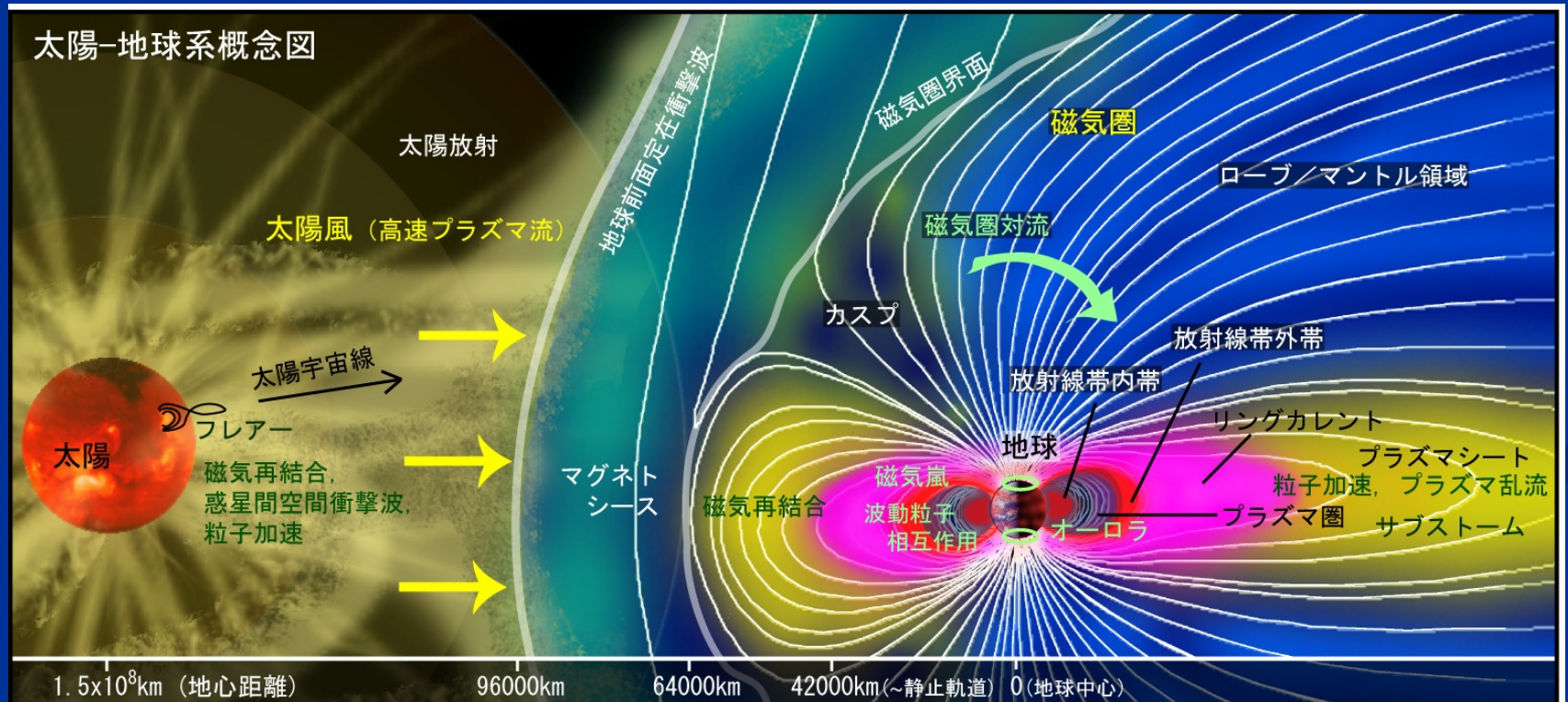


# 総合解析部門

## 菊池 崇

- 太陽から地球大気圏までのエネルギーと物質の流れの解明を目指す。
- 太陽フレア、CME、磁気嵐、オーロラなどの発生メカニズムを明らかにし、宇宙天気予報への応用を図る。
- 人工衛星や地上観測のデータ解析とコンピュータシミュレーション／モデリングを組み合わせた“総合解析”を行う。



