

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

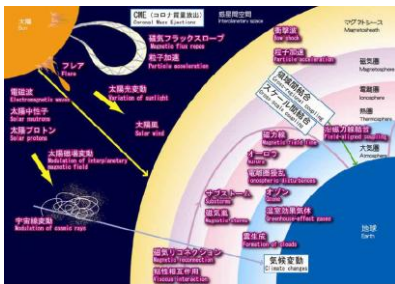
Who I am

- 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

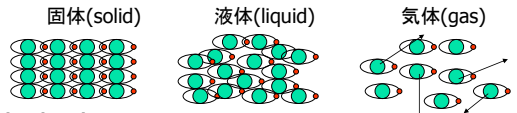


3

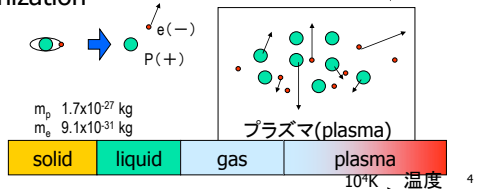
プラズマって何?

■ Three phases

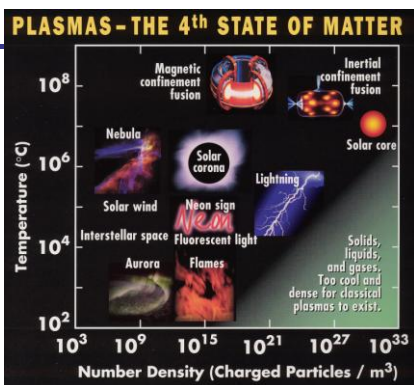
相転移 (phase transition)



■ ionization



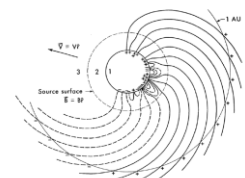
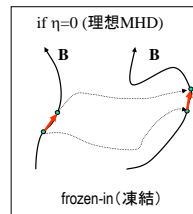
4



2010/8/17

電磁流体力学(MHD magneto-hydro-dynamics)

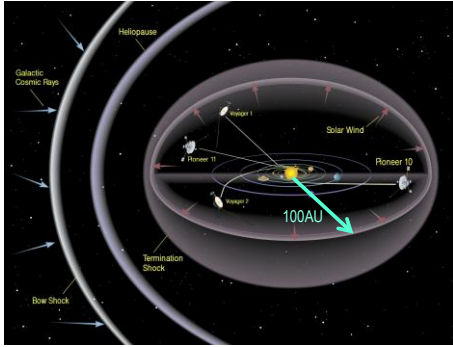
$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times (\mathbf{V} \times \mathbf{B})$$



太陽風と磁力線

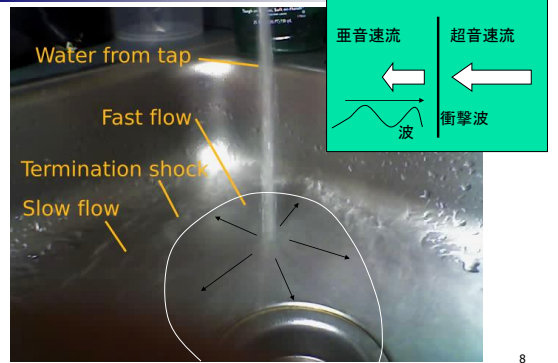
6

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

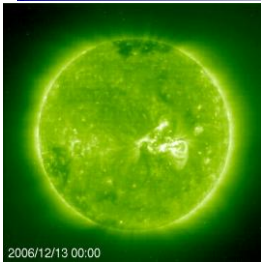
9

太陽面爆発と宇宙天気被害

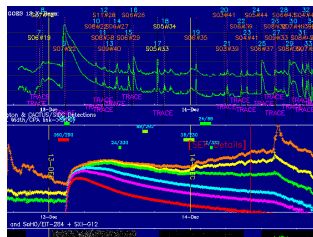
- 8分後: X線・紫外線
 - 電離層擾乱→通信障害, GPS障害
- 約30分後: 太陽高エネルギー粒子 (SEP)
 - 宇宙飛行士の被曝、衛星電子障害
- 約2日後: コロナ質量放出 (CME)
 - 磁気嵐→送電網障害、パイプライン被害
 - 高エネルギー電子→大気膨張、衛星軌道変動、通信障害

