

計算機実験による 宇宙機近傍のプラズマ電磁擾乱の研究

臼井 英之

神戸大学大学院システム情報学研究科

宇宙プラズマ中の宇宙機システム

自然界のプラズマ

太陽風プラズマ
磁気圏プラズマ
電離層プラズマ
極域プラズマ

高エネルギー現象を含む
ダイナミックな変動

人工起源のプラズマ

イオンスラスタ
プラズマコンタクタ
中性ガスの電離

局所的、周辺に比べて
大質量、高密度

複雑な相互作用

非プラズマ物体

衛星システム

コンタミ生成、粒子加速、帯電・放電、スパッタリングなどによる影響

これまでの主な研究対象

テザー高電位衛星

太陽発電マイクロ波ビーム

衛星帯電

電磁的応答

静電的応答

磁気セイル

イオンエンジンビーム

電界センサー

テザー衛星 - 宇宙プラズマ相互作用

1次元に長い導体物が地球磁場を横切するため、システムに $V \times B$ 起電力が生じ、周辺プラズマに影響を及ぼす。

電子ビーム

レーザー

スペースシャトル

Schematic illustration TSS

	電子	イオン	ビーム
(a)	<p>Satellite (high V)</p>		
(b)	<p>Shuttle (low V)</p>		<p>Beam electrons</p>

