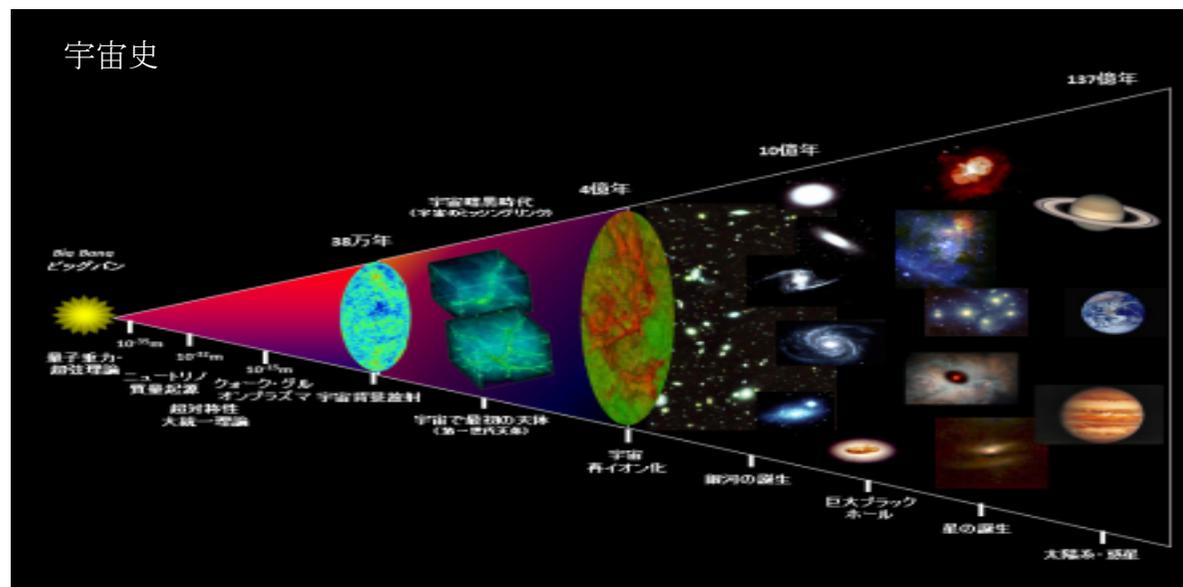


⑨ サブ課題 C： 大規模数値計算と広域宇宙観測データの融合による宇宙進化の解明

目的と科学的卓越性: 宇宙誕生から現在までの宇宙進化を解明するには、現代物理学を駆使したアプローチが必要。現実的な宇宙論的設定のもとでダークマターの密度揺らぎの非線形成長を追い、さらに流体力学や輻射輸送などの、天体形成に関わる基礎物理を取り入れたマルチフィジクスシミュレーションを遂行する。世界中で進められる広域撮像観測により得られる天文ビッグデータと大規模計算を融合したビッグデータ宇宙論を展開。

