

コンピュータで探る太陽と地球環境 —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)

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 (2009.7-)



■ 専門

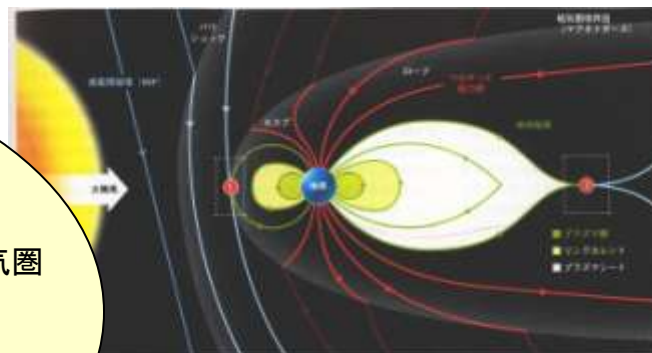
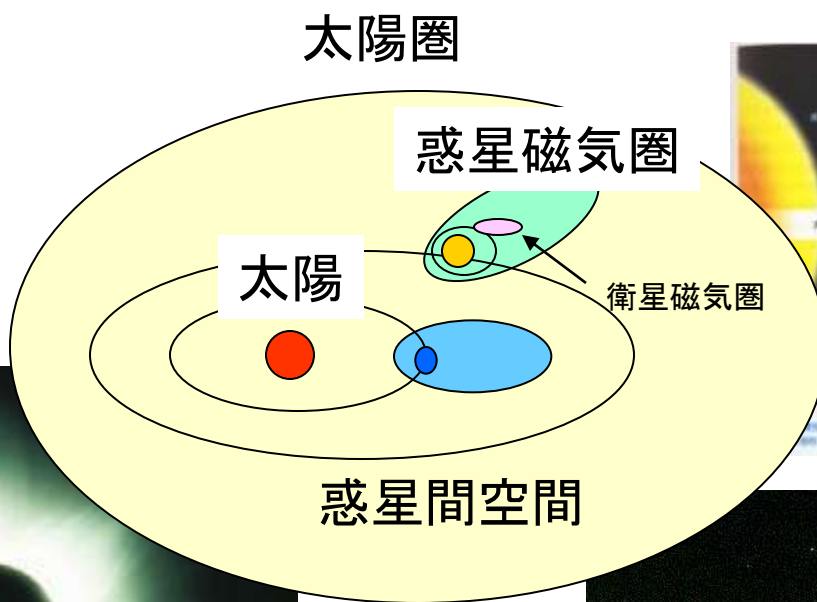
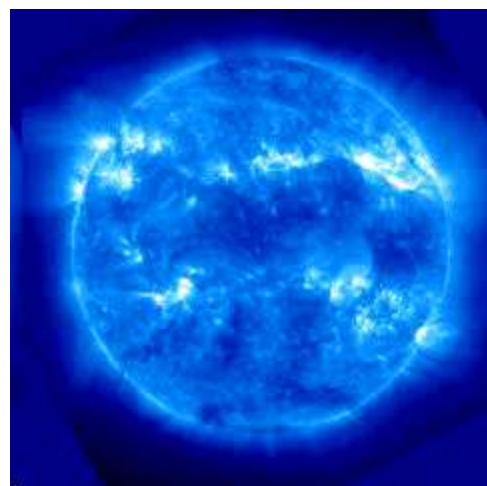
- 太陽・宇宙・核融合プラズマ物理学 (plasma physics)
- 非線形電磁流体力学、ダイナモ理論 (MHD, dynamo)
- シミュレーション科学 (simulation sciences)
- 宇宙天気・宇宙気候 (space weather, space climate)
- 雲物理 (cloud physics)

■ 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

太陽地球システムの総合的研究

- 太陽対流層、太陽コロナ、太陽圏、惑星磁気圏、電離層



太陽圏の構造と太陽風の影響 (左) 太陽風は太陽から放射されるプラズマの流れであり、地球の磁気圏を圧縮し、磁気圏の境界線を形成する。右) 地球の磁気圏は太陽風からの粒子を捕らえ、地球の周囲に閉じ込める。この時、地球の磁気圏は太陽風からの粒子を捕らえ、地球の周囲に閉じ込める。



なぜ太陽は面白いのか？

■ 非線形・天体・プラズマ現象の宝庫

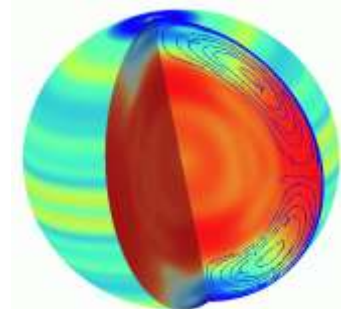
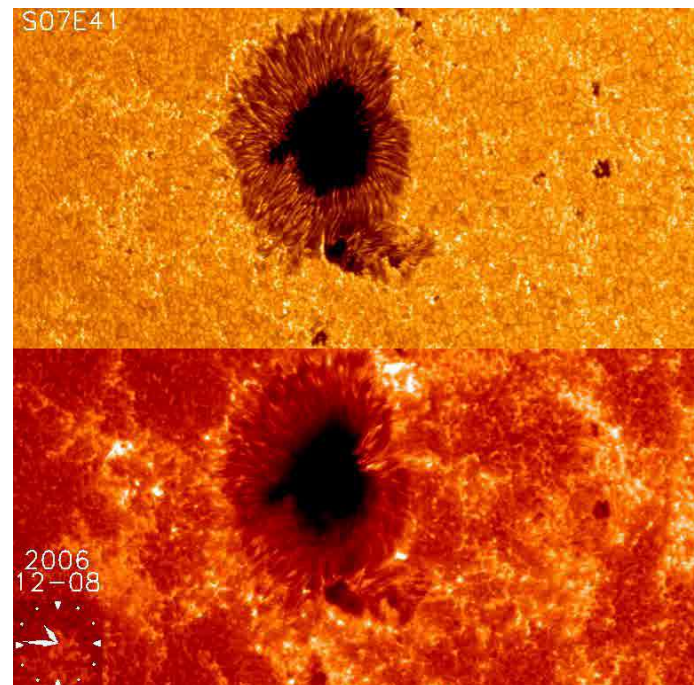
- 電磁流体→銀河、宇宙円盤、星形成
- ダイナモ→地球磁場、惑星
- 乱流→大気・海洋、工学流体
- 衝撃波・粒子加速→超新星爆発
- プラズマ加熱→核融合プラズマ

■ 太陽地球システム現象の源

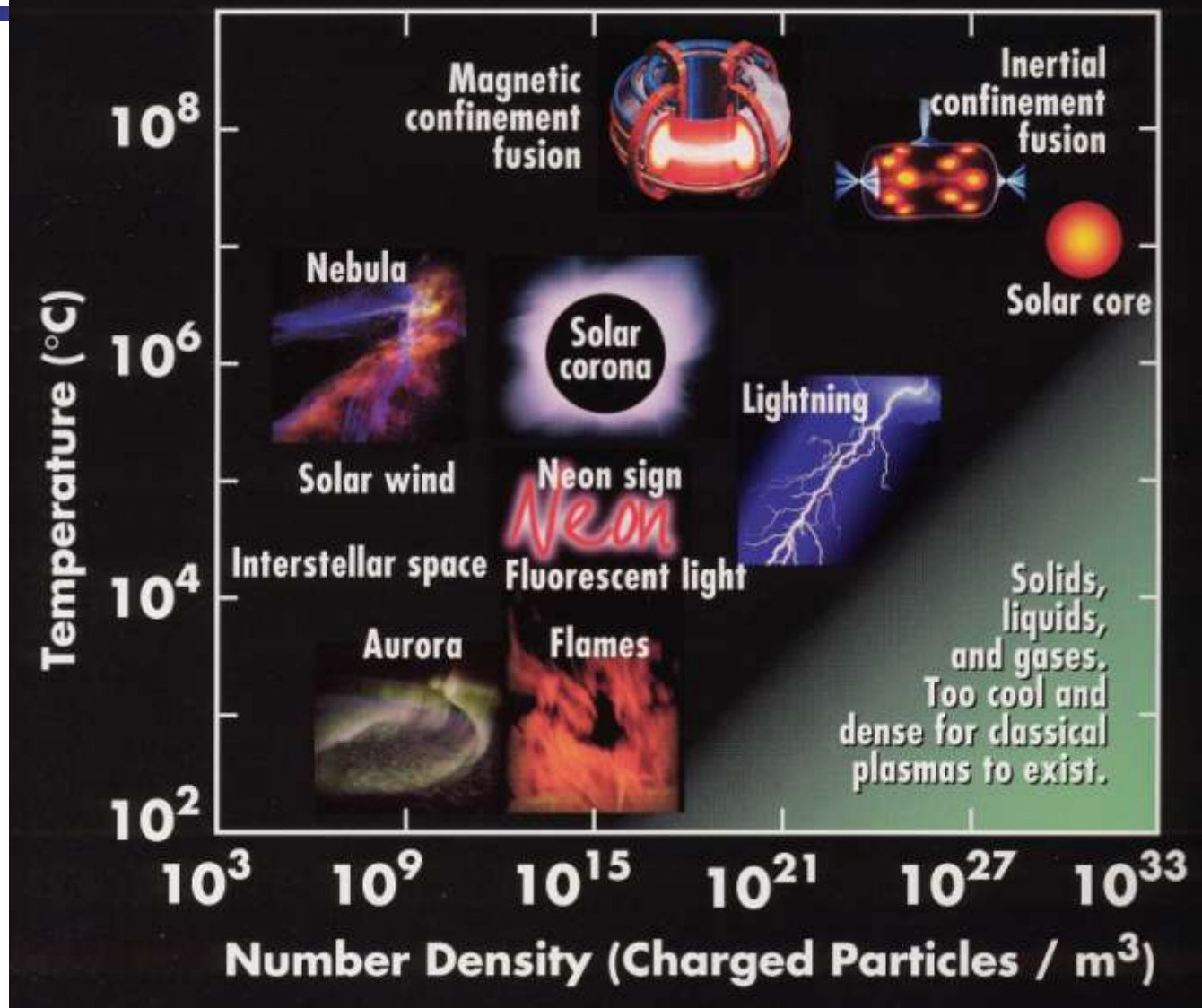
- フレア爆発、太陽嵐と宇宙嵐

■ 地球環境・人間活動への影響

- 太陽黒点と気候変動(宇宙気候)



PLASMAS – THE 4th STATE OF MATTER



太陽と地球気候は 関係あるの？

はやのん 作



これまでは
太陽-地球気候という
長期変動を
お話ししてきましたが
もっと短期的にみると

太陽の爆発によって生じる
高エネルギー粒子で
人工衛星の機器
宇宙飛行士
極地方を飛行する
航空機の乗客の健康に
害が出る場合があります



大気の高いところや
宇宙空間では
太陽の影響を
地上より強く
受けることとなります

太陽活動によって
大気密度が変わると
低高度の地球周回軌道をもつ
人工衛星の軌道が
変わってしまうことも！

太陽活動によって
電離圏の電子密度が変わり
無線航行や通信が
乱れることもあります

地上でも
大変なことが
起こります！

地磁気嵐によって
誘導電流が起こり
地上の送電線や
パイプラインに電流が流れて
電線が焼き切れたり
停電を引き起こしたり
することもあります

そういうことが
起こらないように
研究して
対策をとるとい
うことだな！

太陽-地球システムを
理解することは
私たちの生活舞台を
理解すること！

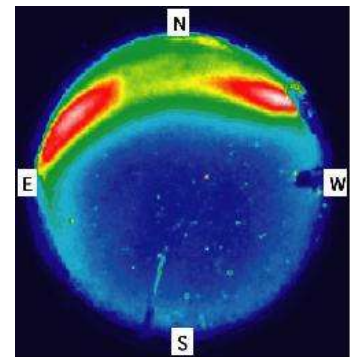
だから
これからも研究が
必要なんですよ！

なるほど
ね~

太陽と地球の
大きなつながりを感じた
もるちゃんとミルポでした

名古屋大学太陽地球環境研究所

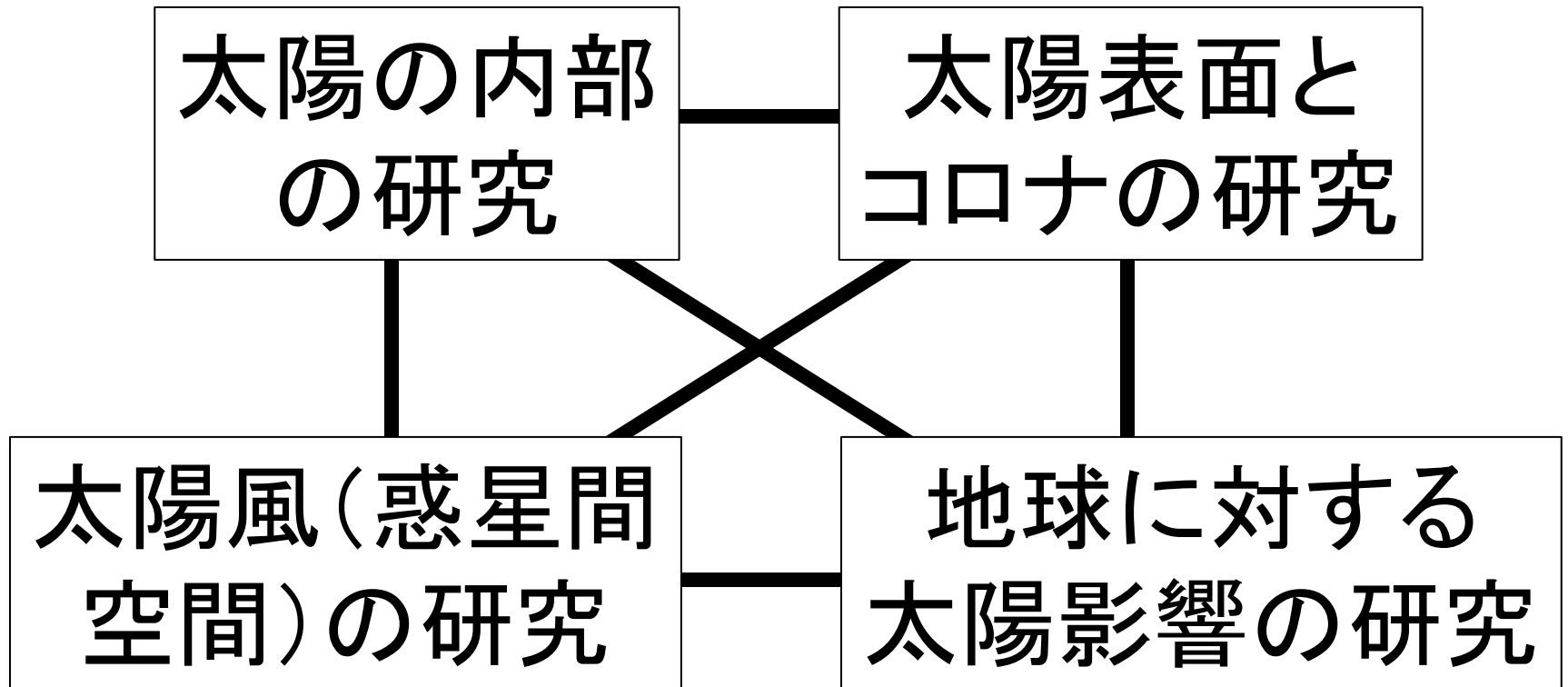
■ Solar-Terrestrial Environment Laboratory (STEL, STE研、太陽研)

