

STP 分野におけるシミュレーション科学 と京速計算機

杉山徹 篠原育 三好隆博
寺田直樹 梅田隆行 松本洋介
加藤雄人 深沢圭一郎

結論

- 計算機を使った研究例
 - MHD・PIC など、いわゆるシミュレーション
 - コンベクションモデルなど、いわゆるモデル式の導出とその有効性証明

一丸となって磁気圏の理解に努めましょう

現象を模擬する方法

第一原理

数学濃度

経験・データ統計から
構築された法則



Full-PTLシミュレーション
(理想境界)

Tsyganenkoモデル

R-MHDシミュレーション
(経験的抵抗値)

$$Dst(t) = f(IMF, Vsw, \dots, t)$$

次世代スーパーコンピュータ

- 特定高速電子計算機
 - ペタコン 京速計算機
- 2011年：完成
- 理論性能 10 Pflops
- 21個のターゲットアプリケーション
 - MD, タンパク質, 全球雲, 地震波, 重力多体、等
 - STP 関連なし・危機感なし **それが問題**

超並列計算機の使い方

- リソース(メモリ)のある限りの広いシステムを、計算機の中に再現して、大規模計算を1つ行う
 - 磁気圏全体を、粒子系モデルで実現
- 小さい計算を、別個に数多く行う(パラメータ依存を調査)
 - 磁気圏全体を、流体系モデルで実現し、さまざまな太陽風条件下での磁気圏の応答を調査
 - タンパク質・薬ドッキング 組み合わせの多さから並列

ペタコンで何を狙う

- 現象の取りこぼしのない、精緻計算を行う(経験項の排除)
 - ミクロモデルで実行
 - ミクロで見たい・取り込むべき物理がそこにある
- 衝撃波、リコネクションなど、各個別テーマを掘り下げる
- **磁気圏全体丸ごと計算**
 - 既存コードの延長では、不可能
 - ペタコンでも、ミクロモデルで磁気圏シミュレーションは不可能
 - 経験項が必要

磁気圏全体を狙う

- 領域結合に関して
 - 磁気圏シミュレーション
 - 内側境界は？
 - M-I Coupling を入れずして、、。
 - 電離圏シミュレーション
 - さらに下部の境界は？
 - さらに下部のシミュレーション
 - もっと下部の境界は？

最後は、地表か GCM (Global Circulation Model)

