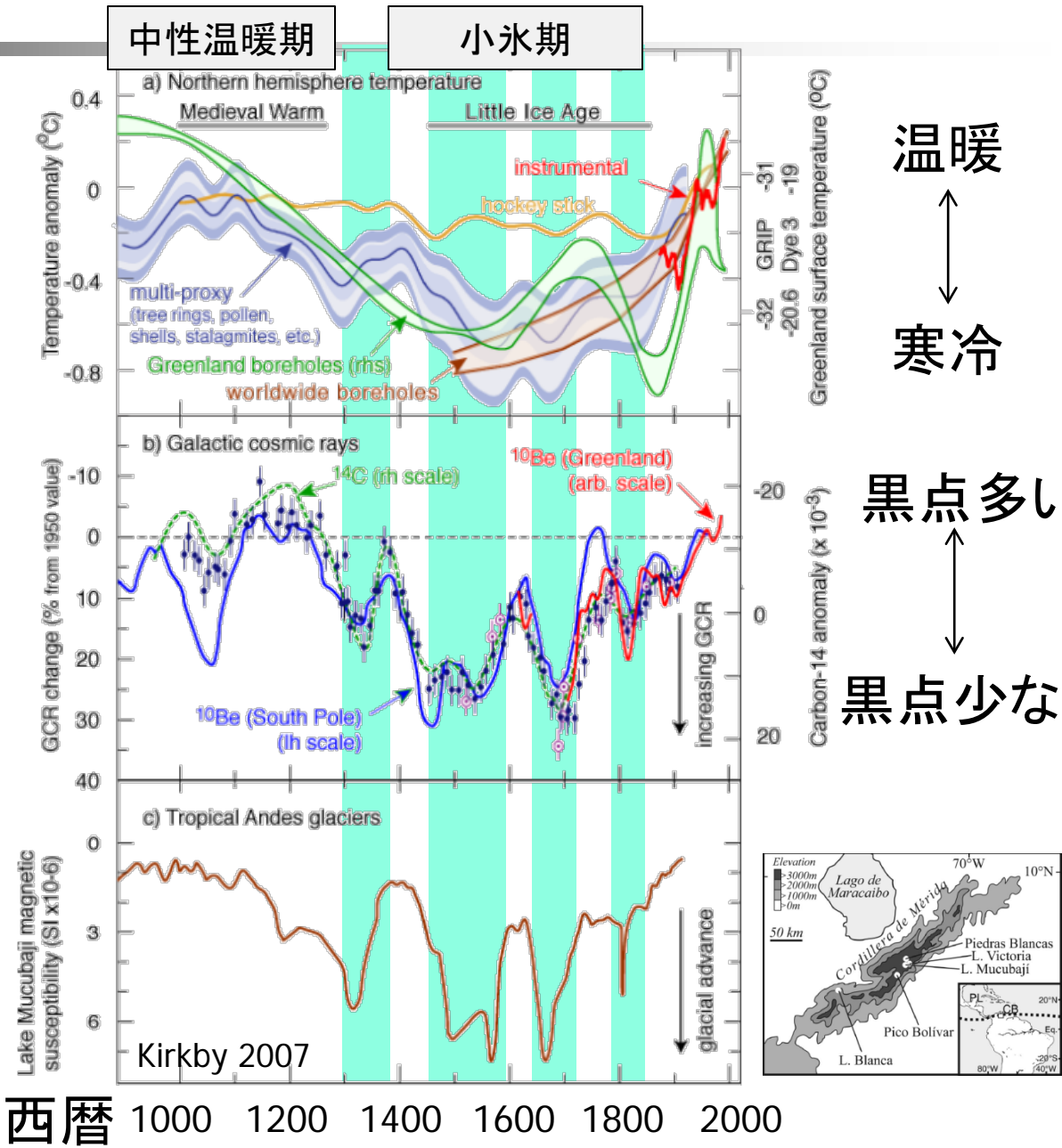
Mann et al. 1998, 1999  
 Moberg et al. 2005  
 Pollack & Smerdon 2004  
 Dahl-Jensen et al. 1998

