

CANS

# 宇宙電磁流体・粒子コード

松本洋介、松元亮治  
千葉大学理学研究科

横山央明  
東京大学理学系研究科

# CANS

## Coordinated Astronomical Numerical Software

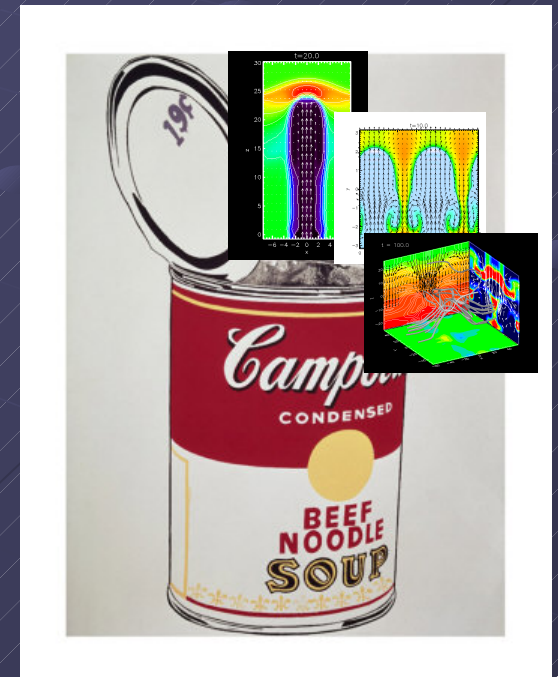
- ▶ 磁気流体 (MHD) シミュレーションコードパッケージ
- ▶ 太陽や星、星間空間などにおける 宇宙の流体现象を対象としたシミュレーションを簡単に実行可能
- ▶ 数値スキームの選択が可能
- ▶ 多くの物理課題が整備
- ▶ Fortran77
- ▶ MPIによる並列化
- ▶ IDLによる可視化
- ▶ 日本語テキスト



# CANS

## Coordinated Astronomical Numerical Software

- ▶ 磁気流体 (MHD) シミュレーションコードパッケージ
- ▶ 太陽や星、星間空間などにおける 宇宙の流体现象を対象としたシミュレーションを簡単に実行可能
- ▶ 数値スキームの選択が可能
- ▶ 多くの物理課題が整備
- ▶ Fortran77
- ▶ MPIによる並列化
- ▶ IDLによる可視化
- ▶ 日本語テキスト



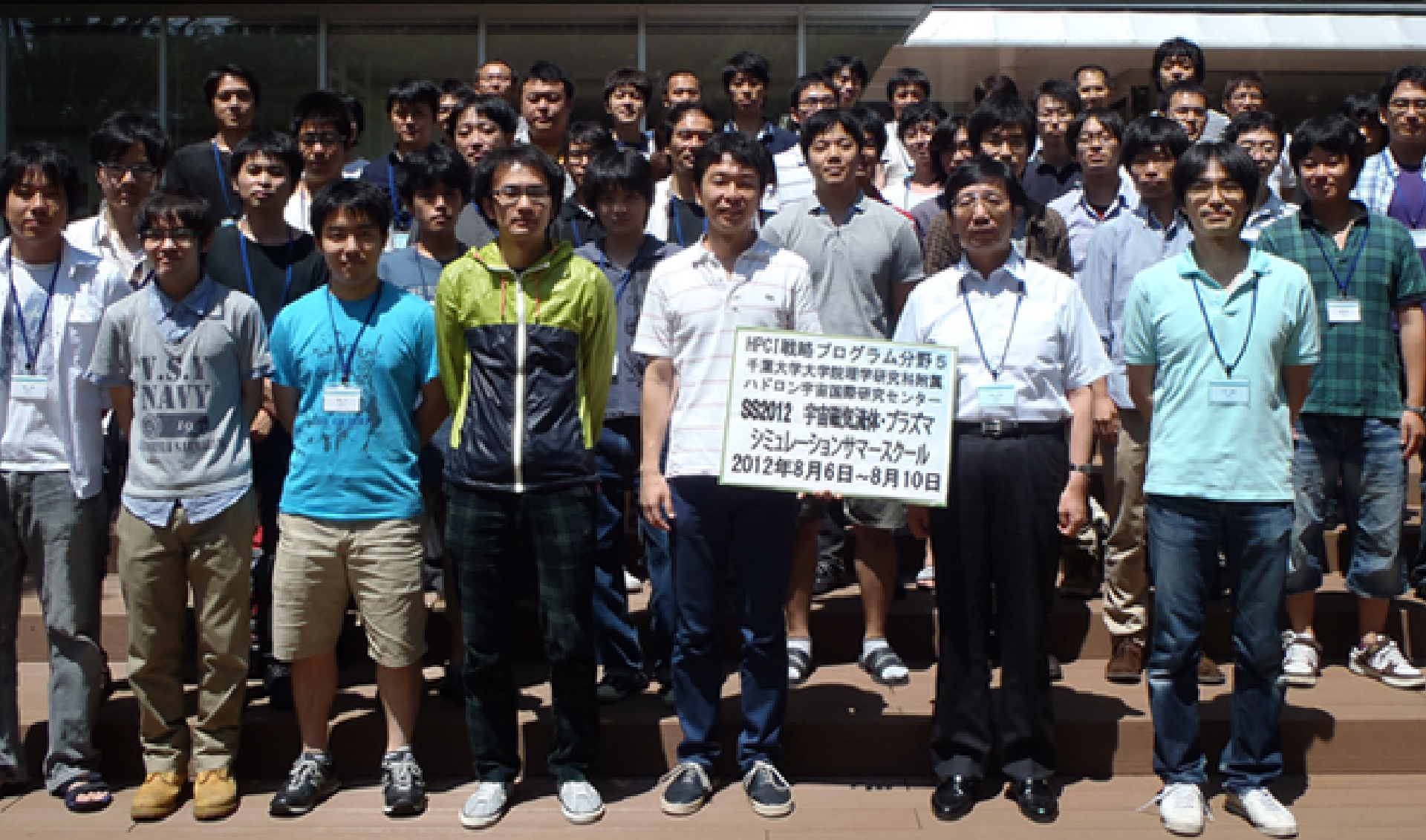


pCANS  
EM-PIC code for CANS

# pCANS

- ▶ 電磁粒子 (Particle-in-Cell) シミュレーション  
コードパッケージ
- ▶ 無衝突プラズマ第一原理計算手法。粒子加速、磁  
場生成など、非MHD過程も記述可
- ▶ CANSと同じ構成、思想
- ▶ 1, 2次元コード (, 3次元コードも公開予定)
- ▶ 物理課題の整備
- ▶ Fortran90
- ▶ MPI並列化
- ▶ IDLによる可視化
- ▶ 日本語テキストの整備