コード開発状況

- ・6次元ブラソフ、大規模N体、粒子系プラズマ、BH降着 各班順調にコード開発
- ・H29年度に一部プロダクションランを実施すべく最適化をすすめる

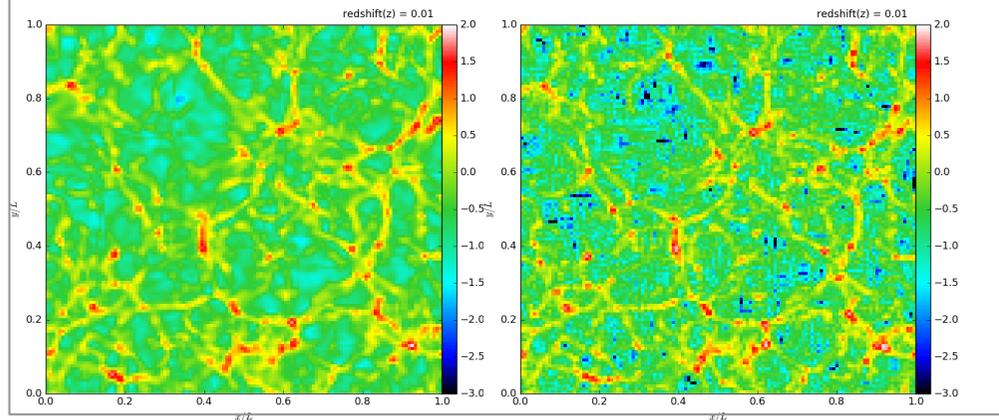


6次元Vlasov-Poisson シミュレーションによる自己重力系の数値シミュレーション(筑波大)

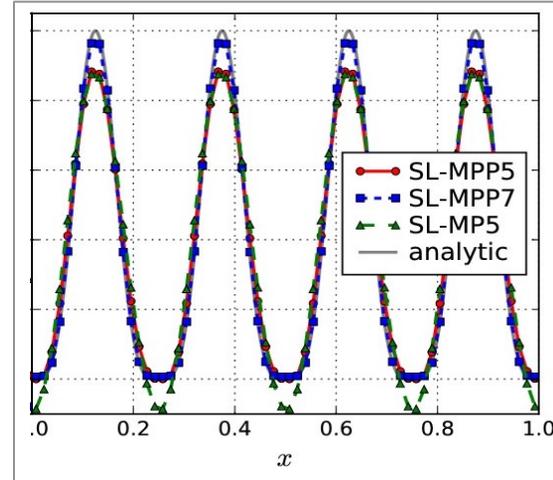
本年度の成果

- ▶ Vlasov方程式の単調性・正値性を保証した空間5次・7次精度の数値スキーム開発
- ▶ セミ・ラグランジュ時間積分の採用による精度改善と計算時間の軽減
- ▶ 高次精度スキームを用いた宇宙論的共動座標系でのVlasov数値解法の開発
- ▶ 磁気プラズマのVlasov-Maxwellシミュレーションに向けた検討を開始

宇宙論的構造形成シミュレーション
(左: Vlasov シミュレーション、右: N体シミュレーション)

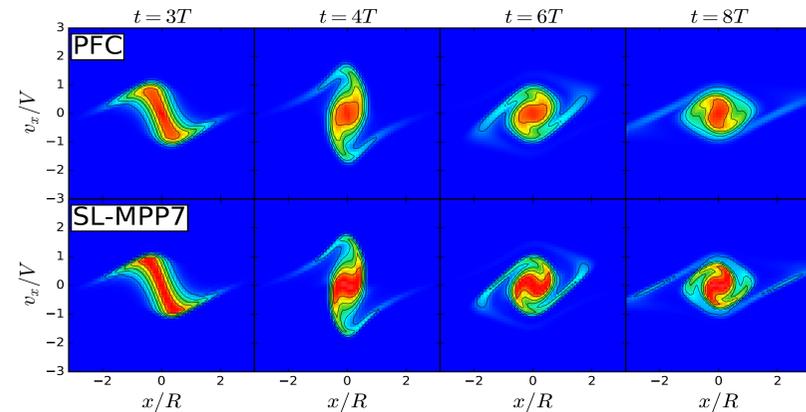


明日の午後 吉川講演



正値性を保証した空間5次・7次精度の数値スキームのテスト計算
(赤: 5次、青: 7次)

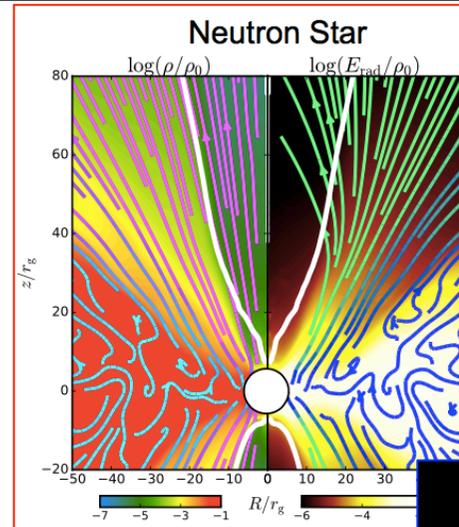
空間3次精度(上図)と7次精度スキーム(下図)を用いた
3次元球の重力収縮シミュレーション