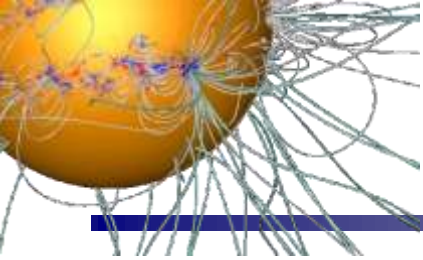


2009/11/21

太陽地球惑星システム

総合的な太陽研究





STE研でできる太陽研究

■ 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



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



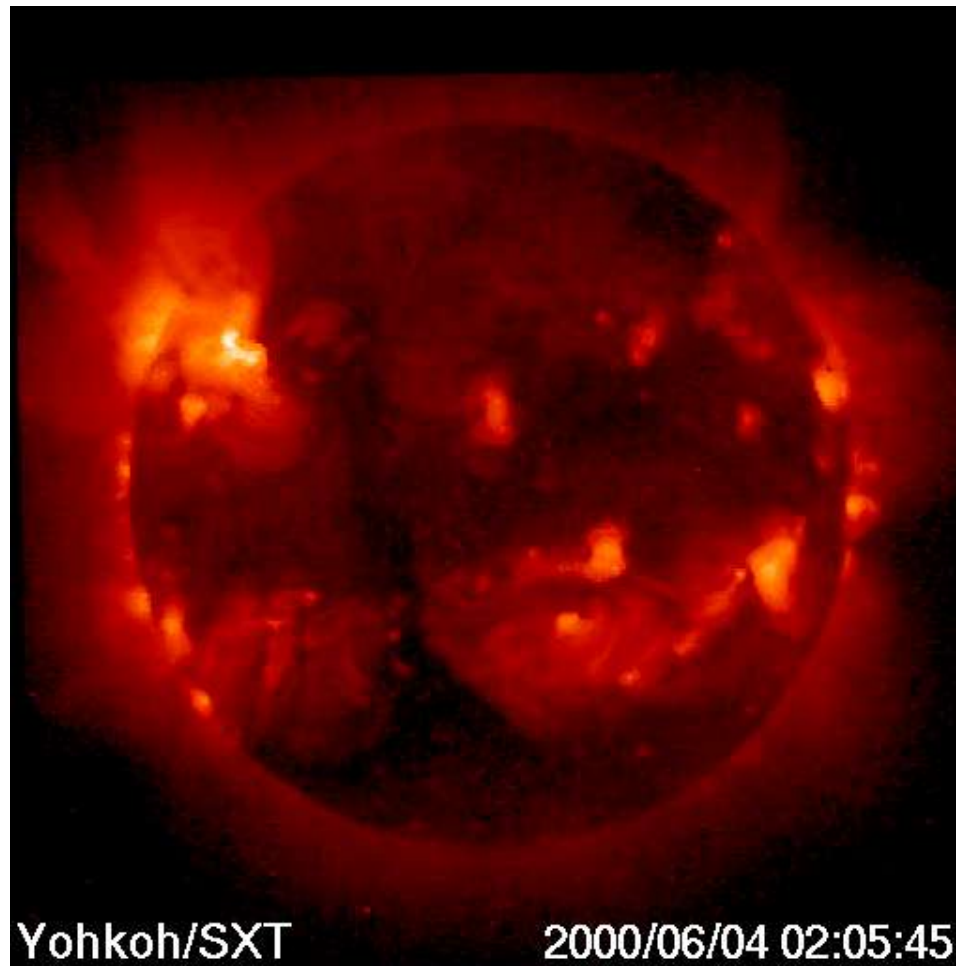
地球シミュレータ

太陽と地球のコンピュータ
シミュレーションモデル

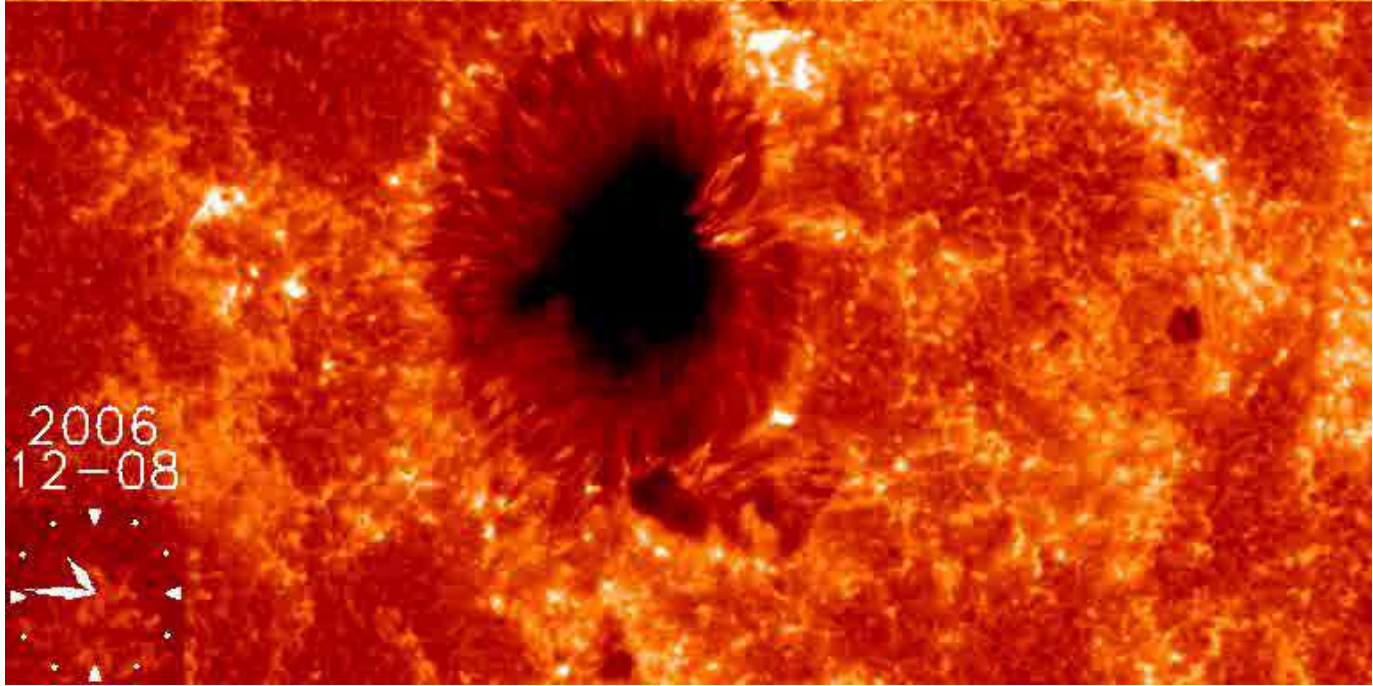
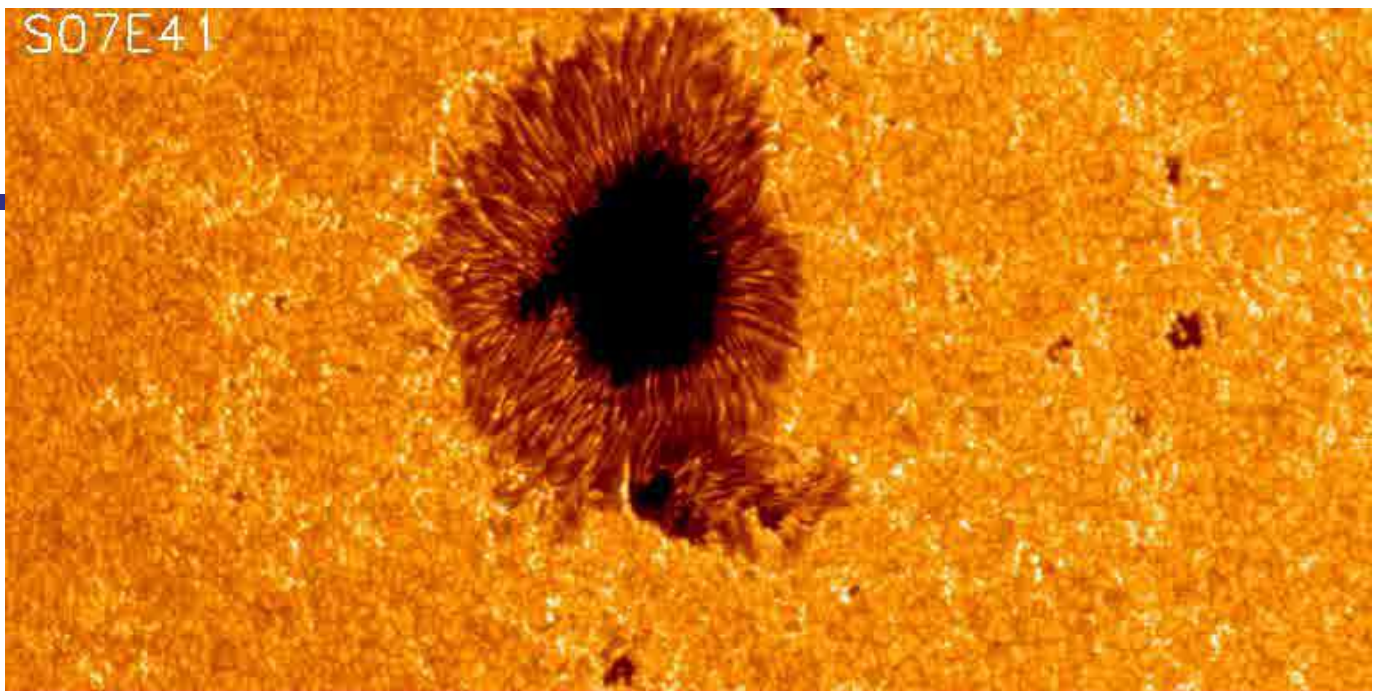
太陽フレア発生、太陽黒点活動、
コロナの加熱と太陽風の加速、太陽の地球環境影響

1. 太陽表面とコロナの研究

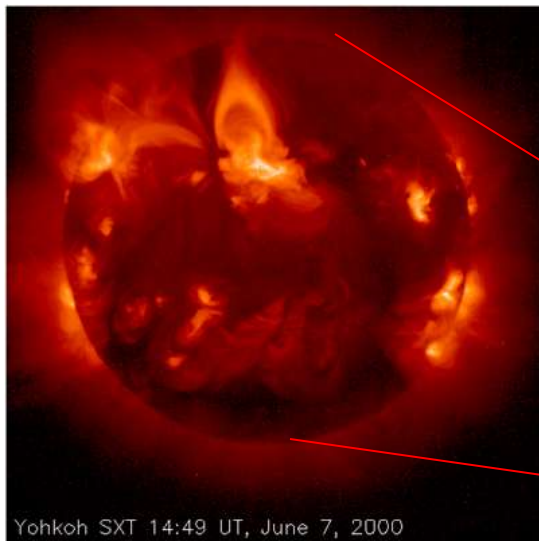
太陽フレア



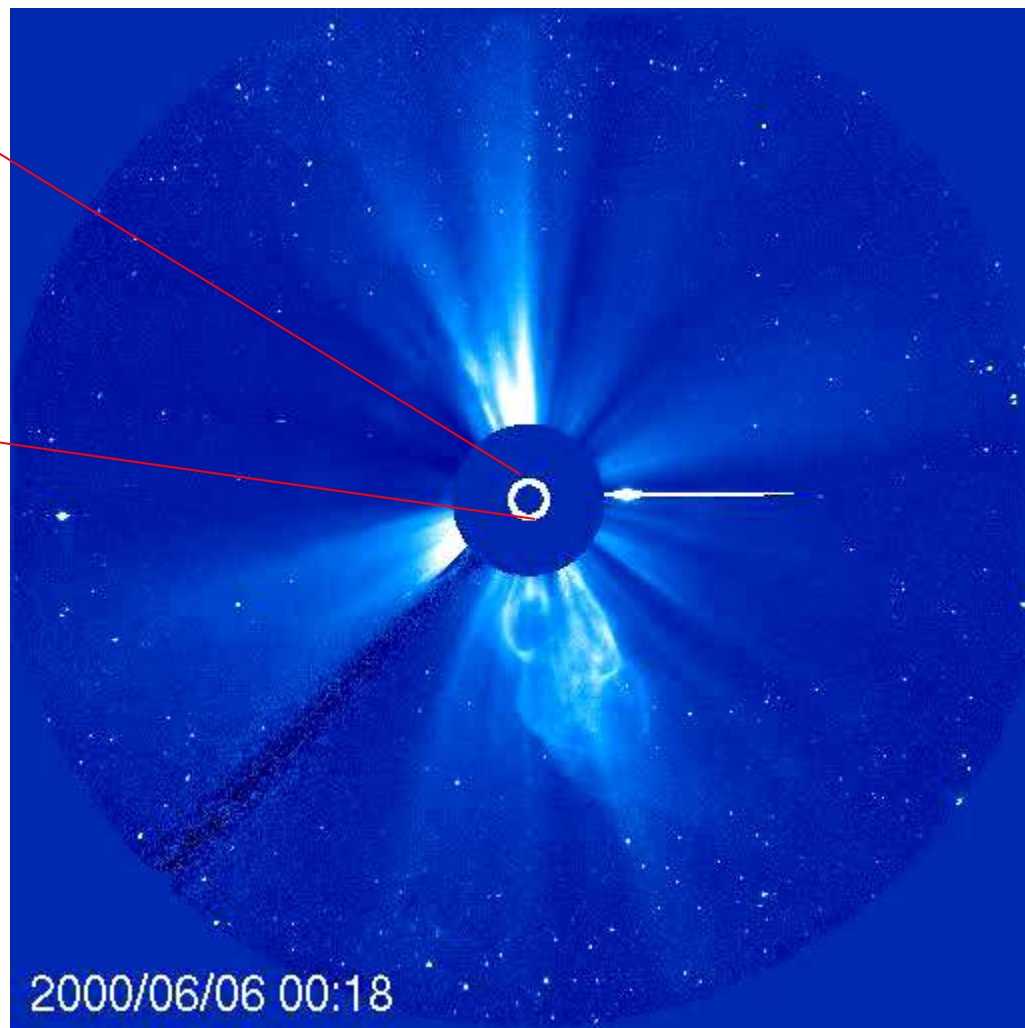
S07E41



太陽フレアとコロナ質量放出 (CME)