10

フレアと太陽高エネルギー粒子(SEP)



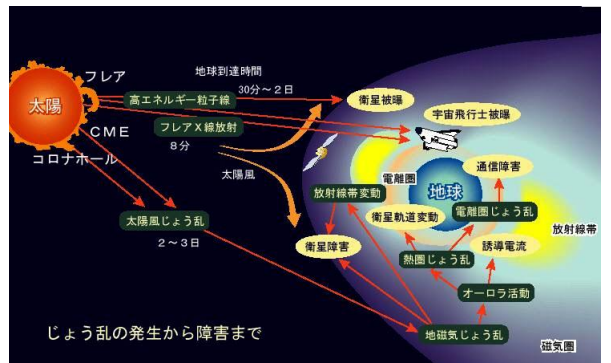
SOHO衛星による観測



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



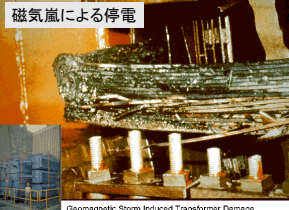
じょう乱の発生から障害まで

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)

フレアによる衛星障害



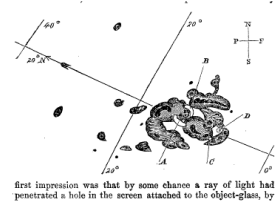
衛星の障害は、大規模フレア発生から観測されてきた。文部科学省宇宙科学研究所の宇宙天気予報センターが、2月26日午後11時頃から27日午前2時頃までの間に、北極圏を中心にM3.0程度の磁気嵐を観測した。

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)

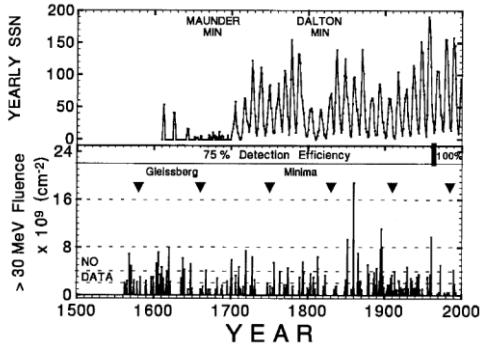
Richard C. Carrington

- 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

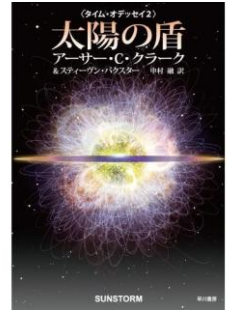
McCracken et al. 2001



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)

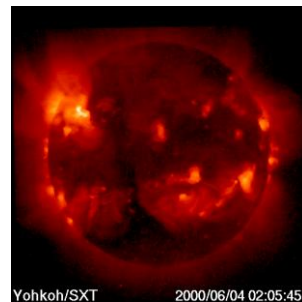
太陽フレア

- 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。

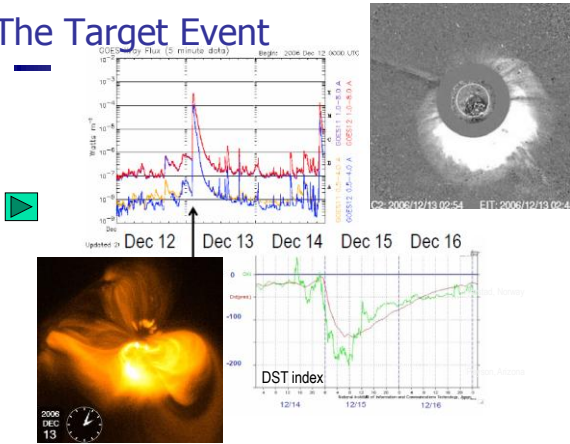
コロナ質量放出(CME)

