

宇宙天気と宇宙気候 太陽活動を予測する —名古屋大学での太陽研究の紹介—

名古屋大学太陽地球環境研究所
総合解析部門 (SSt研)
草野完也
(kusano@nagoya-u.jp)

1

自己紹介

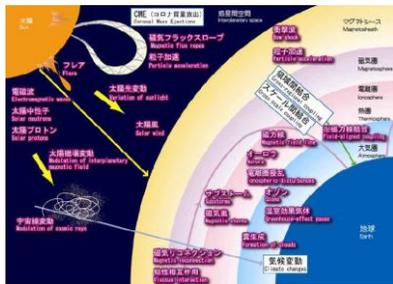
Who I am

- 草野完也 (Kanya Kusano)
- 経歴
 - 北大物理、広大物性・物理科学・先端物質科学
 - 海洋研究開発機構/JAMSTEC
 - 地球シミュレータセンター、地球内部ダイナミクス領域
 - 名古屋大学 太陽地球環境研究所 教授 (2009.7-)
- 専門
 - 太陽・宇宙・核融合プラズマ物理学 (plasma physics)
 - 非線形電磁流体力学、ダイナモ理論 (MHD, dynamo)
 - シミュレーション科学 (simulation sciences)
 - 宇宙天気・宇宙気候 (space weather, space climate)
 - 雲物理 (cloud physics)
- 所属学会
 - 日本天文学会、日本物理学会、地球電磁気・地球惑星圏学会、プラズマ・核融合学会、JpGU, AGU, AAS, APS, IAU



太陽と地球をつなぐもの

- 粒子: プラズマ、高エネルギー粒子
- 場: 電磁波 (電波、光、紫外線、X線)、磁場

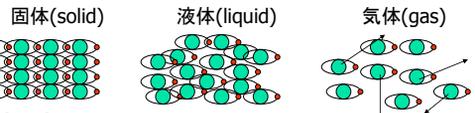


3

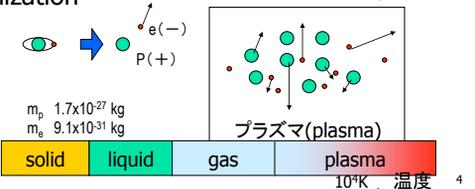
プラズマって何?

Three phases

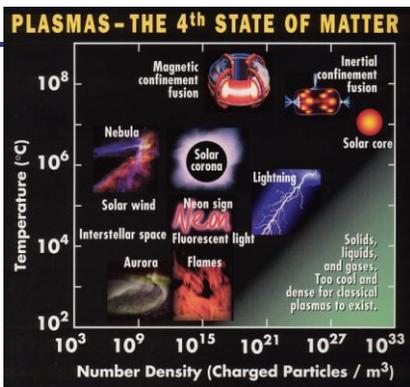
相転移 (phase transition)



ionization



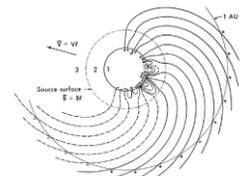
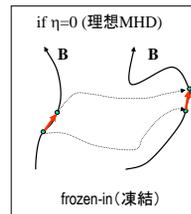
4



2010/8/17

電磁流体力学(MHD magneto-hydro-dynamics)

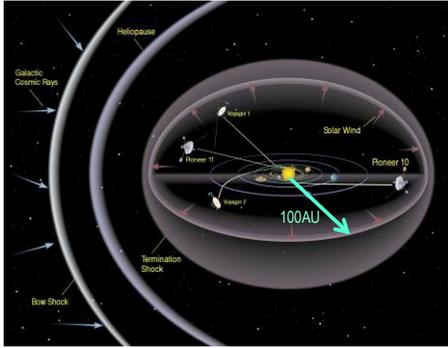
$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{V} \times \mathbf{B})$$