太陽フレア

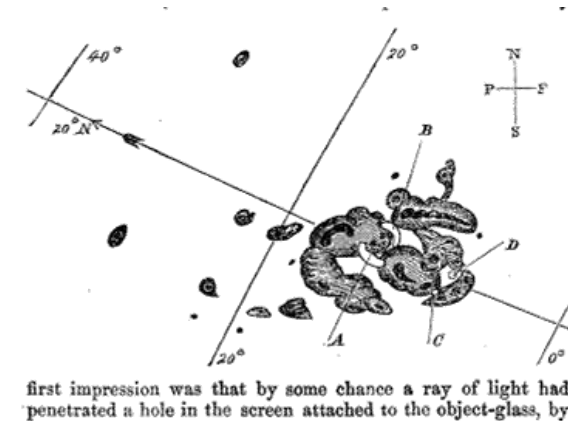


コロナ質量放出
(CME)

太陽嵐と地球

■ 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。 $(\sim 10^{25}\text{J})$
- 黒点群の中で発生する。
- 1959年にキャリントンが発見。



■ コロナ質量放出(CME)

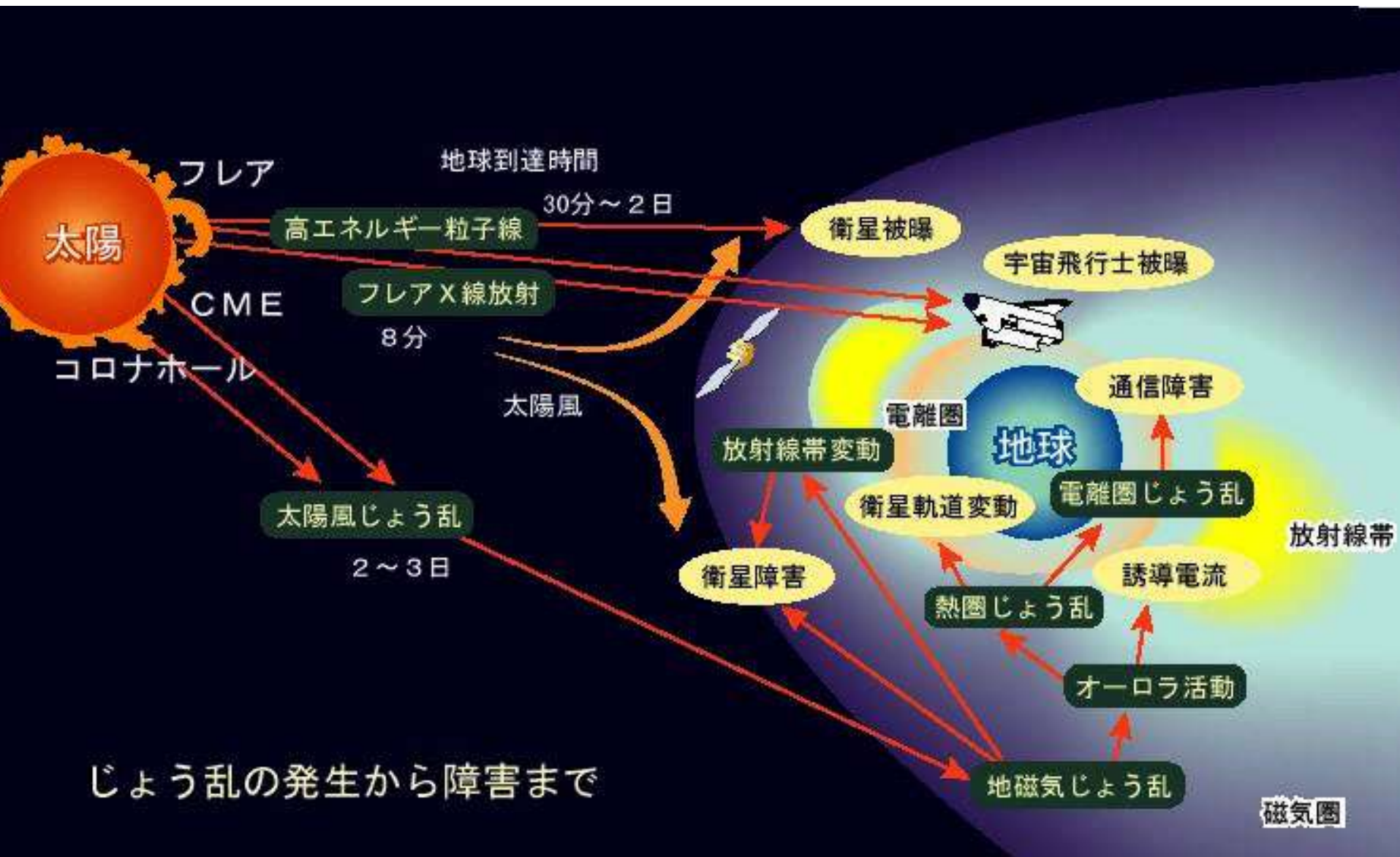
- 大規模なコロナプラズマの放出現象
- 質量: 10億トン、速度: 100~2000 km/sec

■ 地球磁気圏・電離圏への影響

- 磁気嵐、太陽高エネルギー粒子、オーロラ

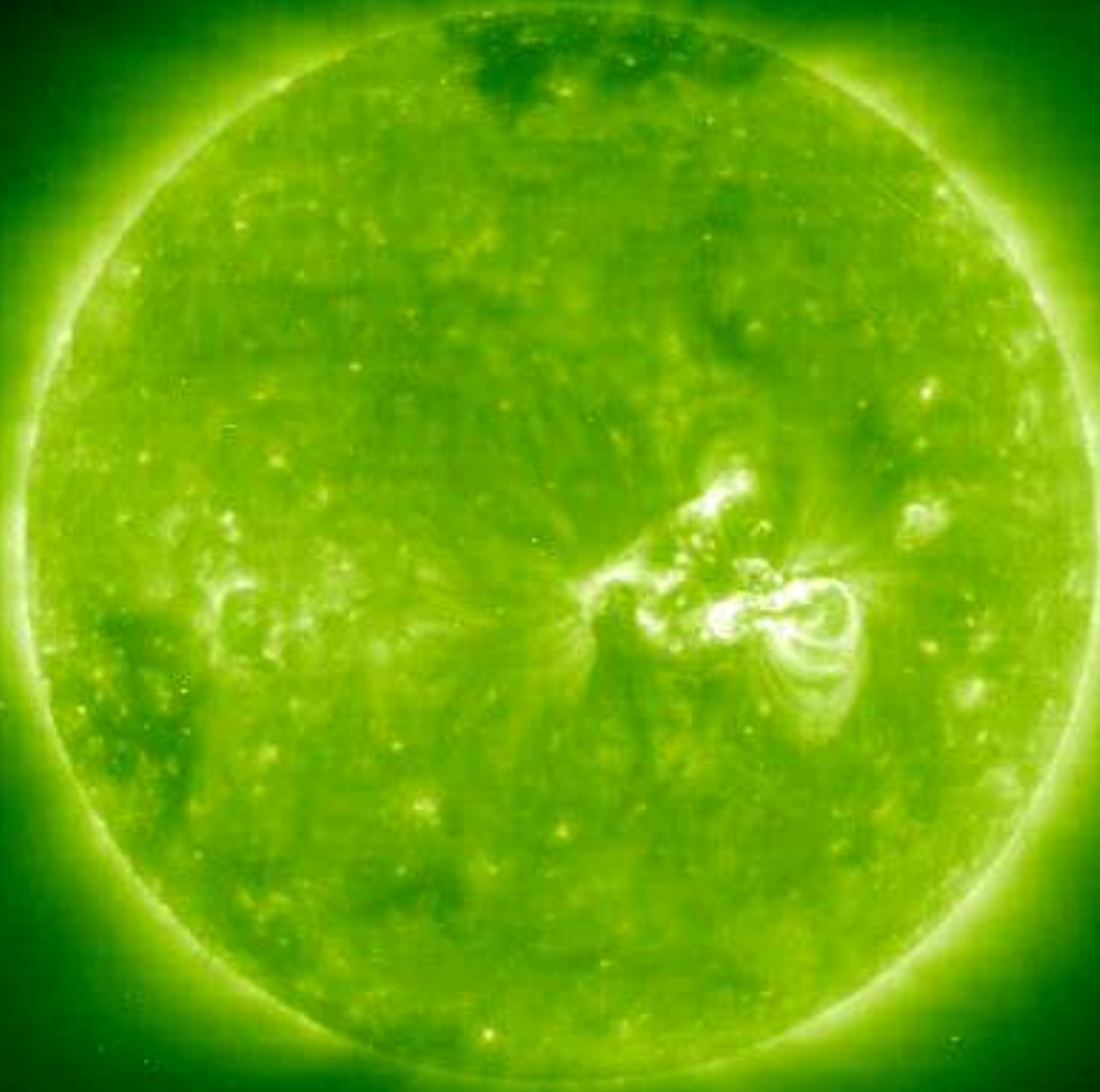


太陽面爆発と宇宙天気

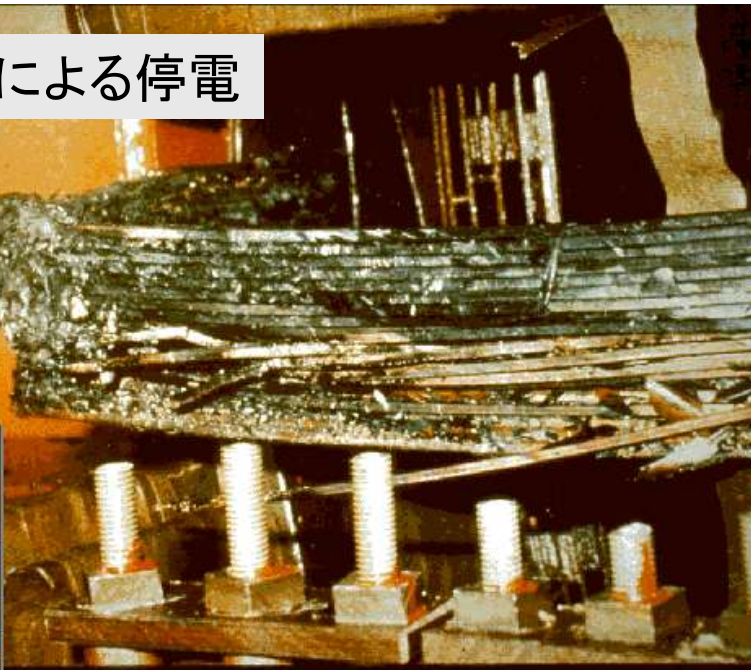


じょう乱の発生から障害まで

200 2006/12/13 00:00



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)

読売新聞2001年9月26日朝刊

◆BSデジタル一時中断 BSデジタル放送のテレビ、ラジオ、データ放送の全チャンネルが、25日午後4時17分ごろから、最大1時間にわたって受信不能となった。同放送に使用されている衛星「BSAT-2a」を運用している放送衛星システムによると、衛星の向きがずれたのが原因。同社は予備機に順次切り替えて放送を再開させた。昨年12月のBSデジタル放送開始以来、衛星の事故による放送中断は初めて。

フレアによる衛星障害



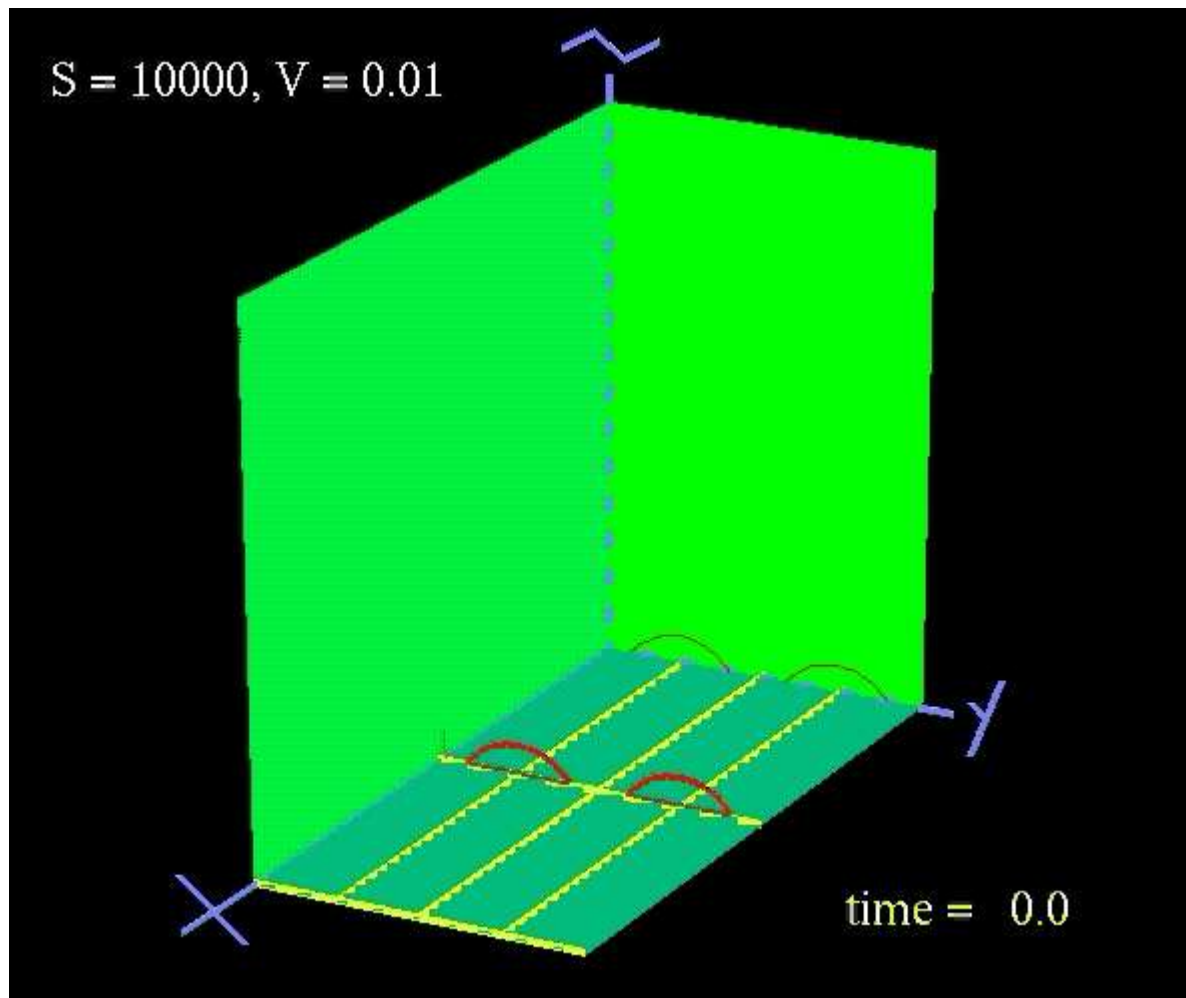
「あすか」結局落下へ
太陽活動の影響で昨年夏から観測不能になっていた文部科学省宇宙科学研究所(宇宙研)のX線天文衛星「あすか」が回復せず、二月末から三月初めの間に落下することが、二十六日明らかになった。次世代の衛星を積んだM5ロケットの