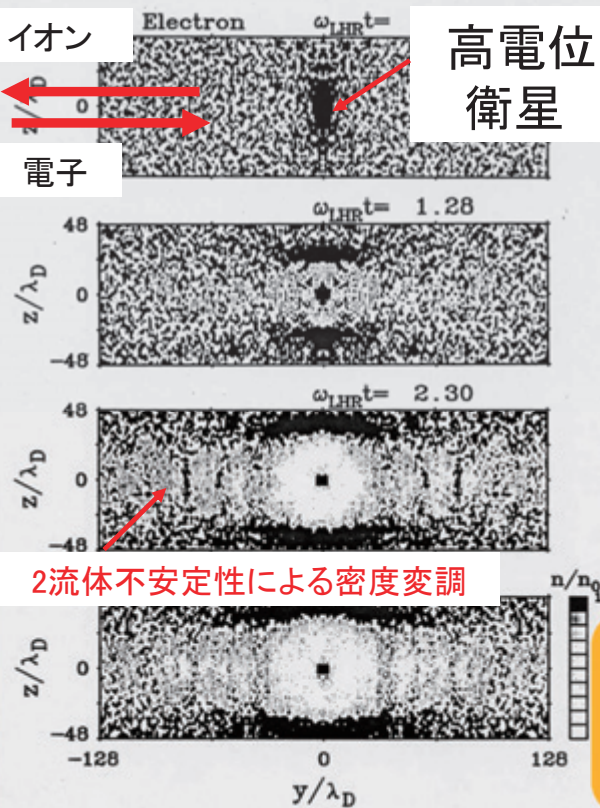
dB

2
-1
-4
-7
-10

テザー衛星-宇宙プラズマ相互作用

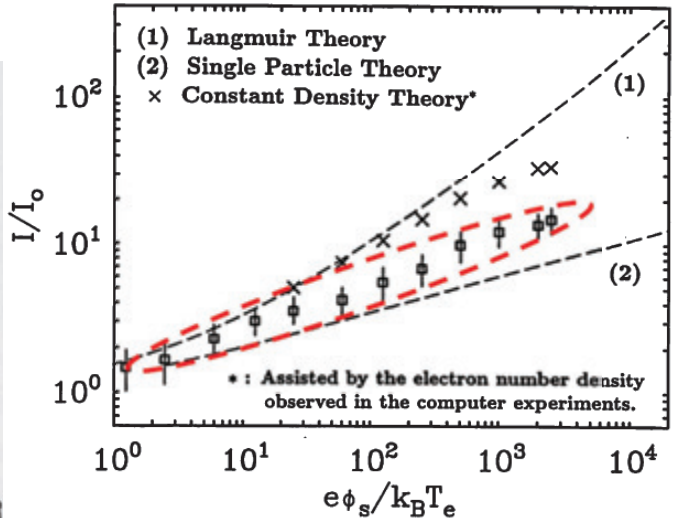
イオン

電子



高電位
衛星

