

2022年3月8日(火) 15:45-16:45

核融合エネルギーフォーラム

シンポジウム「未来社会と予報(予測)の学術」

宇宙でのプラズマ現象 (宇宙天気) の予測

海老原祐輔 (京都大学生存圏研究所)

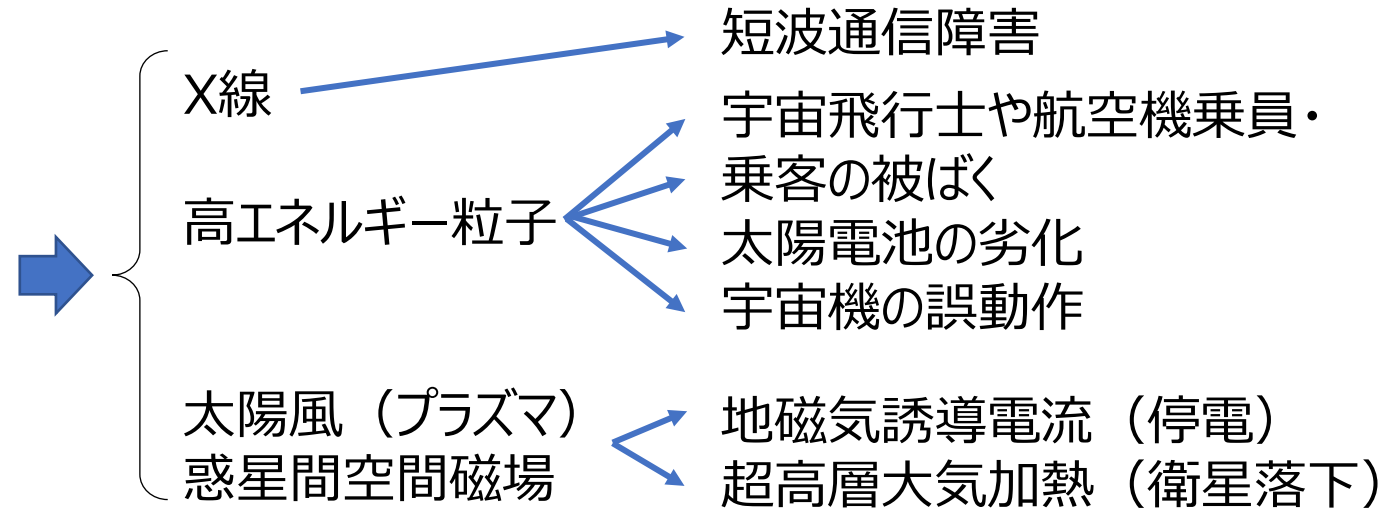
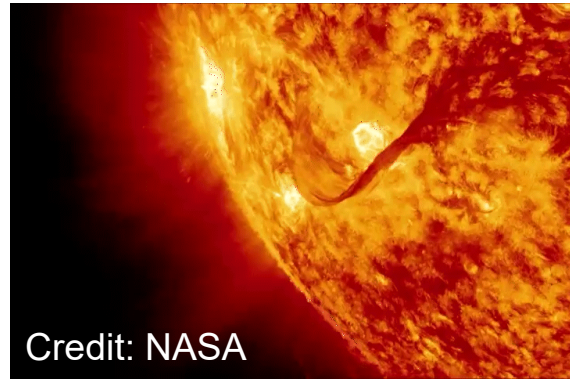
専門：地球磁気圏ダイナミクス、オーロラ、磁気嵐