読売新聞2005年11月19日朝刊
大規模フレア発生
観測衛星など不調
太陽表面の爆発(フレア)との関連が疑われる人工衛星の不具合が各地で発生し

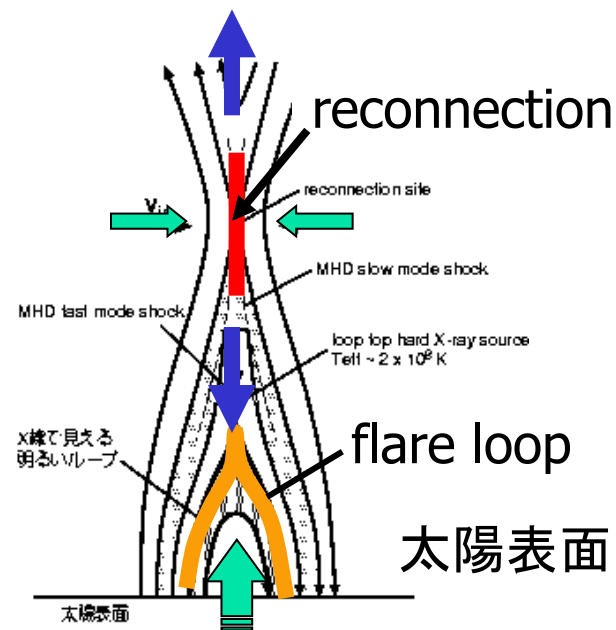
ている。情報通信研究機構によると十七日午後六時五十二分、大規模フレアが発生。米国の気象衛星ゴーズ12号や科学衛星エースの一部の観測機器が使用できない状態になった。
一方、日本の民間衛星通信会社JSTATが所有する静止衛星「JCSAT-1B」は衛星の姿勢を制御する小型ジェット十二基のうち二基に異常が発生、十七日夜から衛星を監視するための信号が受信できない状態。衛星を利用する約五十社の通信サービスなどが停止している。同社では十九日午前三時ごろまでに復旧させる予定。

太陽フレアの基本過程



太陽コロナ磁場の単純モデル

磁気エネルギーの解放



磁気エネルギーの蓄積

しかし、蓄積から解放への遷移過程は未解明

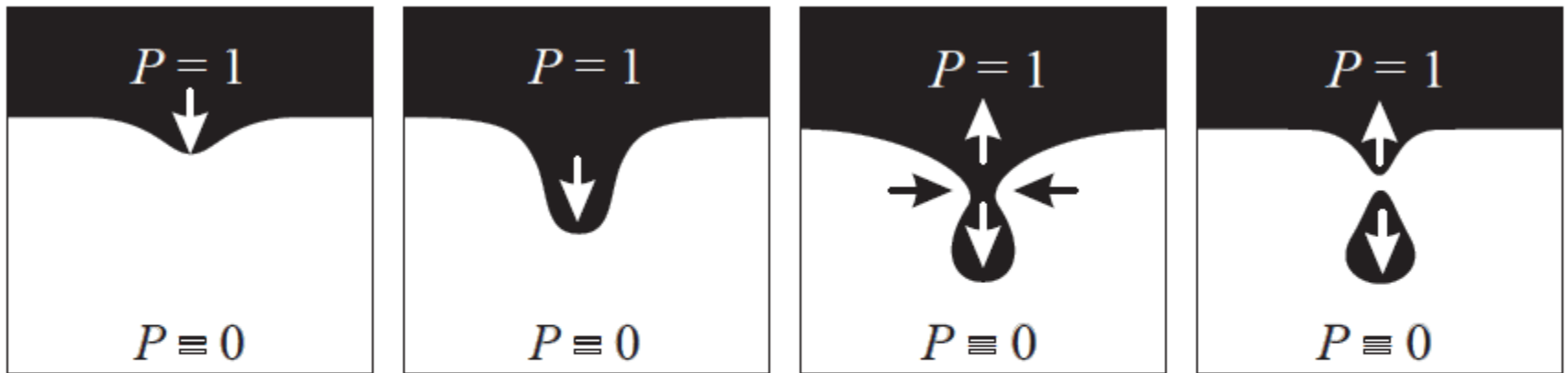
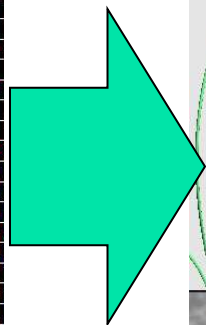
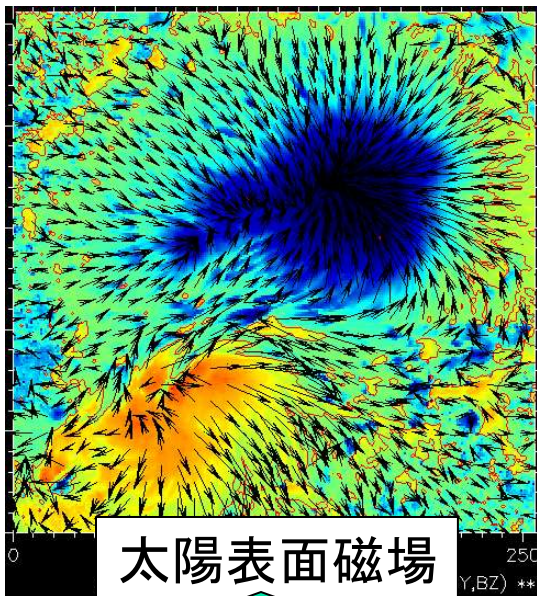
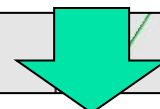


Fig. 2.9. The detachment of a drop as an example of reconnection of a scalar quantity.