- 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

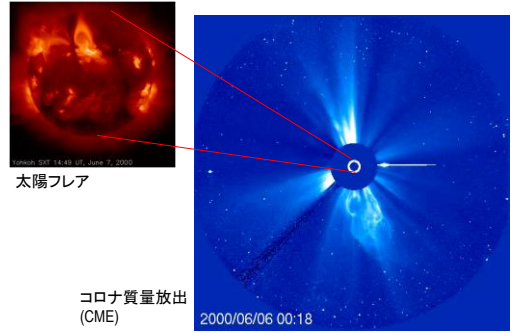
太陽フレア



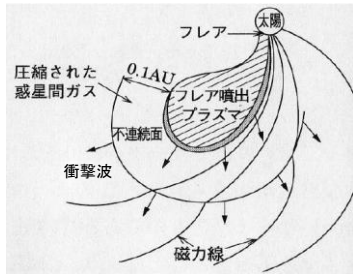
The Target Event



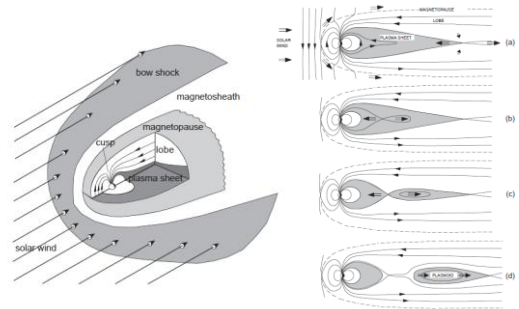
太陽フレアとコロナ質量放出 (CME)



惑星間CMEの構造



太陽風と磁気圏の相互作用



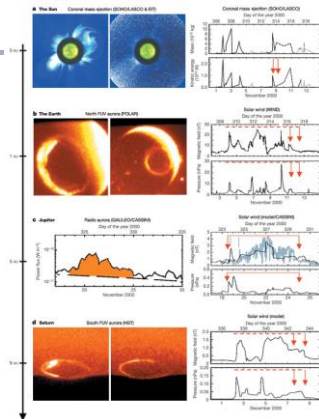
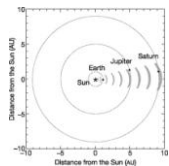
21