# 総合解析部門メンバー

[部門教員6名] 菊池 崇、草野 完也、増田 智、  
関 華奈子、家田 章正、三好 由純

[高等研究院特任講師1名] 海老原 祐輔

[GCOE特任助教1名] 天野孝伸

[GEMSIS研究員3名] 山本 哲也、宮下 幸長、中溝 葵

[学振特別研究員2名] 松本洋介、西村 幸敏

[大学院生D2名] 辻裕司、轉法輪阿弥子

[大学院生M4名] 原拓也、松村智英美、後藤智子、山本真央

# 大学院理学研究科太陽宇宙環境物理学 (SSt)



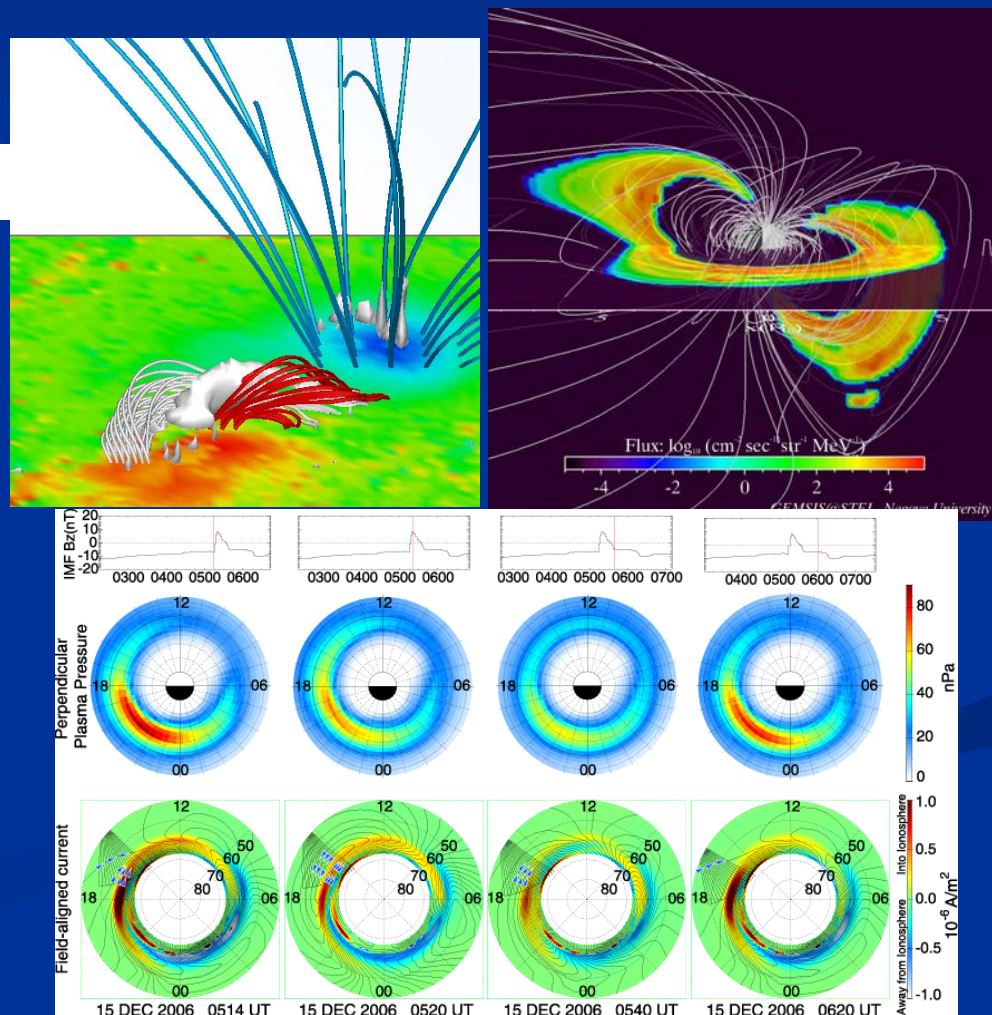


# GEDASからGEMISISへ

## データ解析と理論・シミュレーションを融合

Geospace Environment Modeling System for Integrated Studies

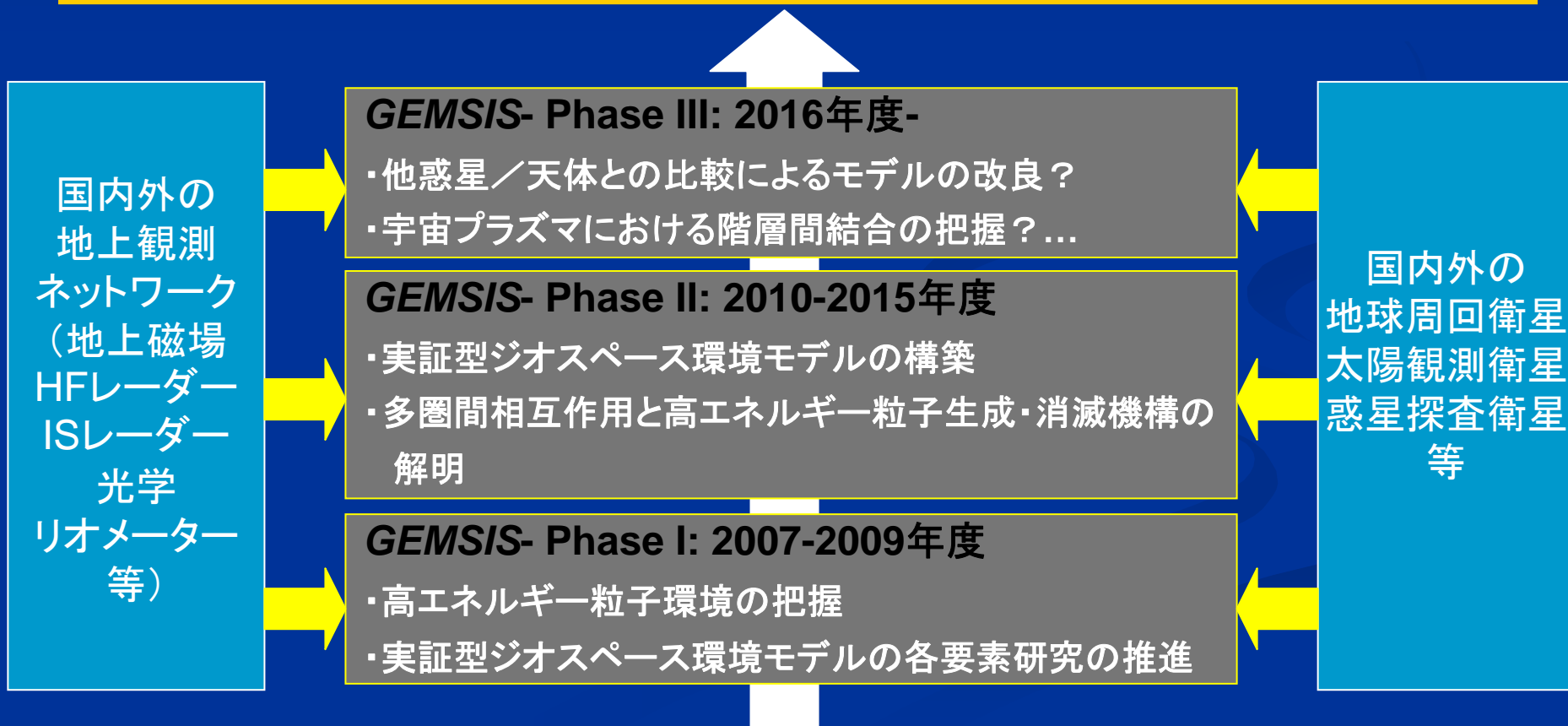
 Geospace Environment Data Analysis System





## プロジェクトゴール：

- ・ 宇宙嵐の予測を可能にするジオスペース環境変動の物理的・定量的理解
- ・ 太陽地球系における高エネルギー粒子加速機構の理解



# サブグループ

GEMSIS-Sun

GEMSIS-Magnetosphere

GEMSIS-Ionosphere

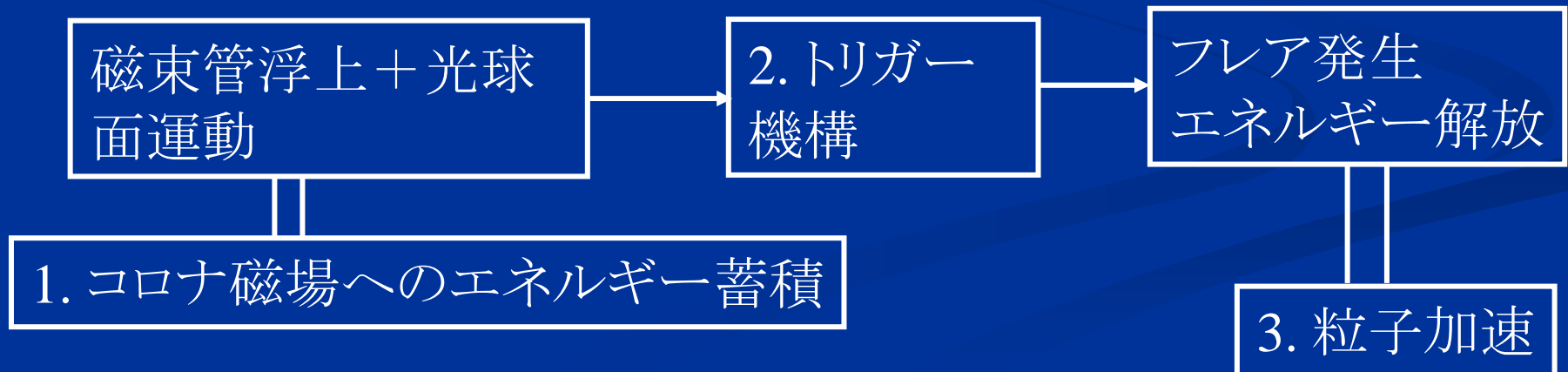
## メンバー:

(所内) 草野完也、増田智、松原豊、三好由純、山本哲也、、、

(所外) 簗島敬(JAMSTEC)、井上諭(NICT)、浅井歩(京大)、  
塩田大幸(理研)、、、、

## 目的:

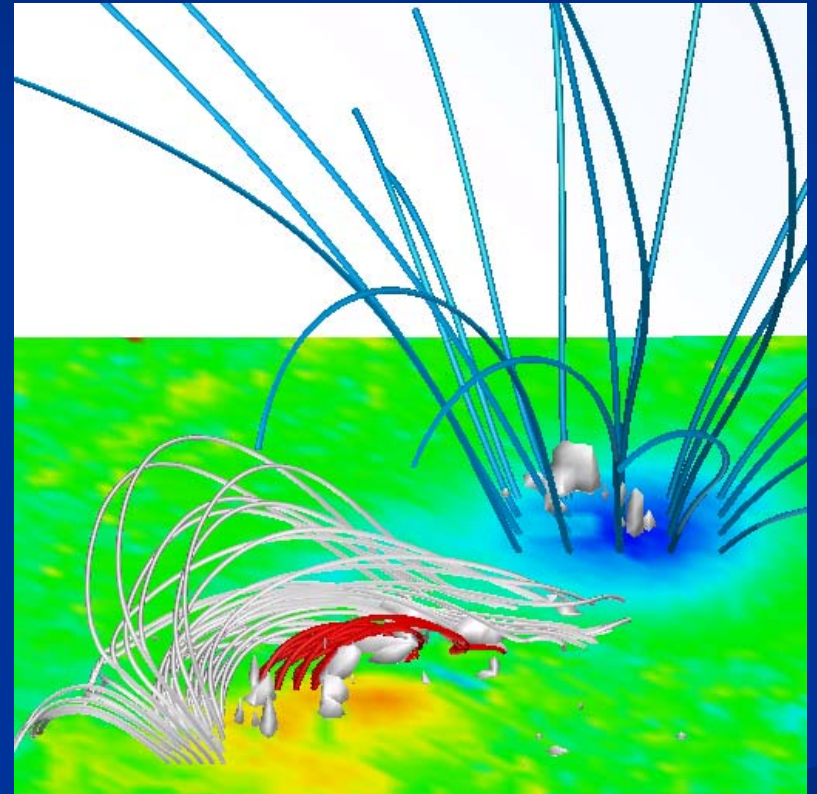
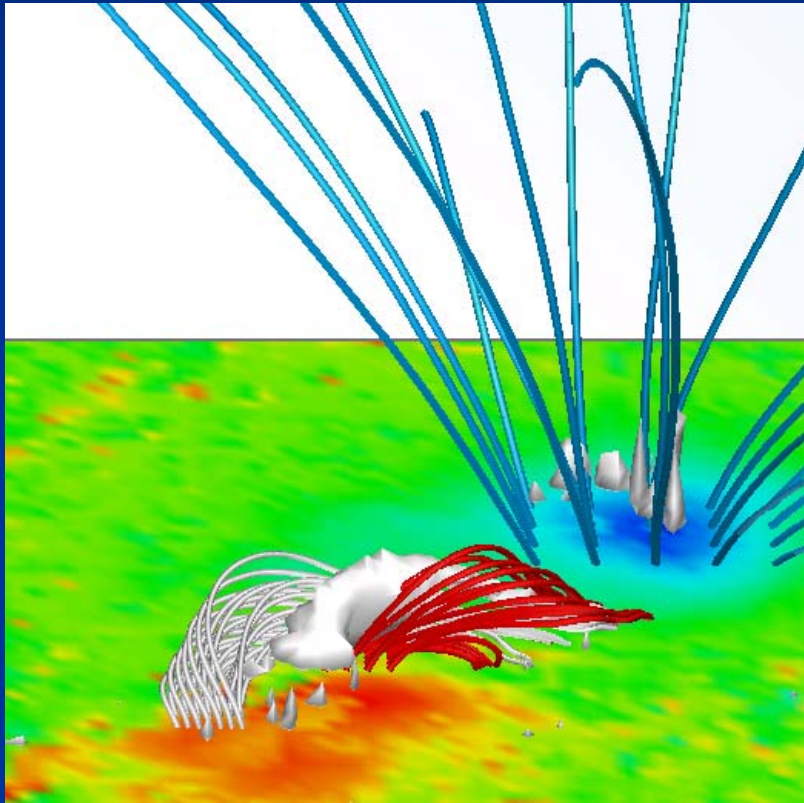
太陽フレアにおいて、エネルギー蓄積過程、トリガー機構、エネルギー解放、粒子加速過程を統一的に理解する。そのための現実的なモデルを構築し、観測結果(特に大フレア)と比較する。