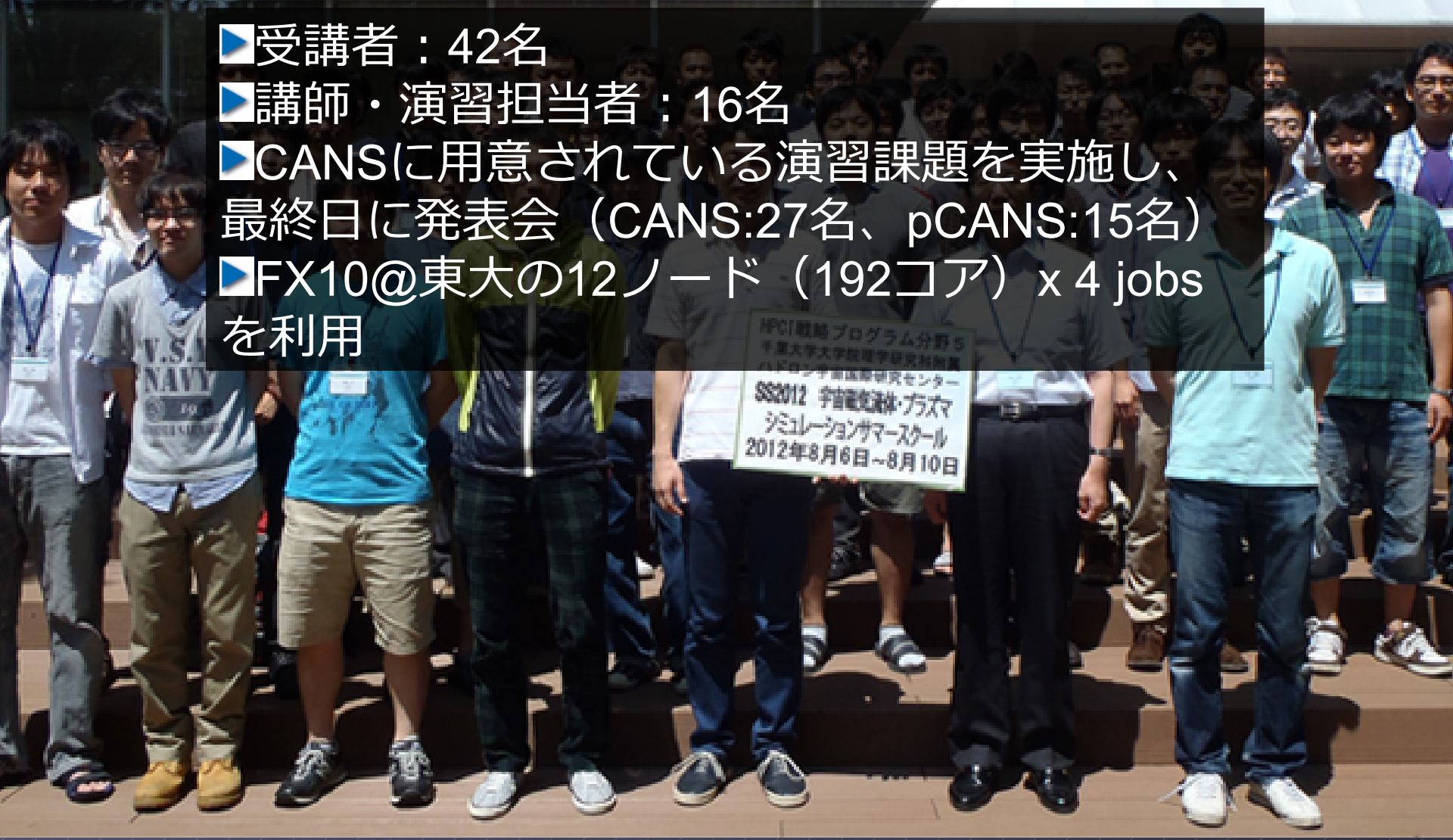
# CANSを使った シミュレーションサマースクール



# CANSを使った シミュレーションサマースクール

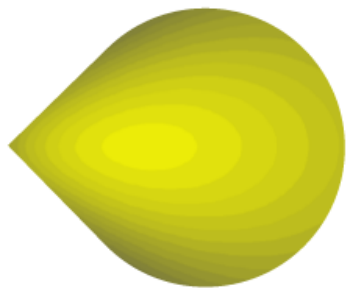
- ▶受講者：42名
- ▶講師・演習担当者：16名
- ▶CANSに用意されている演習課題を実施し、最終日に発表会（CANS:27名、pCANS:15名）
- ▶FX10@東大の12ノード（192コア）x 4 jobs を利用

IPCT戦略プログラム分野5  
千葉大学大学院工学研究科附属  
ハードウェア工学研究センター  
SS2012 宇宙電流体・プラズマ  
シミュレーションサマースクール  
2012年8月6日～8月10日

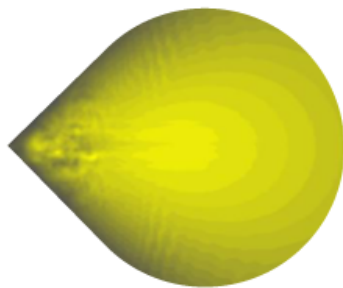


# CANS H24進捗状況

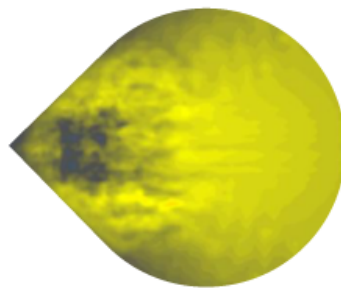
- ▶ HLLD法の導入 (H23より引き続き)
- ▶ 円筒座標系
- ▶ MP5法の導入 (5次精度補間)
- ▶ 降着円盤の高精度計算が可能に