高次精度計算コード論文
(田中、吉川、蓑島、吉田 ApJ 投稿中)

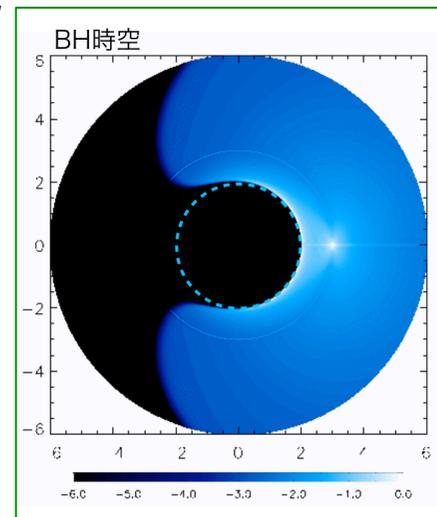
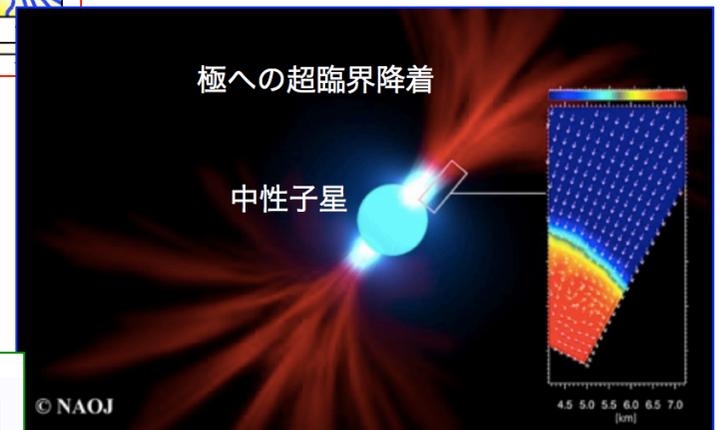
一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション (国立天文台)

- 輻射モーメント法を用いた流体コードを開発し、ブラックホールおよび中性子星周囲の降着・噴出流のシミュレーションを遂行した。
- ブラックホールの場合に引き続き、中性子星への超臨界円盤降着が可能であることを一般相対論シミュレーションで世界で初めて示した。SS433やULXの正体が中性子星である可能性を示唆した(Takahashi et al. 2016; Takahashi & Ohsuga submitted)。
- 強磁場中性子星の極冠への超臨界降着が実現可能であることを示した。2014年の発見されたULXパルサーの有力モデルを構築し、プレスリリースを行った(Kawashima et al. 2016)。
- ブラックホール時空において、6次元輻射輸送方程式を解くための数値計算コードを開発した。光の曲がりやコンプトン散乱に関するテスト計算に成功した。