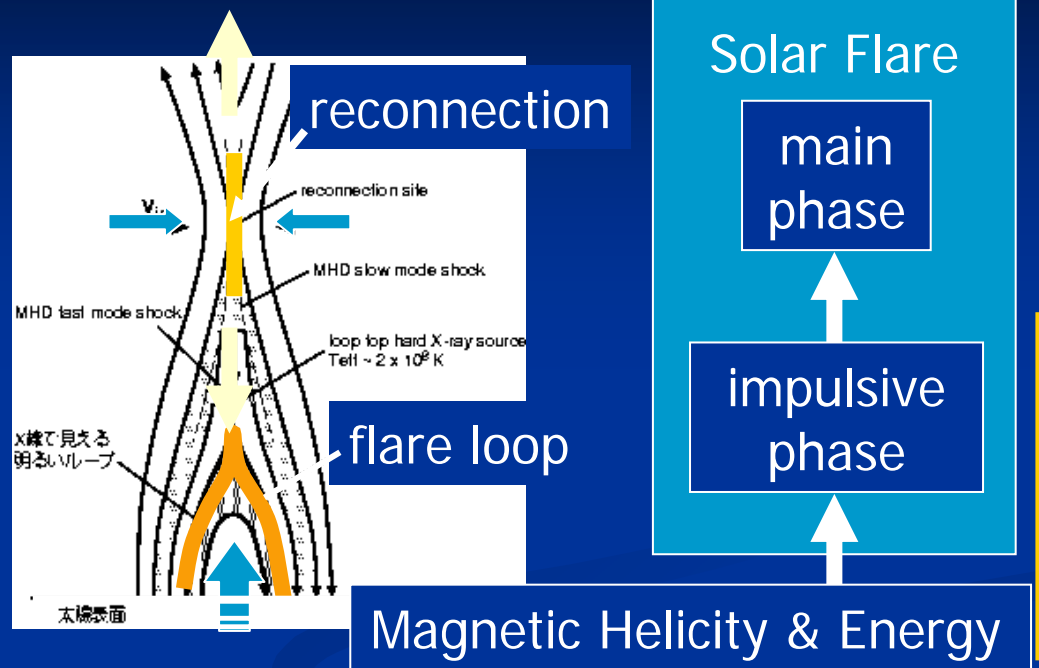
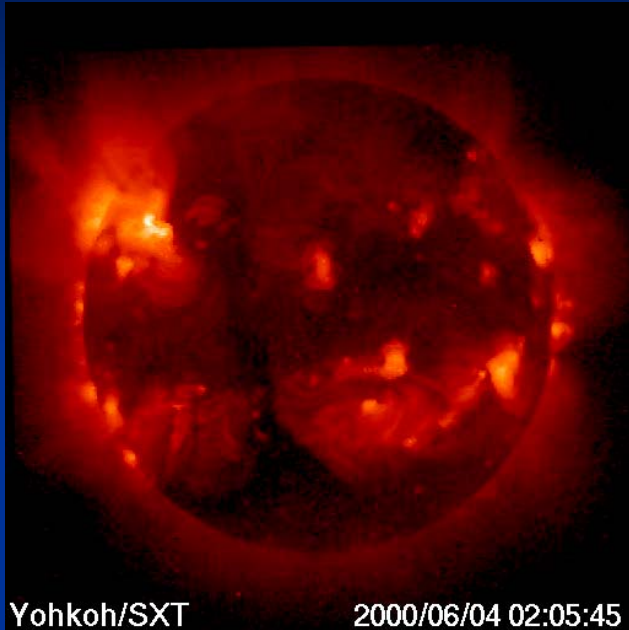
# 1. コロナ磁場導出

Hinode衛星が観測した精密な光球面3次元磁場からForce-Free近似に基づいてコロナ磁場を導出する計算コードを開発

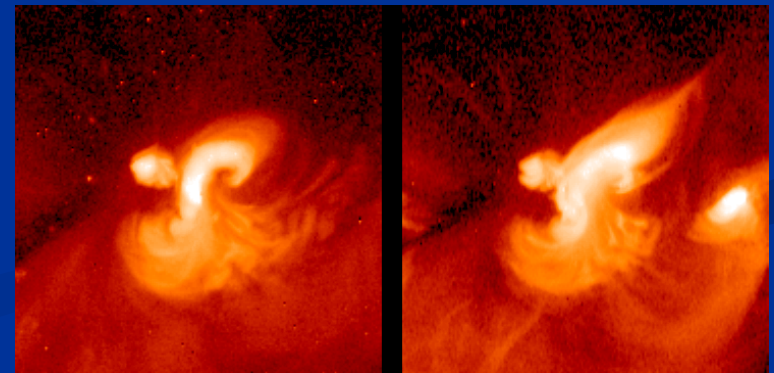


左： 2006年12月のXクラスフレア発生前の磁場構造。白く塗りつぶされた領域が強い電流密度領域。右： フレア発生後には、強い電流密度領域はほとんど消失していることがわかる。

## 2. 太陽フレアトリガー過程の理解



1. 前兆現象の機構解明:  
pre-flare, sigmoidの出現
2. 爆発機構の解明:  
sudden onset of reconnection



Sigmoid

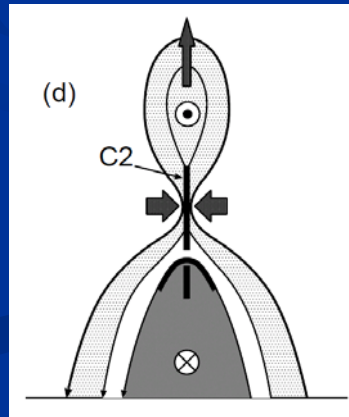
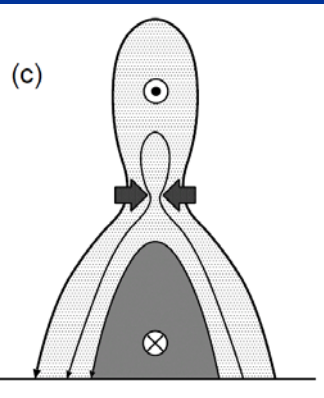
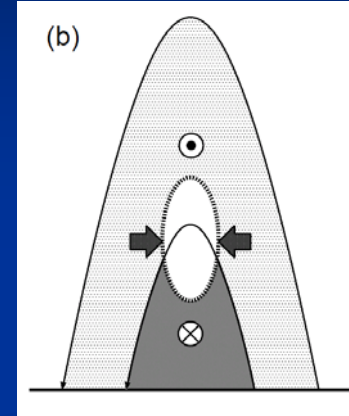
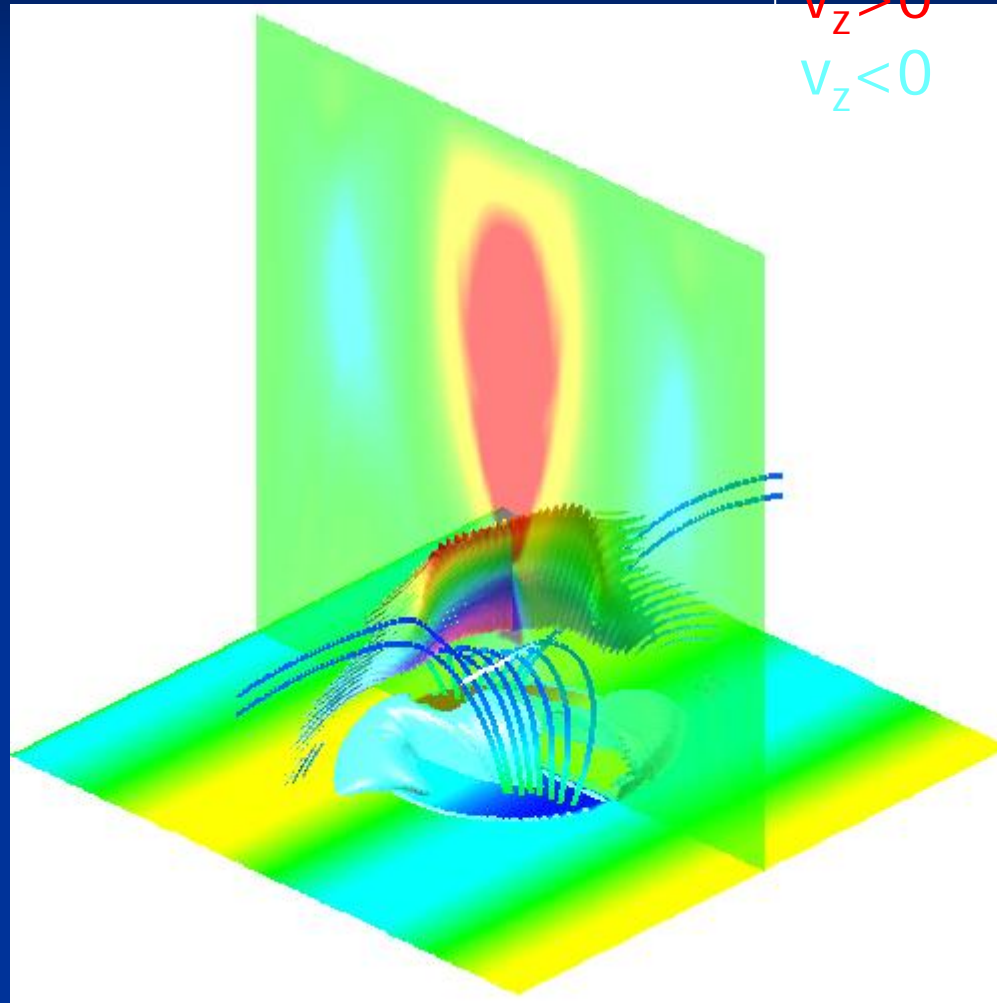
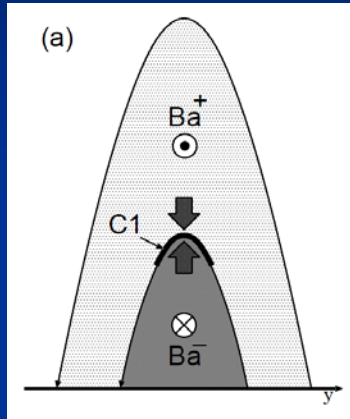
# 太陽フレアのトリガー問題の解決 ＝ プリフレア(前兆現象)の解明