## 宇宙線生成核種 $\Delta^{14}\text{C}$ (太陽活動指標)

Stuiver and Quay 1980  
 Klein et al. 1980  
 Raisbeck et al. 1990  
 Usoskin et al. 2002

## 熱帯アンデス氷河

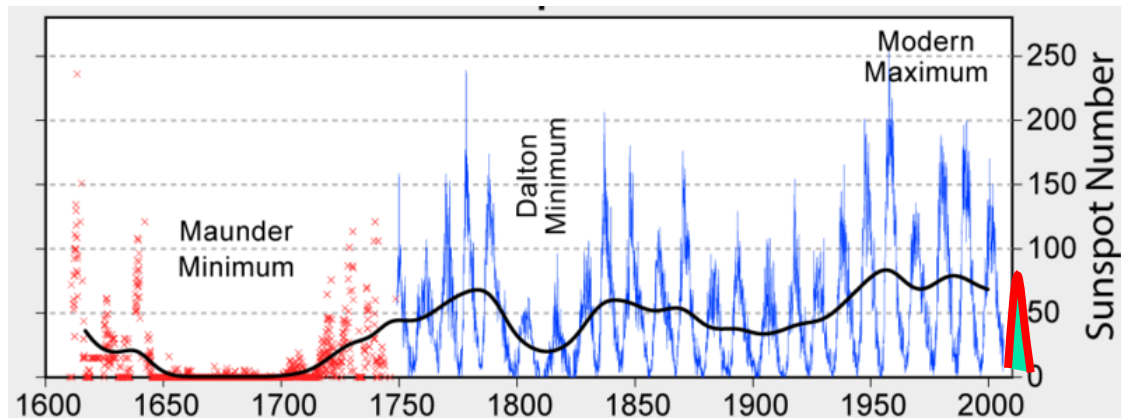
Polissar et al. 2006



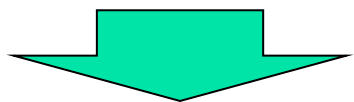
西暦 1000 1200 1400 1600 1800 2000