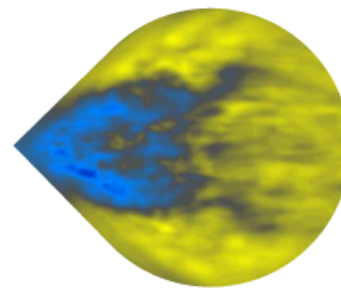
$t = 0$



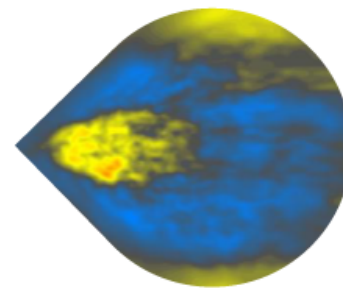
$t = 6t_{rot}$



$t = 12t_{rot}$



$t = 20t_{rot}$



$t = 30t_{rot}$

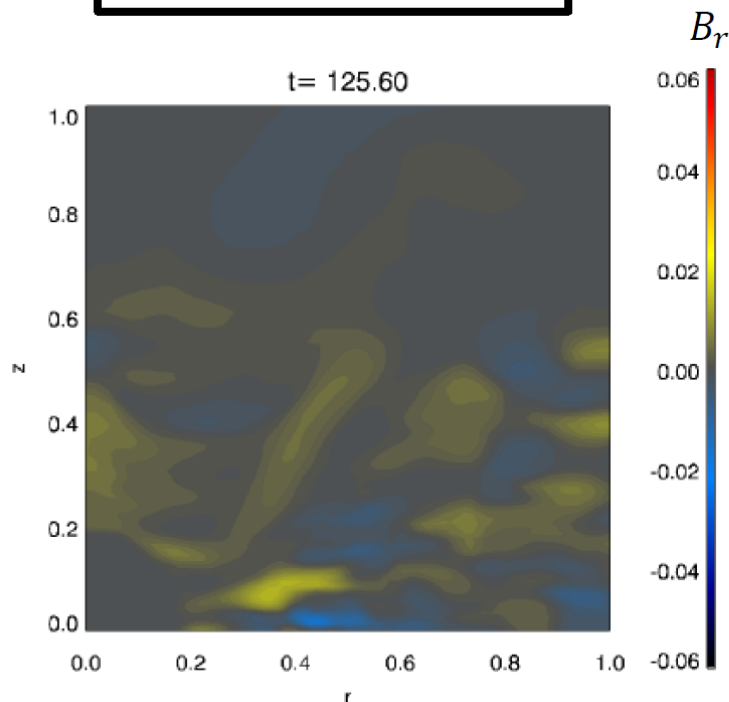
※ $t_{rot} = 2\pi t_0$

小野貴史、修士論文、2013年

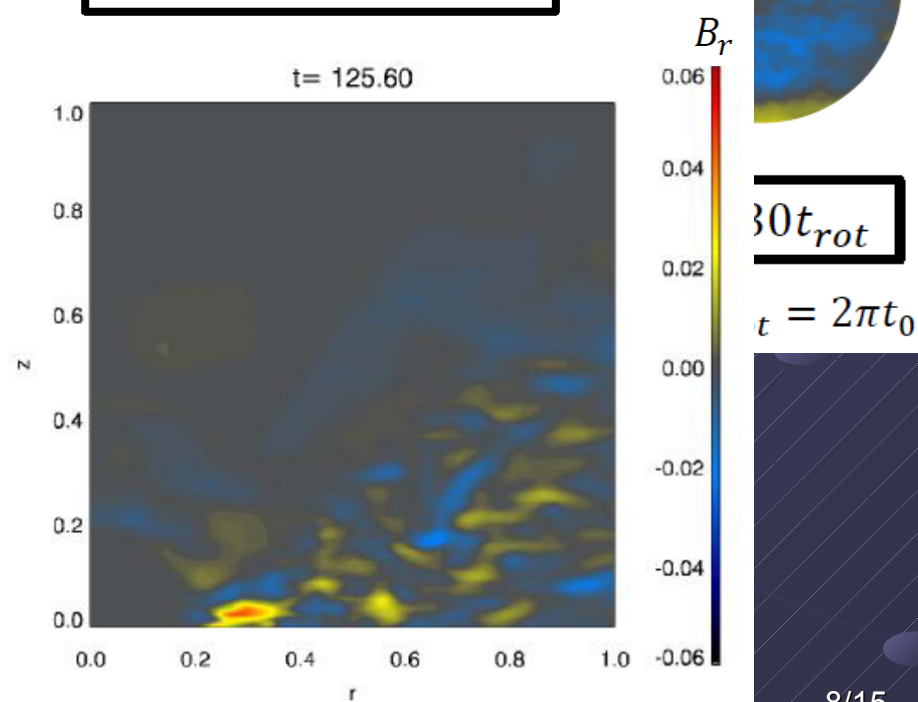
# CANS H24進捗状況

- ▶ HLLD法の導入 (H23より引き続き)
- ▶ 円筒座標系
- ▶ MP5法の導入 (5次精度補間)
- ▶ 降着円盤の高精度計算が可能に

## 空間2次精度



## 空間5次精度





# pCANS H24進捗状況

- ▶ 共同開発体制の構築
- ▶ 物理演習課題の充足
- ▶ 日本語テキストの整備
- ▶ 高精度化
- ▶ 「京」での性能評価
- ▶ 3次元コードの公開準備

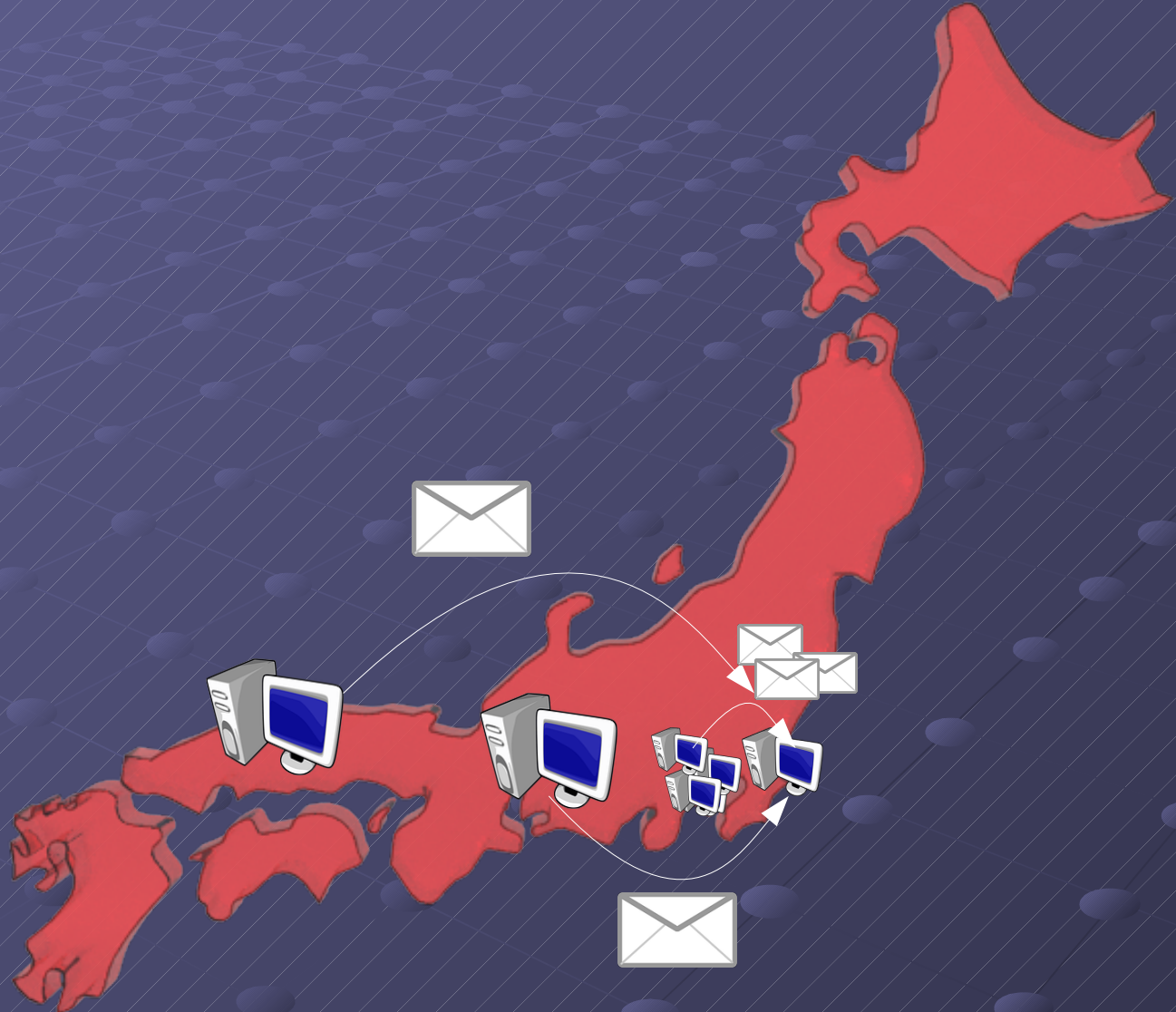
# pCANS developers

- ▶ 松本洋介 (千葉大) - 統括、KH不安定、無衝突衝撃波
- ▶ 天野孝伸 (東大) - 情報技術参与、無衝突衝撃波、二流体不安定
- ▶ 加藤恒彦 (広島大) - Weibel不安定、無衝突衝撃波
- ▶ 銭谷誠司 (NAOJ) - 磁気リコネクション
- ▶ 高橋博之 (NAOJ) - 磁気リコネクション
- ▶ 三好由純 (名大) - 電子温度異方性不安定
- ▶ 簗島敬 (JAMSTEC) - 電子温度異方性不安定、IDL開発

## アドバイザーボード

- ▶ 星野真弘 (東大)
- ▶ 松元亮治 (千葉大)
- ▶ 横山央明 (東大)