Hinode/SOT



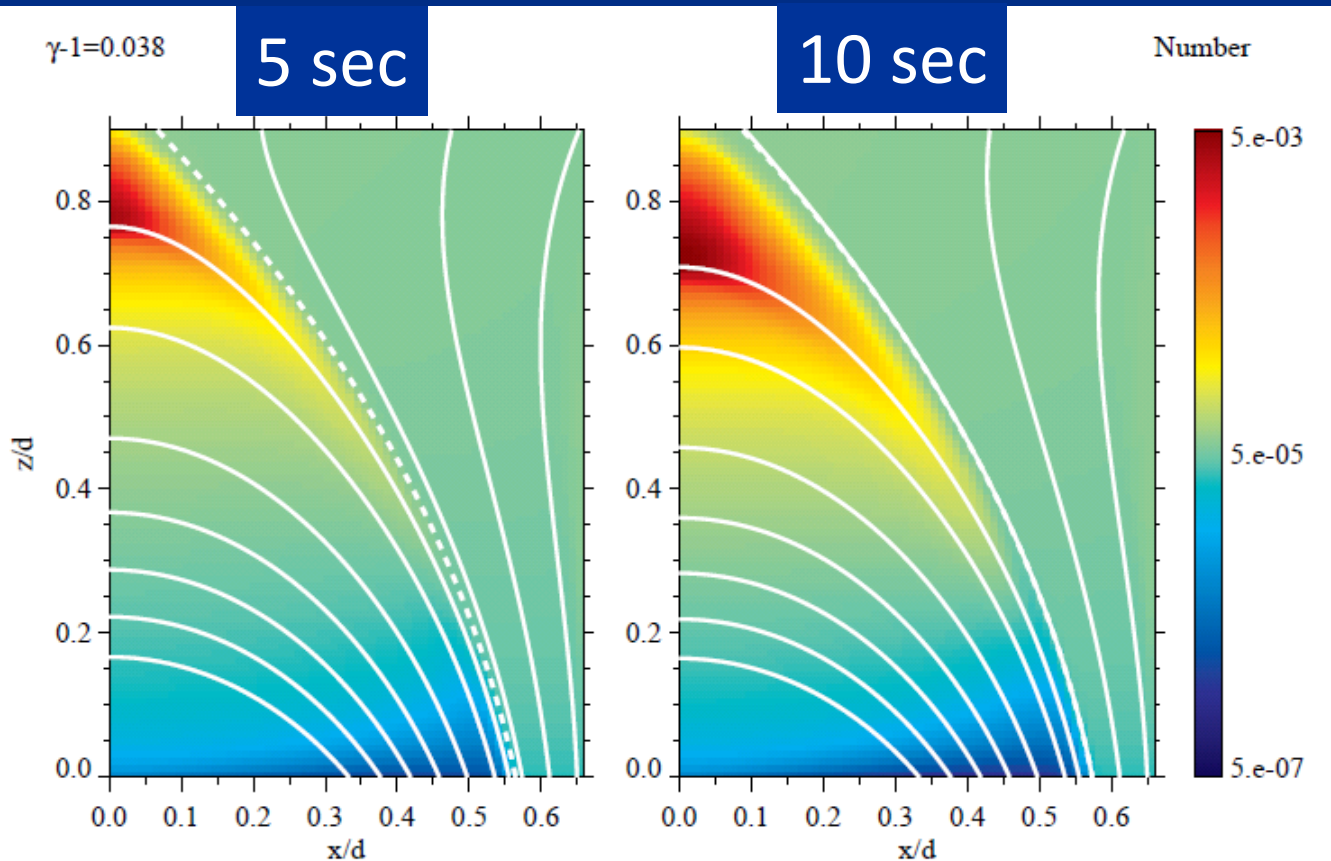
# フレアシミュレーション



$$\phi_0 = 72^\circ, \phi_1 = -45^\circ, v_{\text{emerg}} = 0.01 V_A$$

# 3. 太陽フレアにおける粒子加速機構の解明

## ドリフト運動論に基づく太陽フレア 高エネルギー粒子ダイナミクスモデリング



- 解析的磁場モデル(Lin+ 1995)を時間発展
- 誘導電場が**粒子加速**
- 観測との直接比較が可能
  - 実空間:  $1 \times 1.3 \text{ Mm}^2$
  - 時間: 10秒

20 keV 電子数密度、実線: 磁力線、破線: 磁気セパトリックス

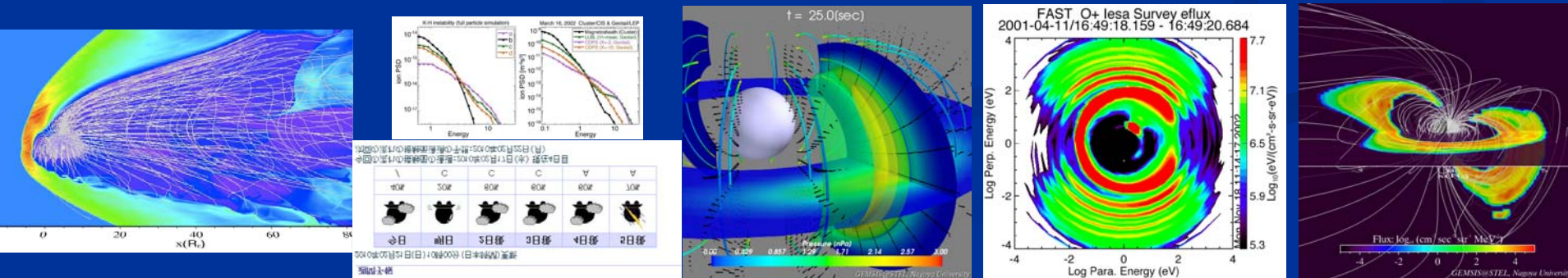
Minoshima *et al.*,  
ApJ, 2010

## GEMSISにおける磁気圏研究:

宇宙嵐時の内部磁気圏変動の実証型モデリングに向けて

関 華奈子<sup>1,2</sup>, 三好 由純<sup>1</sup>, 宮下 幸長<sup>1</sup>, 天野 孝伸<sup>2</sup>, 齊藤 慎司<sup>1</sup>,  
松本 洋介<sup>1</sup>, 梅田 隆行<sup>1</sup>, 海老原 祐輔<sup>3</sup>, 塩川 和夫<sup>1</sup>, 西谷 望<sup>1</sup>,  
荻野 竜樹<sup>1</sup>, 姚 堯<sup>4</sup>, 藤本 晶子<sup>5</sup>, 高田 拓<sup>6</sup>,  
ERGサイエンスセンタータスクチーム

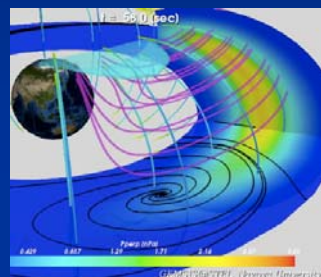
1. 名古屋大学太陽地球環境研究所, 2. 名古屋大学理学研究科,  
3. 名古屋大学高等研究院, 4. SSL, UC Berkeley (米国), 5. ISAS/JAXA,  
6. 高知高専



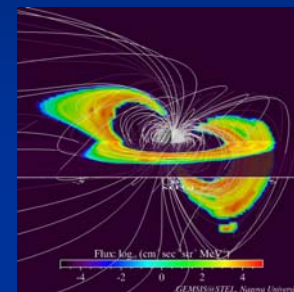


# GEMSIS-磁気圏： 研究計画概要

目的: 多様な観測データを数値モデルを用いて体系的に理解し、  
宇宙嵐時の粒子輸送・加速・消失過程を解明する。



第一期で開発した  
GEMSIS-RC モデル  
&  
GEMSIS-RB モデル

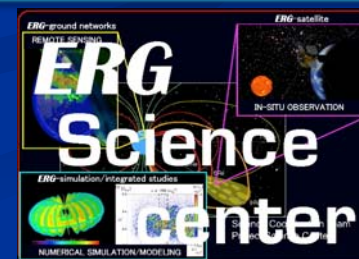
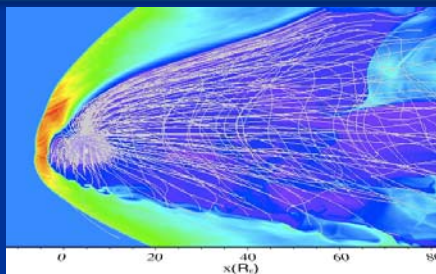