京都大学



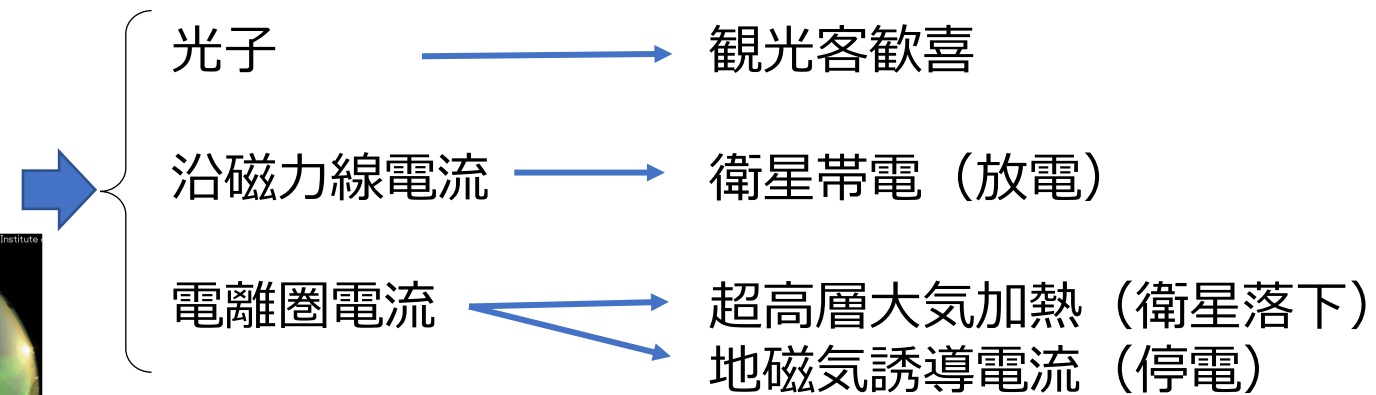
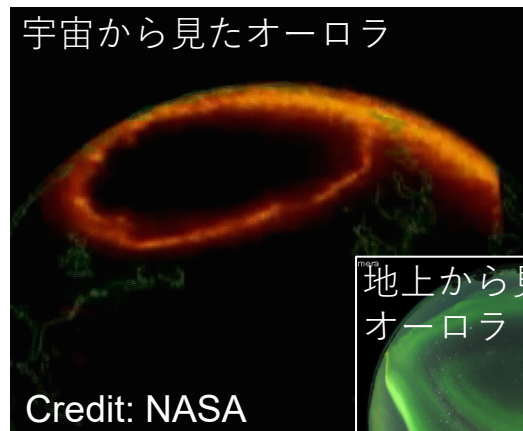
■ 太陽フレア

太陽が突然明るく光り出す
(恒星で普遍的におこる)