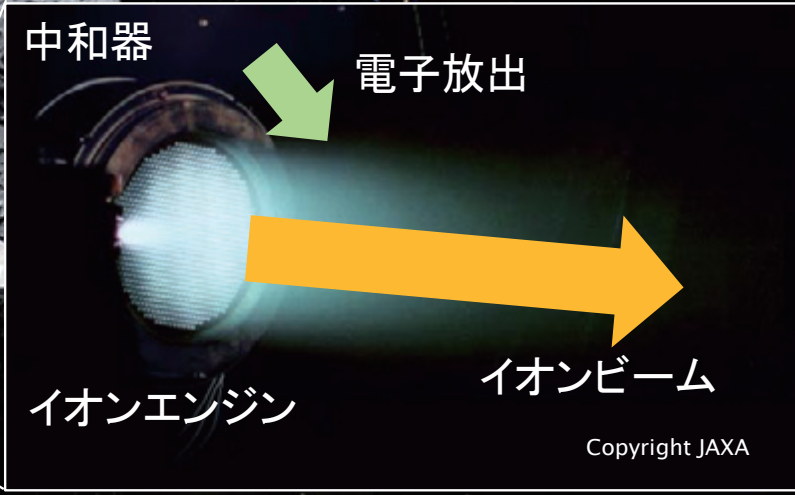
高電位の電流電圧特性



2流体不安定性による密度変調

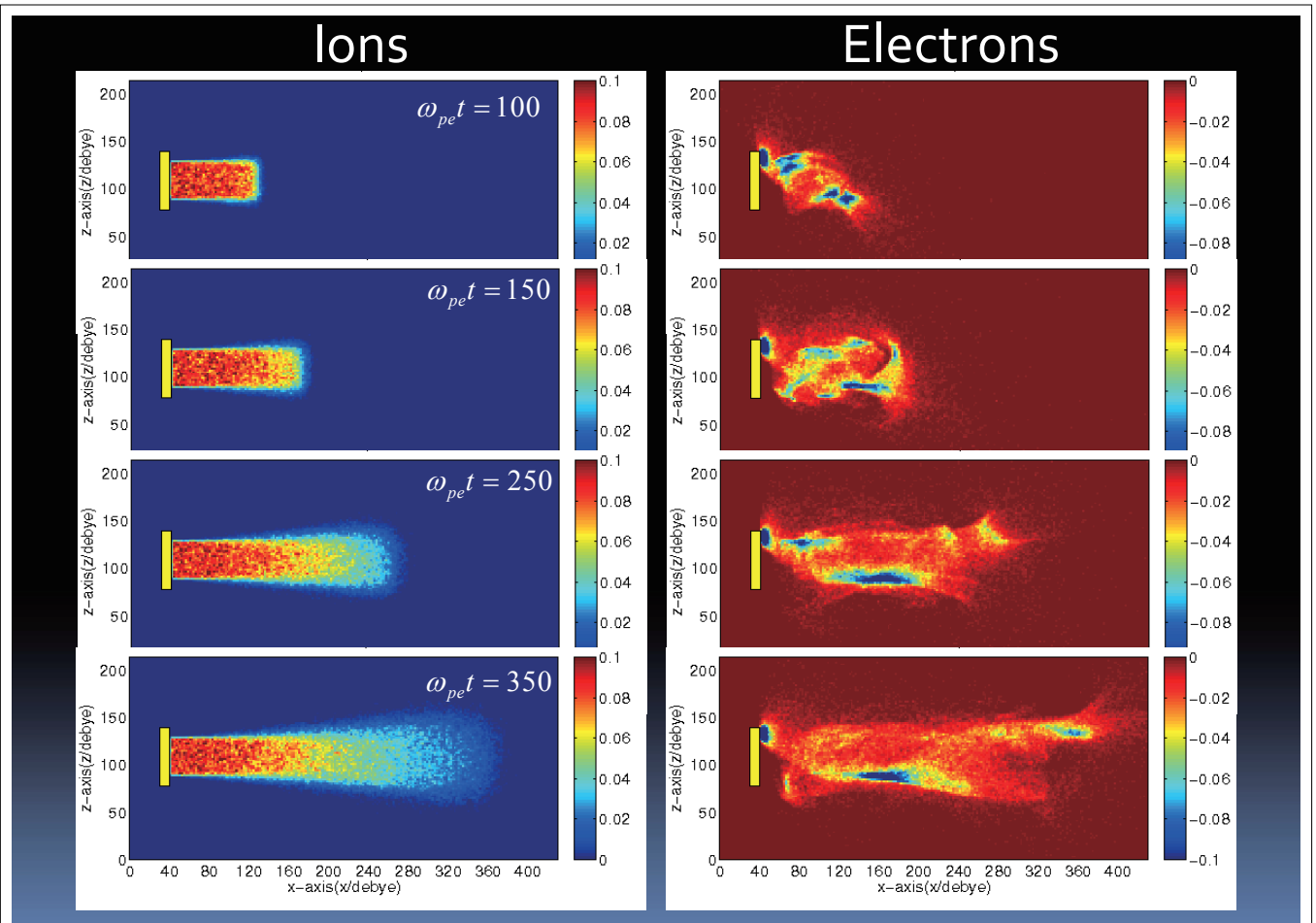
衛星をプラズマ環境に入れるだけで、衛星電位変化とプラズマ応答が同時にうまく解ける！