GEMSIS-電離圏から  
提供される電離圏ポ  
テンシャルマップ。

波動粒子相互作用  
のミクロプロセ  
スの組み込み。

グローバルMHD  
&  
経験モデル

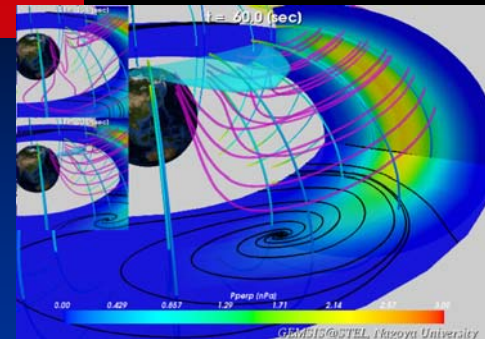
連携地上観測 &  
ジオスペース衛星観測



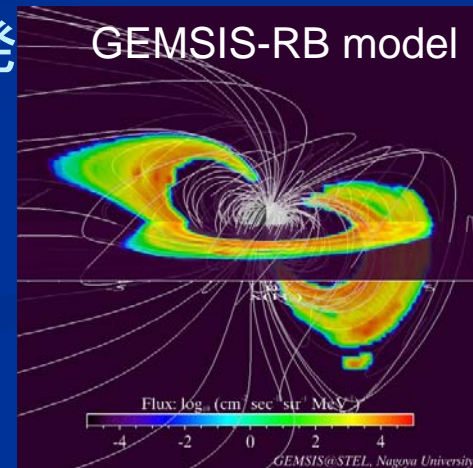
# GEMSIS-磁気圏： 具体的な研究内容

- 数値シミュレーションコードの開発研究
  - ・リングカレント(GEMSIS-RC)モデルの開発
  - ・放射線帯(GEMSIS-RB)モデルの開発
  - ・太陽風・磁気圏相互作用シミュレーションの開発
- データ解析研究と宇宙天気研究への応用
  - ・リングカレントの発達過程の研究
  - ・プラズマシートへのプラズマ供給過程の研究
  - ・放射線帯ダイナミクスと電子加速の研究
  - ・宇宙放射線予測アルゴリズムの開発
- 衛星・地上・シミュレーションデータ統合解析ツール
  - ・データベースの構築とデータ解析ツールの開発→ *ERG*サイエンスセンター機能

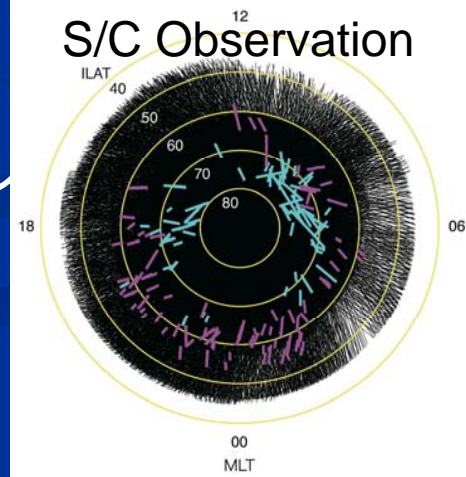
GEMSIS-RC model



GEMSIS-RB model



S/C Observation



# GEMSIS-Ring Currentモデル

## ◎目的

宇宙嵐時の環電流による磁場変形が粒子加速・輸送機構に与える影響を理解するために、内部磁気圏の場と粒子を自己無撞着に解く数値コード(通称:GEMSIS-RC)を開発する。

## ◎ 新モデルへの要件

MHDモードを含む(ある極限でMHDに帰着)

リングカレント粒子の寄与を自己無撞着に含む

非等方なプラズマ圧

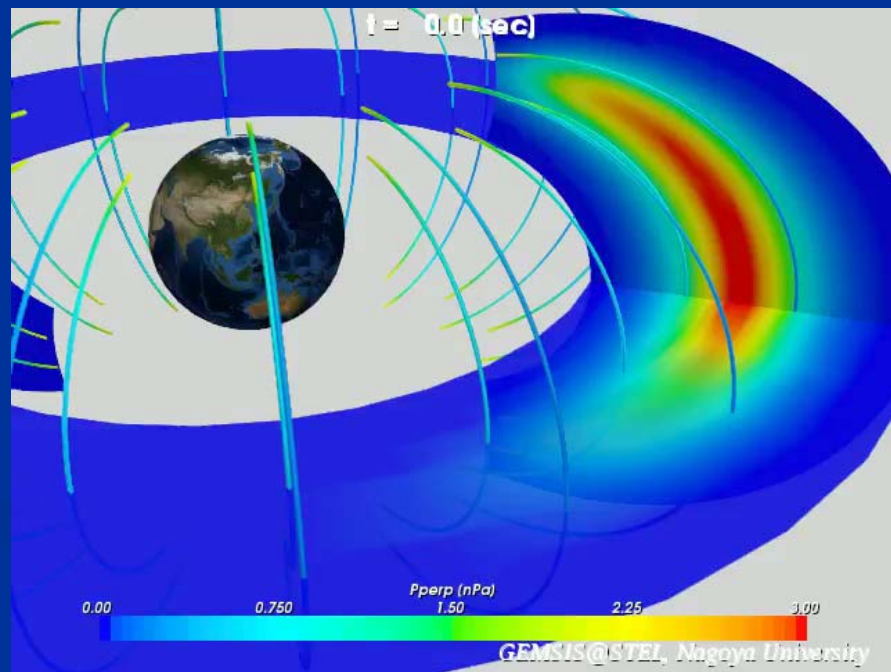
エネルギー依存の輸送過程

## ◎ 初期結果

高プラズマ圧分布の東西の端でFACの動的形成を再現

- 等値面: FAC ( $0.3 \text{ nA/m}^2$ )
- 紫: 電流の流線
- 黒: 速度の流線(赤道面)

[Amano et al., submitted, 2010]





# GEMSIS-Radiation Beltモデル

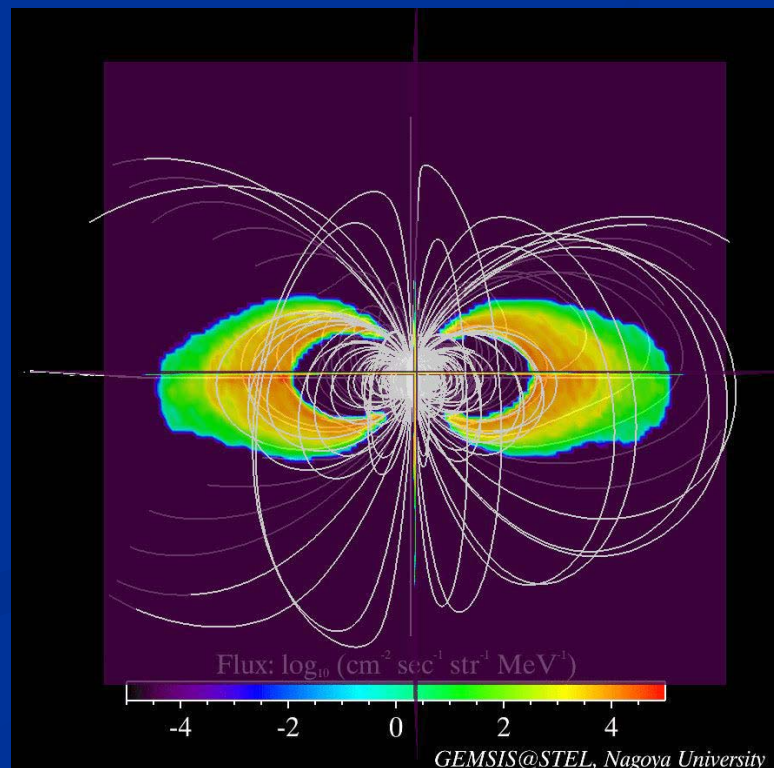
## ◎目的

宇宙嵐時の環電流による磁場変形が放射線帯電子の加速・消失機構に与える影響を理解するために、任意の時間変動する電磁場モデル内で相対論的電子の軌道を正確に追尾できる数値コードを開発する。また、研究の進展状況に応じて、電子についてもVlasov計算のアプローチを検討する。

## ◎ 初期結果

- 太陽風動圧によって地球磁気圏が変形する際に、惑星間空間へ相対論的エネルギーの電子が逃げて行く様子をシミュレーション。
- 背景磁場は時間変動するTS05モデルを使用。
- Tiltの効果も含めた結果、地球磁気圏から放射線帯の電子が逃げた後、放射線帯外帯の一部が分裂し、二重構造を形成することを発見。

[Saito et al., JGR, 2010]



# GEMSIS-Ionosphere

## メンバー:

(所内) 菊池崇、海老原祐輔、家田章正、中溝葵、堀智昭、西谷望、野澤悟徳、大山伸一郎、西村幸敏

(所外) 田中高史 (九州大学)、藤田茂(気象大)、平木康隆(核融合研)、新堀淳樹 (京大)