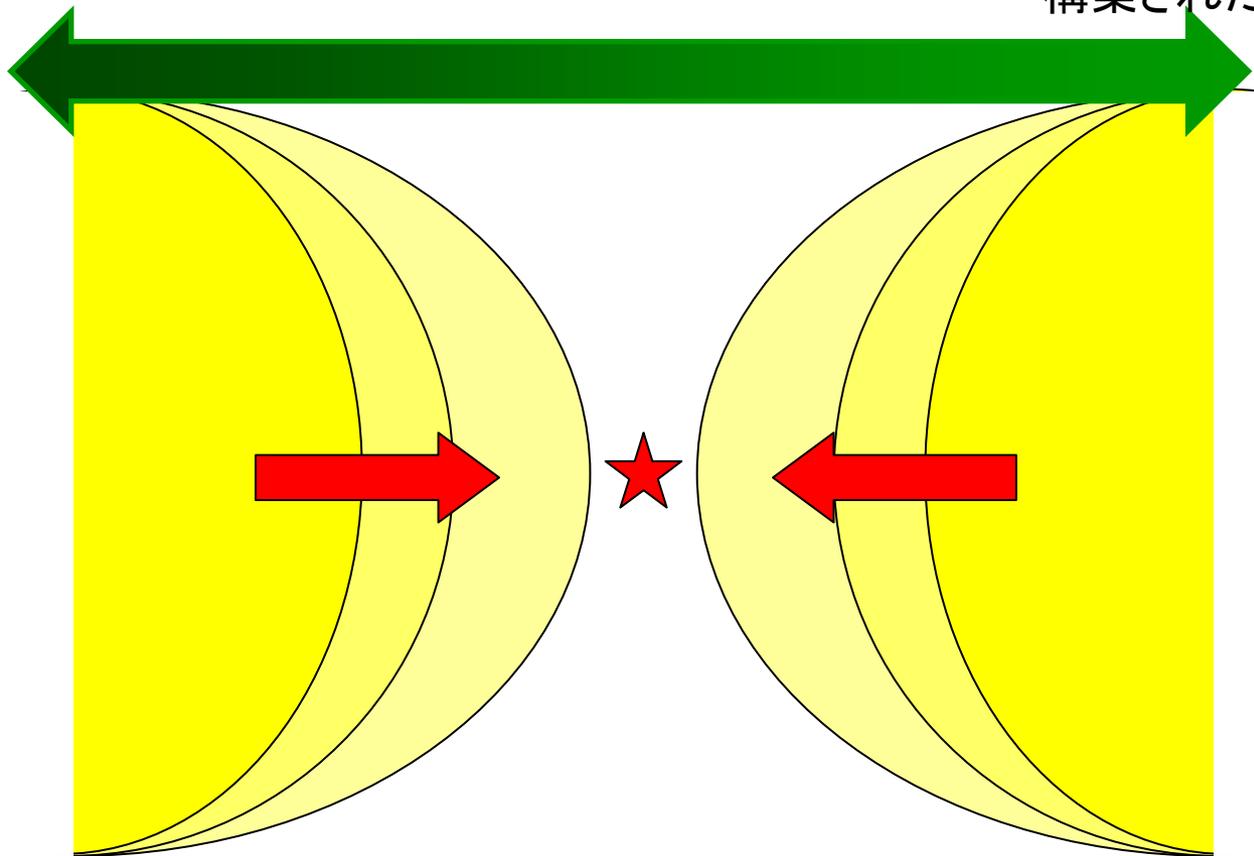
- 取り入れる現象に関して
 - 化学反応、中性大気、雷放電

提案

第一原理

数学濃度

経験・データ統計から
構築された法則



計算機能力の向上で接点が出る。

全体を狙う

- プラズマシミュレーションだけでどこまでできるか
 - 下部境界を電離圏、上部を10~20Reとする3次元の
 - Ion - Electron Hybrid シミュレーション
 - Thermal - Non-thermal Hybrid シミュレーション
 - Vlasov シミュレーション
- プラズマシミュレーションだけでは、何ができないか
 - 化学反応による物質循環
 - 中性大気、雷放電の影響
- コードやモデルを取り込む