# SCMの導入

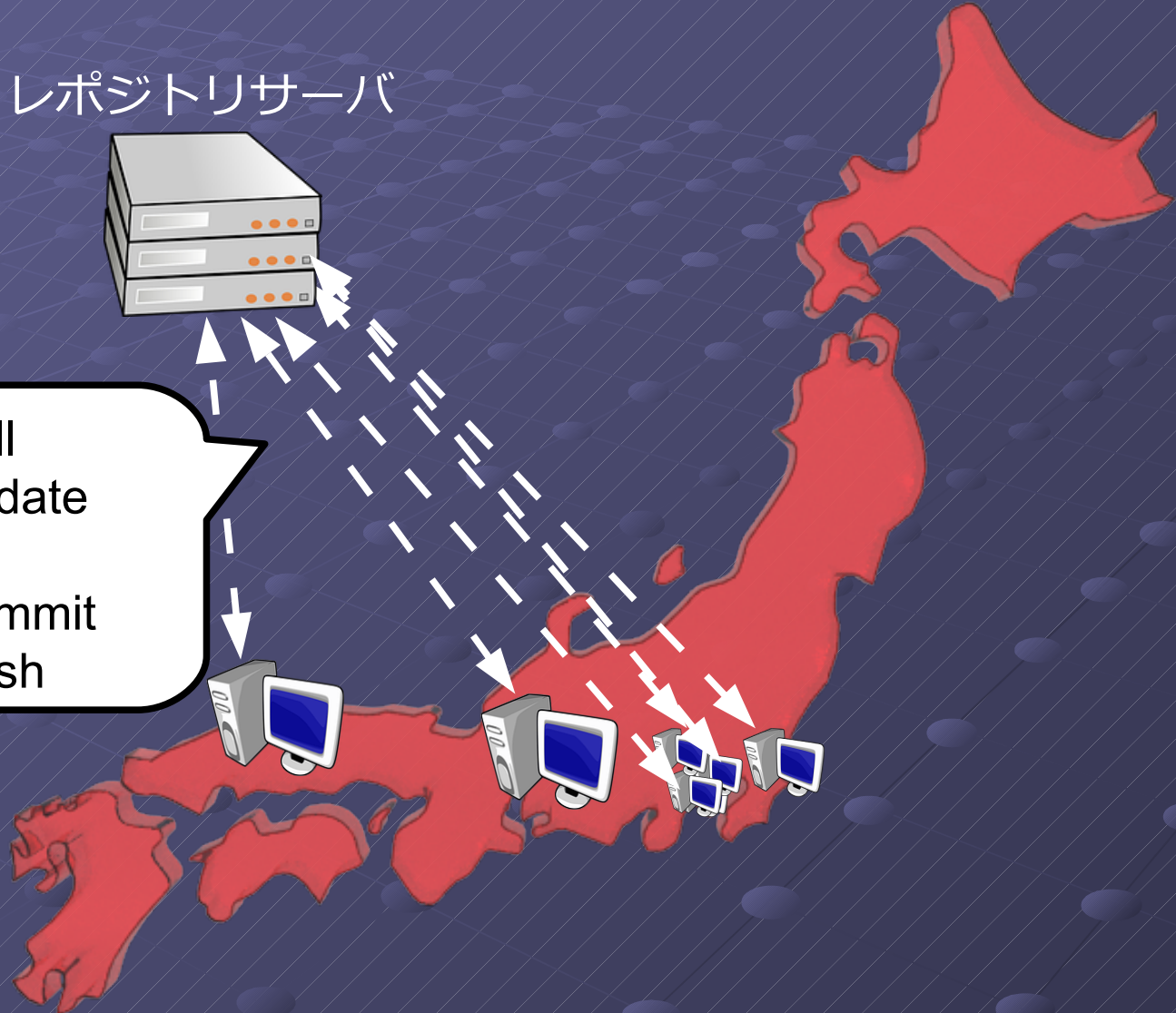


# SCMの導入


レポジトリサーバ



\$ hg pull  
\$ hg update  
... edit  
\$ hg commit  
\$ hg push



# レポジトリホスティングサービス



**pCANS**  
yamatmot ★ Following ✉ Share

Clone Fork Compare Pull request

Overview Source Commits Pull requests Issues 1 Wiki Downloads 1

Electromagnetic Particle-in-Cell simulation codes for CANS

HTTPS `https://yamatmot@bitbucket.c`







2 Branches 1 Tag 0 Forks 5 Followers

Owner yamatmot  
Website <http://www.astro.phy...>  
Access level Public  
Type Mercurial  
Language Fortran  
Last updated 2013-03-01  
Created 2011-03-18  
Size 35.1 MB (download)

Invite users to this repo

Send invitation

### Recent activity

-  **Seiji Zenitani** pushed 2 commits to yamatmot/pCANS 8 days ago
  - 211bb37 - [0,1] --> (0,1) in Box-Muller method
  - 7b34fc0 - merge
-  **yamatmot** pushed to yamatmot/pCANS 12 days ago
  - aa961aa - テスト中のMakefileを元に戻した。
  - cf597e4 - 2次元コードで電荷保存法をdensity decomposition法(Esirkeporv 20...
-  **yamatmot** updated wiki-page Home in yamatmot/pCANS 2013-01-18
-  **yamatmot** updated wiki-page Home in yamatmot/pCANS 2013-01-18
-  **yamatmot** updated wiki-page Home in yamatmot/pCANS 2013-01-18
-  **kudoym** began following yamatmot/pCANS 2013-01-16

# ドキュメント生成ツール

## reStructuredText

- マークアップ言語
- Latex数式表記
- 様々な形式に出力

\*\*\*\*\*  
pCANS ドキュメント  
\*\*\*\*\*

```
.. toctree::  
    :maxdepth: 2
```

以下のような変数を定義します。

```
.. math::  
    :label: vnew_m
```

```
{\bf u_p}^{-} = {\bf u_p}^{t-\Delta t/2} + \frac{q_p}{m_p}  
{\bf u_p}^{+} = -\frac{q_p}{m_p}
```

\$ make html

\$ make pdf

\$ make epub





pcANS  
EM-PIC code for CANS

目次

電磁プラズマ粒子シミュレーション

- 概要
  - 変数の定義
  - 基礎方程式
  - 粒子と電磁場の時間発展
- Buneman-Boris法
- Particle-in-Cell法
- 電磁場の数値解法
  - 計算グリッド
  - 陰的解法
- 束縛条件を満たすために
  - 磁場の発散なし
  - ガウスの法則
- パラメタの決め方
- 空間・時間グリッド幅の決め方
- 参考文献

前のトピックへ

イントロダクション

次のトピックへ

pcANS の使い方

クイック検索

モジュール、クラス、または関数名を入力してください

# 電磁プラズマ粒子シミュレーション

著者: 松本洋介(千葉大学)

宇宙空間における爆発的現象に伴う、非熱的粒子の生成メカニズムは宇宙物理学に残された最大の問題の一つであると言えます。流体近似を行った磁気流体(MHD)シミュレーションでは、このような高エネルギー粒子生成メカニズムを自己無同着に理解することができないため、無衝突プラズマの第一原理計算手法によるアプローチが代わりに大きな役割を果たします。