## 目的:

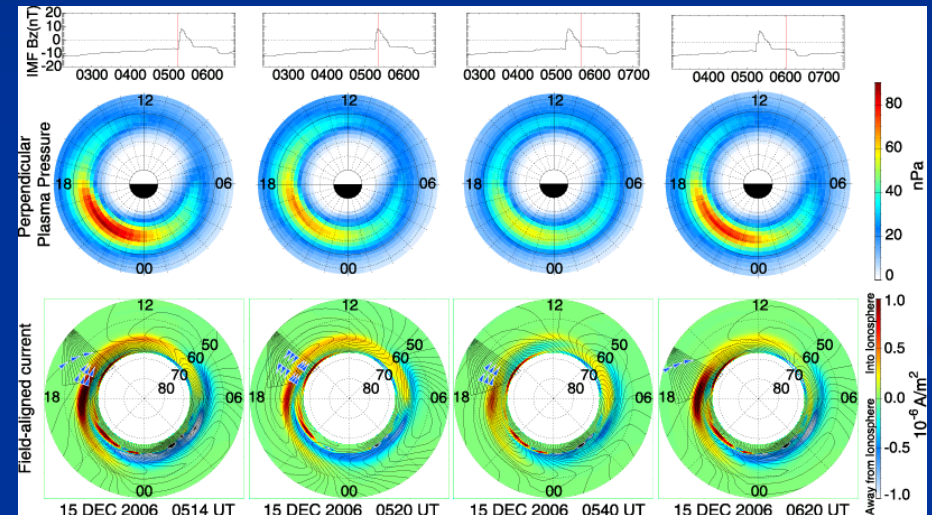
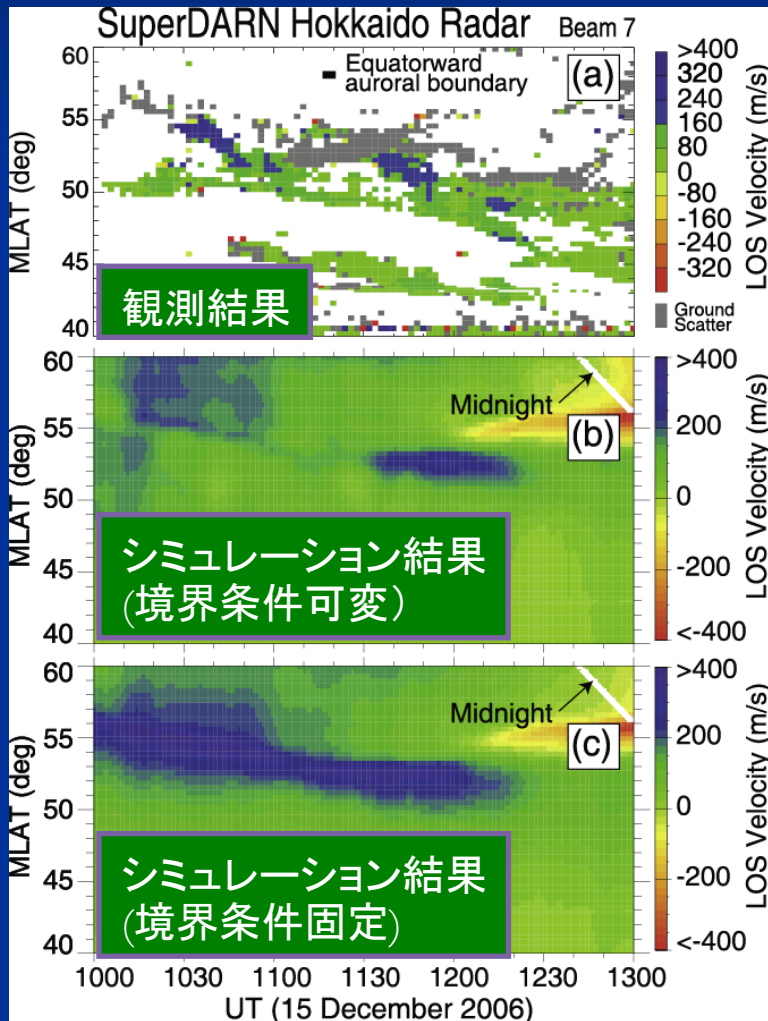
磁気圏最大の擾乱現象である「磁気嵐」・「サブストーム」におけるエネルギーの生成・伝搬・解放過程を電離圏の側面から理解する。そのためのアプローチとして、電離圏電場ポテンシャルの再構築、シミュレーション、モデリング、データ解析を推進する。



# リングカレント起源の電流(リージョン2電流)が 電離圏電場の変動を引き起こすことを実証

リングカレントが電離圏電場を  
変動させる様子を再現

対流電場が逆転する様子(過遮蔽状態)を  
シミュレーションで再現

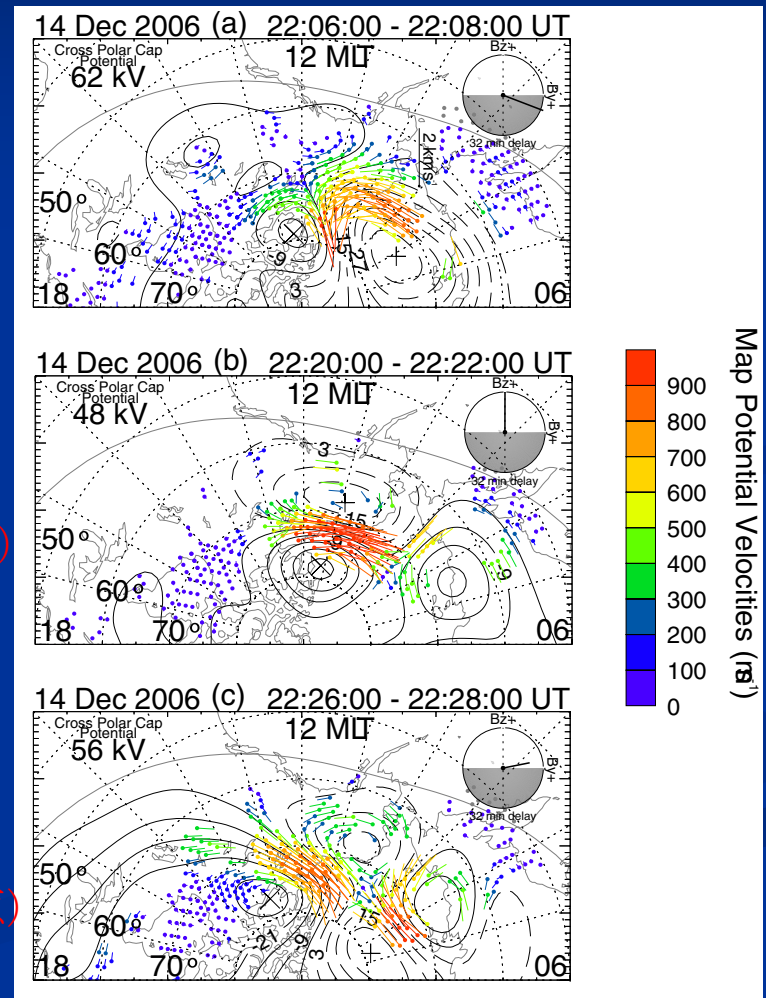
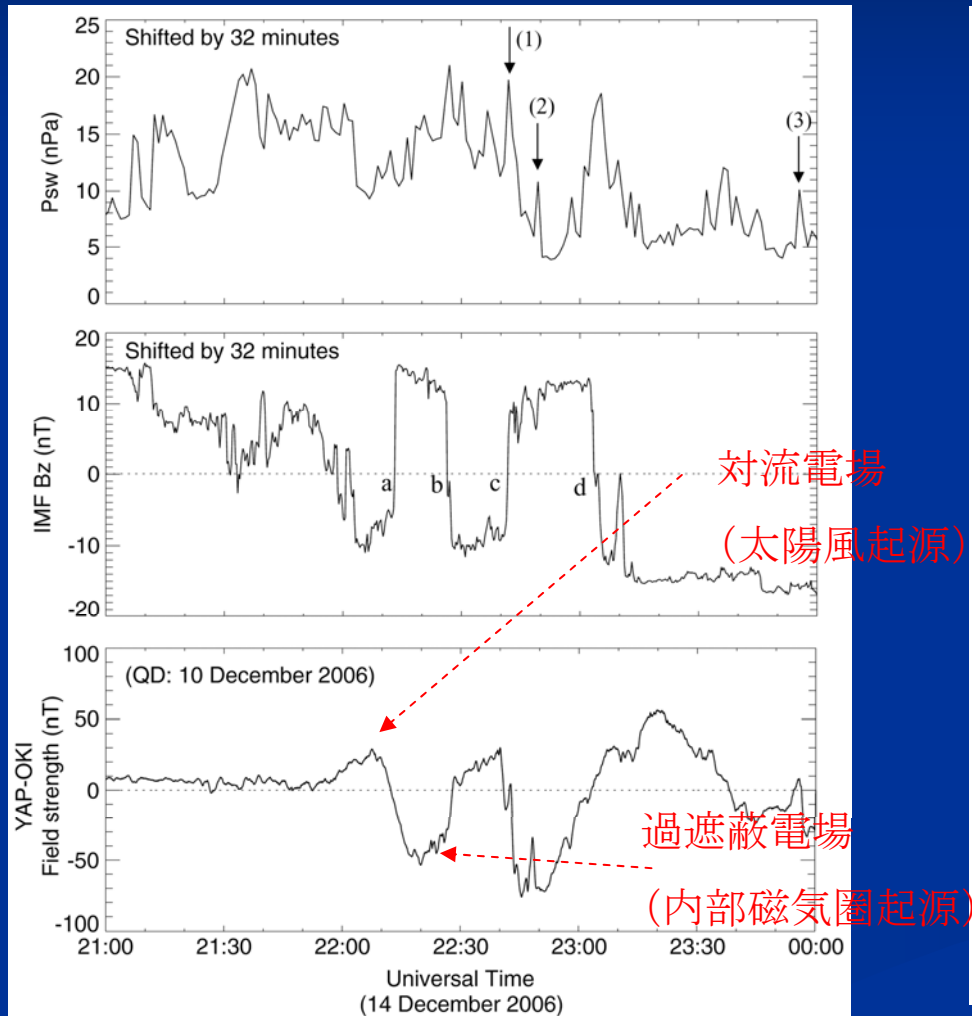


Ebihara et al. (2008)

シミュレーション結果とSuperDARN北海道レーダーの観測結果はよく一致し、リングカレントの空間構造は複雑な多層構造を持つことや、リングカレントは過遮蔽の状態を作りうるだけの沿磁力線電流を電離圏に供給することを、観測と比較することを通して実証した。

Ebihara et al. (2009)