■ オーロラ・ブレイクアップ

オーロラが突然明るく光り出す



宇宙天気=人類や社会に影響のある宇宙環境変動
日本では総務省・情報通信研究機構が宇宙天気業務を行う

太陽風（主に水素と電子からなる）

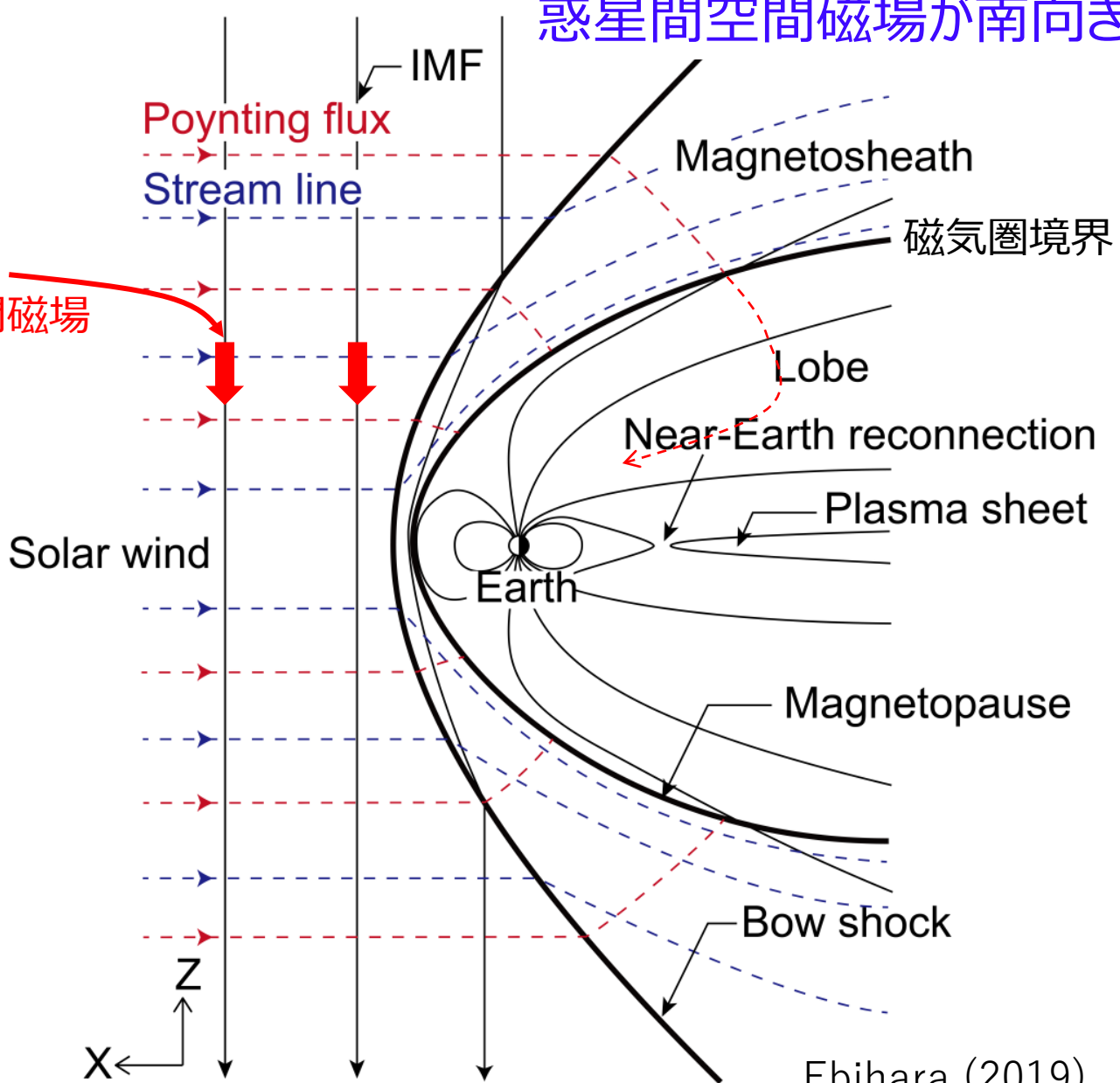
- 速度 300 ~ 800 km/s
- 密度 10 cm^{-3}

惑星間空間磁場