イオンエンジンから噴射されるイオンビームの電荷中和に関する計算機シミュレーション



Copyright JAXA

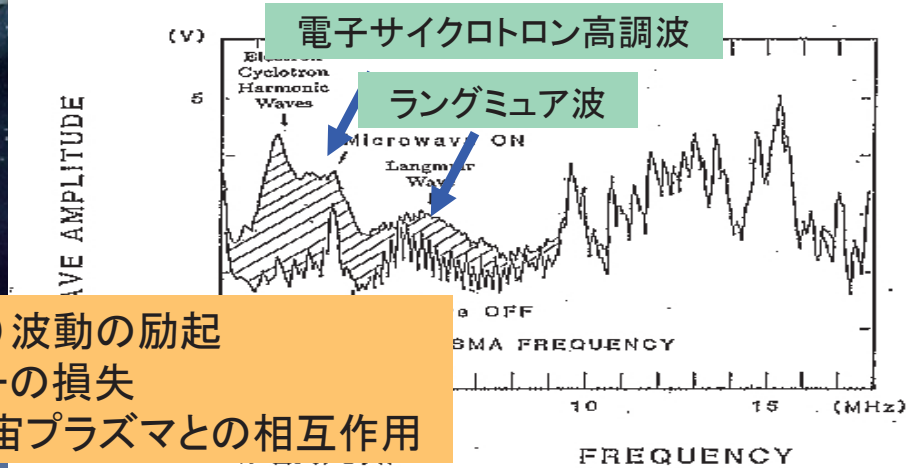
Copyright JAXA



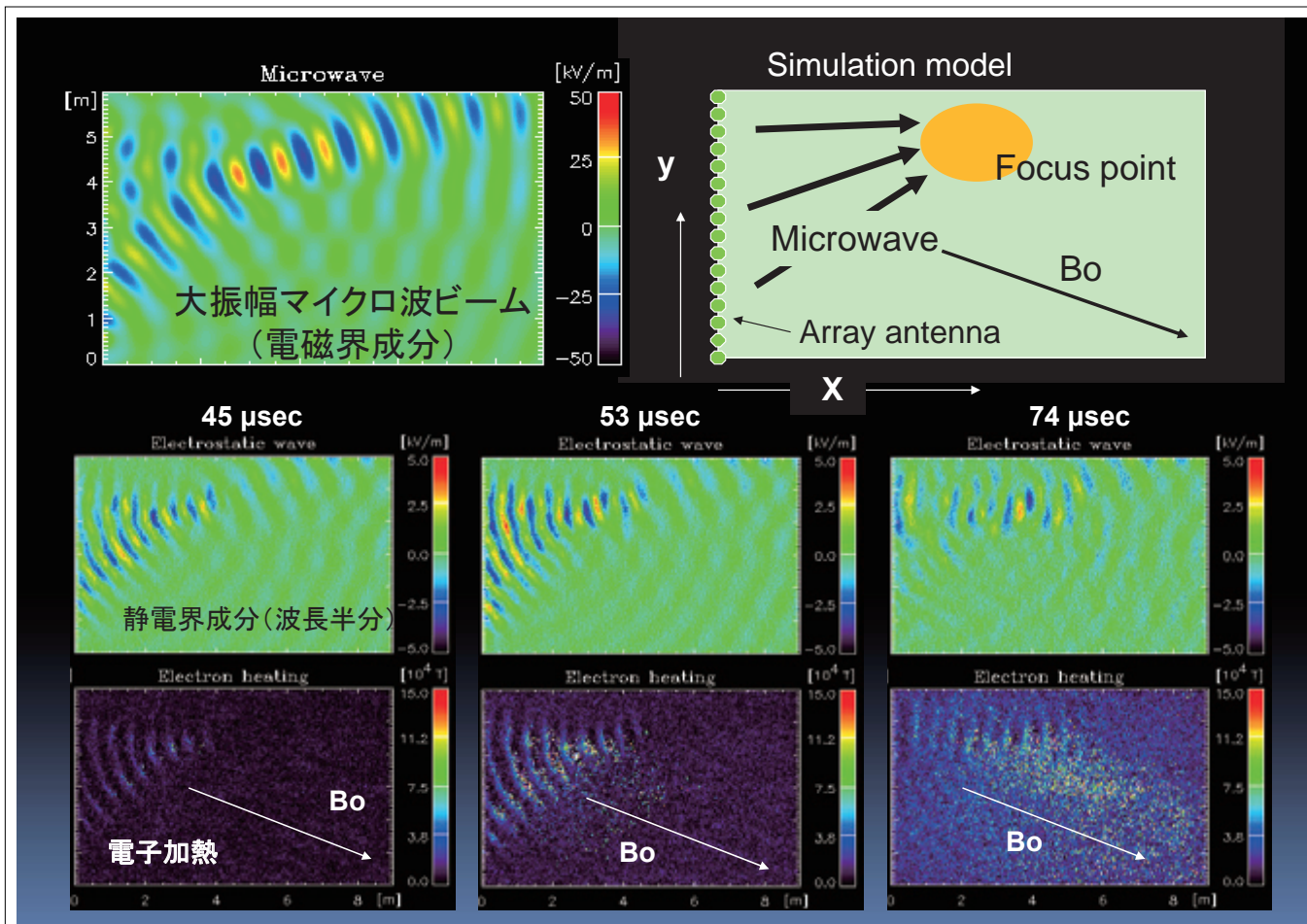
MINIX ロケット実験 (1983.2)



- ・周波数 : 2.45GHz
- ・親子ロケット
- ・Magnetron (830W) × 2

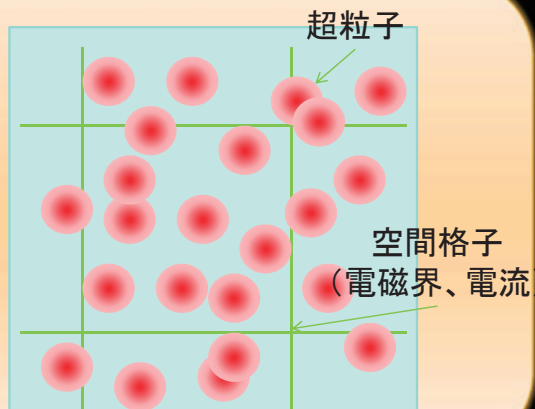


低周波(メガヘルツ)波動の励起
 → 送電エネルギーの損失
 → マイクロ波と宇宙プラズマとの相互作用



プラズマ粒子シミュレーション手法 (KEMPO)