データ駆動型シミュレーション

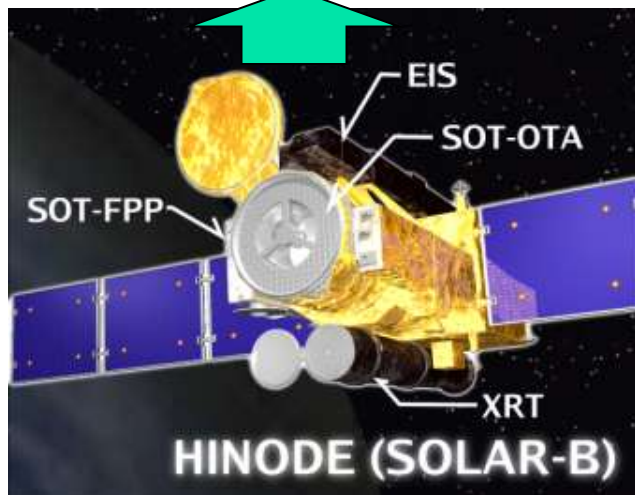


3次元磁場モデル

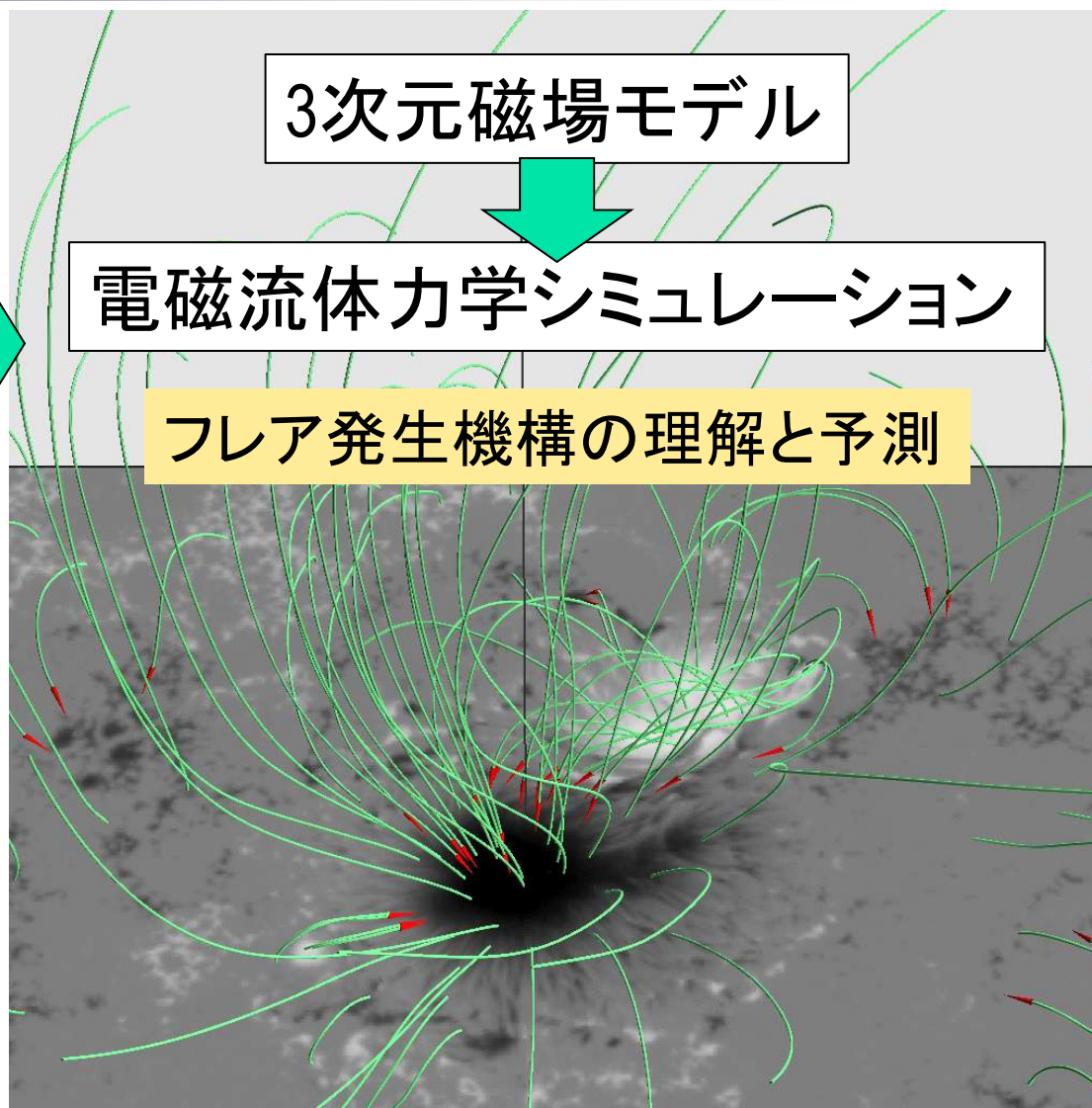


電磁流体力学シミュレーション

フレア発生機構の理解と予測



太陽観測衛星



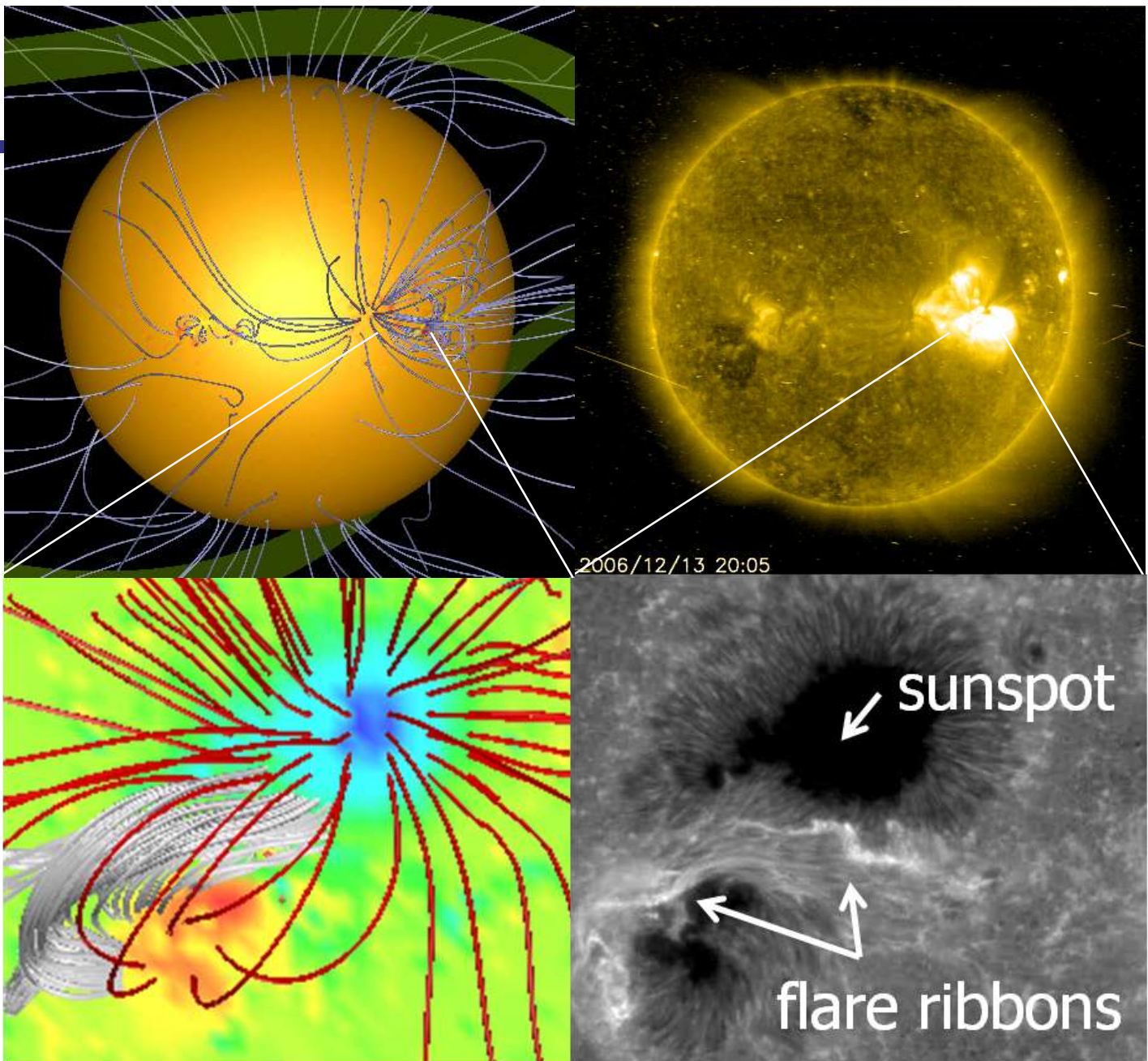
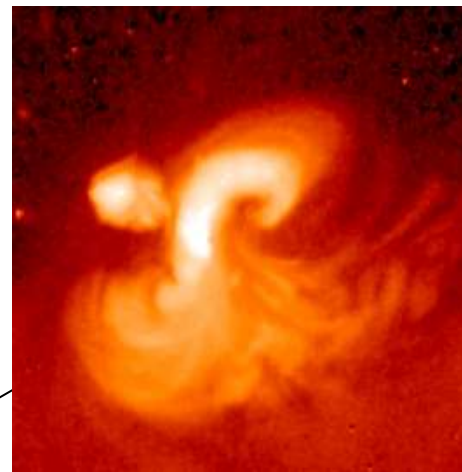
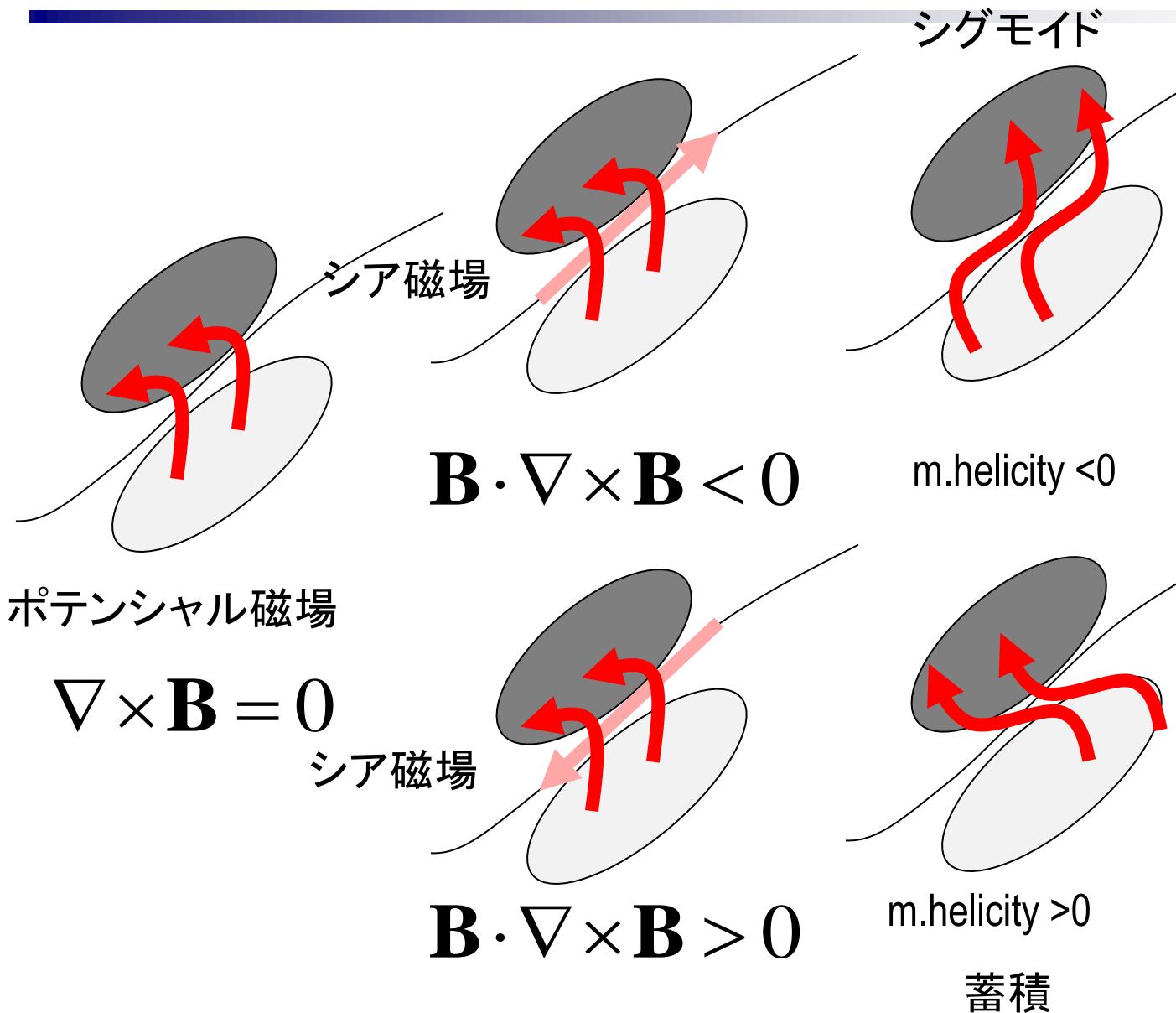


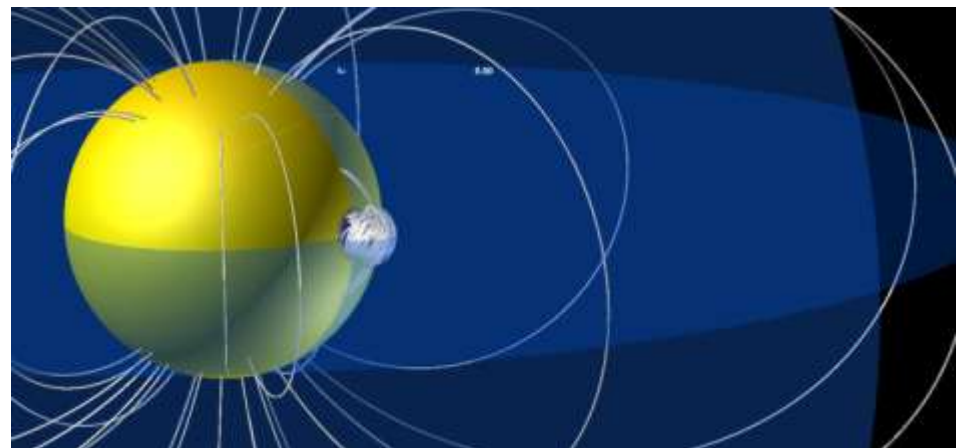
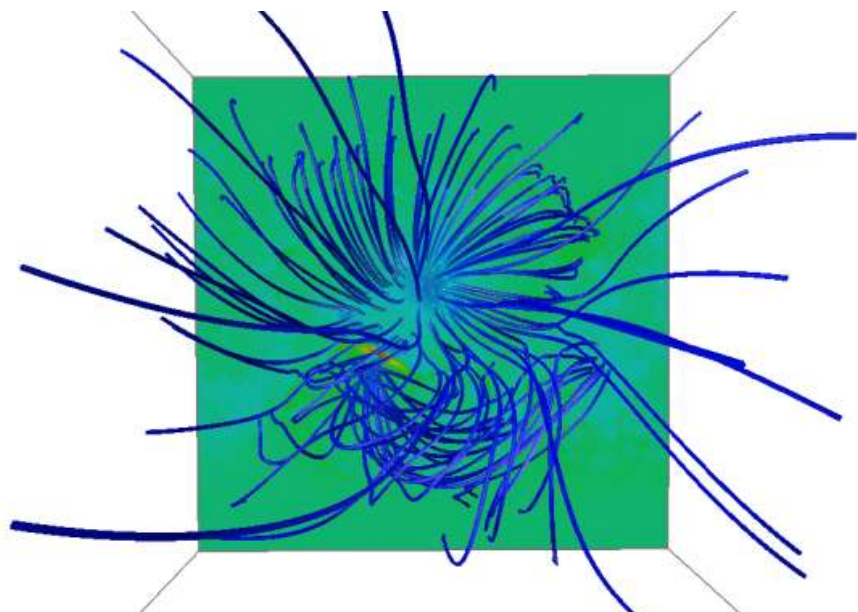
図1: 2006年12月に発生した太陽フレアと黒点の衛星観測データ(右)及びこのデータを用いた実証モデルで初めて得られた磁力線の3次元構造(左)。

磁気シアと自由エネルギー

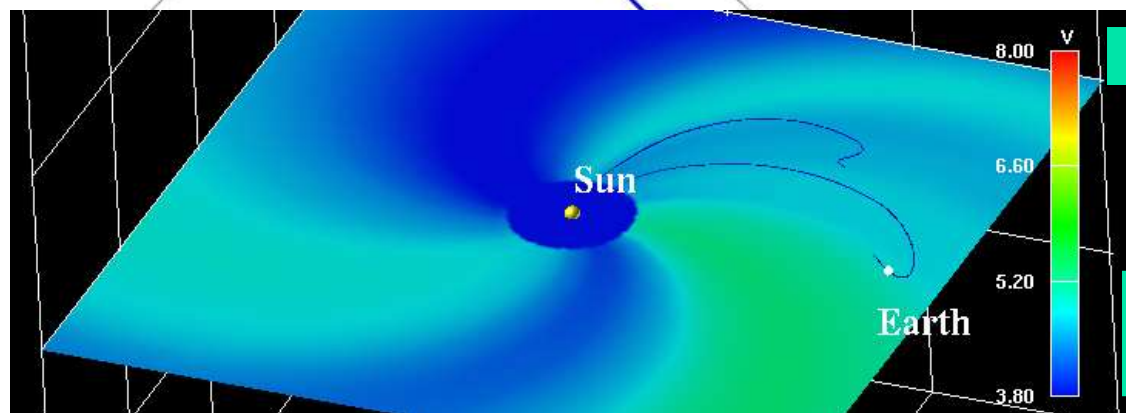


世界初の太陽嵐シミュレーション

最新の観測研究と大規模シミュレーションの融合

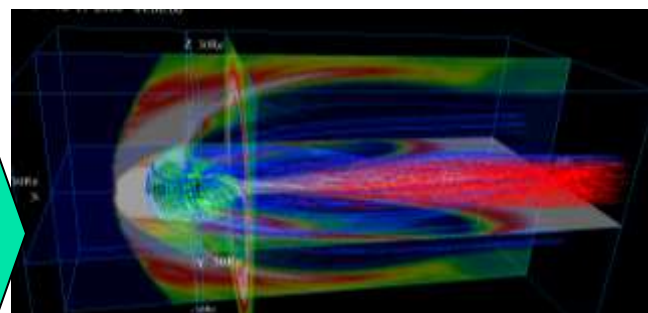


太陽フレア・CME再現実験



太陽圏コロナ質量放出シミュレーション

高エネルギー粒子の加速



地球磁気圏シミュレーション

フレア研究の課題

■ トリガ機構の解明

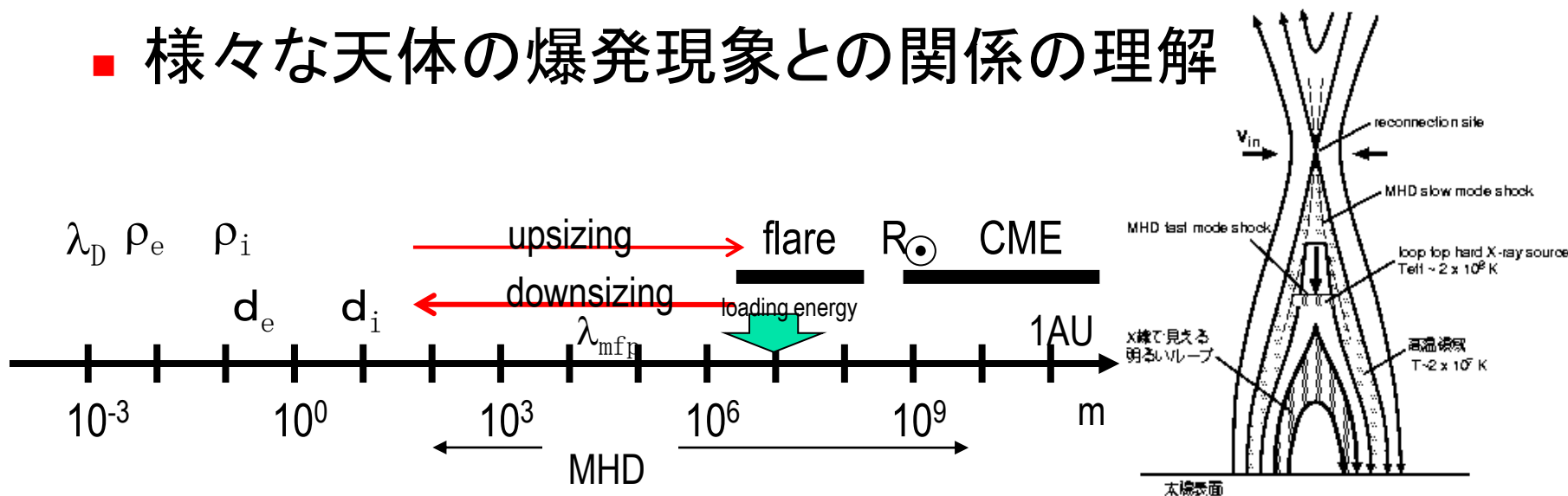
- いつ、どこで、どのようなフレアが発生するか？

■ ミクروسケールとマクروسケールの関係の理解

- プラズマ物理学との連携

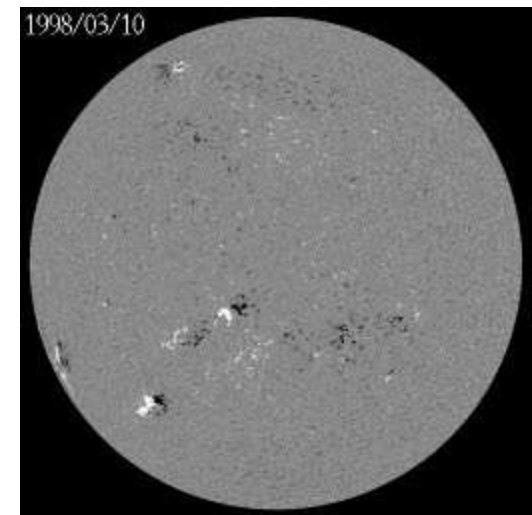
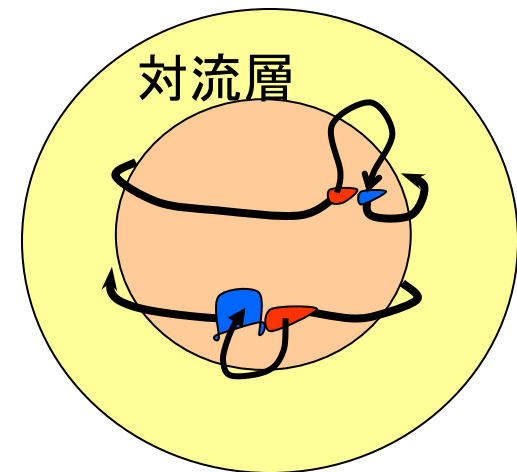
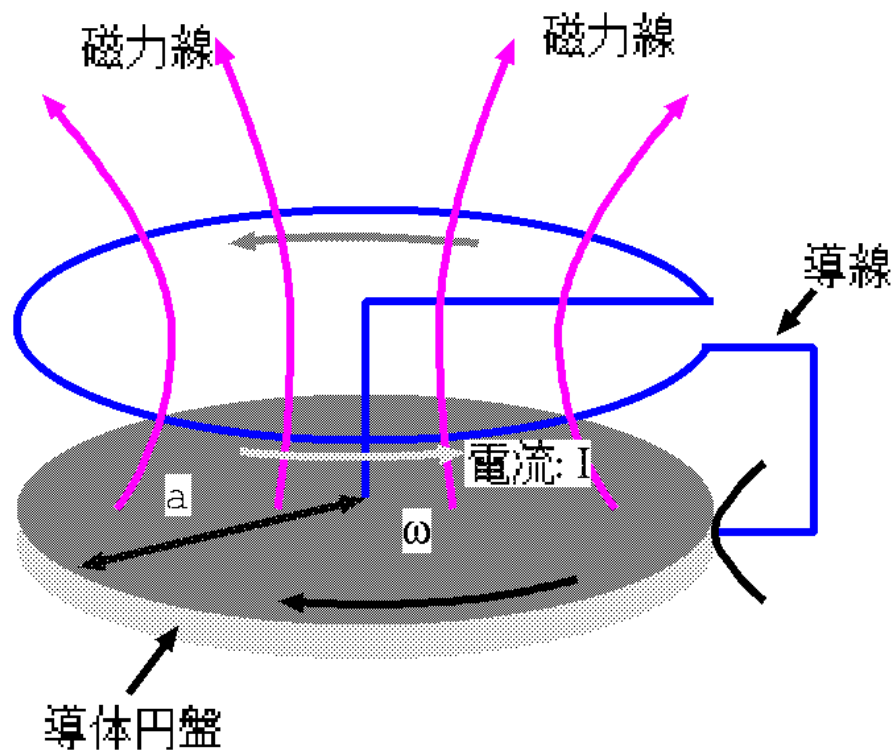
■ 天体フレアの理解