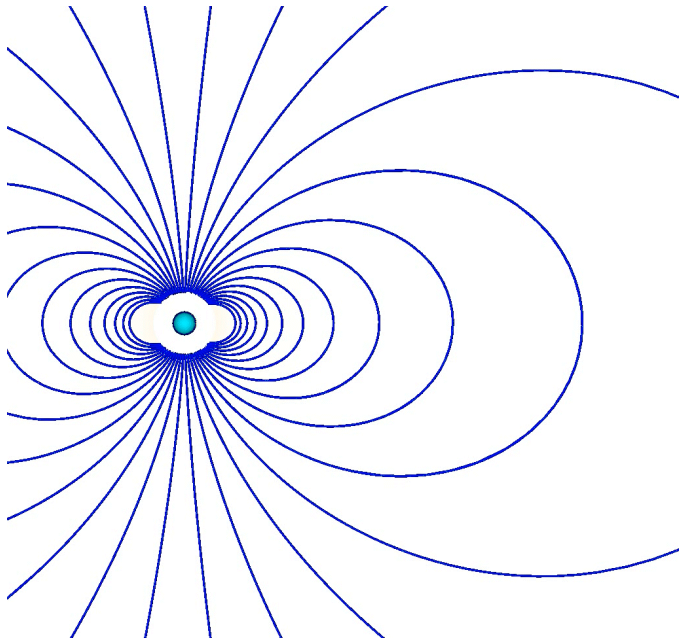
- 大きさ 数nT~数10 nT

惑星間空間磁場が南向きの場合

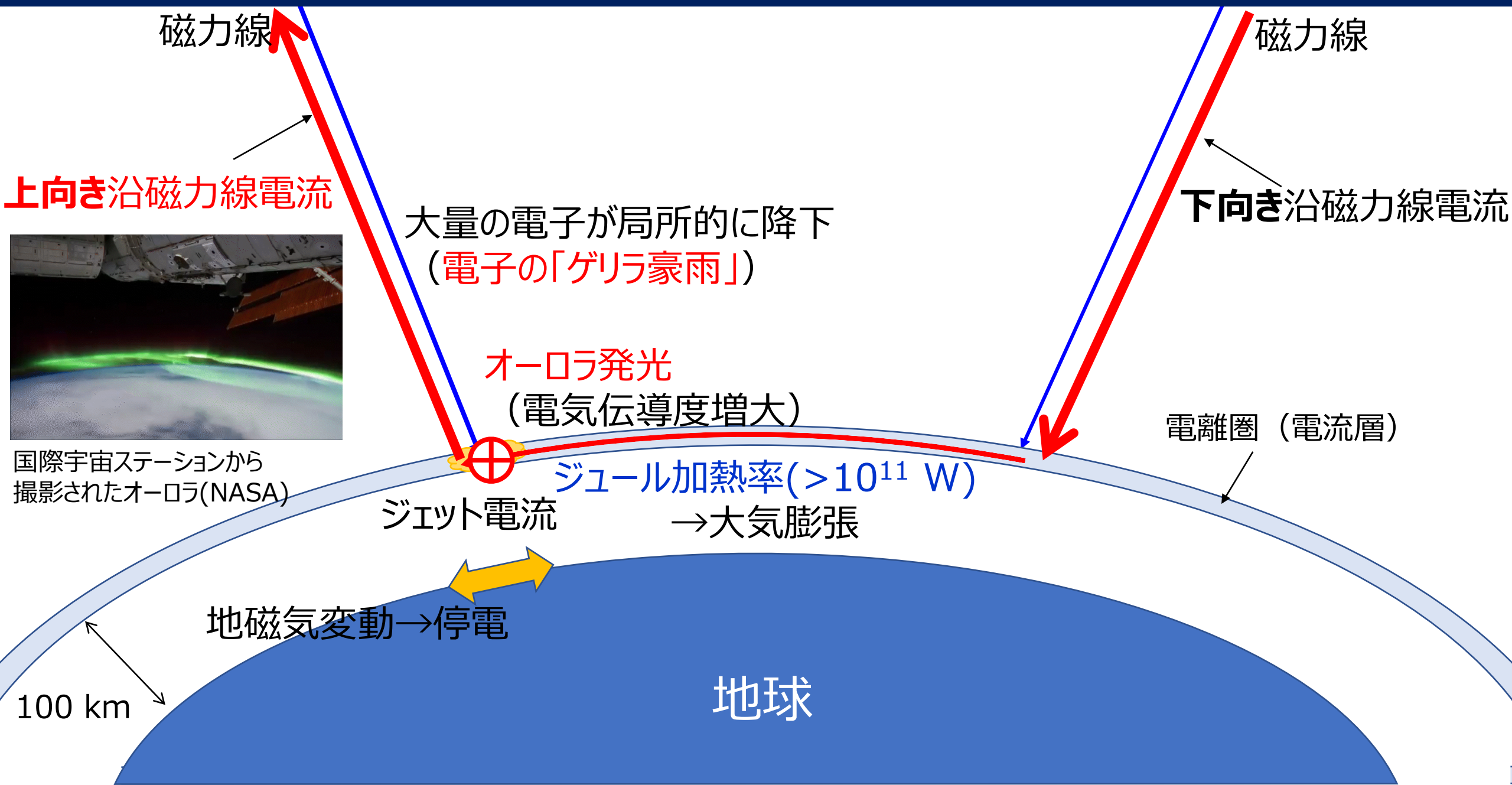
南向きの
惑星間空間磁場



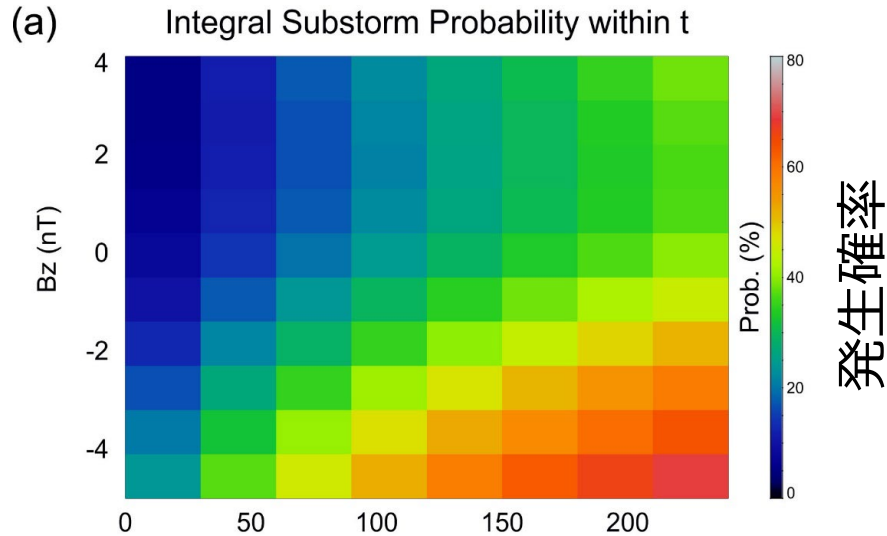
ダイポール磁場(地球)に定常高速流(太陽風)を吹き付けて再現した磁気圏 (MHDシミュレーション)