中性子星周囲の超臨界円盤の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション

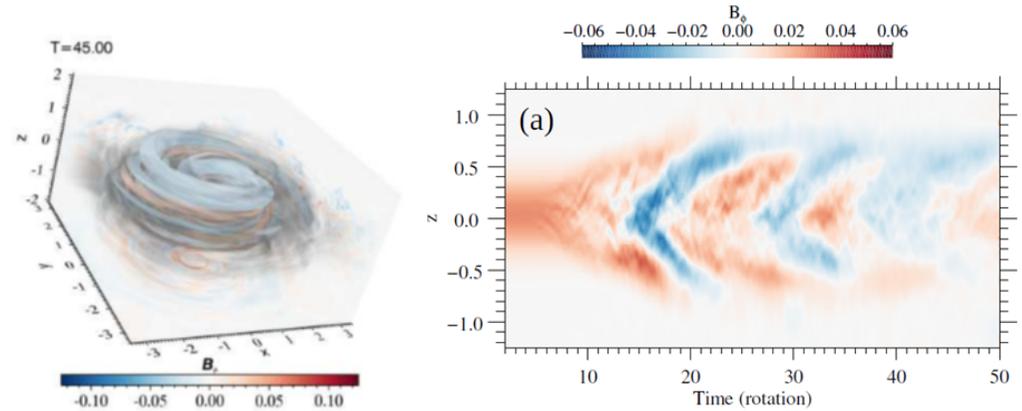
中性子星極冠への超臨界降着の輻射流体シミュレーション



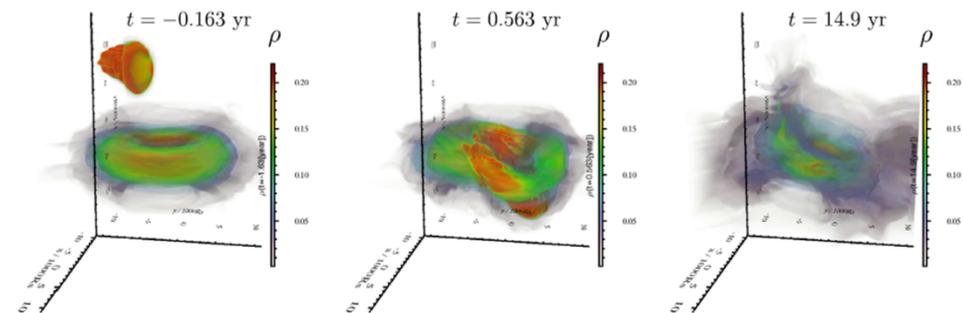
6次元輻射輸送コードによって計算したブラックホール周囲の光の伝搬.

降着円盤磁気流体シミュレーション(千葉大, 国立天文台、九州大[連携機関])

- 高次精度3次元磁気流体コードCANS+を用いて、パーカー不安定性、磁気リコネクション、円盤ダイナモ等の磁気流体過程のテスト計算を実施し、ドキュメント化した(Y.Matsumoto et al. 2016, submitted)
- 国立天文台と共同で降着円盤とガス雲衝突の3次元磁気流体シミュレーションを実施し、ガス雲の軌道が円盤の回転面とずれている場合、円盤回転軸が傾いた後に磁場が増幅されることを示した(Kawashima et al. 2016, submitted)。
- 光学的に薄い高温降着円盤においてイオン温度と電子温度が異なる二温度降着円盤を扱うことができる3次元磁気流体コードの開発を九州大学グループと共同で進めている。
- 降着円盤の状態遷移過程において高温領域と低温領域が共存する場合に重要になる熱伝導を組み込んだコード開発進行中。