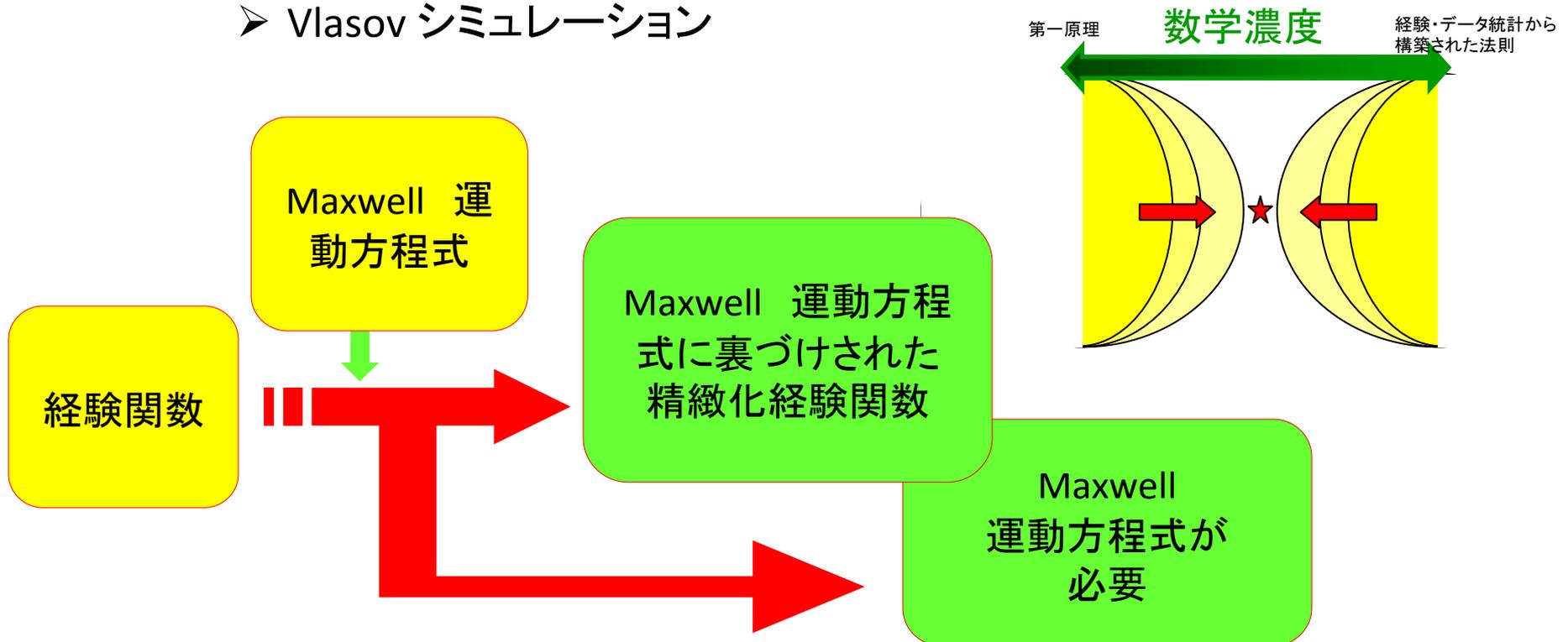
「あれが入っていない、これが入っていない」

コードの提供を受け、取り込む

取り込みやすいように、コードを作成する(寺田E206-012)

全体を狙う

- シミュレーションだけでどこまでできるか
 - 下部境界を電離圏、上部を10~20Reとする3次元の
 - Ion - Electron Hybrid シミュレーション
 - Thermal - Non-thermal Hybrid シミュレーション
 - Vlasov シミュレーション



その先

- 比較惑星
 - 木星などの巨大星も
- 太陽圏全体
 - ACRを粒子・ミクロ計算＋太陽圏をマクロ計算
 - 星間条件を取り込む

結論

- 計算機を使った研究例
 - MHD・PIC など、いわゆるシミュレーション
 - コンベクションモデルなど、いわゆるモデル式の導出とその有効性証明

まずは、一丸となって磁気圏の理解に努めましょう

- ✓シミュレーション側は、ペタコンという道具を手に入れ、多大な貢献が可能です
- ✓検討会を立ち上げました(シミュレーション分科会の1つのテーマ)
 - ✓ シミュレーション分科会会合(明日:昼休み)
 - ✓ STE研究集会合同開催(ペタコン検討会+統合型シミュレータ)