# 太陽周期24の異常

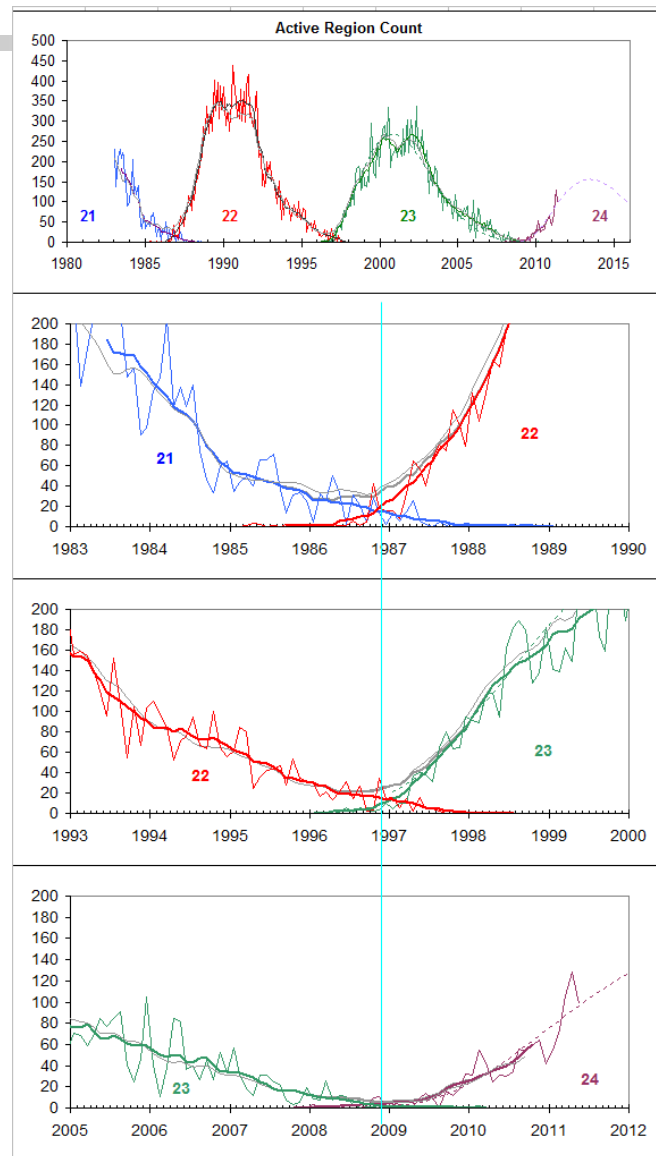


次期太陽極大は100～200年ぶりの低活動となるとの予測。



太陽活動の観測と監視が重要  
太陽変動機構の解明

宇宙・地球環境に対する影響



# Predicting Cycle 24

## The Third Official Prediction Panel

D.A. Biesecker (NOAA/NWS/SWPC)

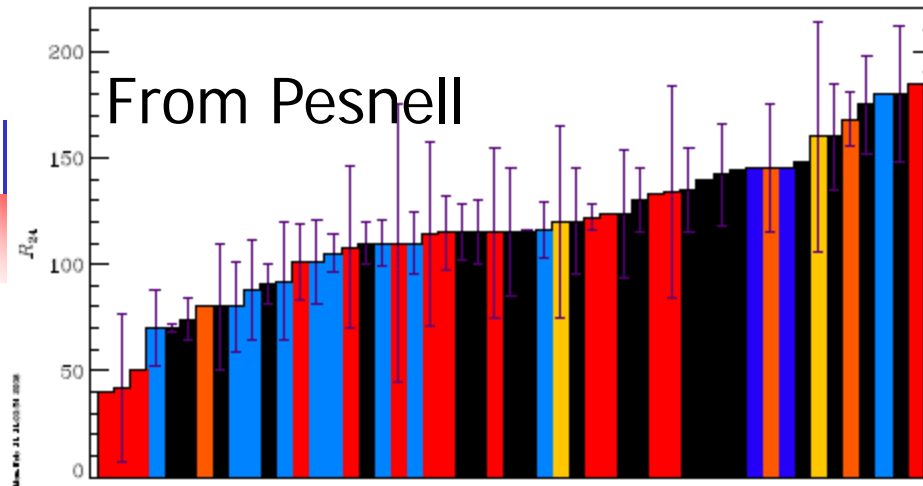
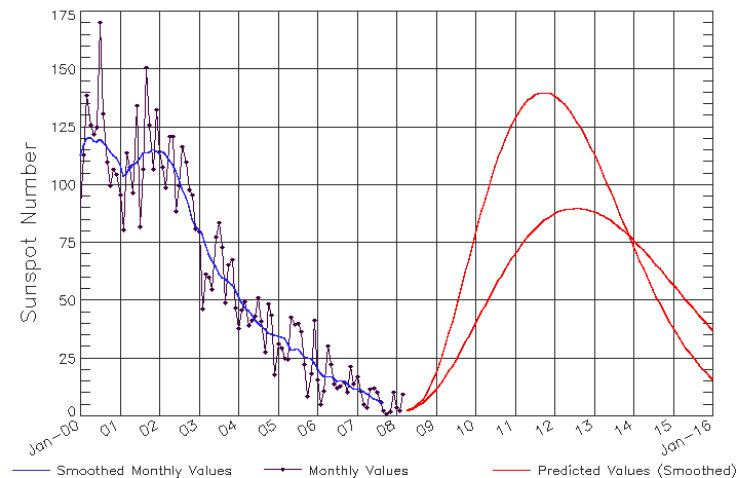