太陽風と磁力線

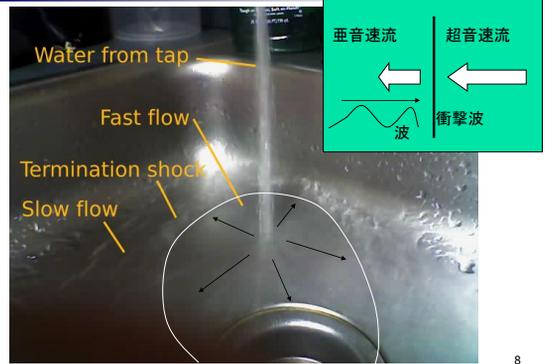
6

太陽圏 (Heliosphere)



7

キッチンでできる“衝撃波実験”



8

宇宙天気と宇宙気候

宇宙天気
space weather

太陽面爆発(フレア)などに起因した宇宙空間や地上の電磁環境変動やプラズマ現象(磁気嵐、オーロラ爆発、太陽エネルギー粒子)

宇宙気候
space climate

太陽活動に起因した宇宙空間と地球環境の長時間変動

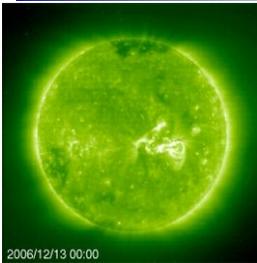
9

太陽面爆発と宇宙天気被害

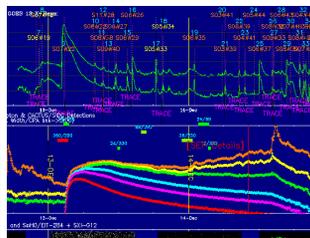
- 8分後: X線・紫外線
 - 電離層擾乱→通信障害, GPS障害
- 約30分後: 太陽高エネルギー粒子(SEP)
 - 宇宙飛行士の被曝、衛星電子障害
- 約2日後: コロナ質量放出(CME)
 - 磁気嵐→送電網障害、パイプライン被害
 - 高エネルギー電子→大気膨張、衛星軌道変動、通信障害

10

フレアと太陽高エネルギー粒子(SEP)



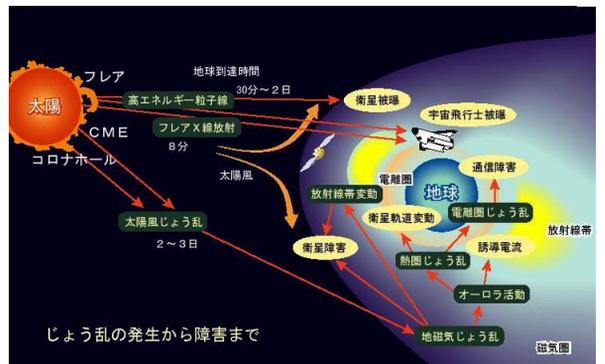
SOHO衛星による観測



Courtesy of CDAW Data Center at NASA and The Catholic University of America

2010/8/17

太陽面爆発と宇宙天気



じょう乱の発生から障害まで

NICT「宇宙天気予報の研究」より

宇宙天気による被害

フレアによる衛星障害

磁気嵐による停電



Geomagnetic Storm Induced Transformer Damage
1989/03/13 カナダのケベックで送電施設の障害による停電(9時間600万人に影響)

衛星が宇宙塵へ



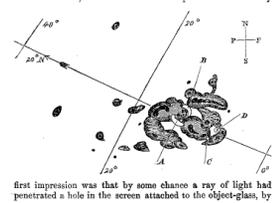
大規模フレア発生している。情報通信研究機構観測衛星など不調
太陽表面の爆発フレア発生。米国の気象衛星「テラ」の観測が中断。衛星の不良が各地で発生している状態となった。

読売新聞2001年9月26日朝刊

キャリントン・イベント(1859年9月1日)