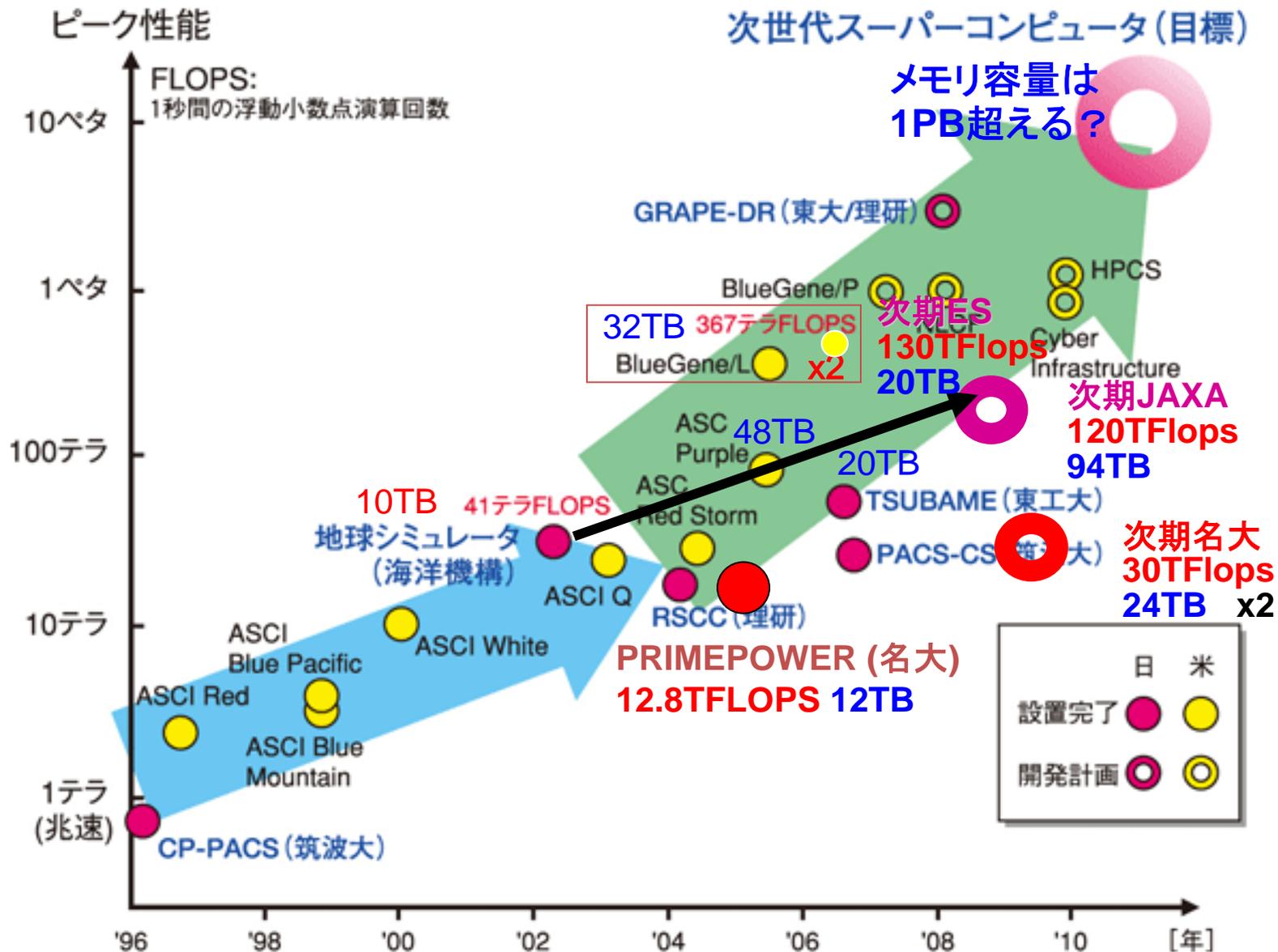
STPシミュレーションコード開発 の将来展望と京速計算機

梅田隆行¹、寺田直樹^{2,7}、杉山徹³、三好隆博⁴、
松本洋介¹、加藤雄人⁵、深沢圭一郎²、篠原育⁶、
中村琢磨⁶、荻野竜樹¹

1. 名大STE研、2. NICT、3. 地球シミュレータ、
4. 広大理、5. 東北大理、6. JAXA/ISAS、7. JST-CREST

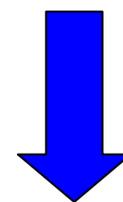
ペタスケールコンピューティング 時代の到来

- 計算機ハードウェア技術の進歩
 - パソコンの性能向上率: 6倍 / 5年
 - 中型(国立研究所・大学メディアセンター)スパコンの性能向上率: 10倍 / 8年
 - 大型スパコン(国家プロジェクト): 100倍 / 8年为目标
 - 2011年: 特定高速電子計算機(次世代スーパーコンピュータ / ペタコン / 京速計算機)完成、理論性能10ペタFlops以上
 - 10年後: ペタ技術の還元
 - パソコン: テラスケール
 - 中型スパコン: ペタスケールの計算が可能に!
- 計算機の進歩にあわせた
– 研究プロジェクトの計画
– シミュレーション技術開発
の必要性



パソコンの性能の発展

- 2003: DDR266 512MB – 6千円
Pentium 4HT 3GHz – 5万円
- 2008: DDR2-800 2GB – 4千円
Core 2 Quad 3GHz – 6万円



5年で
CPU性能:6倍
メモリ容量:4倍

Cf. Xeon X5482 (3.2GHz – FSB1600MHz) x 2 : 8コア
DDR2-800 4GB x 16 : 64GB ⇒ 約150万円@DELL