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

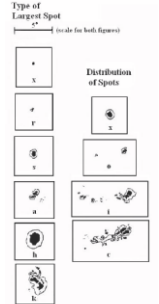
■ フレア・CMEの発生予測

- どこで 黒点の近傍
- どれほど
- いつ

■ CMEの伝播予測

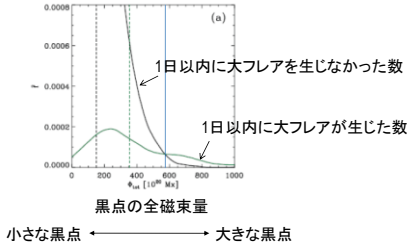
- 規模
- 速度
- 方向
- 磁場の向き

古典的な方法
黒点の分類による

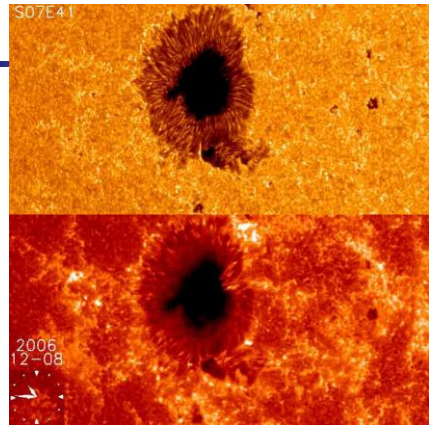


24

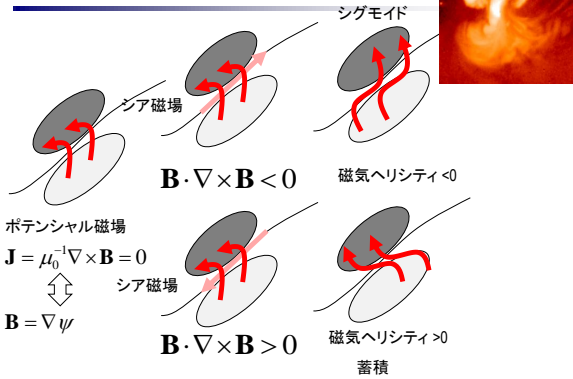
黒点の全磁束量とフレア発生数



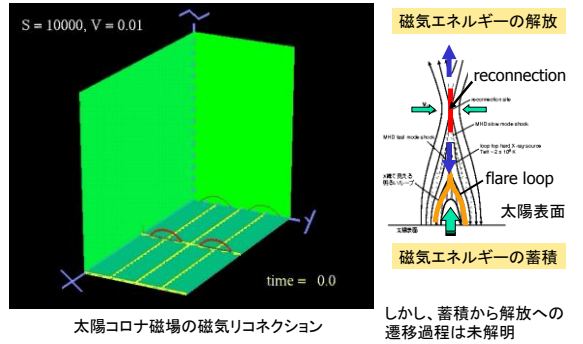
25



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

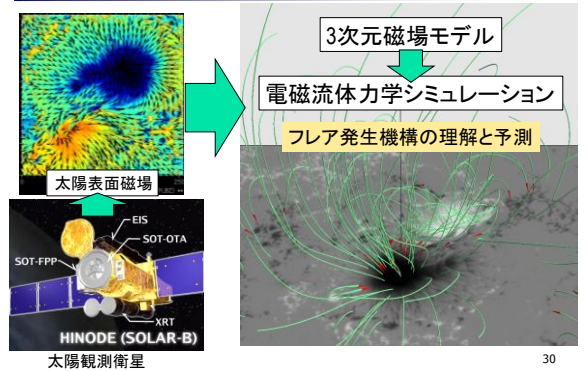
最新の観測研究と大規模シミュレーションの融合



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

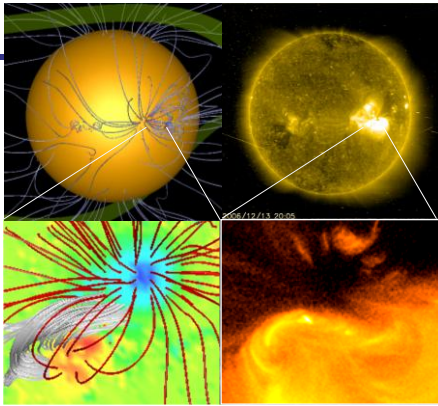
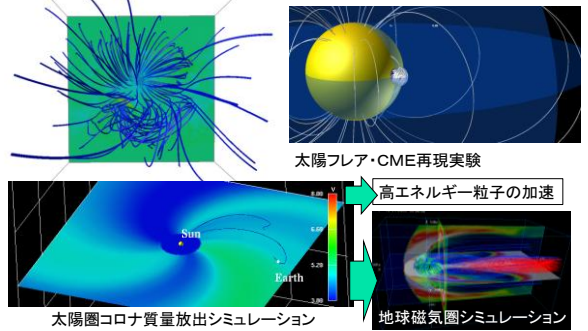


図1: 2006年12月に発生した太陽フレアと黒点の衛星観測データ(右)及びこのデータを用いた実験モデルで初めて得られた磁力線の3次元構造(左)。

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



進む「宇宙天気予報」

名大など成功

太陽活動や磁気嵐を把握

中日新聞2010年3月16日

太陽嵐 スパコンで再現

「宇宙天気予報」精度アップ期待

朝日新聞2010年3月16日

33

太陽の気候影響

歴史的論争

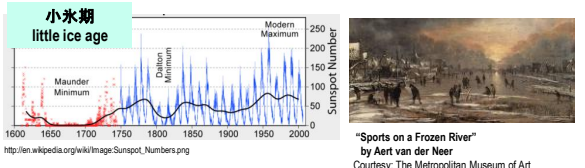
William Herschel (1732-1822)太陽黒点とロンドンの穀物市場との関係に関する研究(1801)