- 様々な天体の爆発現象との関係の理解



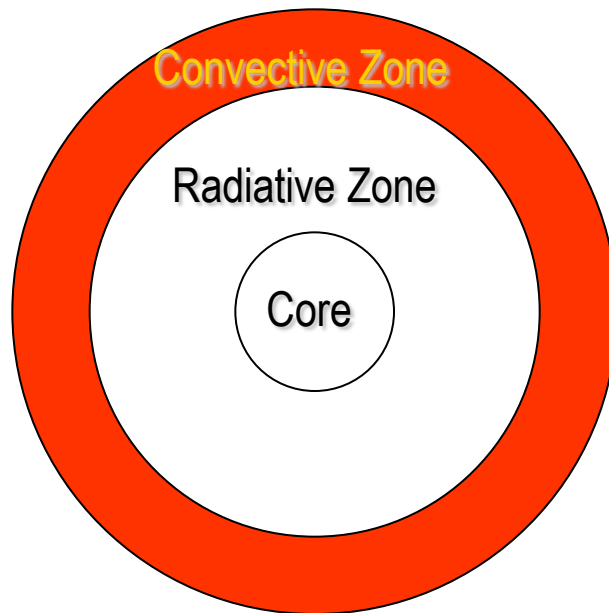
2. 太陽の内部の研究

■ 天体の磁場の生成機構(ダイナモ)

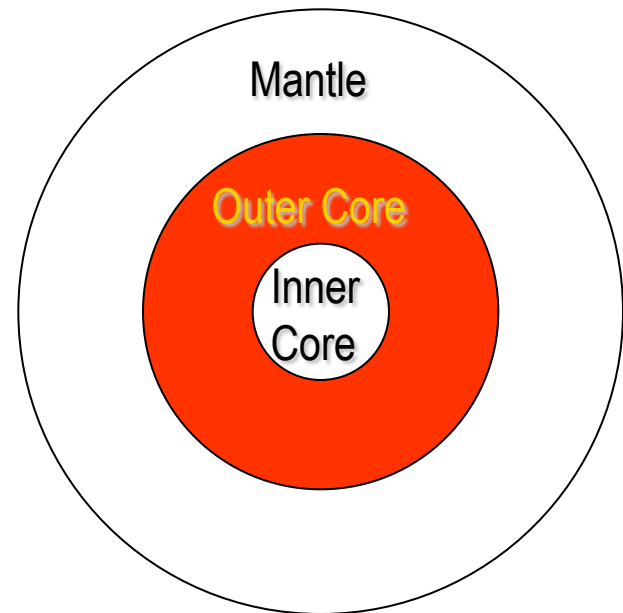


太陽と地球の内部

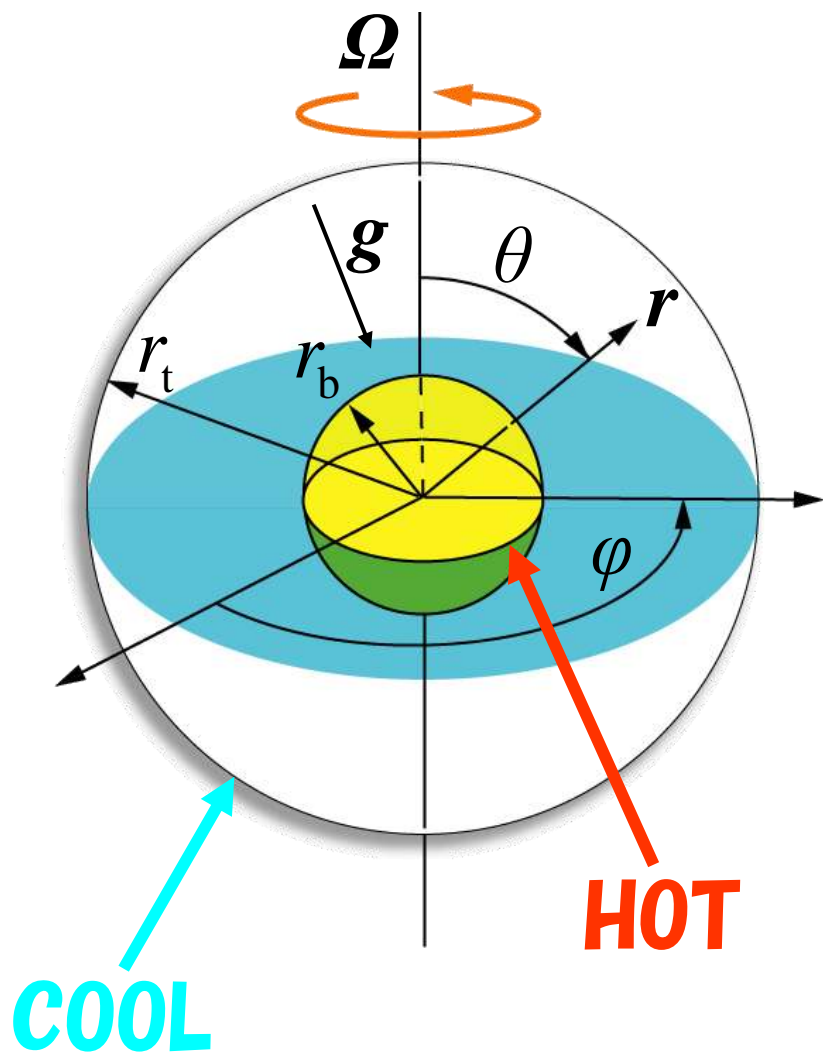
Sun



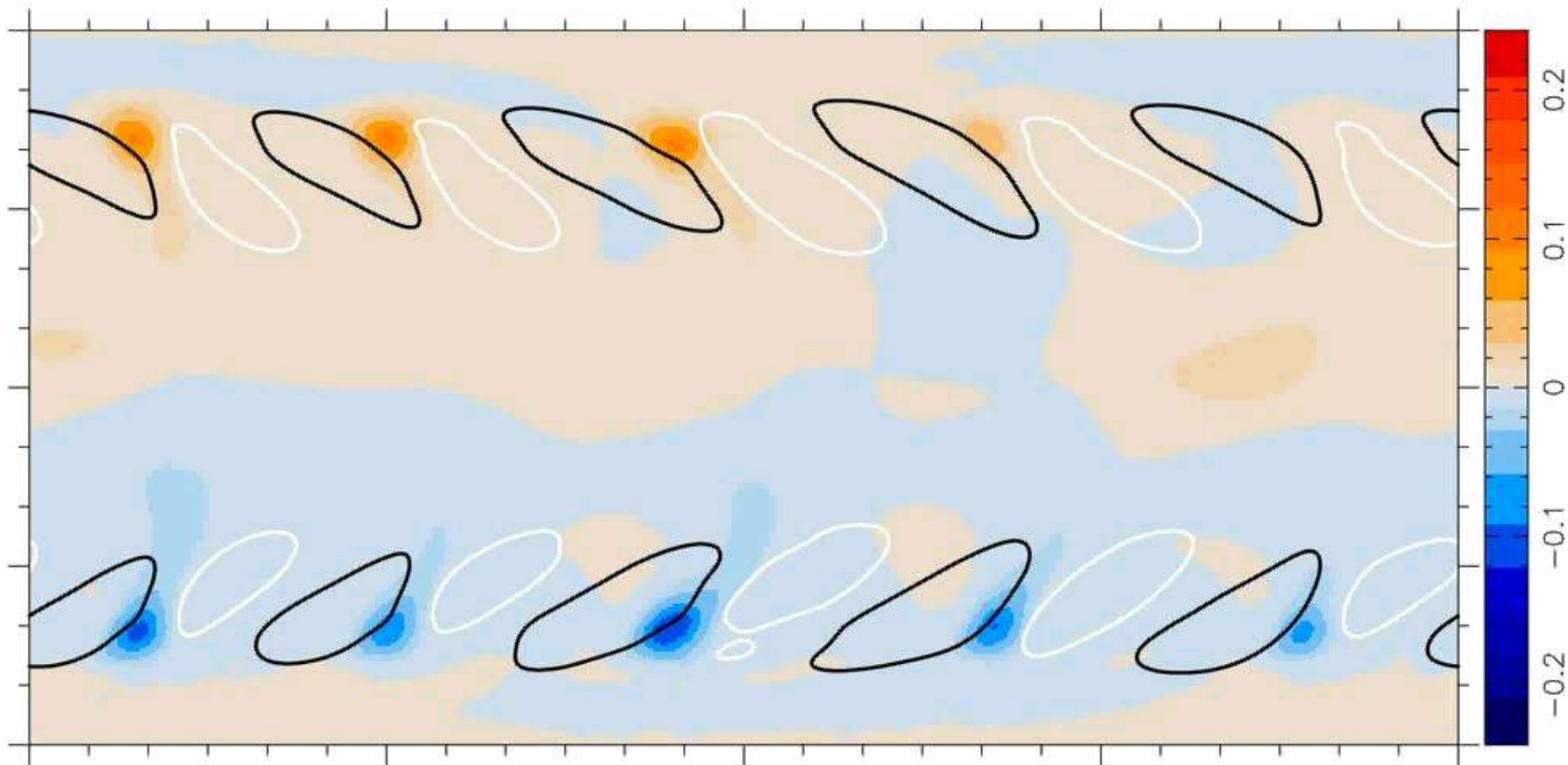
Earth



天体内部の3次元対流シミュレーション

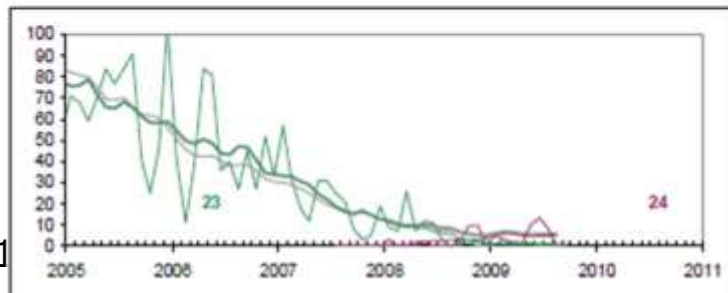
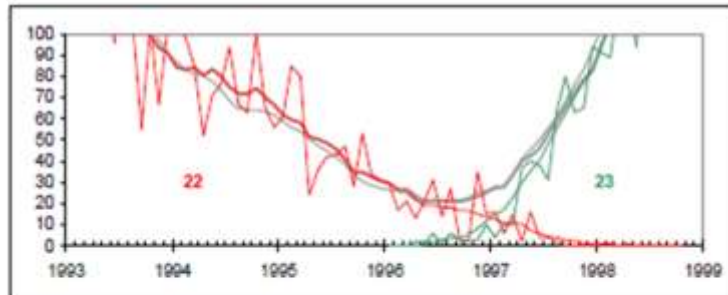
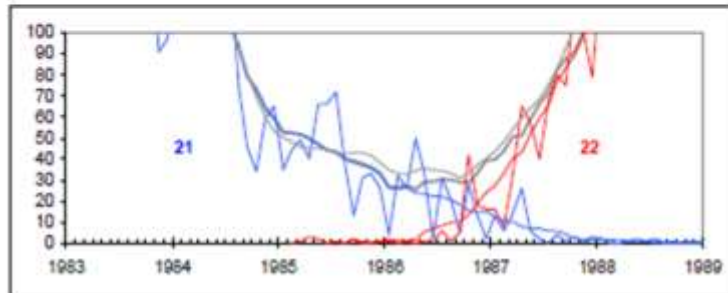
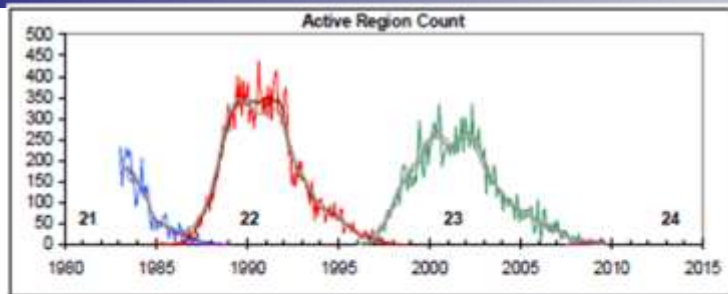