旧AKDK@RASC (SX-5: 1999~2003) の2倍の性能

今のパソコン=10年前の小型スパコン

10年後にはパソコンがテラスケールに！

将来に向けた STPシミュレーションコード・モデル開発

- 数年～十年先の計算機を見越した設計

- “今のパソコンで走るモデル”の開発に何年かかる？
- 今のパソコン: 8GB ⇒ 流体: 256^3 、粒子: 512^2 、ブラソフも走る

- 必要は発明の母

限られたリソースを有効に使うための工夫

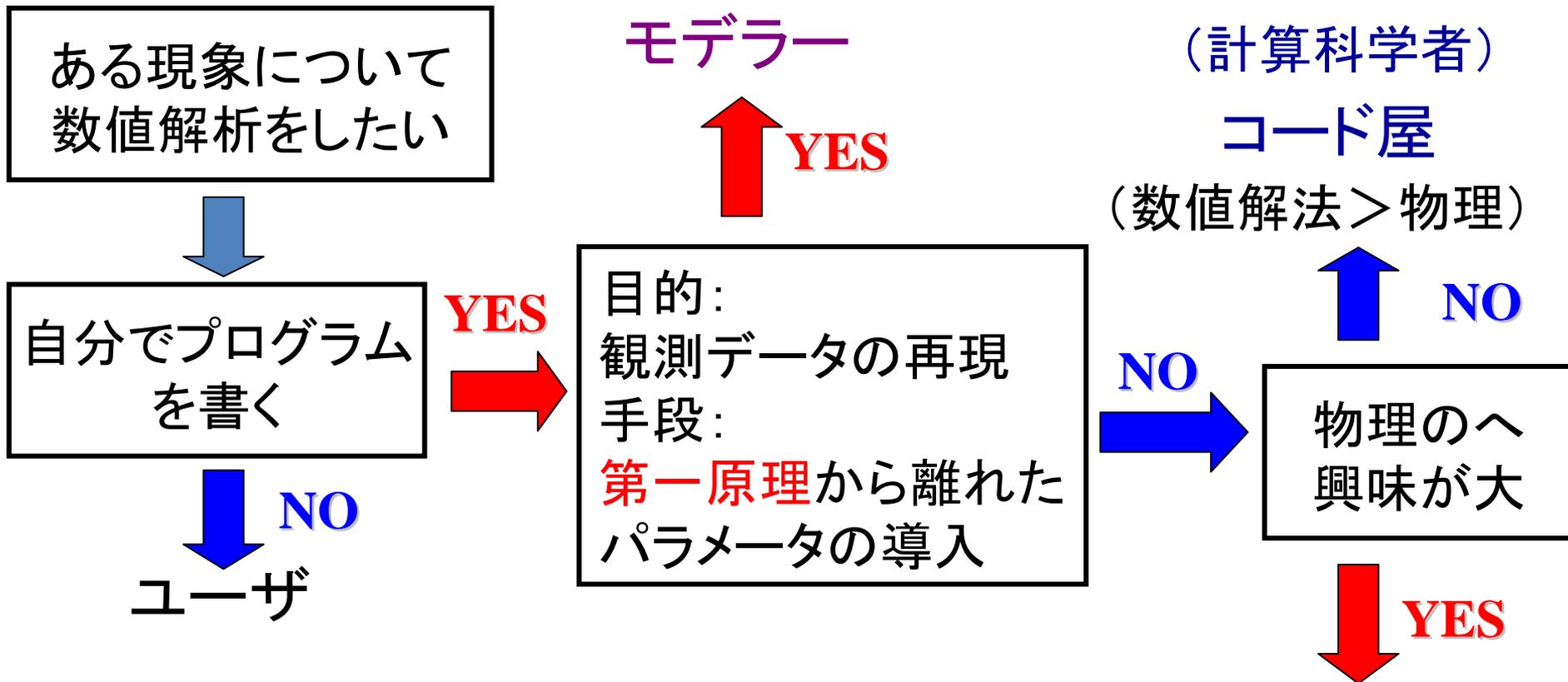
- モデリング: パラメータの導入による簡略化
- シミュレーション: 第一原理にこだわり、解法で工夫

⇒ 今後の展開:

- モデリング: 入れたい物理をより第一原理に近い形で導入
- シミュレーション: 第一原理に則ったモデルの導入

モデル開発者とシミュレーションコード開発者の連携

シミュレーション屋？・コード屋？・モデラー？

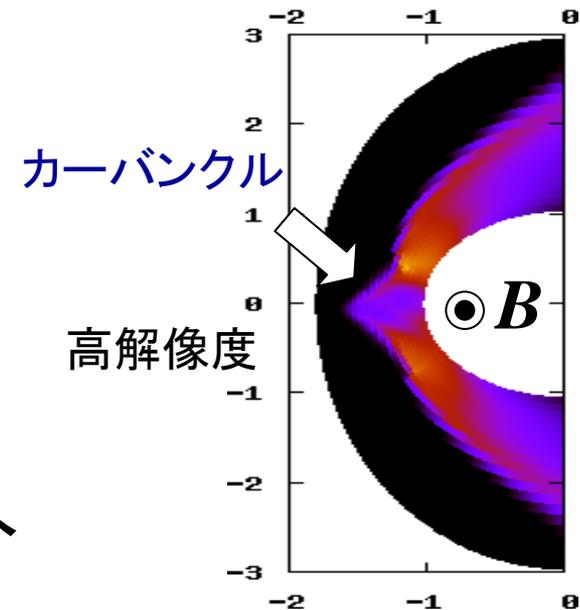
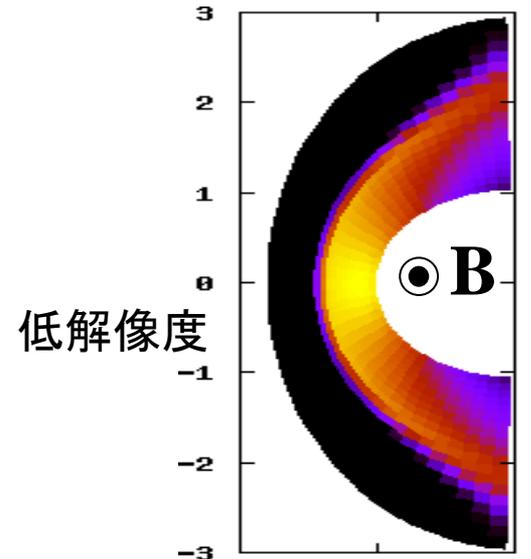