オーロラ・ブレイクアップの発生機構

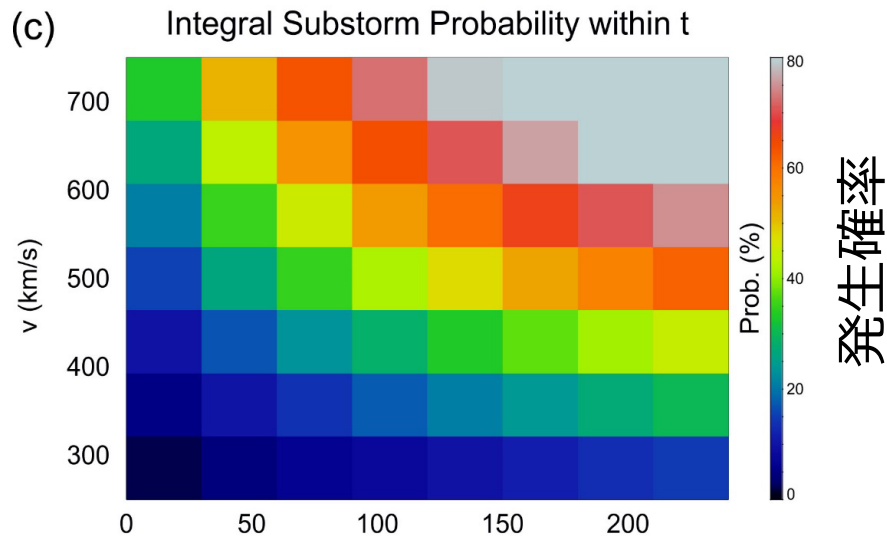


惑星間空間磁場 Z成分



ある状態に遷移してからの経過時間（分）

太陽風速度



ある状態に遷移してからの経過時間（分）

Newell et al. (2016)

■ 観測に基づく経験則

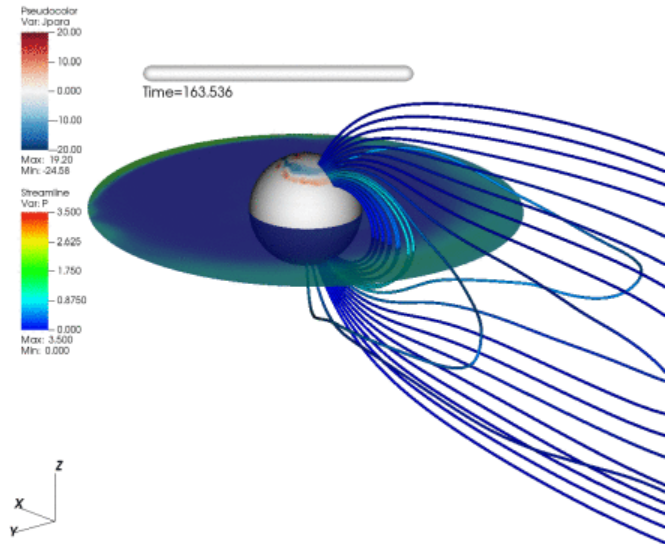
- 数時間ごとに発生することがある。
- 太陽風変動と連動しない。
- 惑星間空間磁場が南向きで、太陽風速度が高い状態が続くと発生確率が上がる。