Time=43020



2009/11/21

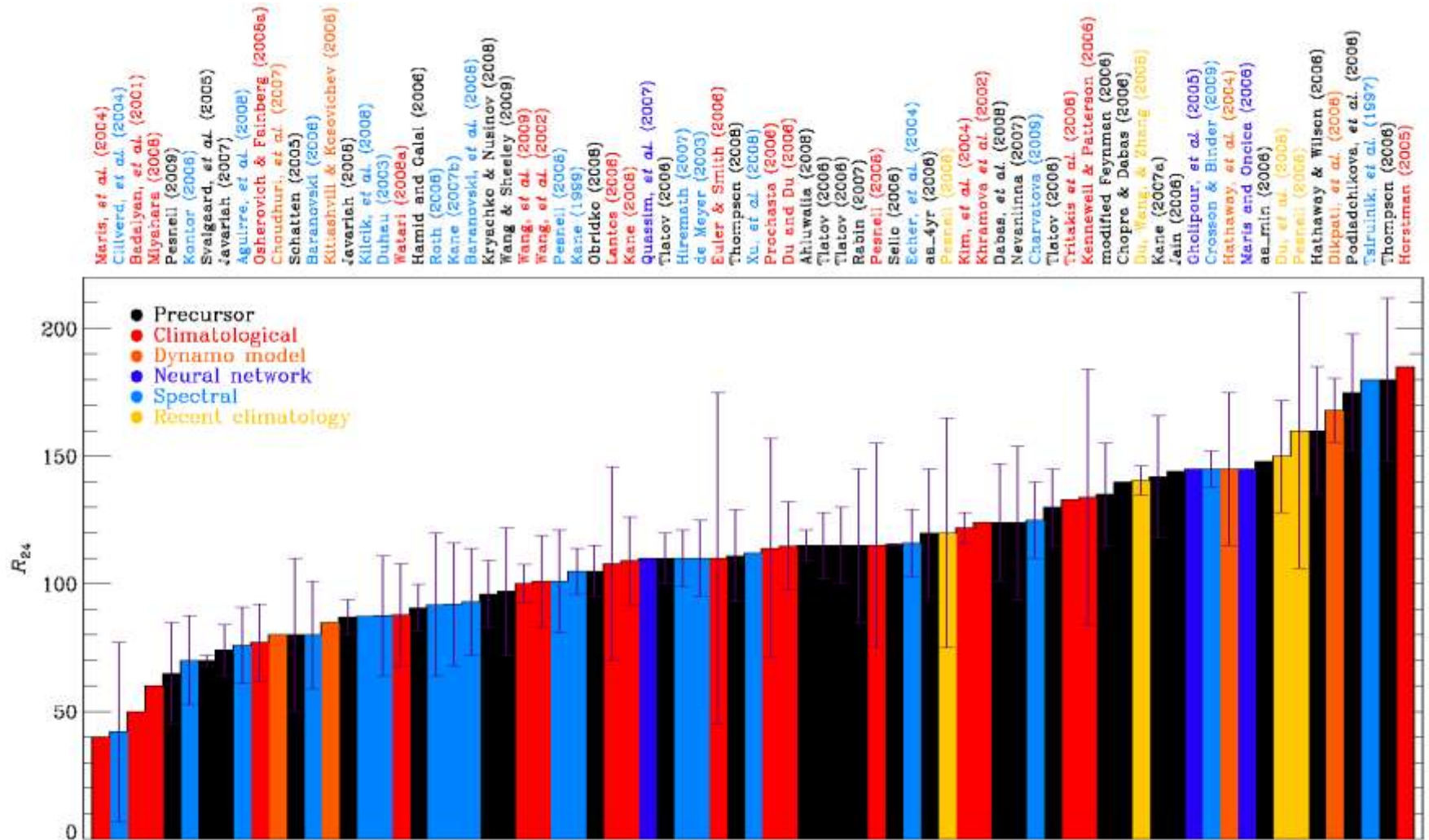
太陽活動は回復するか？



パリテイ 2010 1月号
「太陽活動は回復するか？」
草野完也

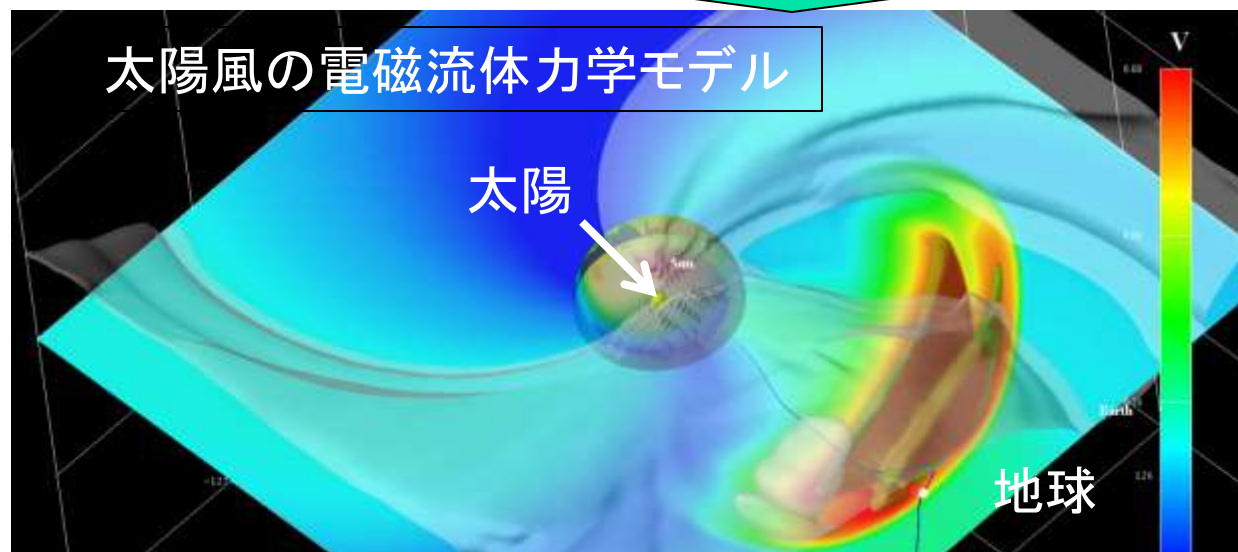
State of the Art: Predicting Cycle 24

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！

3. 太陽風(惑星間空間)の研究



- コロナの加熱・加速メカニズムの解明
- 宇宙天気予報モデル

2009年7月22日皆既日食の予測



独立行政法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)階層システム研究チーム(研究代表者:草野完也)の塩田大幸ポストドクトラル研究員らが作成した2009年7月22日皆既日食予測画像。研究協力:科学研究費補助金(学術創成研究費)「宇宙天気的基础研究(代表:柴田一成)」、大野暢亮(JAMSTEC)

参考資料:http://www.jamstec.go.jp/ifree/space_earth/jswm/ja/2009/06/total-solar-eclipse.html

4. 地球に対する太陽影響の研究

■ 歴史的論争

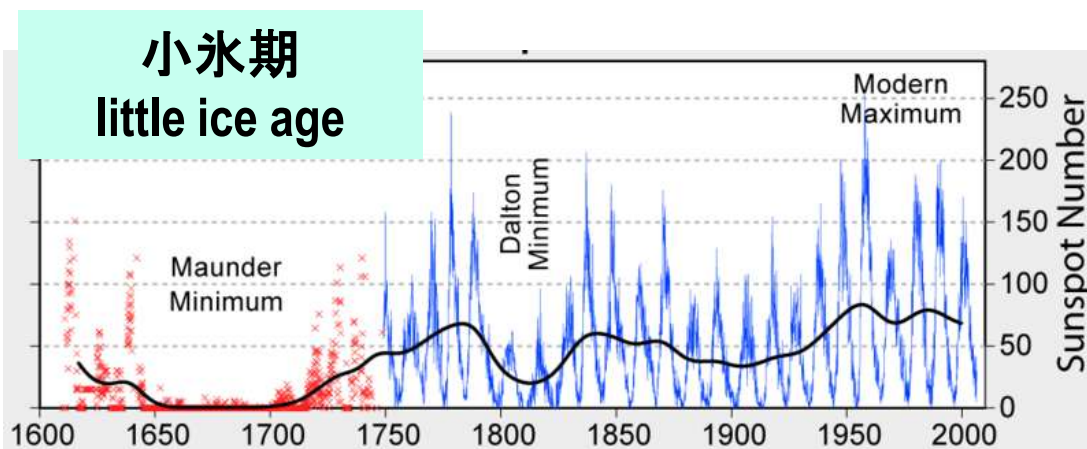
William Herschel (1732-1822) 太陽黒点とロンドンの穀物市場との関係に関する研究(1801)



William Herschel
1738-1822

■ 小氷期 (little ice age)

Moberg 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。



http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Sunspot_Numbers.png



“Sports on a Frozen River”

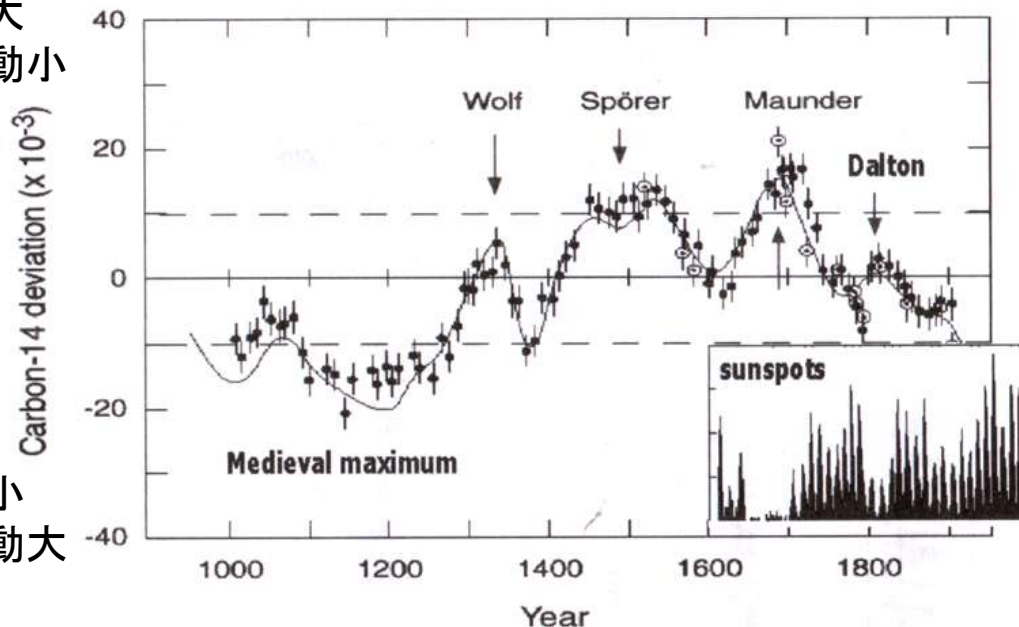
by Aert van der Neer

Courtesy: The Metropolitan Museum of Art

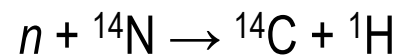
太陽黒点と宇宙線量の変化

宇宙線大
太陽活動小

宇宙線小
太陽活動大



宇宙線



窒素



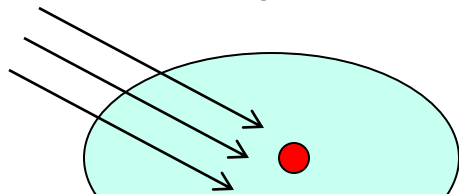
炭素同位体



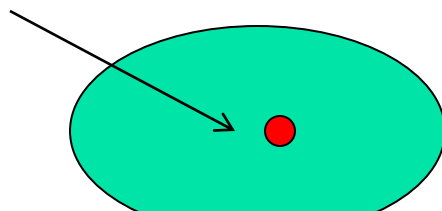
縄文杉

Figure 6. Variation of the ${}^{14}\text{C}$ production rate in the terrestrial atmosphere as a proxy for the long-term variation of solar activity. Due to the long residence time of ${}^{14}\text{C}$ 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 ${}^{14}\text{C}$ record.

宇宙線



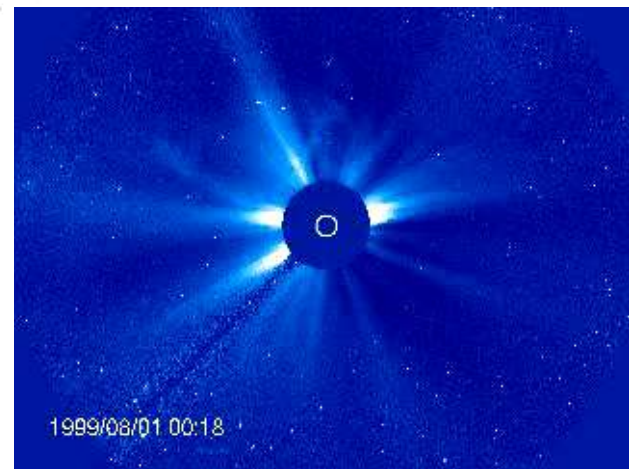
黒点極小



黒点極大

太陽風

太陽圏
磁場



1999/08/01 00:18

太陽活動と気候変動

Kirkby 2007

北半球平均気温

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

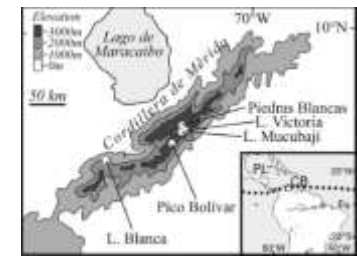
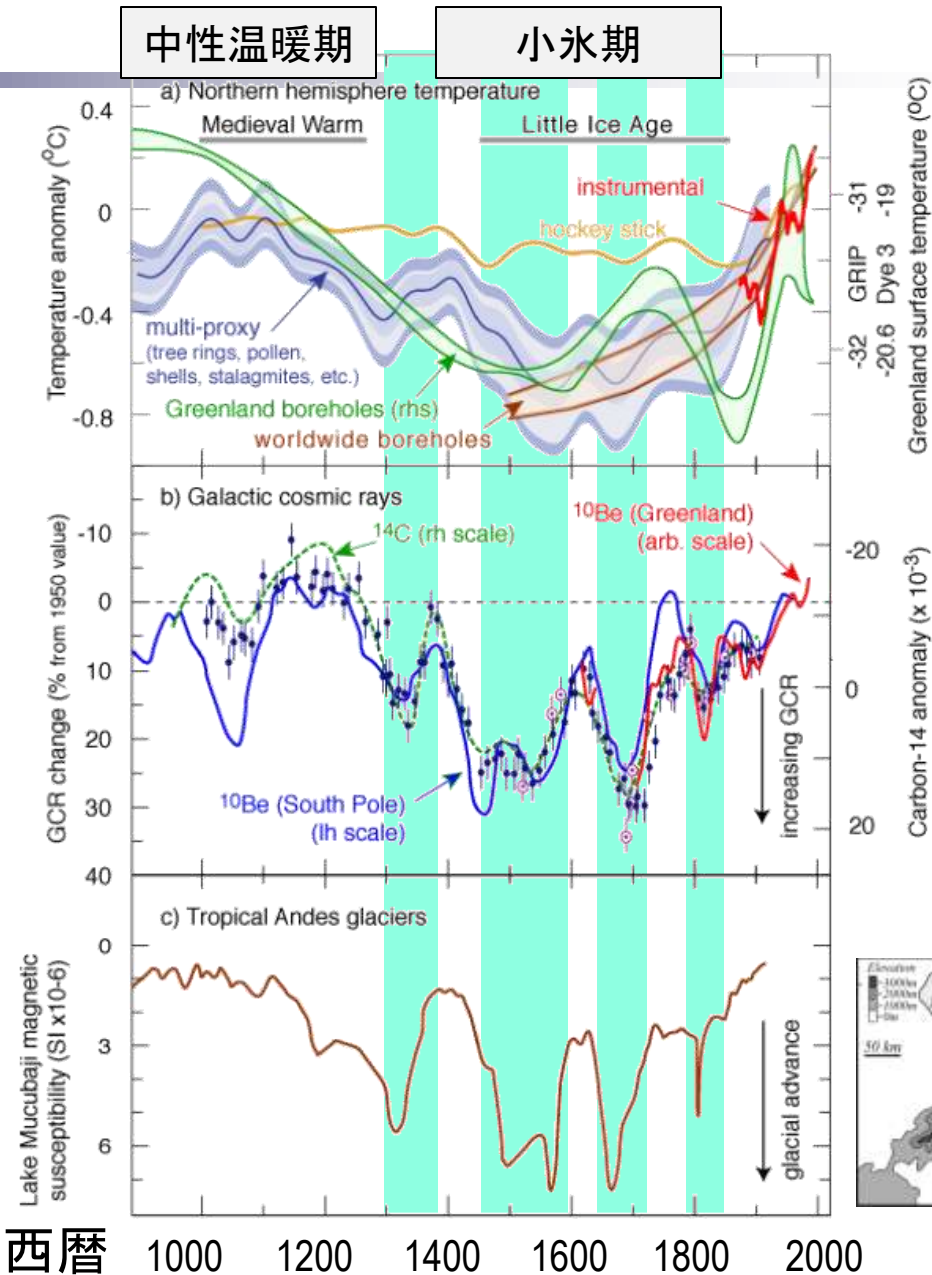
宇宙線生成核種