本章では、そのような計算手法のひとつである、電磁プラズマ粒子シミュレーションのアルゴリズムについて説明します。

## 概要

### 変数の定義

$q$  電荷

$m$  静止質量

$c$  光速

$E$  電場

$B$  磁場

### 単位系

pcANS ではCGS系を採用しています。

### 基礎方程式

基礎となる方程式系は、Masov方程式と

$$\frac{\partial f_s(\mathbf{x}, \mathbf{v})}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla f_s(\mathbf{x}, \mathbf{v}) + \frac{q_s}{m_s} \left( \mathbf{E} + \frac{\mathbf{v}}{c} \times \mathbf{B} \right) \cdot \nabla_v f_s(\mathbf{x}, \mathbf{v}) = 0 \quad (1)$$

Maxwell方程式

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -c \nabla \times \mathbf{E} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi \sum_s q_s n_s \quad (3)$$

<http://www.astro.phys.s.chiba-u.ac.jp/pcans>

reStruct

- マーク
- Latex数
- 様々な

\$ m

pub



# サマースクールの反響

## マニュアルサイトの訪問数の推移

ユーザー サマリー

2012/04/01 - 2013/03/02

アドバンス セグメント | メール エクスポート ▼ | マイレポートに追加 ショートカット

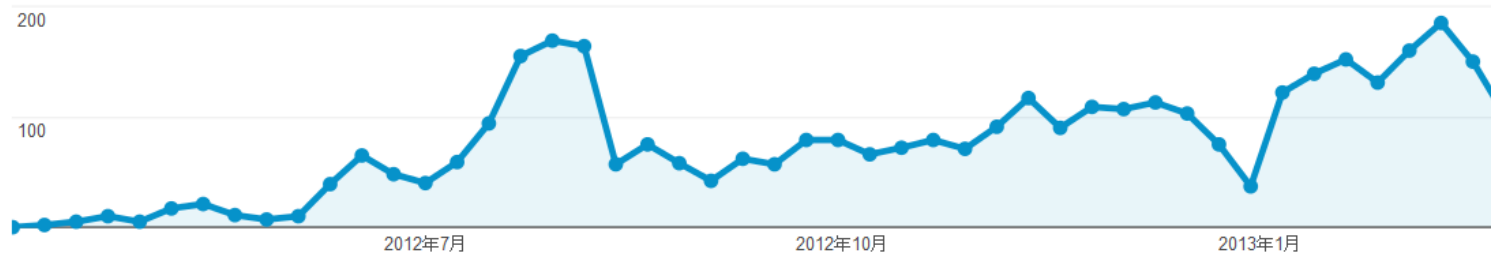
訪問数の割合: 100.00%

サマリー

訪問数 対 指標を選択

時間別 日 週 月

訪問数



このサイトのユーザー数: 1,790

\* 管理者IPは除く

訪問数



ユーザー数



ページビュー数



訪問別ページビュー



訪問時の平均滞在時間



直帰率



52.34% Returning Visitor

1,937 訪問数

47.66% New Visitor

1,764 訪問数



# サマースクールの反響

## マニュアルサイトの訪問数の推移

ユーザー サマリー

2012/04/01 - 2013/03/02

アドバンス セグメント | メール エクスポート ▼ | マイレポートに追加 ショートカット