■ 類似性

- 海溝型地震と似ている。
 - プレートの沈み込み ↔ 磁気圏対流
 - ひずみの蓄積 ↔ 磁場エネルギーの蓄積
 - ひずみの解放 ↔ 磁場エネルギーの解放

■ 発生を予測することが難しい

定常的な太陽風と惑星間空間磁場を
グローバルMHDシミュレーションに与える。

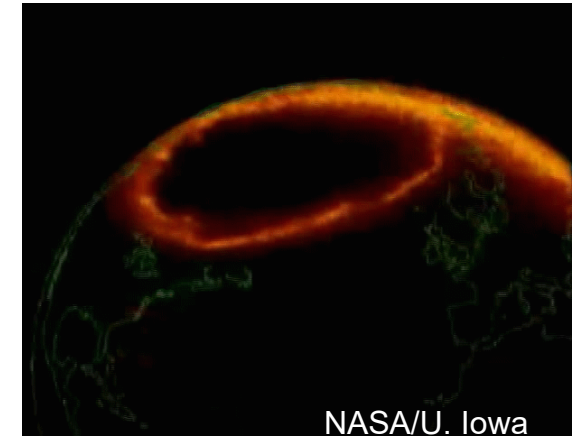
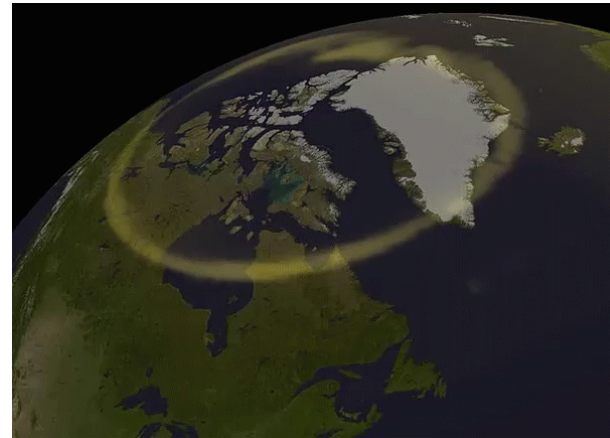


磁気再結合が自発的に発生し、様々な連鎖を経て
オーロラ・ブレイクアップが自律的に発達する。

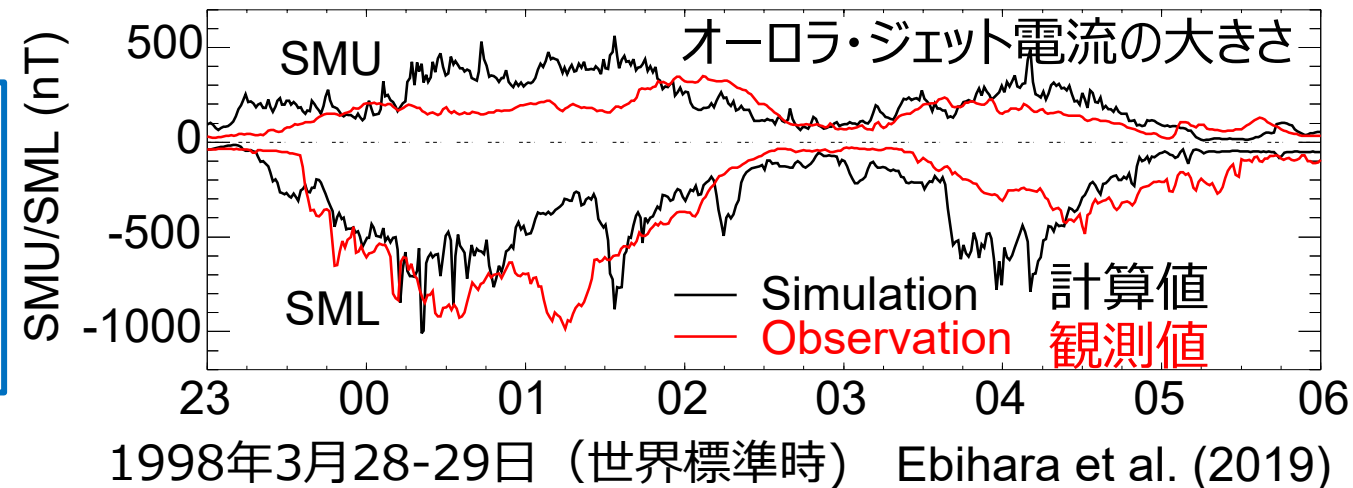
オーロラ・ブレイクアップの大きさは無秩序に決まるのではなく、
大きさを規定する物理がありそう (Ebihara et al., 2019)