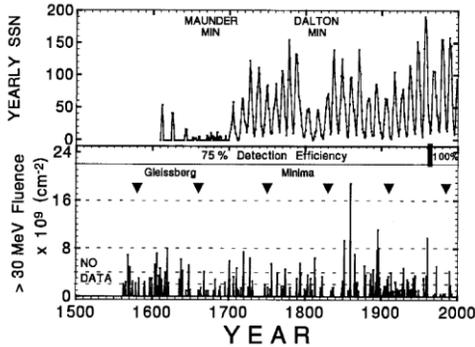
Richard C. Carrington

- 太陽フレアの発見、太陽フレアとオーロラ・磁気嵐の関係を提唱



過去400年の太陽フレア

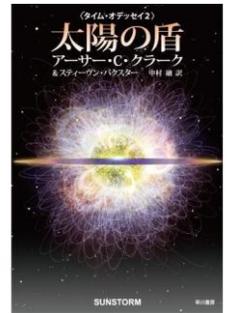
McCracken et al. 2001



ちょっと寄り道

おすすめSF小説

- 太陽の盾 (Sunstorm)
- アーサー・C・クラーク&ステイブン・バクスター
- 月面にいる若き孤高の天文学者ユージーンは、強大な太陽嵐が2042年4月に起こると予測した。それだけの規模の嵐になれば、地球上のあらゆる動植物はもちろんのこと、人類が生き延びることは不可能だ。そこで、科学者たちは前代未聞の大計画を企てた。宇宙空間に地球と同じ大きさの盾を設置し、太陽の巨大なエネルギーを防ごうというのだ。途方もない計画の実現に向け、科学者、宇宙飛行士が結集し、たった4年あまりで"太陽の盾"を完成させようとするが.....



太陽嵐 (Solar Storm)

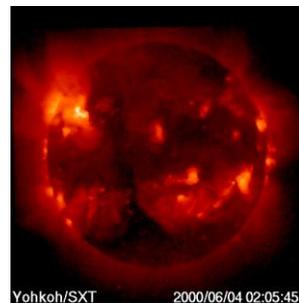
太陽フレア

- 太陽コロナ磁場のエネルギーが突発的に熱と運動に変換される爆発現象。(~10²⁵J)
- 放出されるX線量で規模が測られる。
- 黒点群の中で発生する。

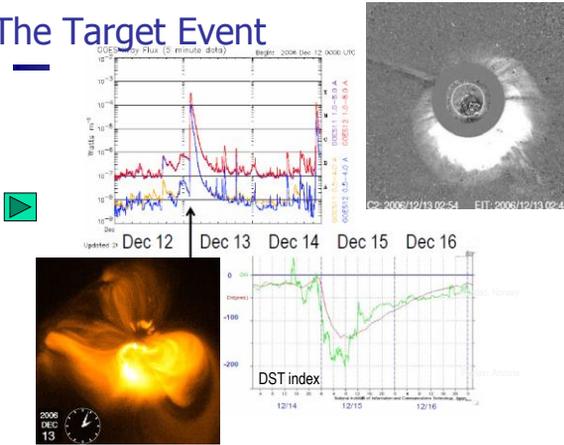
コロナ質量放出(CME)