Table 2: Summary of Predictions for Solar Cycle 24

Category	Number	Average	Range
Combined	51	118 ± 34	40–185
Climatology (C)	14	107 ± 40	40–185
Recent Climatology (R)	2	140 ± 30	120–160
Physics-based Models (B)	3	131 ± 45	80–168
Spectral (S)	10	105 ± 30	70–180
Neural Network (N)	2	145	145–145
Precursor (P)	20	124 ± 30	70–180

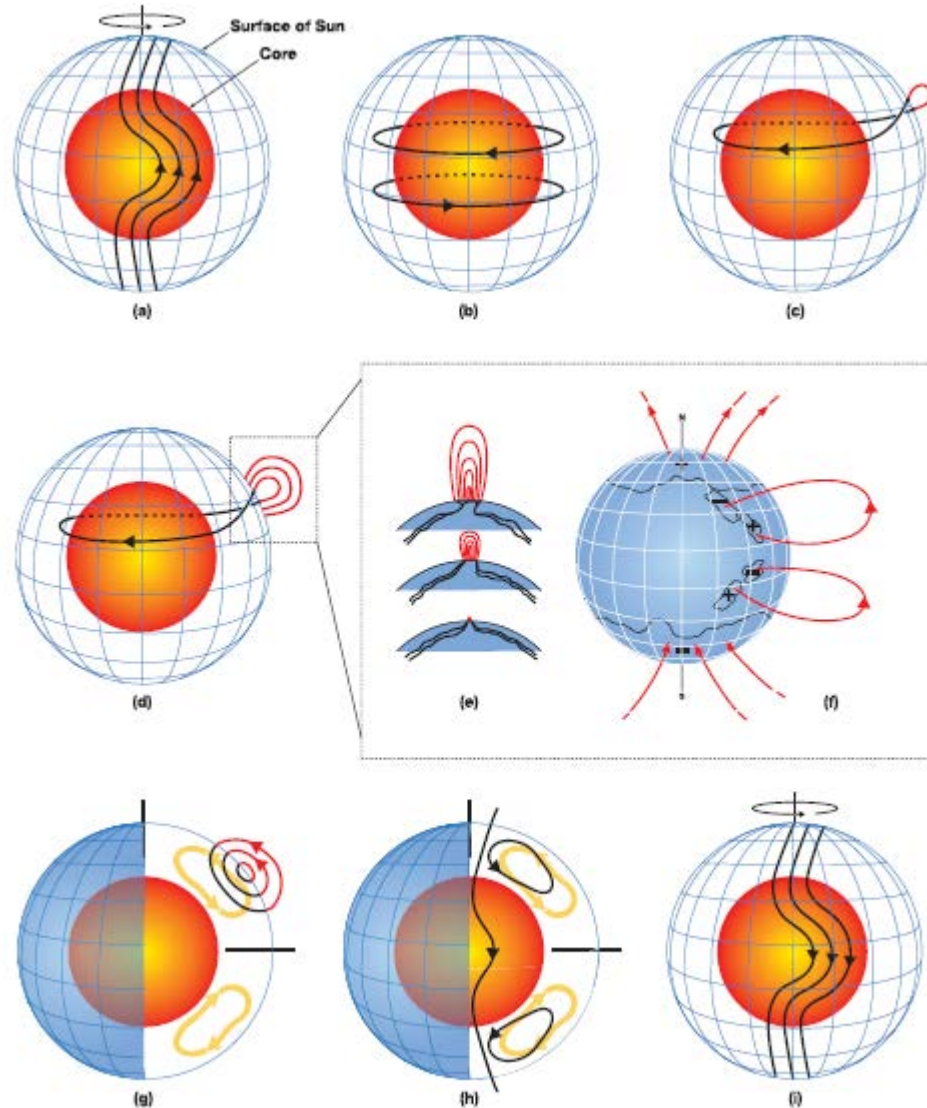
- Climatology and Recent Climatology
- Spectral and Neural Network
- Precursor
- Physics Based