第一原理 (first principles) :
「既存の実験結果 (事実) を含めた経験則や
パラメータの調節を一切用いずにある系の
状態を求めること」

STPシミュレーションコードの現状と展望

流体系(MHD)

- グローバル磁気圏：依然 512^3 程度
 - 高解像度計算に対するコストパフォーマンスが低い。(CPU料金が安い)
 - 高解像度にした時に解が不安定になる。
⇒高解像度でも安定な解法が必要
- 流体計算はペタコン時代の主役
 - より大規模なシステム(太陽圏等)の計算が可能に。
 - 高解像度計算(>イオンスケール)もやはり重要。
 - 多成分流体複合系シームレスモデルへ



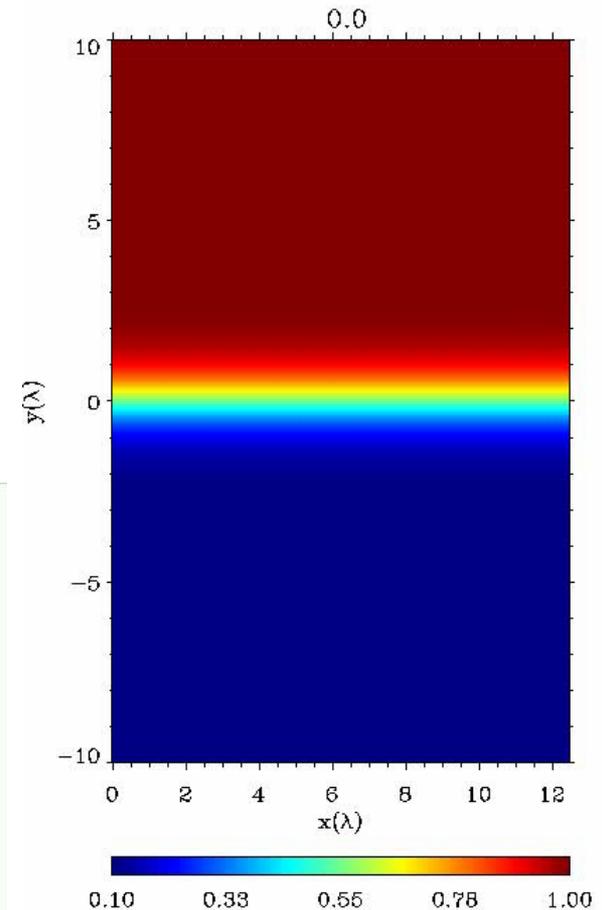
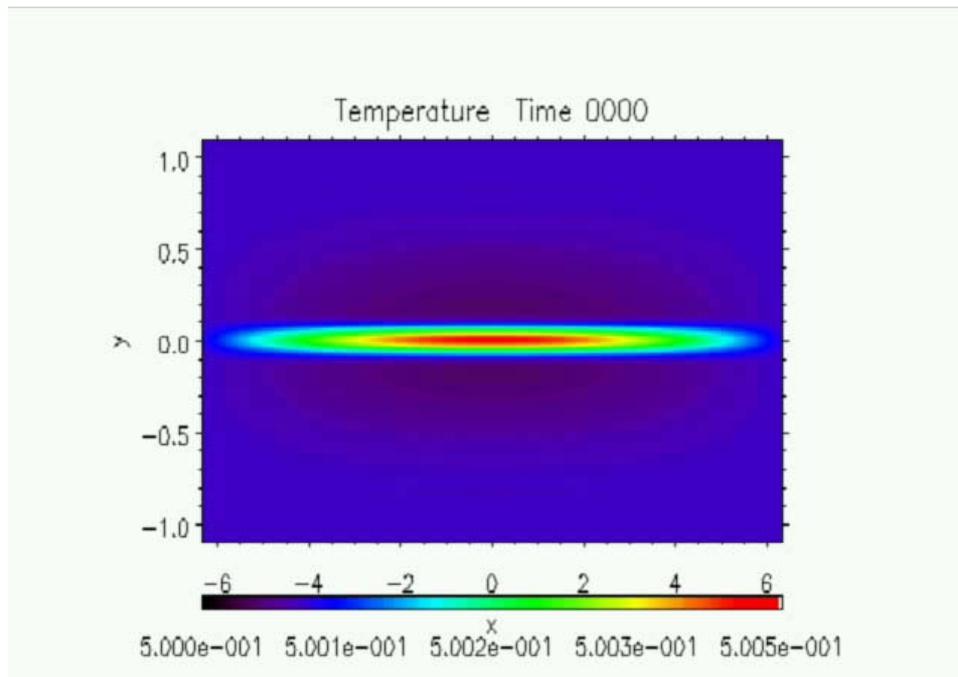
STPシミュレーションコードの現状と展望