- 大規模なコロナプラズマの放出現象
- 質量: 10億トン、速度: 100~2000 km/sec

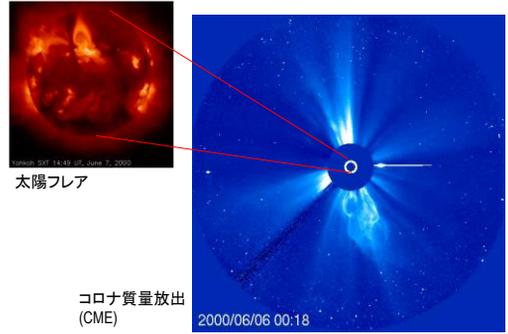
太陽フレア



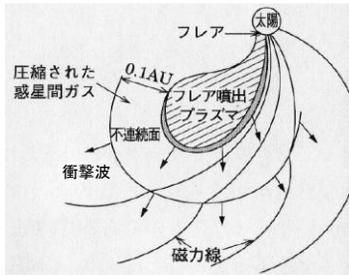
The Target Event



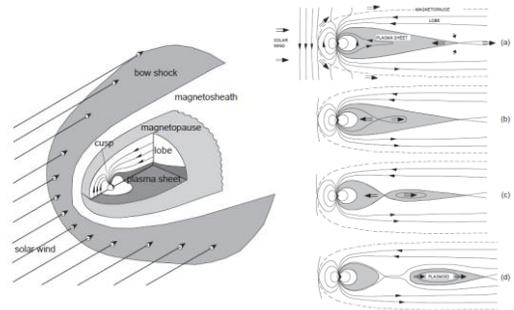
太陽フレアとコロナ質量放出 (CME)



惑星間CMEの構造



太陽風と磁気圏の相互作用



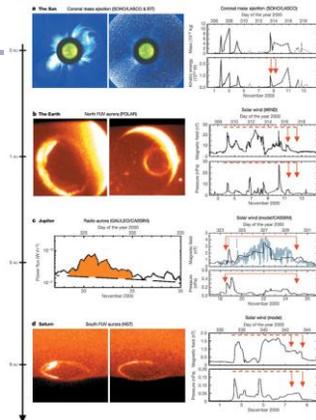
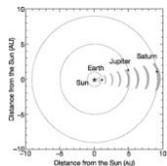
21

Interplanetary CME

Nature 432, 78-81 (4 November 2004) | doi: 10.1038/nature02986

An interplanetary shock traced by planetary auroral storms from the Sun to Saturn

Rene Prang¹, Laurent Pallier¹, Kenneth C. Hansen², Russ Howard³, Angelos Vourlidas³, Régis Courtin¹ and Chris Parkinson⁴