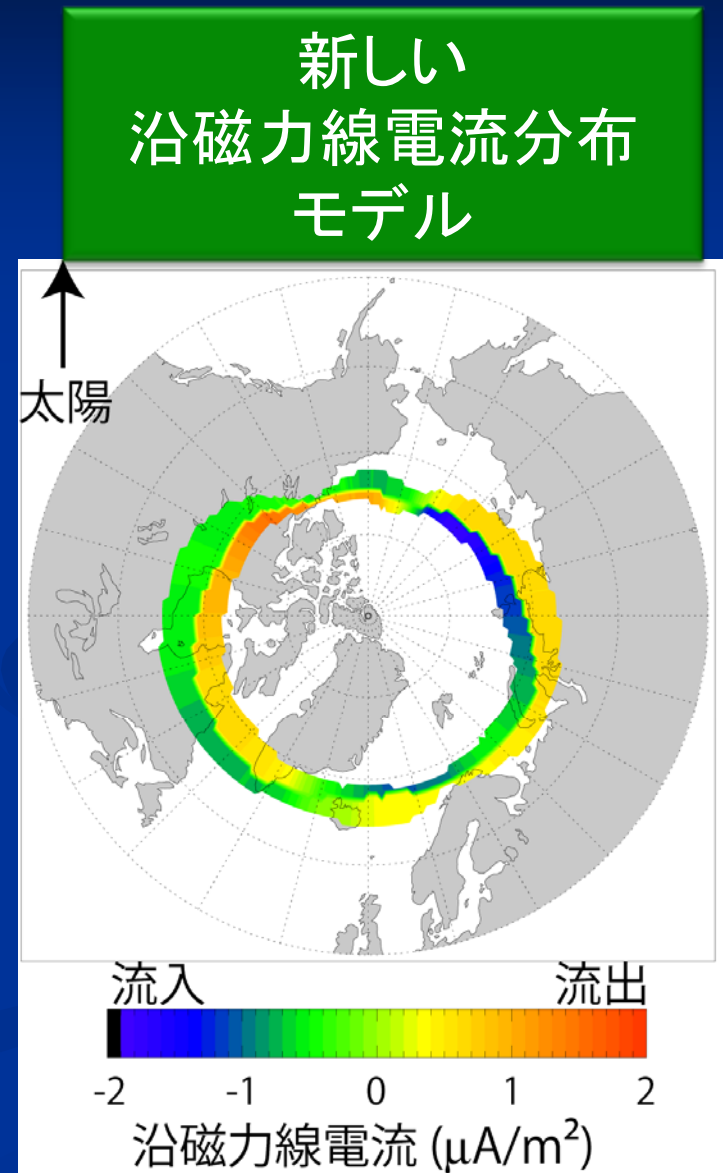
# 電磁エネルギーが極から赤道に瞬時に伝わり、 対流電場がグローバルに逆転することを実証 (赤道電離圏で磁気圏内部エネルギーの寄与が大きいことが判明)





# 新しい沿磁力線電流モデルを開発中

- DMSP衛星及びDE 2衛星が観測した磁場データに対し、統計数理研究所が開発したフィッティング手法を適用し、沿磁力線電流の大規模構造をモデル化した。
- 沿磁力線電流領域の境界を明瞭に定義できるという点でこれまでのモデルとは異なる。

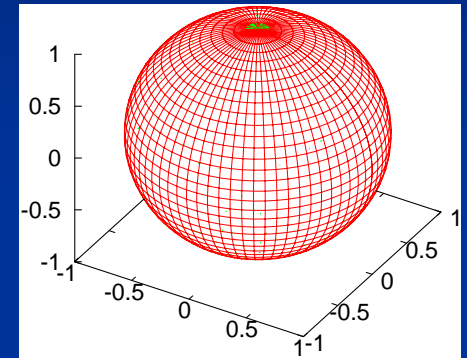


# 沿磁力線電流と電気伝導度を与えて、 電場ポテンシャルの全球分布を求める手法を開発中

- 電流の連続性を仮定し、楕円型微分方程式を解く。

$$\nabla \cdot \left( -\sum \cdot \nabla \Phi \right) = J_{\parallel} \sin I$$

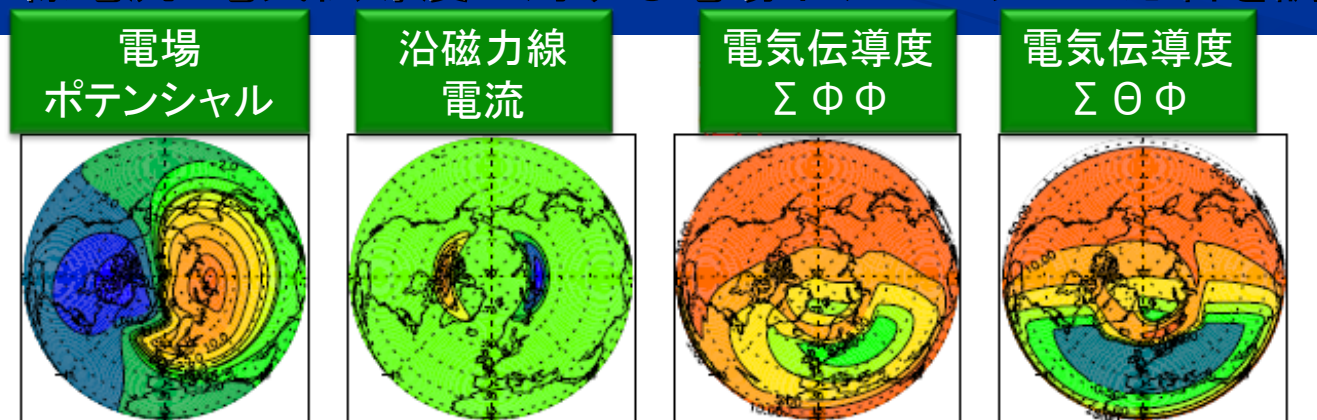
$\sum$  = 電気伝導度  
 $\Phi$  電場ポテンシャル  
 $J_{\parallel}$  沿磁力線電流



- 全球で解く。境界が無い。

- IGRF磁場のもとで解くため、地理経度・緯度依存性を調べられる。
- 赤道ジェット電流を適切に取り扱える。
- 沿磁力線電流・電気伝導度に対する電場ポテンシャルの応答を調べられる。

北極から



## 磁気嵐・サブストームを磁気圏・電離圏・熱圏結合系で理解する

## モデリング

電場ポテンシャル

磁気圏  
(R1系)

MHDコード

内部  
磁気圏  
(R2, 粒子系)内部磁気圏  
粒子移流コード電離圏  
・熱圏

## 観測

電場ポテンシャル

SuperDARN

KRM

GEMSIS-  
POT

沿磁力線電流

電離圏電気  
伝導度

実証

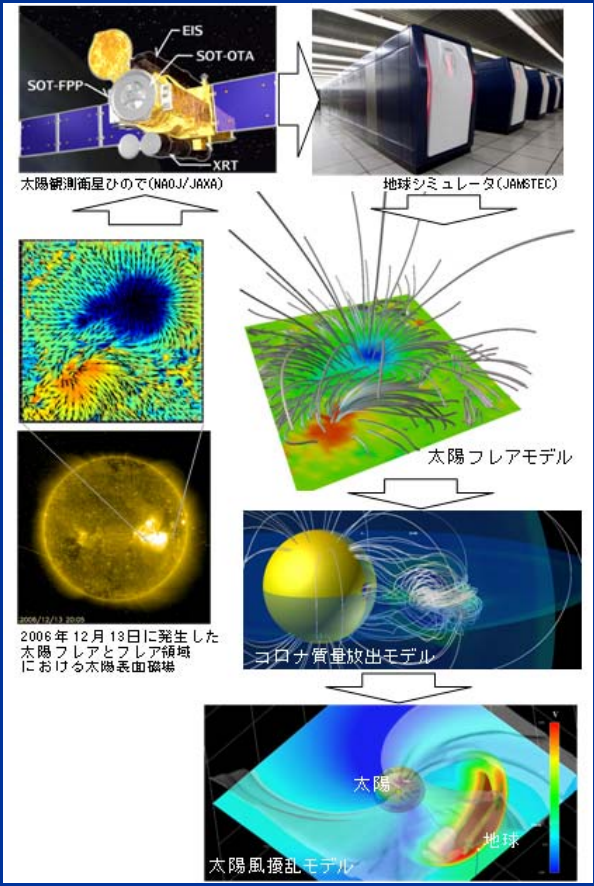


# 草野完也：太陽フレアによる衝撃波発生の再現シミュレーションに成功

学術創成研究「宇宙天気予報の基礎研究」の成果

共同研究：STE研、京大、理研、東工大、海洋研究開発機構

報道 朝日新聞、京都新聞、産経新聞、中日新聞、日刊工業新聞、毎日新聞、読売新聞など



## 進む「宇宙天気予報」

名大など成功

名古屋大と京都大などの研究グループが、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「ひので」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、経験則に基づいた太さ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。

太陽フレアのエクス線像と、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。宇宙航研究開発機構と草野教授の提供



# 三好由純：放射線帯応答の太陽風構造依存性の発見と宇宙天気予報への応用

Miyoshi, Y., and R. Kataoka,

Ring current ions and radiation belt electrons during geomagnetic storms driven by coronal mass ejections and corotating interaction regions, Geophys. Res. Lett., 32, 2005.

Miyoshi, Y., and R. Kataoka,

Probabilistic space weather forecast of the relativistic electron flux enhancement at geosynchronous orbit, J. Atm. Solar-Terr. Phys., 70, 2008.