流体系(MHD)

- 開発課題:

- 連続波、不連続波、衝撃波、乱流、自己組織化を同時に解くロバストな解法
- 超並列計算機におけるAMR・多重格子法
- $\text{Div}(\mathbf{B})=0$ 保証型解法

リコネクション
(三好)



KH不安定性(松本)

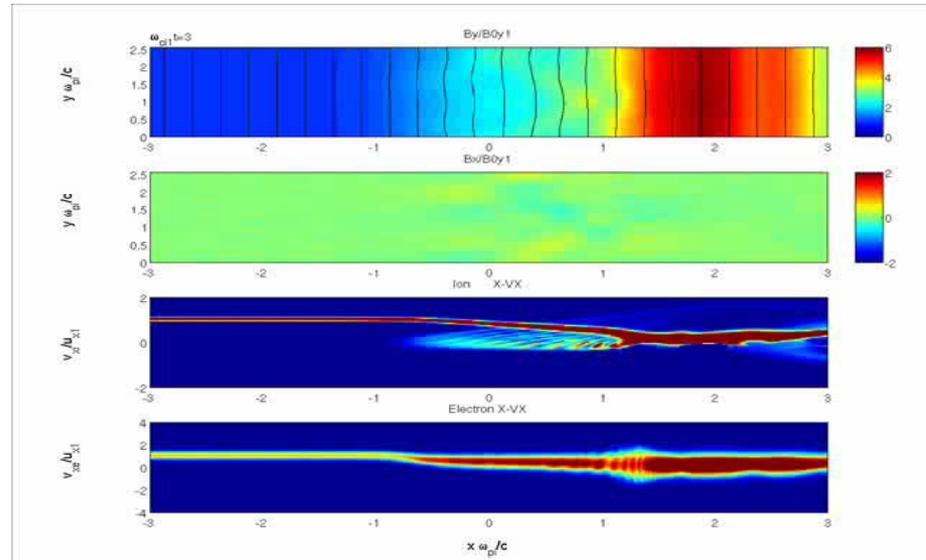
STPシミュレーションコードの現状と展望

粒子系(PIC)

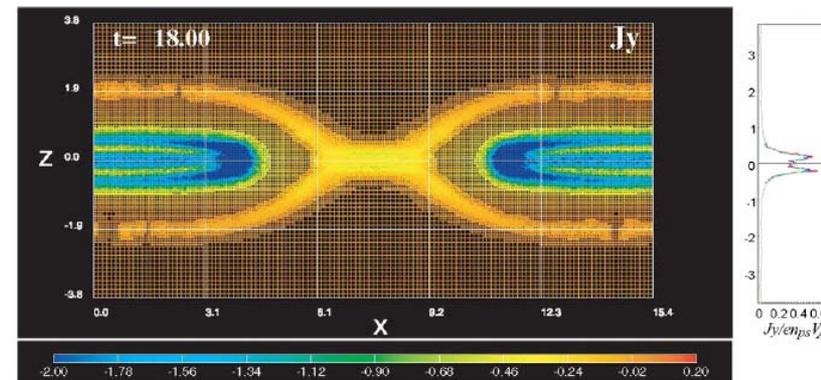
- 手法としてはほぼ完成
 - ローカルモデル(RX、KH、Shock)ではモデルの改良が進んでいる
 - 磁気圏全体の粒子計算はペタコンでも無理 ⇒工夫が必要
 - 分散型超並列計算に向いている？
⇒No！しかし、ペタコンは数十万並列...