太陽嵐の予測

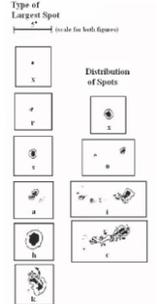
■ フレア・CMEの発生予測

- どこで 黒点の近傍
- どれほど
- いつ

■ CMEの伝播予測

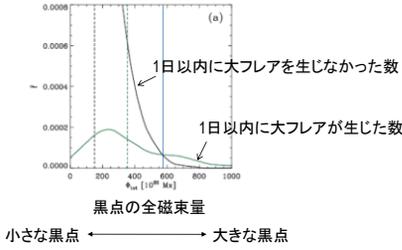
- 規模
- 速度
- 方向
- 磁場の向き

古典的な方法
黒点の分類による

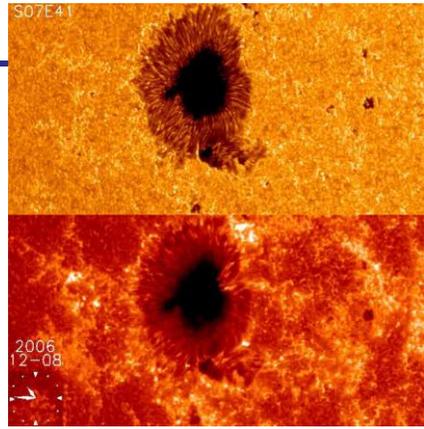


24

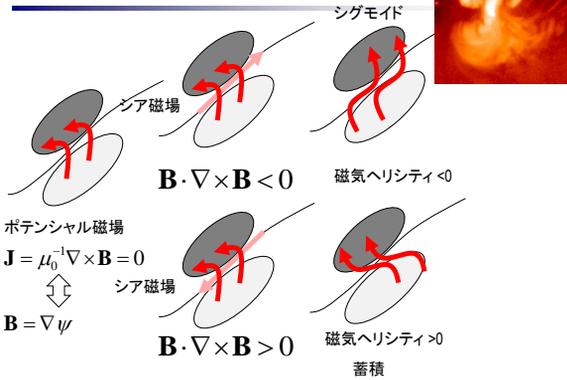
黒点の全磁束量とフレア発生数



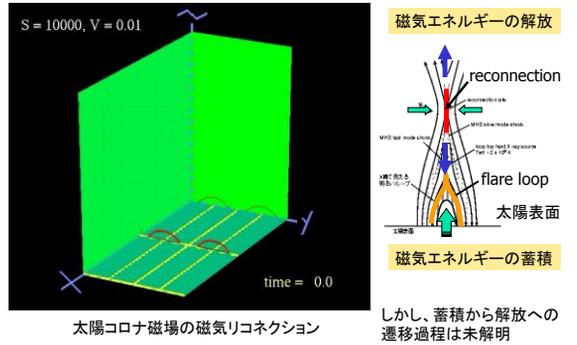
25



磁気シアと自由エネルギー

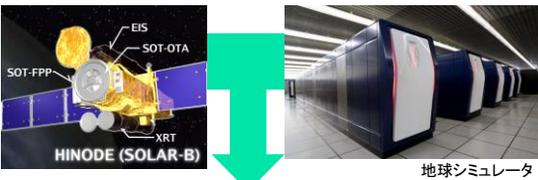


太陽フレアの基本過程



新世代の太陽研究

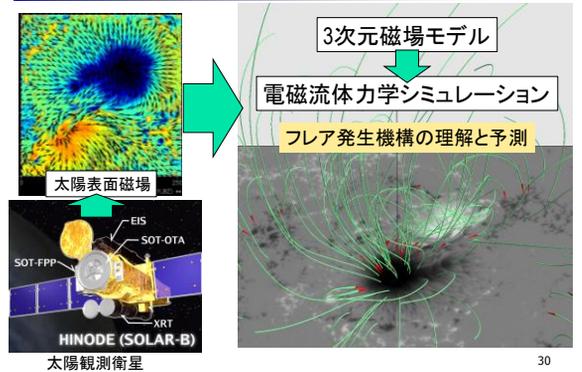
最新の観測研究と大規模シミュレーションの融合



太陽と地球のコンピュータシミュレーションモデル

太陽フレア発生、太陽黒点活動、コロナの加熱と太陽風の加速、太陽の地球環境影響

データ駆動型シミュレーション



30

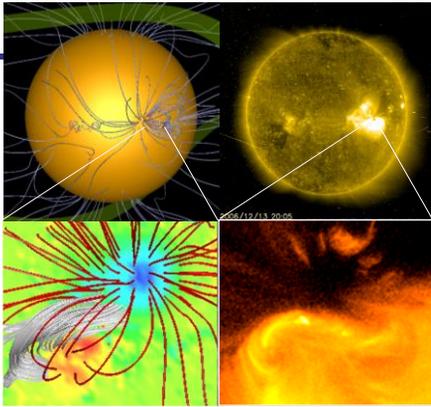
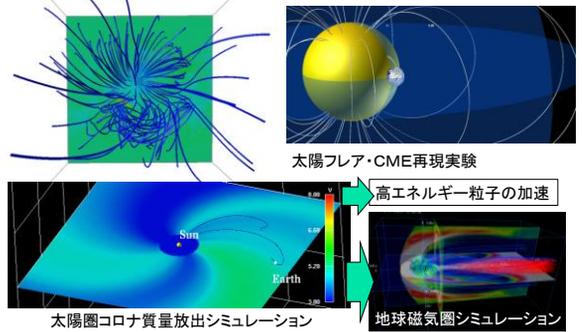