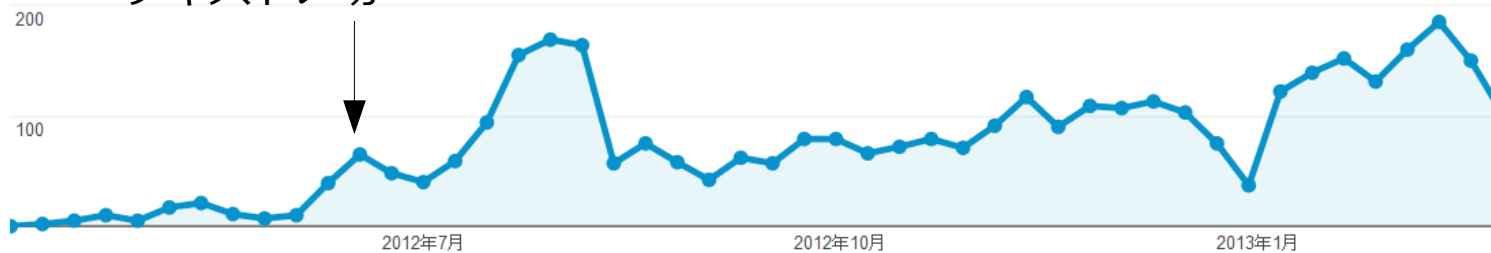
訪問数の割合: 100.00%

サマリー

訪問数 対 指標を選択

時間別 日 週 月

訪問数 テキスト切



このサイトのユーザー数: 1,790

\* 管理者IPは除く

訪問数



ユーザー数



ページビュー数



訪問別ページビュー



訪問時の平均滞在時間



直帰率



52.34% Returning Visitor

1,937 訪問数

47.66% New Visitor

1,764 訪問数

# サマースクールの反響

## マニュアルサイトの訪問数の推移

ユーザー サマリー 2012/04/01 - 2013/03/02

アドバンス セグメント | メール エクスポート ▼ | マイレポートに追加 ショートカット

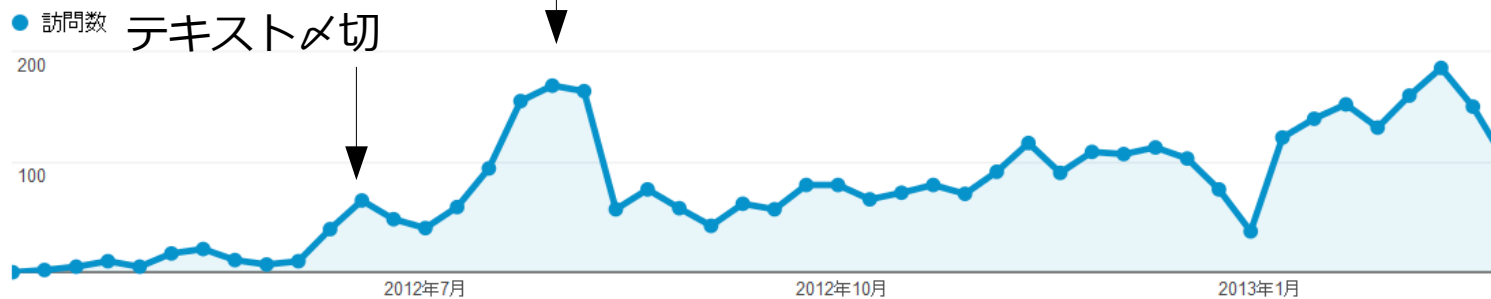
訪問数の割合: 100.00%

サマリー

### サマースクール

訪問数 対 指標を選択

時間別 日 週 月



このサイトのユーザー数: 1,790

\* 管理者IPは除く

訪問数



ユーザー数



ページビュー数



訪問別ページビュー



訪問時の平均滞在時間



直帰率



52.34% Returning Visitor

1,937 訪問数

47.66% New Visitor

1,764 訪問数

# サマースクールの反響

## マニュアルサイトの訪問数の推移

ユーザー サマリー 2012/04/01 - 2013/03/02

アドバンス セグメント | メール エクスポート ▼ | マイレポートに追加 ショートカット

訪問数の割合: 100.00%

サマリー

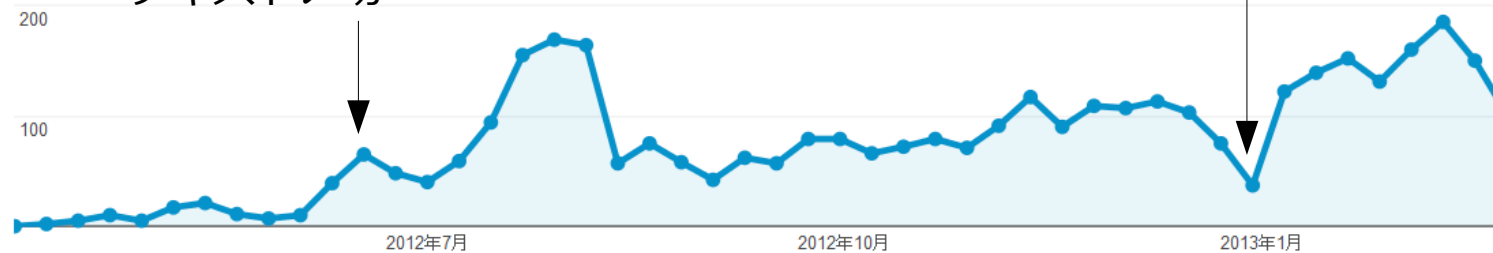
### サマースクール

訪問数 対 指標を選択

時間別 日 週 月

訪問数 テキスト切れ

年未年始



このサイトのユーザー数: 1,790

\* 管理者IPは除く

訪問数



ユーザー数



ページビュー数



訪問別ページビュー



訪問時の平均滞在時間



直帰率



52.34% Returning Visitor

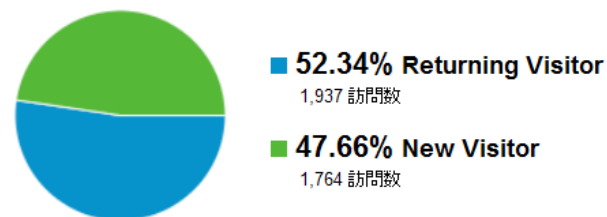
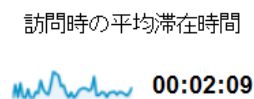
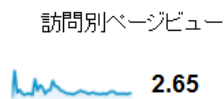
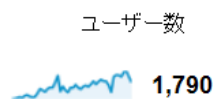
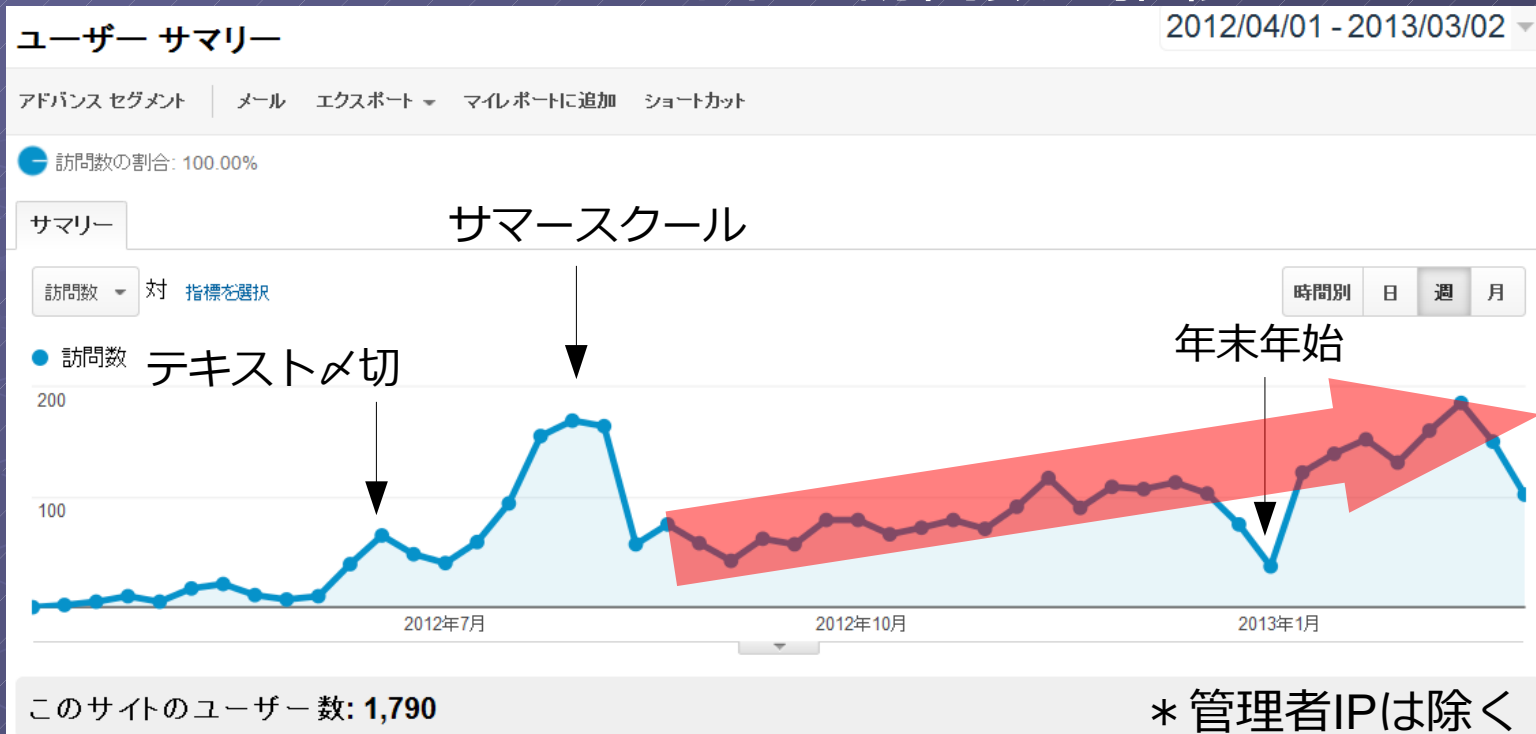
1,937 訪問数