$\Delta^{14}\text{C}$ (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



地球に対する太陽影響の研究

太陽ダイナモ

黒点・磁場活動

放射強度 (TSI)
放射スペクトル (SSI)

太陽風
太陽圏磁場

太陽面爆発
(フレア・CME)

高エネルギー粒子

銀河宇宙線
太陽変調

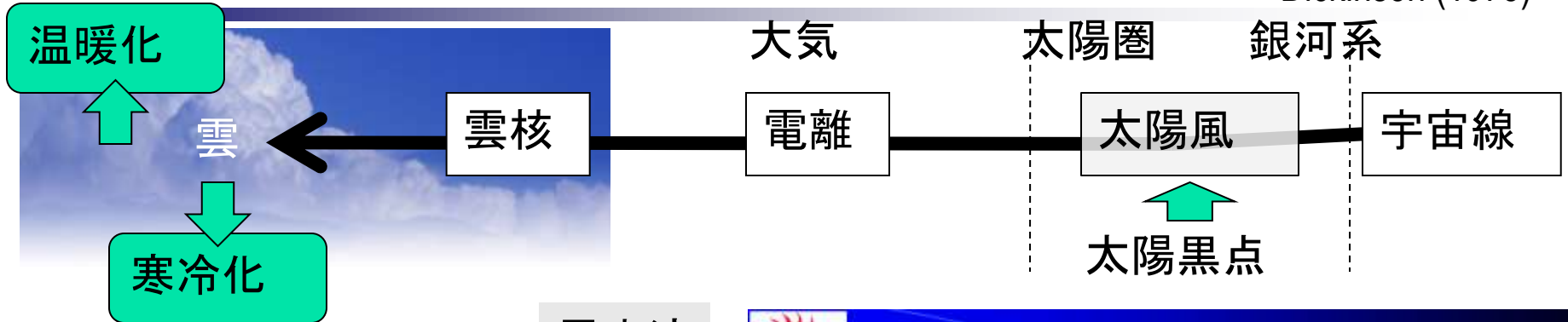
循環

オゾン

雲

イオン誘起核生成仮説

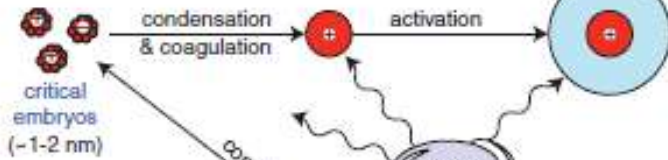
Dickinson (1975)



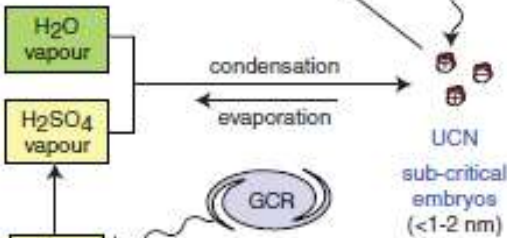
凝結核

雲凝結核

雲水滴



分子
クラスター



Nagoya Chamber

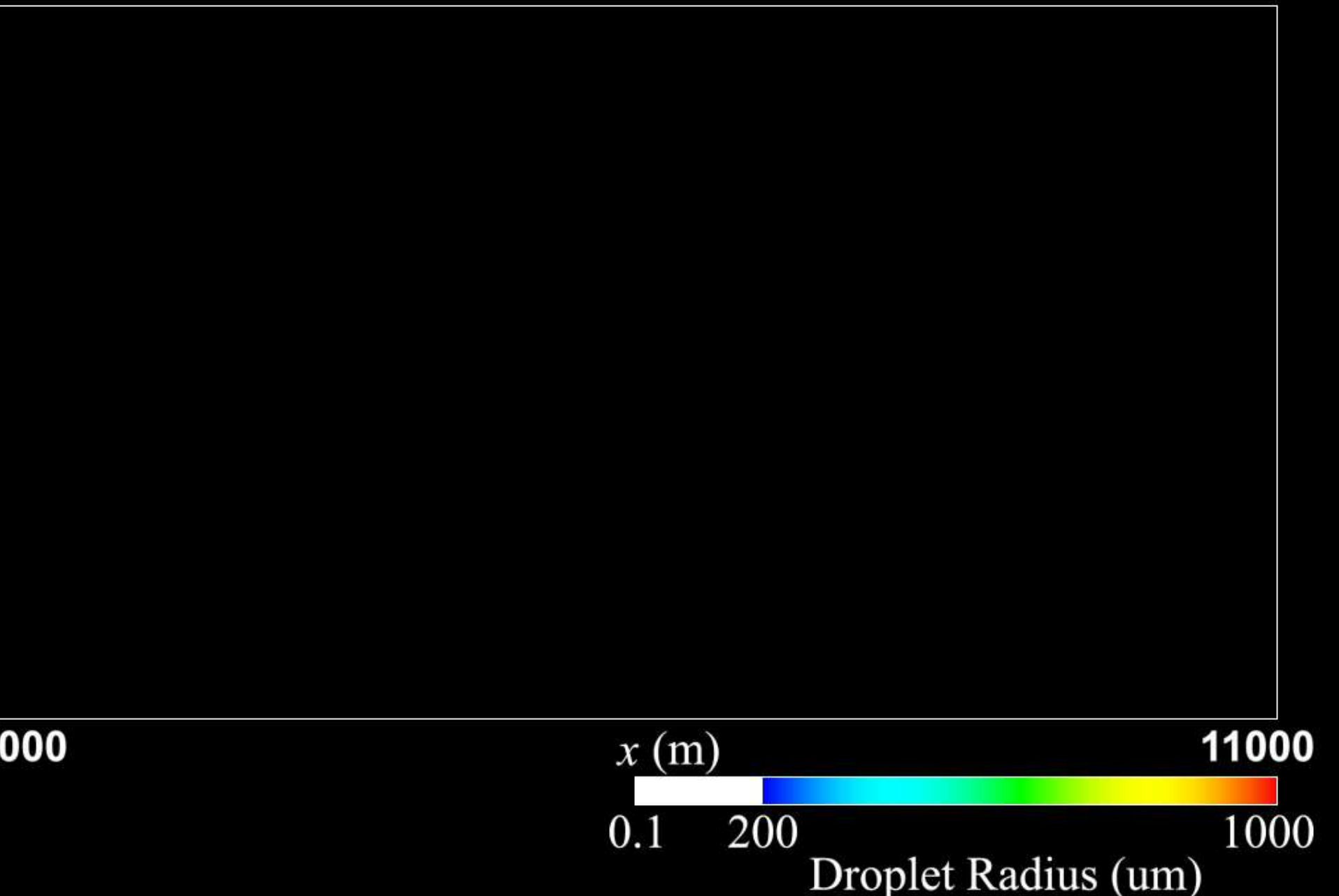


Particle counter >2.5nm

STE研での雲核生成実験

世界初の雲の粒子シミュレーション

T = 12 [sec]





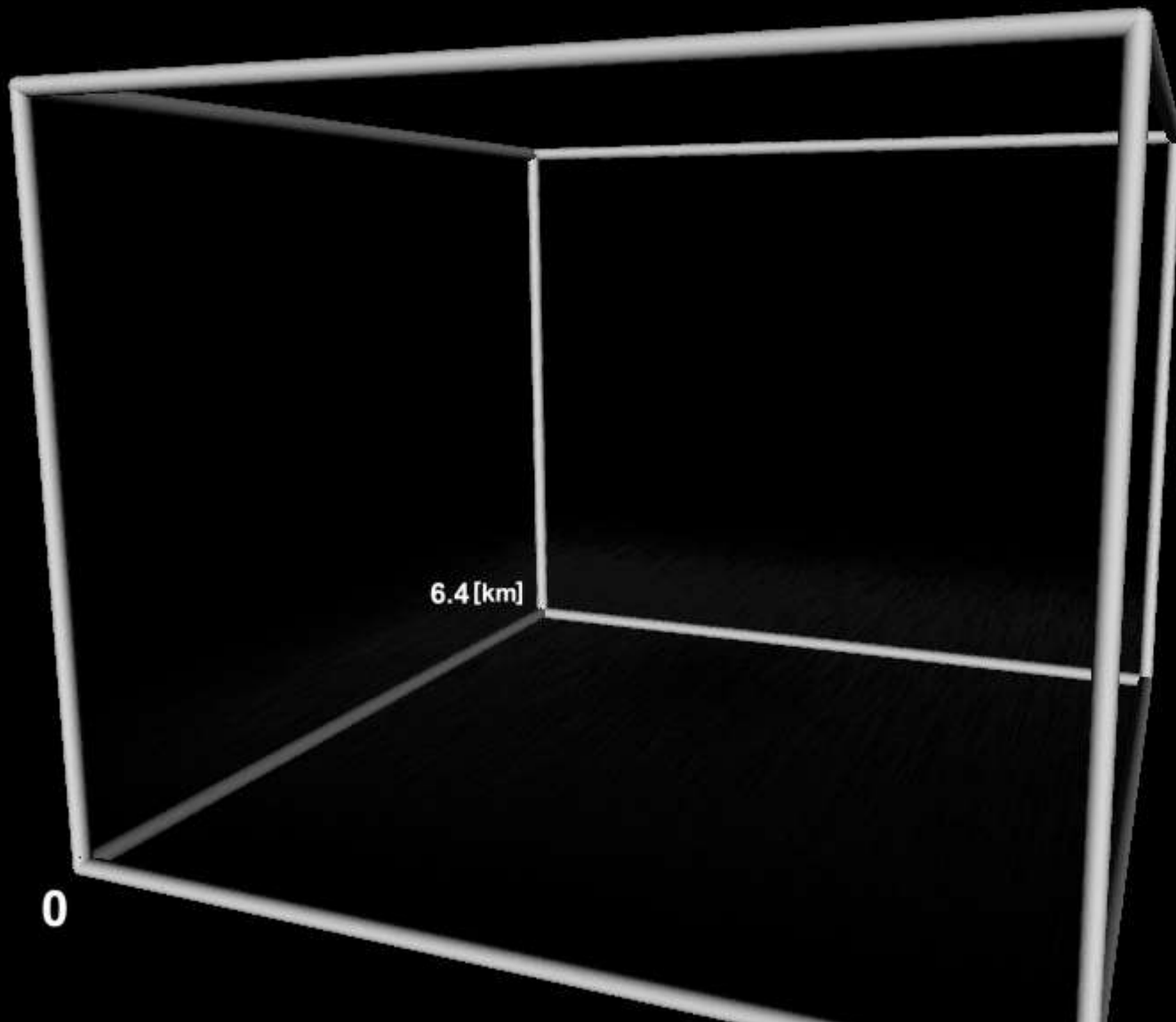
COR

$T = 60$ [se]

5.0 [km]

6.4 [km]

0



物理科学雑誌

parity

第24巻第1号
2009年1月1日発行
毎月1回1冊発行
2009年1月7日発行
ISSN 0911-4015

PHYSICS TODAY 提携

パリテイ

2009
01

物性: 鉄系超伝導体の発見 | 素粒子: 動き出したLHC実験

流体: 雲をめぐる気候変動問題 | 天体: 光エコーによる超新星研究

光量子ICの出現 | 「ひので」の太陽観測成果 | 人工細胞研究の進展

特集: 物理学, この1年



MARUZEN

物理の雑誌

分野横断研究と広範なネットワーク

国立天文台

JAXA 宇宙航空
研究開発機構

NiCT情報通信
研究機構

名古屋大学大学院理学研究科

国内研究
機関



海外研究
機関

名古屋大学太陽地球環境研究所

京都大学
附属天文台

JAMSTEC 海洋
研究開発機構

核融合科学
研究所

太陽地球環境研究所の大学院

- 名古屋大学理学研究科素粒子宇宙物理学専攻(宇宙地球物理系) SSt研究室
- 受験案内: http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/ste-www1/doc/about_edu_j.html

理学研究科 素粒子宇宙物理学専攻 (宇宙地球物理系)	太陽地球系物理学講座	太陽圏プラズマ物理学 (SW)
		太陽圏高エネルギー物理学(CR)
	太陽地球系化学講座	太陽圏環境変動 (AM1、2)
	太陽地球相関理学講座	太陽地球相関理学 (SSe, SSt)

- 学部卒業研究については直接ご相談ください 42

名古屋大学大学院理学研究科大学院学生募集 (第2次学生募集)

- 大学院理学研究科 博士課程(前期課程)
- 素粒子宇宙物理学専攻
(素粒子宇宙物理系ならびに宇宙地球物理系)
- 博士課程(前期課程)の学生の第2次募集を下記の通り行います。
- 願書受付期間:
 - 平成22年1月 8日(金) ~ 平成22年1月14日(木)
(ただし、土・日は除く)
- 試験期日:
 - 平成22年1月23日(土)
- 募集人員 : 10名程度
- 試験科目 : 口述試験(詳細は募集要項参照)
- 募集を行う研究室
 - 素粒子宇宙物理系 : [E,H,Q], CG, P, AT, Ta, ΣT , F, N, AE, UIR, UX, Ω
 - 宇宙地球物理系 : AM, SSe, **SSt**, CR, SW