図1: 2006年12月に発生した太陽フレアと黒点の衛星観測データ(右)及びこのデータを用いた実験モデルで初めて得られた磁力線の3次元構造(左)。

31

世界初の太陽嵐シミュレーション

最新の観測研究と大規模シミュレーションの融合



太陽フレア・CME再現実験

高エネルギー粒子の加速

太陽圏コロナ質量放出シミュレーション

地球磁気圏シミュレーション

進む「宇宙天気予報」

宇宙天気予報の重要性がますます高まっている。宇宙天気予報は、宇宙飛行士や宇宙機に与える影響を予測し、被害を軽減するための重要なツールである。

宇宙天気予報の精度向上には、観測データの充実とシミュレーション技術の進歩が不可欠である。

太陽嵐 スパコンで再現

宇宙天気予報の精度向上には、観測データの充実とシミュレーション技術の進歩が不可欠である。

スパコンを用いた太陽嵐シミュレーションは、太陽の磁気圏構造を詳細に再現し、太陽嵐の発生メカニズムを解明する上で重要な役割を果たしている。

中日新聞2010年3月16日

朝日新聞2010年3月16日

33

太陽の気候影響

歴史的論争

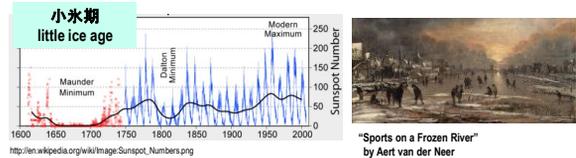
William Herschel (1732-1822)太陽黒点とロンドンの穀物市場との関係に関する研究(1801)



William Herschel
1738-1822

小氷期 (little ice age)

Moeborg et al.(2005): マウンダー極小期に対応した時代に20世紀後期に比べて0.7度程度寒冷化していた可能性がある。



"Sports on a Frozen River"
by Aert van der Neer
Courtesy: The Metropolitan Museum of Art

太陽黒点と宇宙線量の変化

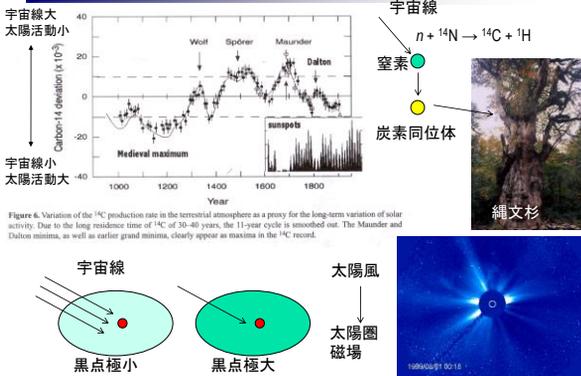


Figure 6. Variation of the ^{14}C production rate in the terrestrial atmosphere as a proxy for the long-term variation of solar activity. Due to the long residence time of ^{14}C of 30-40 years, the 11-year cycle is smoothed out. The Maunder and Dalton minima, as well as earlier grand minima, clearly appear as maxima in the ^{14}C record.

太陽活動と気候変動

Kirkyby 2007

北半球平均気温

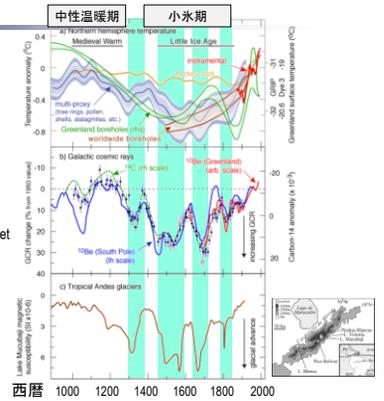
Mann et al. 1998, 1999
Moeborg et al. 2005
Pollack & Smerdon 2004
Dahl-Jensen et al. 1998