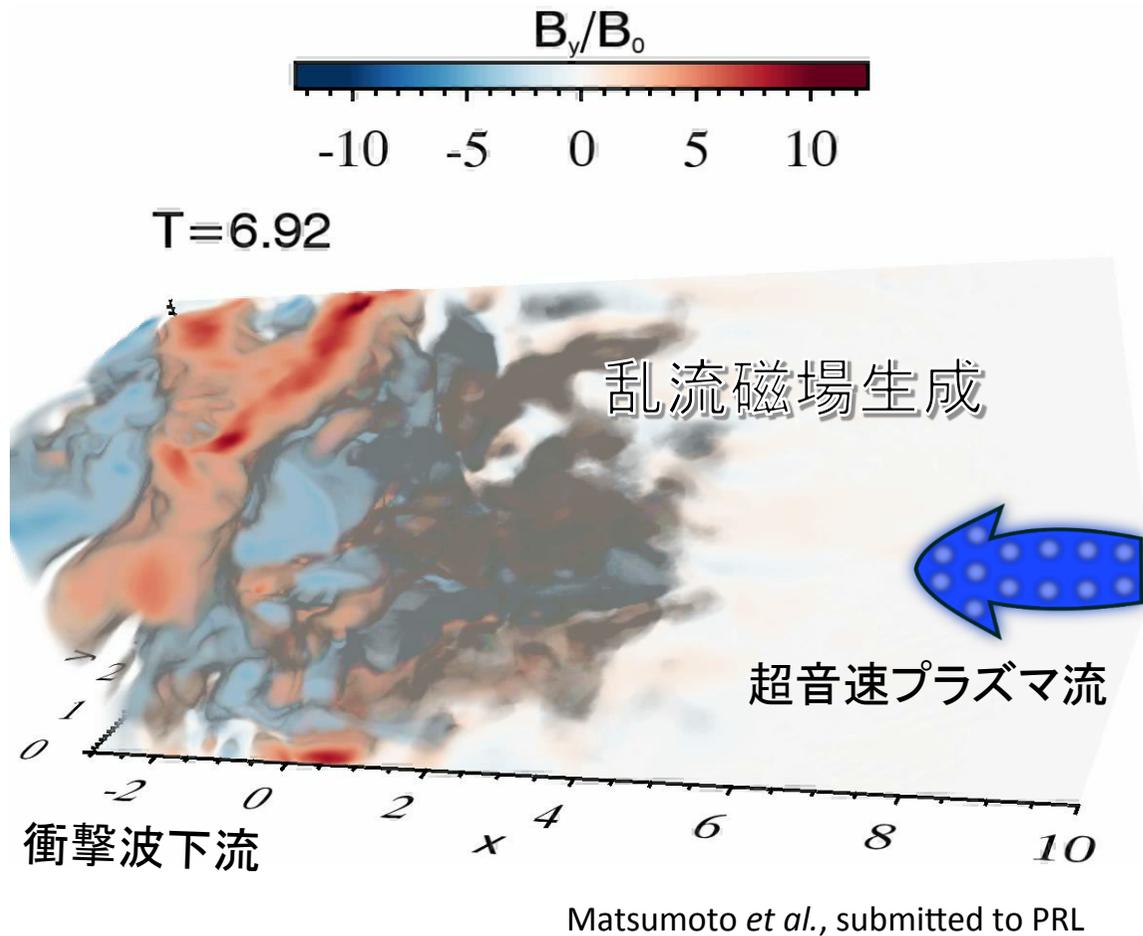


高次精度3次元磁気流体コードCANS+を用いた降着円盤の磁気流体シミュレーション例。左図は方位角磁場分布、右図は横軸に時刻、縦軸に赤道面からの高さ、方位角磁場をカラーで示した円盤ダイナモのバタフライダイアグラム(Y.Matsumoto et al. 2016 submitted)。



降着円盤とガス雲の衝突過程の3次元磁気流体シミュレーション結果。カラーは密度分布(Kawashima et al. 2016 submitted)。

プラズマ粒子加速シミュレーション(千葉大)



明日の午前 松本講演

- 超新星残骸における電磁波放射 (電波、X線、ガンマ線)は高エネルギー電子のシンクロトン放射
- 相対論的エネルギーを持つ電子の加速メカニズムは長年の謎
- 世界最大規模の3次元プラズマ粒子シミュレーションによって、乱流磁場生成とそれに伴う効率的な電子加速メカニズムを発見
- 現在Physical Review Letters 誌に投稿中 (Matsumoto, Y., et al.)
- H29年度以降は、複数の衝撃波角 (上流磁場の角度)に対する加速効率を調べ、電子フェルミ加速の実現に向けて、大規模計算の実施を進める

機械学習と宇宙論エミュレーターの開発(東大, 統計数理研)