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。



太陽黒点と宇宙線量の変化

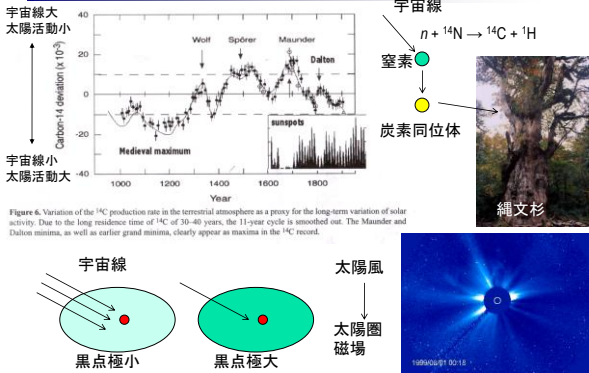
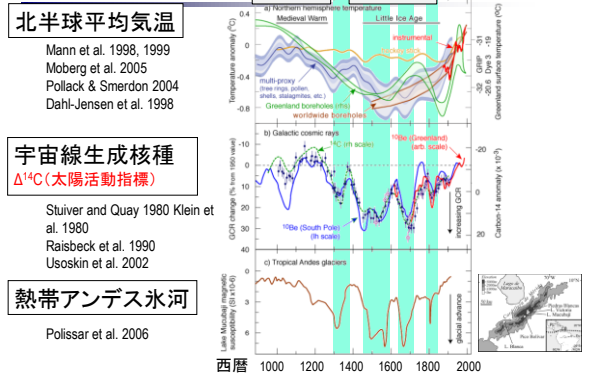


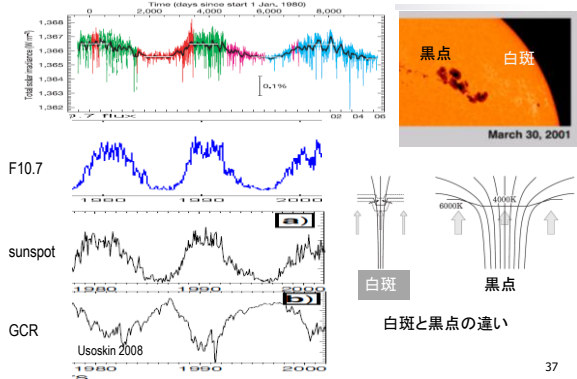
Figure 6. Variation of the ¹⁴C production rate in the terrestrial atmosphere as a proxy for the long-term variation of solar activity. Due to the long residence time of ¹⁴C of 30-40 years, the 11-year cycle is smoothed out. The Maunder and Dalton minima, as well as earlier grand minima, clearly appear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