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

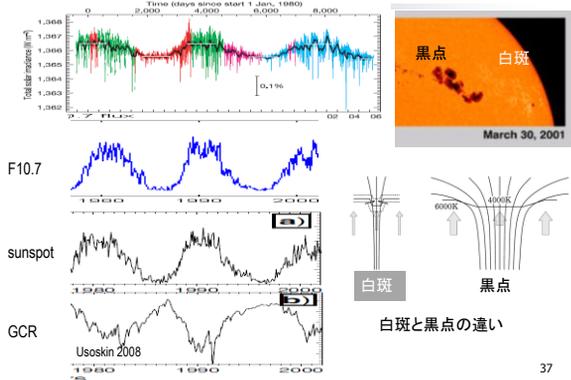
Stuiver and Quay 1980 Klein et al. 1980
Raisbeck et al. 1990
Usoskin et al. 2002

熱帯アンデス氷河

Polissar et al. 2006

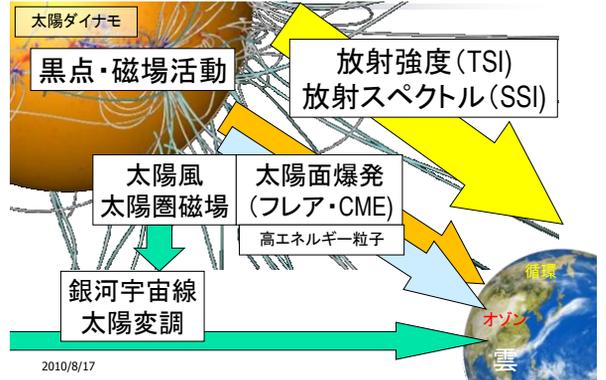


太陽黒点活動に伴う様々な変動



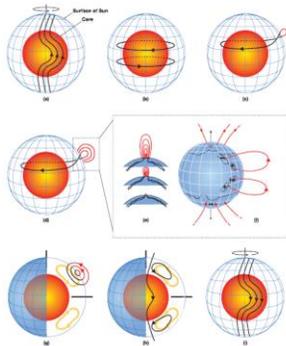
37

地球に対する太陽影響の研究



2010/8/17

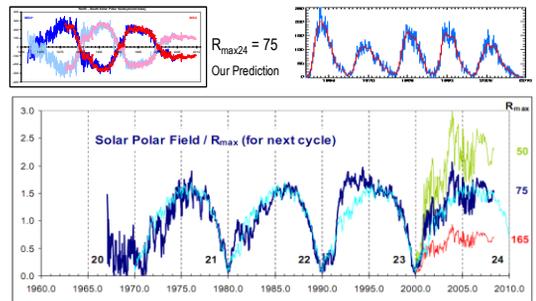
Flux transfer dynamo model



39

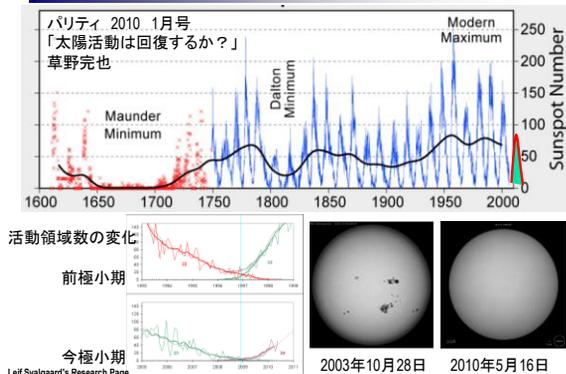
Leif Svalgaard's home page

Polar Field Scaled by Size of Next Cycle is Possibly an Invariant



40

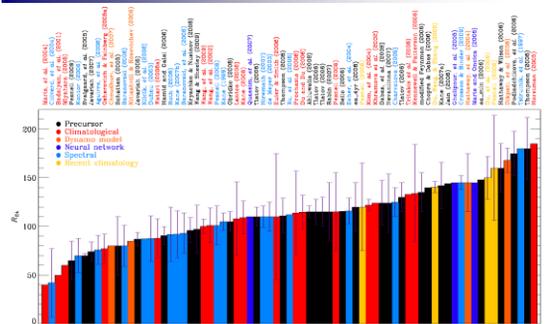
サイクル24(百年ぶりの低活動?)