47.66% New Visitor

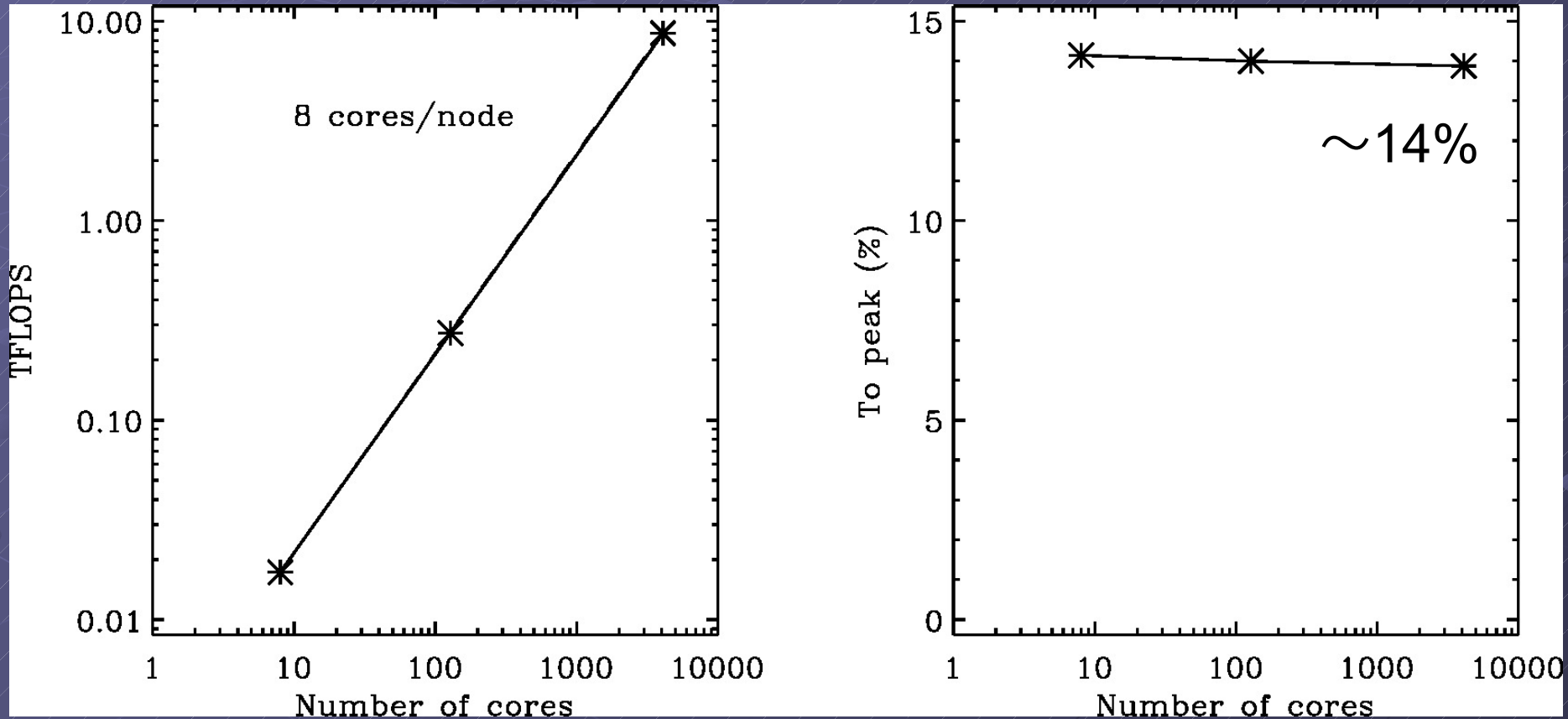
1,764 訪問数

# サマースクールの反響

## マニュアルサイトの訪問数の推移



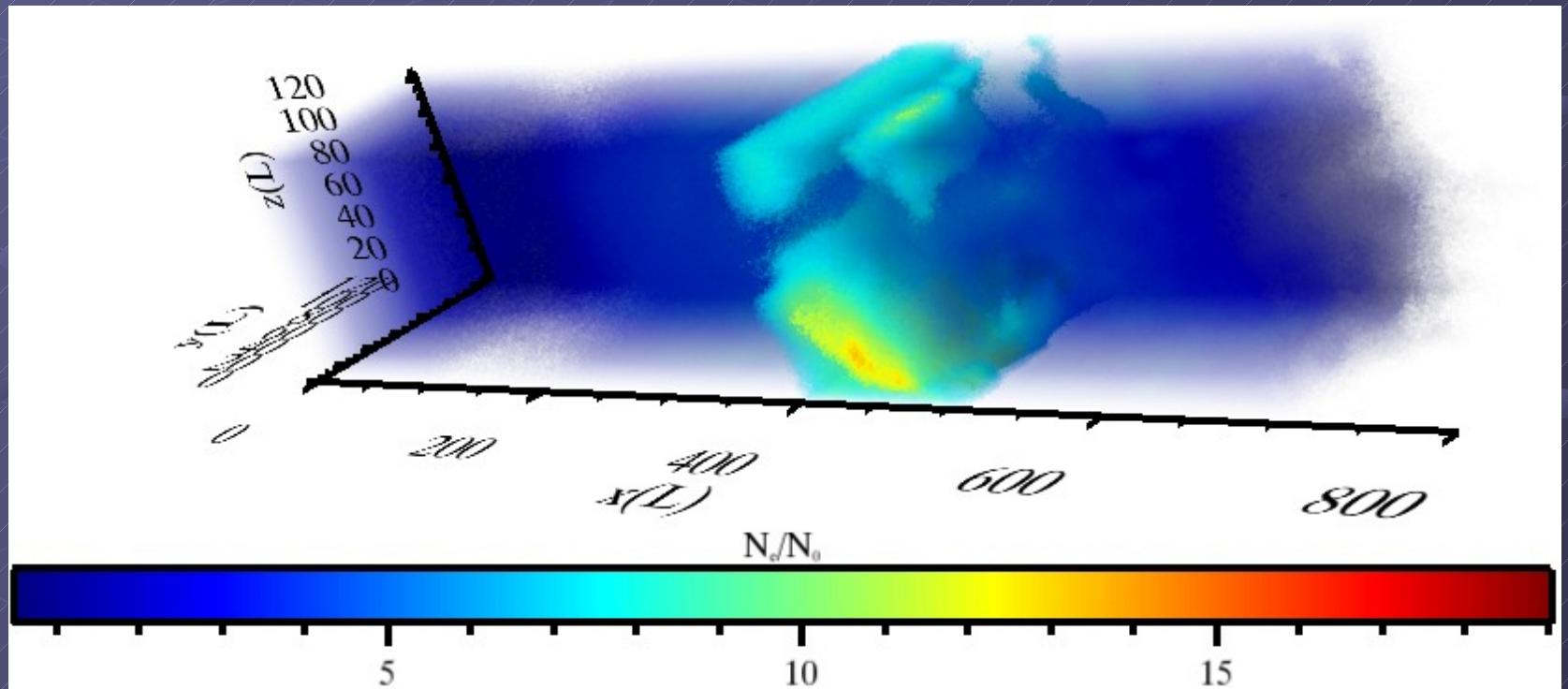
# 「京」におけるパフォーマンス (pCANS+ $\alpha$ )



弱スケーリング

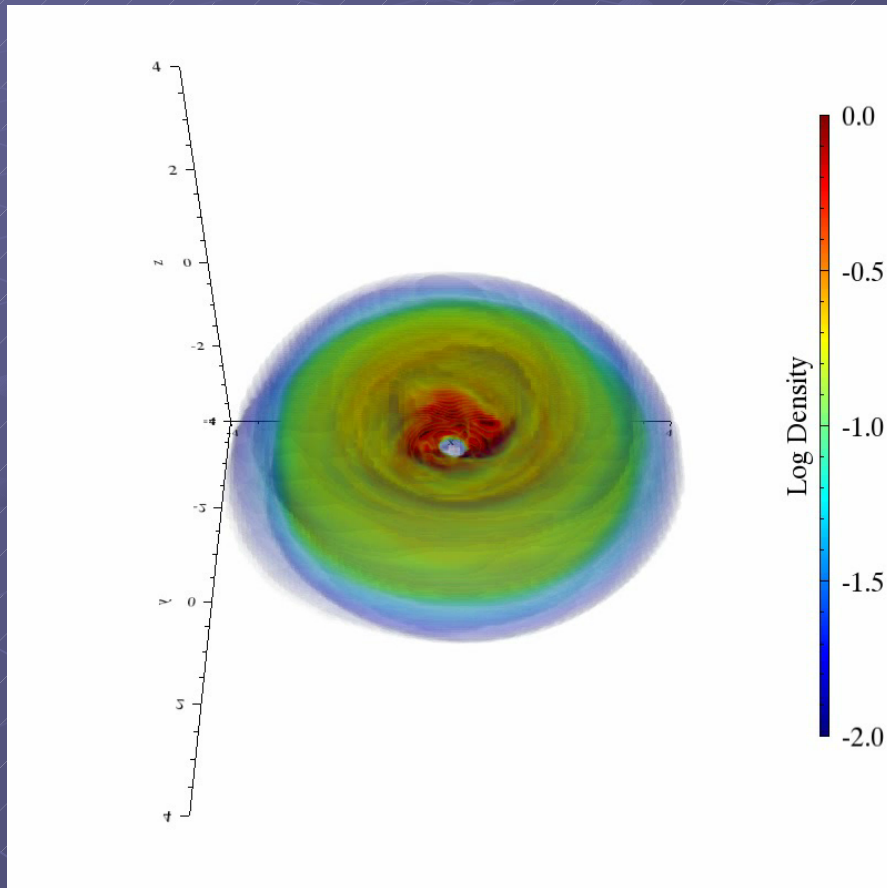
# 3-Dコード

- ▶ 電荷保存法はdensity decomposition法
- ▶ 形状関数は2次
- ▶  $y-z$ 面での2次元領域分割、ハイブリッド並列化
- ▶ 「京」でテスト計算中（衝撃波、KH不安定）
- ▶ 今後pCANSに組み込む予定