太陽活動と気候変動

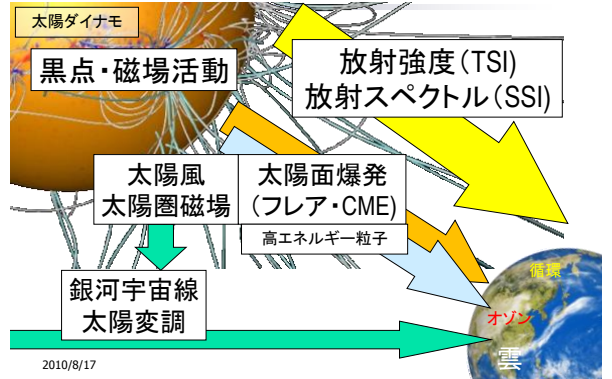
Kirkby 2007



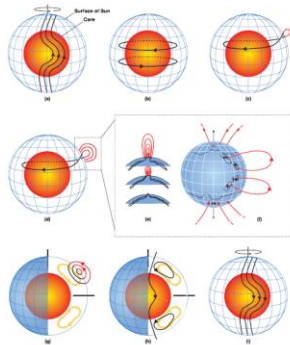
太陽黒点活動に伴う様々な変動



地球に対する太陽影響の研究

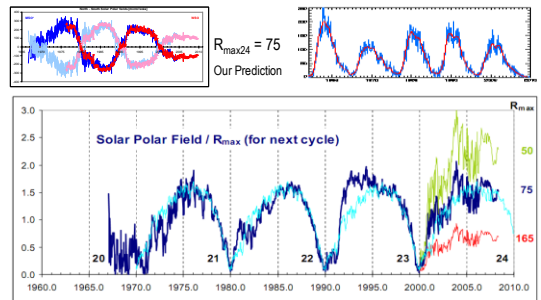


Flux transfer dynamo model

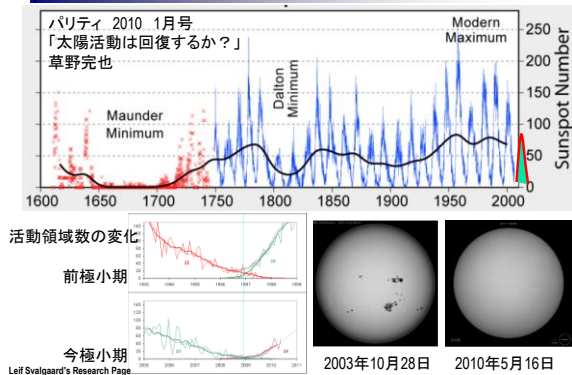


Leif Svalgaard's home page

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

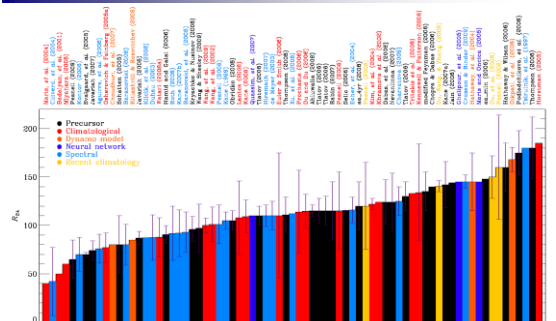


サイクル24(百年ぶりの低活動?)



State of the Art: Predicting Cycle 24

What the Sun seems to be doing

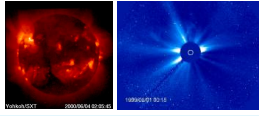


なぜ、太陽研究は面白いのか？

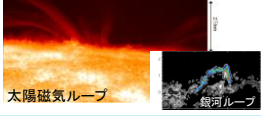
非線形プラズマ現象の宝庫
巨大なプラズマの実験室



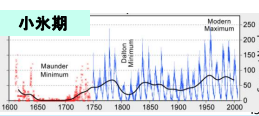
太陽地球システムの中心
太陽フレア・太陽風・太陽嵐



地球に最も近い恒星
様々な天体現象をひも解く鍵



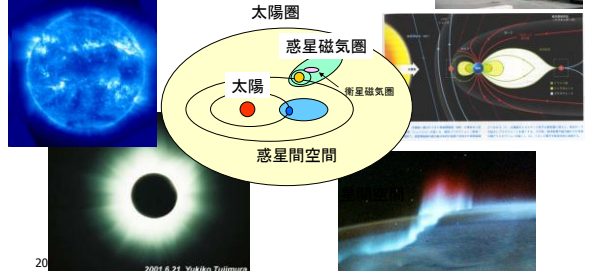
地球環境への影響
太陽黒点活動と気候変動



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

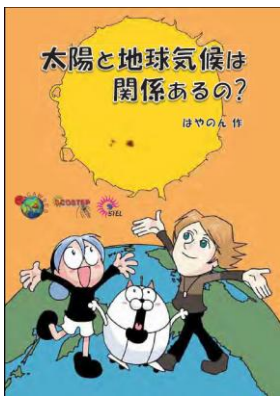
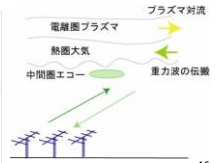
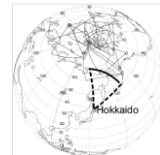
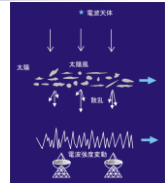
宇宙気候研究

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)



2010/8/17



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