Leif Svalgaard's Research Page

State of the Art: Predicting Cycle 24

What the Sun seems to be doing



黒点の予測はほとんどできていない。次世代(君ら)の課題だ!

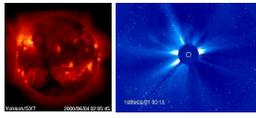
42

なぜ、太陽研究は面白いのか？

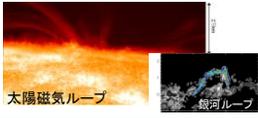
非線形プラズマ現象の宝庫 巨大なプラズマの実験室



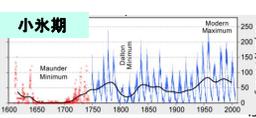
太陽地球システムの中心 太陽フレア・太陽風・太陽嵐



地球に最も近い恒星 様々な天体現象をひも解く鍵



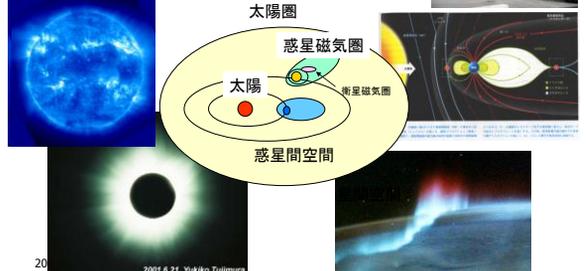
地球環境への影響 太陽黒点活動と気候変動



名古屋大学太陽地球環境研究所

太陽地球システムの総合的研究

- 太陽、太陽圏、磁気圏、電離圏、大気圏、宇宙線、惑星、宇宙天気、宇宙気候



名古屋大学でできる太陽研究

歴史的課題への挑戦

太陽黒点の謎

太陽黒点はなぜ生まれる？
11年周期とは何か？

太陽フレアの謎

太陽系最大の爆発「太陽フレア」の発生メカニズム？

太陽コロナの謎

太陽コロナはなぜ太陽よりはるかに高温か？

太陽・太陽圏・地球圏を一体のシステムとした総合研究

宇宙天気研究

太陽面爆発現象の発生予測
太陽面爆発現象の影響予測

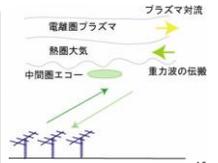
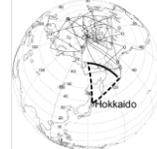
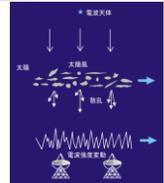
宇宙気候研究

太陽の気候影響の機構解明
太陽黒点活動の予測



太陽風、電離層の電波観測

UHF電波望遠鏡(富士観測所)



名古屋大学大学院理学研究科

素粒子宇宙物理学専攻

- 宇宙地球物理系
 - 太陽宇宙環境物理学研究室 (SSt研)
 - 草野完也 (kusano@nagoya-u.ac.jp)
 - 増田智 (masuda@stelab.nagoya-u.ac.jp)
- 素粒子宇宙物理系
 - 理論宇宙物理学研究室 (Ta研)
 - 鈴木建 (stakeru@nagoya-u.jp)

太陽宇宙環境物理学研究室



49

名古屋大学理学研究科の入試

- 自己推薦入試
 - 口述審査のみ
 - 説明会 6月中旬、出願〆切 7月初、試験 7月中
- 一般入試
 - 筆記試験+面接
 - 出願〆切 8月初、試験 8月下旬
- 2次募集
 - 実施の有無は一般入試の後、決められる予定。
- 受験の際には事前に研究室へ連絡することが望ましい。

50