開発課題：

- 手法の工夫により第一原理にこだわる：DES(篠原)、AMR(藤本桂三氏)
- 他モデルの導入により計算をはしよる：連結階層(杉山)、“モデル”の組み込み
- 負荷バランス型の超並列法
- 動的な領域・粒子分割の混合は可能？



イオンスケールサイズの衝撃波の
全粒子計算をパソコンで実行
(E109-P011 山尾、梅田、山崎、荻野)



3次元AMR-PIC (Fujimoto & Sydora, 2008)

シミュレーション手法は日々進化している

ブラソフコード：
1980年代に枯れたが、
発展途上の手法として再び注目

磁気リコネクション (GEM Challenge)

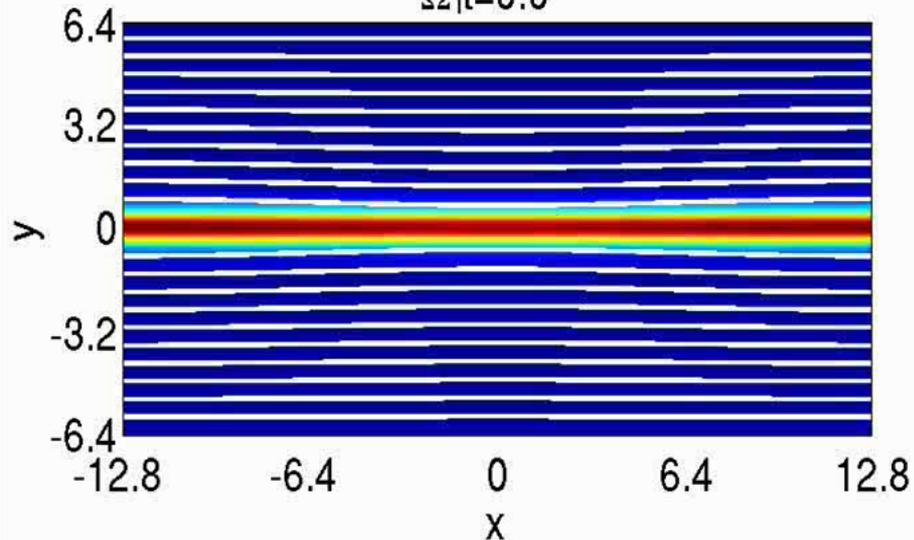
2x3v (5次元) $\Delta x = 10\lambda_e = 0.1L_i$

128 x 64 x 30 x 30 x 30 = 5.8GB

パソコンで実行

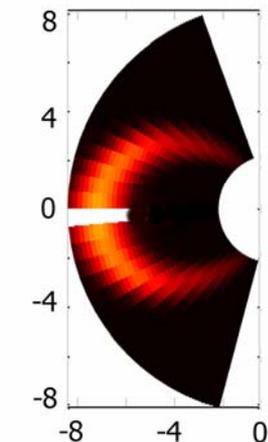
(E109-P005 梶野、梅田、荻野)

$\Omega_i t = 0.0$



GEMSIS-RC: 環電流モデリング

(関、海老原、三好、松本、天野、梅田)



ハイブリッドブラソフ法

イオン: 分布関数

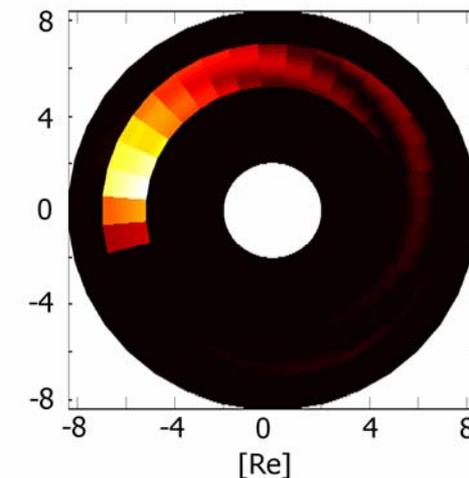
電子: 流体

3次元空間 + 2次元速度

ドリフト運動論近似

プラズマ圏、内部境界、
内部境界 → モデル

[Re]



32x30x36x32x35 =

5.7GB

パソコンで実行



結論

- 計算機ハードウェア技術の向上により、パソコンでもテラスケール計算が可能になる。
 - シミュレーションコードも日々進化している。
 - 若手ベースの組織的なコード開発プロジェクトを開始。
 - 計算機性能の発展を見越した、純国産・世界最先端のモデル・コードの開発を。
 - 磁気圏衛星観測・理論と計算科学間のこれまでの密な連携を今後も継続。
 - 地上観測およびモデリングからのインプットに期待。
 - コード開発ができる若手の育成。
- ☆モデル計算と第一原理計算(シミュレーション)の融合による質的転換を目指す