ISES Solar Cycle Sunspot Number Progression  
Data Through 31 Mar 08



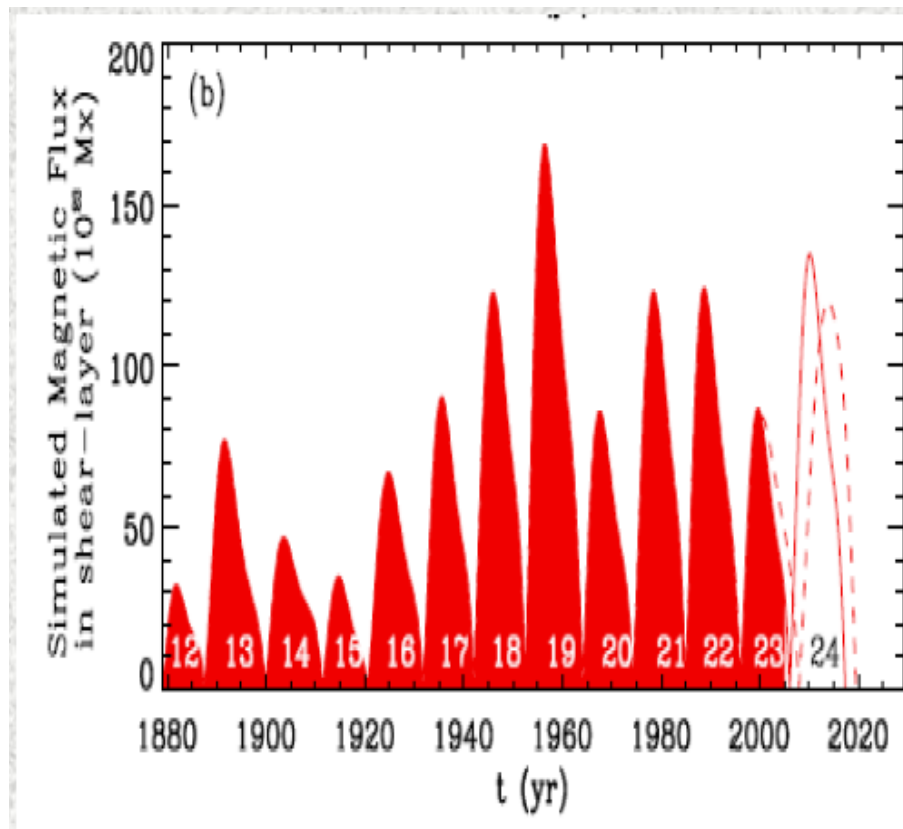


# 磁束輸送ダイナモ・モデル

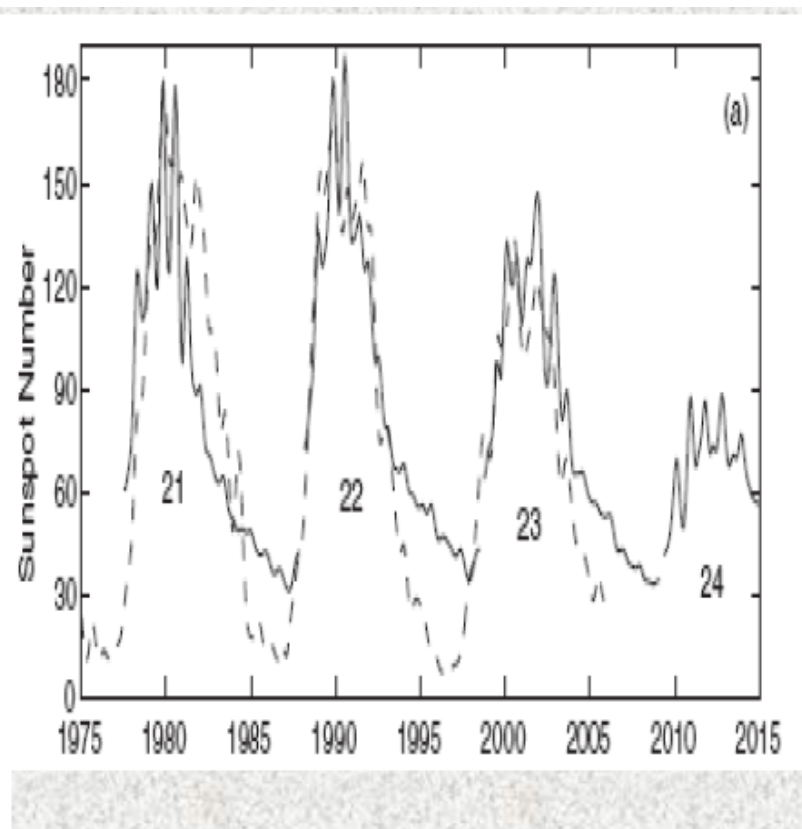