例えば2次元プラズマ空間

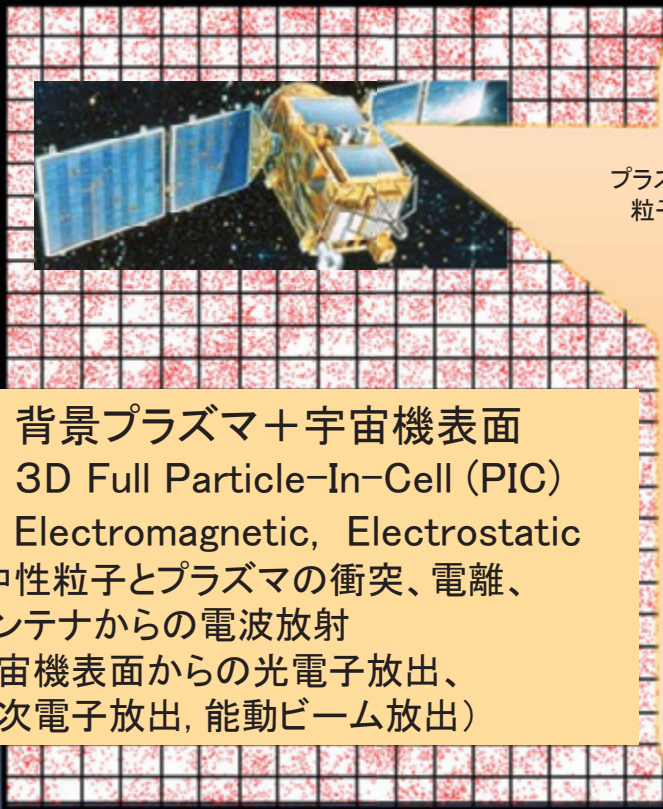


粒子の速度値を近傍格子点に配分し、格子点で電流計算

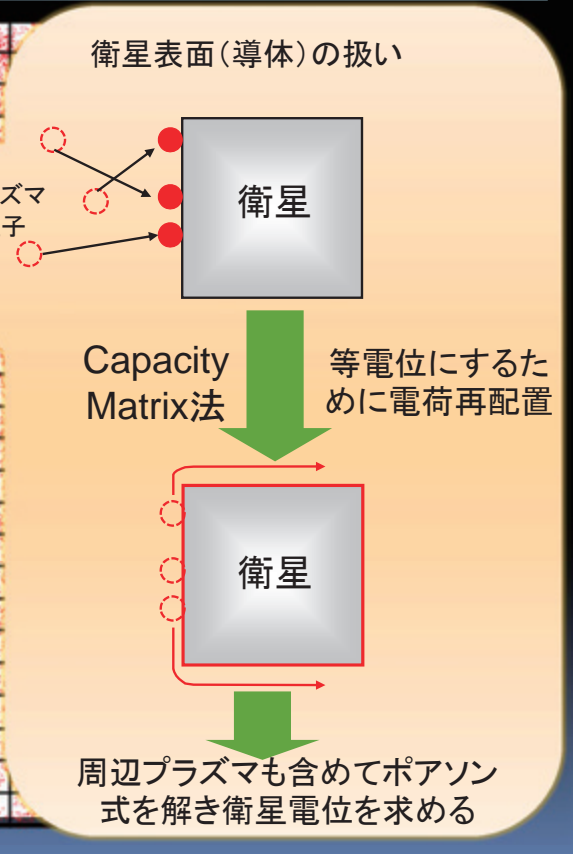
各格子点において電流から電磁界更新 (Maxwell式)

各粒子の速度、位置更新 (運動方程式)

EMSES (ElectroMagnetic Spacecraft Environment Simulator)



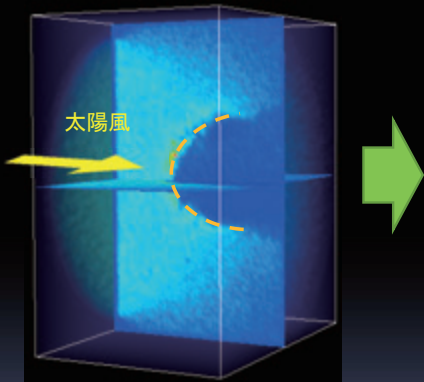
- 背景プラズマ+宇宙機表面
- 3D Full Particle-In-Cell (PIC)
- Electromagnetic, Electrostatic (中性粒子とプラズマの衝突、電離、アンテナからの電波放射、宇宙機表面からの光電子放出、二次電子放出、能動ビーム放出)