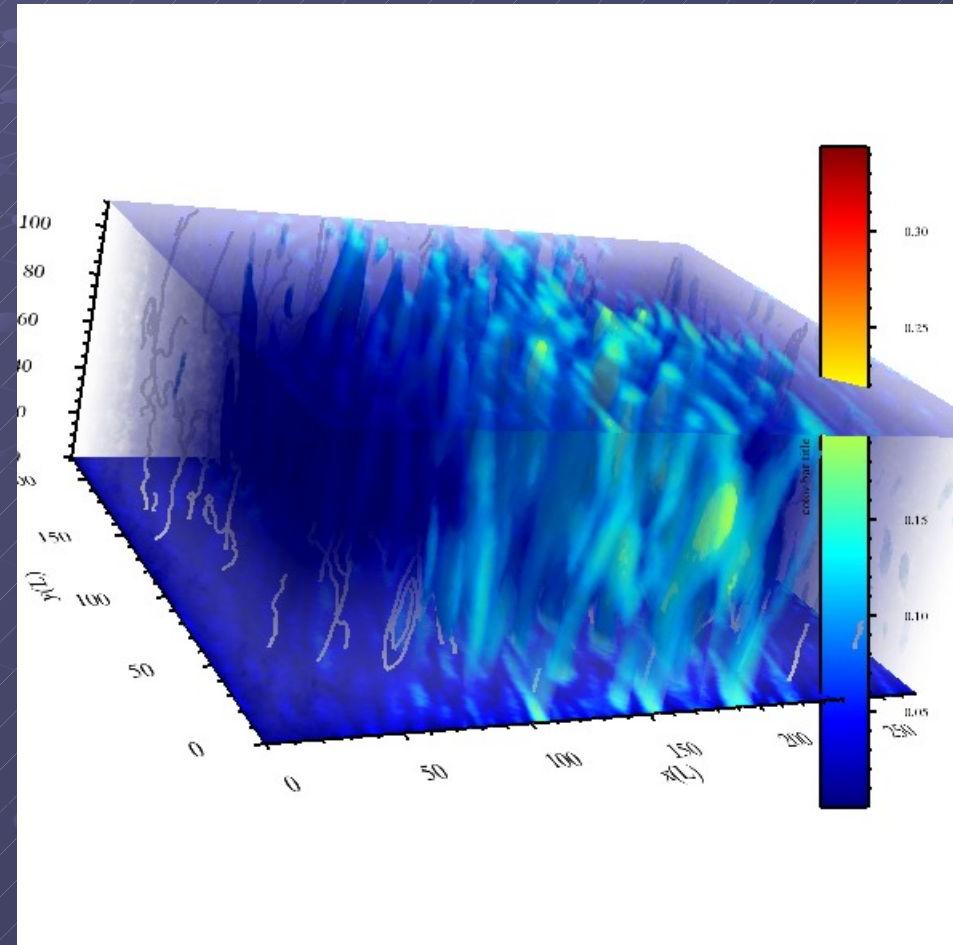


# IDLによる3次元可視化ツールの整備

MHD



PIC



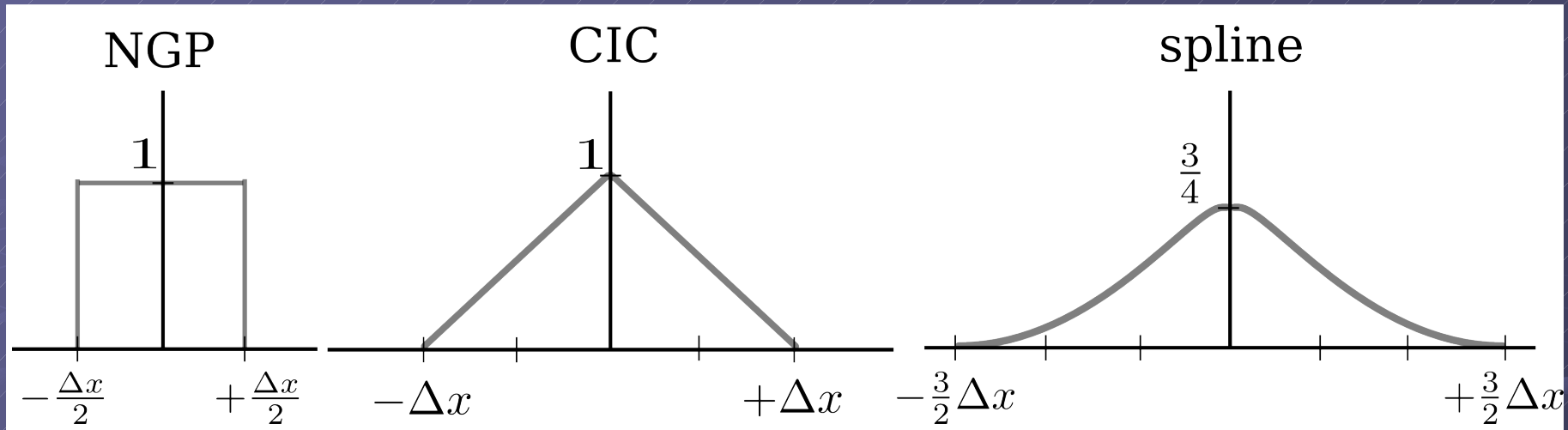
小野貴史、修士論文、2013年

# まとめと今後

- ▶ サマースクールの開催。総勢約60名の参加者
- ▶ CANS
  - HLLD+MP5で降着円盤の高精度計算が可能に
- ▶ pCANS
  - 共同開発体制の整備
  - 日本語テキスト
  - 高精度化に対応
  - 「京」で効率15%以上達成可
  - 3次元コードの整備
  - 阪大の院生が利用中で、3次元コードで共同研究
- ▶ IDL 3次元可視化ツールの整備



# 粒子形状関数



- ▶ 計算コストが一番低いのはNGP (0次) だが、コストと精度のバランスがとれたCIC (1次) 法が広く使われる。
- ▶ 2次のスプラインの方法により、形状関数によるノイズを大きく減らせる。相対論的流れの現象を取り扱うのに必要とされる。
- ▶ Density decomposition法を採用したことにより、0 - 2次まで拡張が可能に

# 世界におけるPICコード

	公開／非公開	フリー／商用	並列化	開発元
TRISTAN-MP	公開	フリー	○	Princeton/USA
OSIRIS	非公開	フリー	○	UCLA/USA
VSim	非公開	商用	○	Tech-X corp./USA
KEMPO	非公開	フリー	○	京都大学
CELESTE3D	公開	フリー	○	LANL/USA
pCANS	公開	フリー	○	千葉大学