報道等：







中日新聞、東京新聞、日刊工業新聞で紹介。  
アジア太平洋宇宙機関会議(APRASAF)で紹介。

受賞関係：

三好：森田記念賞 (2009年)  
大林奨励賞 (2006年)

## 週間予報

2008年04月21日(月)10時00分(日本時間)更新

今日	明日	2日後	3日後	4日後	5日後
					
40%	20%	60%	60%	60%	70%
/	C	C	C	A	A

今回の流れの接触面の通過:2008年04月17日(木) 現在4日目  
 次回の流れの接触面通過の予想:2008年04月21日(月)~04月22日(火)  
 特記事項:(予報当番:片岡)

8日(金曜日)

中

日

新

## 宇宙の天気 予報します

人工衛星の故障の原因となる粒子「キラー電子」の発生を予測する「宇宙天気予報」を、理化学研究所(理研)と名古屋大学のグループが開発した。同電子の量が警戒レベルに達する確率を計算する技術は、これまでになく、気象衛星などの正常運行や宇宙飛行士の船外活動などで活用が期待される。

開発したのは、理研の片岡龍雄研究員(左)と名古屋大学の三好由純研究員(右)のグループ。

地球から高度約五百〜四万キロには、放射線帯と呼ばれる極端にエネルギー

の高いキラー電子が集まる領域があり、同電子の量が多いほど人工衛星の故障の原因となる。キラー電子の発生原因は不明だが、太陽のコロナから出る太陽風の風速や磁場、地球との位置関係などが発生に影響。

### 人工衛星の敵

きょうの「殺人電子」発生は…

警戒レベルに至る確率を予測する独自の計算方法を開発した。確率は地上の天気予報の降水確率と同様に10%単位で表示し、10〜30%は晴れ(良好)、40〜60%は曇り(注意)、70〜90%は雨(要警戒)としてインターネット上に表示している。

ウェブサイト: <http://hbkswl.sci.nagoya-u.ac.jp/index.html>

宮下幸長： 衛星データに基づいた地球磁気圏におけるサブストームに関する実証的研究  
論文： Miyashita et al.

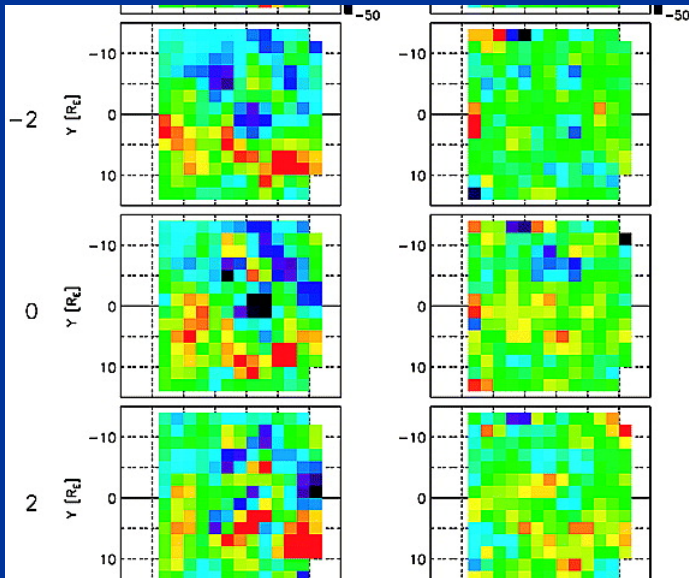
A state-of-the-art picture of substorm-associated evolution of the near-Earth magnetotail obtained from superposed epoch analysis, J. Geophys. Res., 114, 2009.他

報道等：

JGR 3週連続トップダウンロード、毎日新聞、科学新聞に紹介

## 受賞関係:

宮下：宇宙科学奨励賞 (2009年)





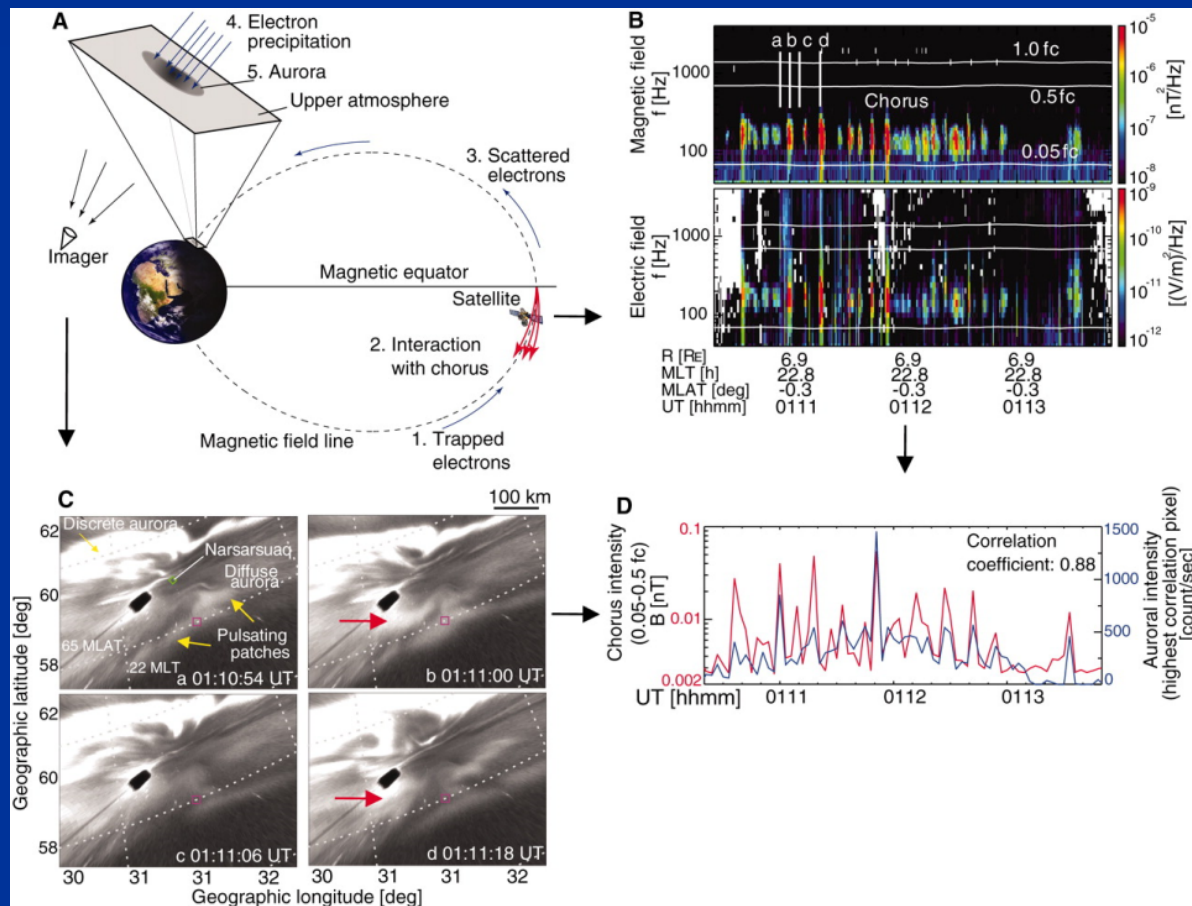
# 西村幸敏: パルセーティングオーロラの発生原因の同定

論文: Nishimura et al.,

Identifying the driver of pulsating aurora, Science, 330, 2010.

報道等:

National Geographic, space.com, 日本の新聞等でも報道。



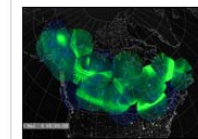
## ナショナルジオグラフィック ニュース

ニューストップ 動物 古代の世界 環境 文化 科学 & 宇宙 風変わりニュース

### 脈動オーロラの誘因を解明

Andrew Fazekas  
for National Geographic News  
October 4, 2010

オーロラの幻想的な輝きは何世代にもわたって見る者に畏敬の念を抱かせてきた。中でも、激しい輝きが炸裂する「脈動オーロラ」は圧巻だ。発生の仕組みは長年未解明だったが、今回、カリフォルニア大学の科学者チームがその誘因を発見した。



写真を拡大

印刷用ページ  
友人に教える

通常のオーロラは1000キロ以上にわたって延び、1回に数分間続く。一方、脈動オーロラは幅100キロほどの小さな光の帯で、5〜40秒おきに点滅するため、上空で光が爆発しているように見える。

プロジェクト・リーダーを務め、カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA) で研究する西村幸敏氏は、「オーロラ物理学の世界では、なぜオーロラが脈動するのか40年以上も問題となってきた」と話す。

だが、同氏のチームでは、地球を保護している泡状の磁気圏で発生した特定の種類の電磁波が脈動オーロラの原動力になっていることを突き止めた。

太陽風 (太陽から放出される荷電粒子の流れ) は地球の磁場に到達すると大気圏に流れ込む。荷電粒子は大気分子と衝突するが、このとき、「コーラス波」と呼ばれる爆発的な光が発生する場合もある。

西村チームは、カナダ北部とアラスカの地上に分散設置された全天イメージャー20台を活用し、高感度CCDによる超高層大気の観測を行った。この装置はカナダ宇宙庁 (CSA) とNASAによる磁気圏観測衛星テミス (THEMIS) ミッションの一部だ。同ミッションには5機の地球周回低軌道衛星も含まれている。

# ERGサイエンスセンター構想：データ・研究成果を世界に発信 全国の研究者のハブ的な機能を担いつつ主体となって推進