マルチスケールモデル

さまざまなスケールの現象が混在するモデル対象に対して、局所高分解能シミュレーションを効率的に行う

(例) 磁気圏-太陽風相互作用



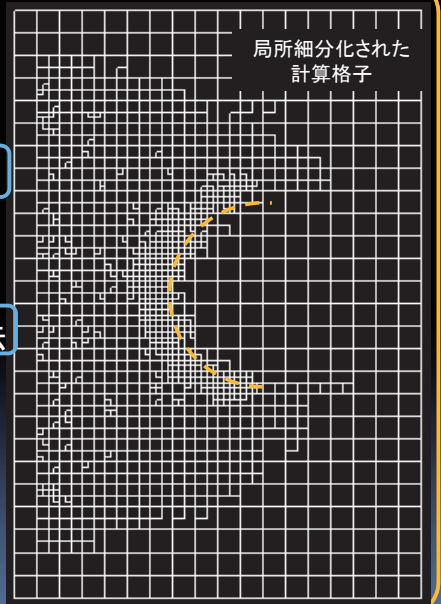
マルチスケールプラズマ粒子コード

プラズマ粒子(PIC)法

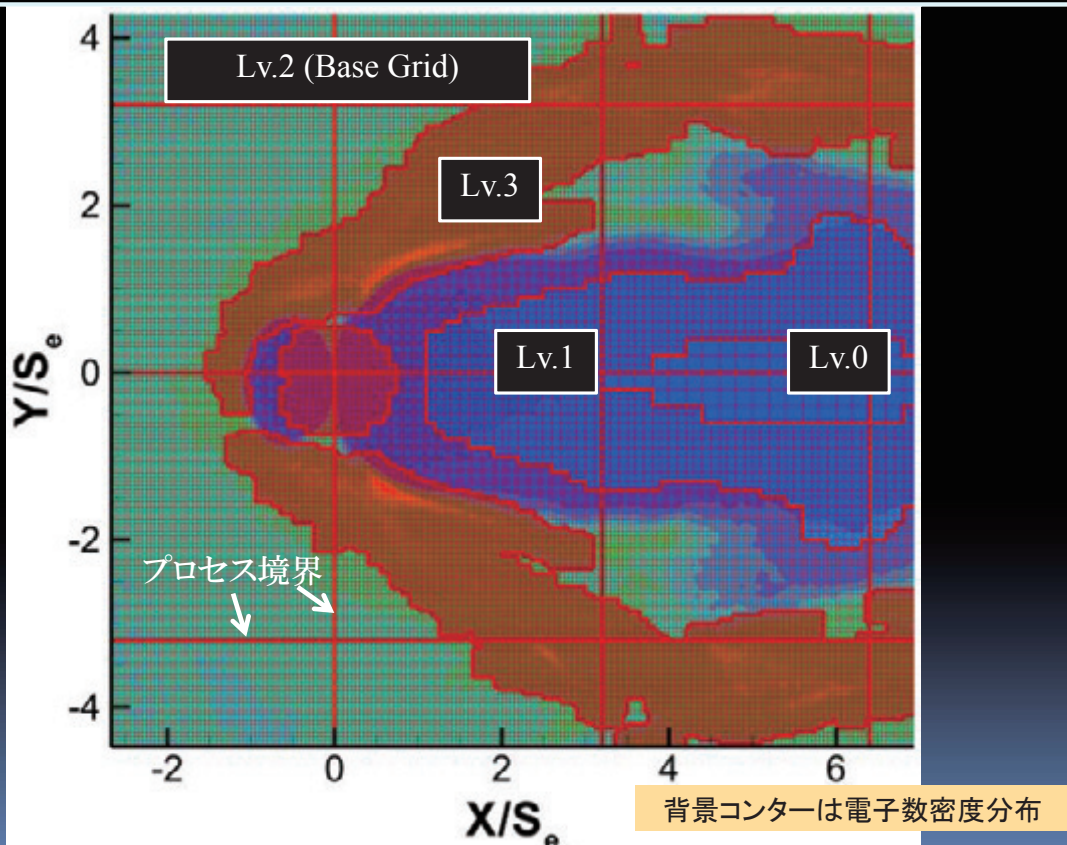
融合

適合格子細分化(AMR)法

- 大幅な計算機資源節約
- 局所的に高分解能解析

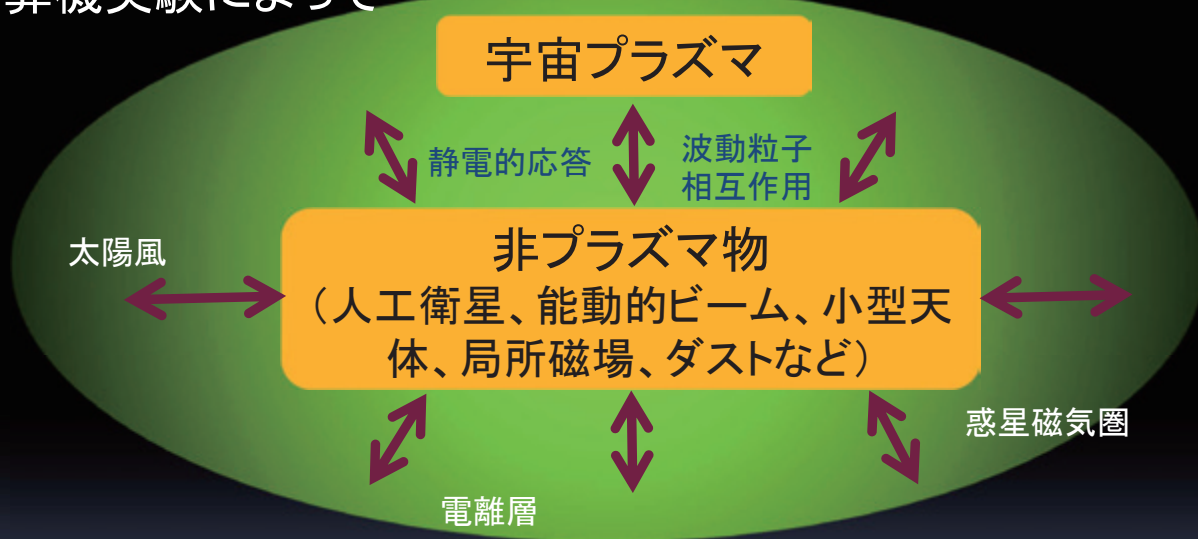


4階層(Lv.0-3)用いた太陽風-小型磁場相互作用シミュレーション



これから何をやりたいのか(研究対象)

計算機実験によって



観測データとの直接比較も出来るようになりつつある。
 今後の衛星やロケット観測プロジェクトとの連携

宇宙プラズマ解析における プラズマシミュレーション (理学)

- ・ある初期値がプラズマ不安定性を介してプラズマ環境をもたらす非線形な影響
- ・現象をコントロールする物理パラメータの同定、定量的理解。
- ・宇宙空間を切り取った自由境界条件が主。

プラズマ環境(非定常を含む)を詳細に知りたい。

システム開発に向けたシミュレーション(工学)

- ・宇宙システムの大きさ、境界条件、functionなどをもとにモデリング。
- ・プラズマ支配方程式に近似を入れて加工し、それを利用。
- ・定常値がMKS単位系で欲しい。
- ・短時間計算が望ましい。パラメータスタディ用。

宇宙システムとしてどう動くかをシミュレーション

宇宙環境計測、利用におけるプラズマ工学と理学の融合、相互作用

「宇宙システム設計にすぐ役立つプラズマ解析ツール(定常解)を作って欲しい」

という要求が多い。

(システムが壊れるか壊れないか、動くか動かないかをすぐに判定できるツール)

SGEPSSという理学オリエンテイドのコミュニティにいるものとしては、宇宙工学(ものづくり)に対して、

そのシステム、本当に宇宙プラズマ中で想定通り動くのか？

様々なプラズマ現象はシステムに影響しないのか？

ということを問いかけて、プラズマ粒子モデルの計算機実験で答えを出すことができれば、と思っています。