# 太陽活動の予測モデル

- 2つのほぼ同じ磁束輸送モデルは、過去の活動を共に再現するが、サイクル24(未来)の予測値は極端に異なる。



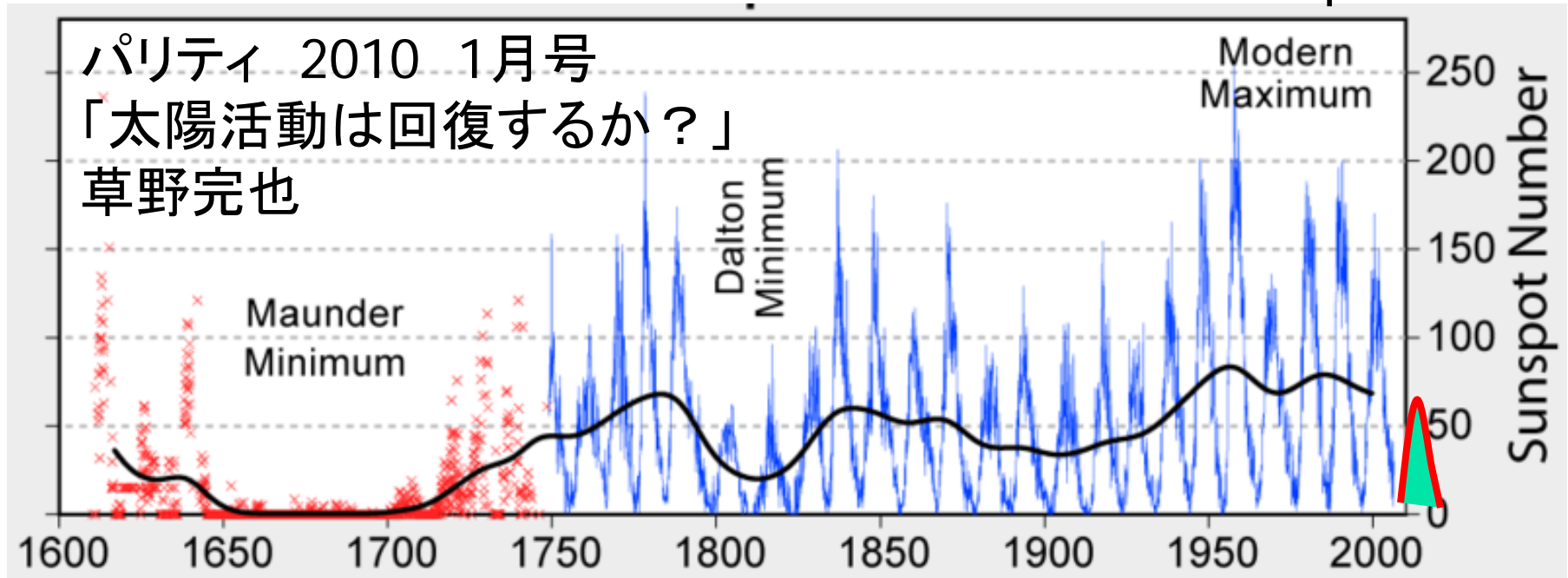
Dikpati et al. (2006)



Choudhuri et al. (2007)

# 太陽黒点活動と極域磁場の関係

Wikipediaより



## 活動領域数の変化