「異常抵抗」(電流と磁場の関数) → 磁場再結合
時刻の予測は難しいが、大きさ(規模)は概ね予測できる。

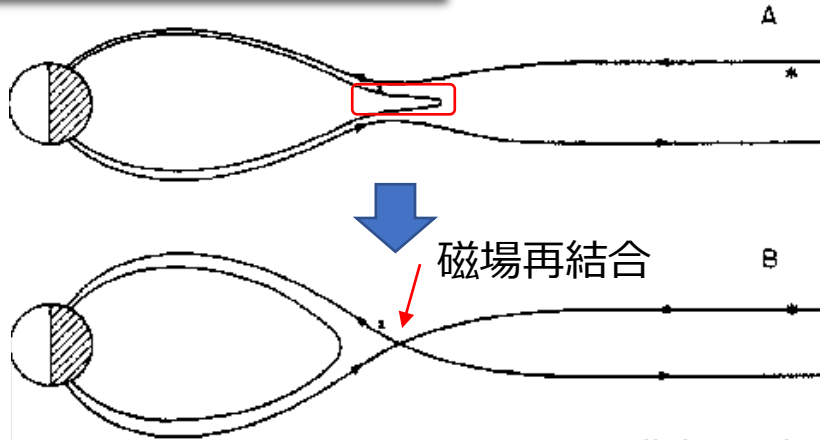
グローバルMHDシミュレーション 人工衛星観測
REPPUコード(Tanaka, 2015)



実際の太陽風と惑星間空間磁場を
グローバルMHDシミュレーションに与える。



磁場再結合説

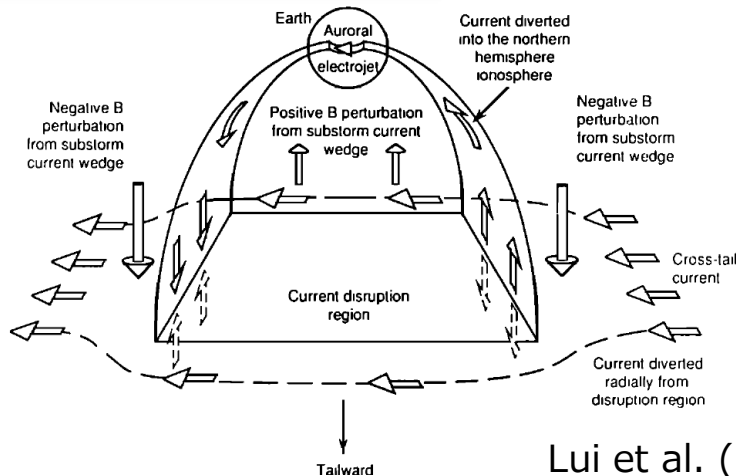


Russell (1972)

$$K = \frac{\text{磁力線の曲率半径}}{\text{サイクロトロン半径}} \rightarrow \text{小さくなる}$$

- 要素還元主義に立つと、全ての粒子の振る舞いを把握できれば、全てを理解できる。
 - 著しい初期値鋭敏性
 - 波との相互作用
 - 予備状態(precondition) への依存
- 1個の粒子がトリガーとなる？
もしそうなら、時刻を予測することはほぼ不可能。(物理としては面白い)

尾部電流崩壊説



Lui et al. (1991)

■ 発生時刻の予測

- 機械学習でも難しい。確率でのみ表現可能（例）「〇〇分以内に起こる確率は〇〇%」
- 予測のため、何を観測したらよいか分からない。人は劇的な変化に注目しがち。機械学習による客観的な解析が必要。

■ 大きさ（規模）の予測

- 物理シミュレーションや機械学習で可能。
- 突発現象は突然おこる状態遷移。状態遷移はランダムに起きても、遷移後の状態を規定する物理があるはず。

■ 超低頻度・激甚事象の予測

- 機械学習、ブラックボックスを有するシミュレーションは難しい。
- なるべくブラックボックスを排した物理シミュレーションが真価を発揮する。（大きな課題）
- 1859年に発生した過去最大の磁気嵐と同程度の磁気嵐が10年以内に発生する確率は0.5~12% (Riley, 2012; Kataoka 2013; Morina et al. 2019)
→社会的影響評価が必要