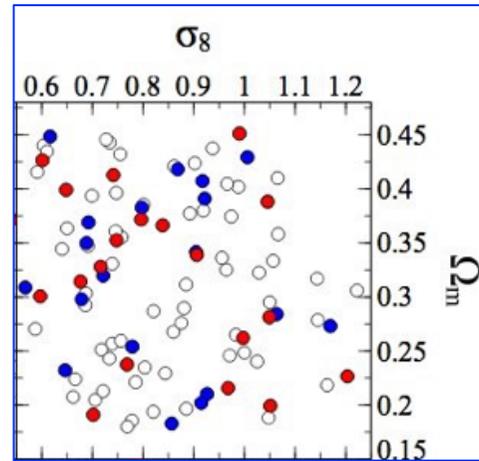
・宇宙論的構造形成シミュレーション: 標準宇宙論パラメータ周辺を密に掃いた119の計算完了。1ランあたり 2048^3 粒子使用。

・ガウス過程を用いた emulator 開発
機械学習を用いて hyper-parameter を決定

・Emulator は指定された宇宙論パラメータに対し、必要な統計量を1秒で帰す
→ MCMC解析を行うことが可能な速度

・すばるHSC初年度データ(170平方度)を用いた銀河レンズ計測、質量推定を行う

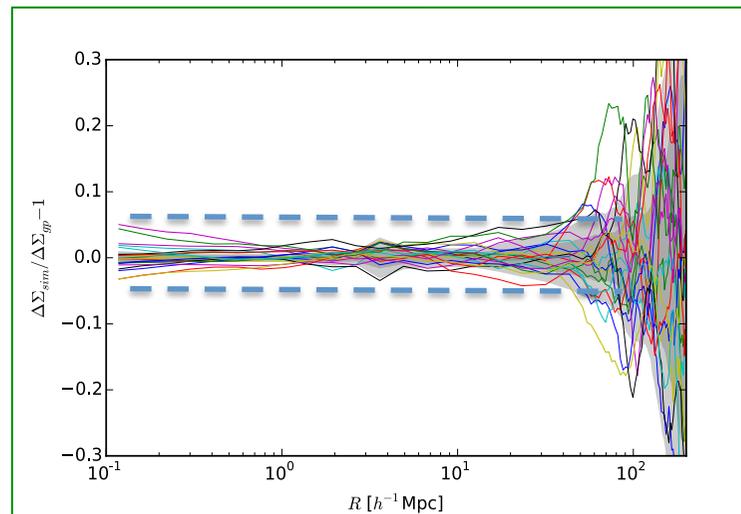
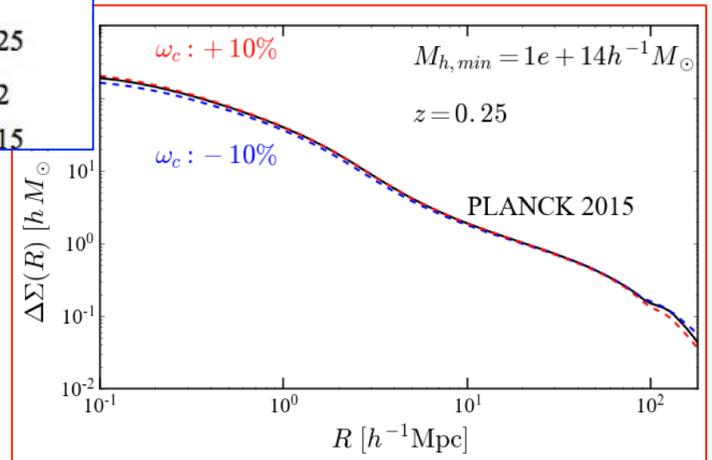
・H29年度はダークハローの内部構造を分解するシミュレーションを用いて銀河速度統計のemulatorを構築



今日の午後 吉田講演

Latin Hyper-Cube 構造を利用した最適なパラメータ空間探索(実際には6次元)

Emulator をもちいて計算した
正確なダークマター分布統計



20ラン用いた validation set によりEmulator 精度を確認。
Subaru HSC 観測には十分な精度

H29年度以降 実施計画

実施体制

東大 千葉大 国立天文台 筑波大
研究協力機関 九州大、北大、名古屋大

計算資源

京 その他の計算機 プロジェクト/アプリ毎 天文台CfCA, 東大-筑波OFP、京大基研

アプリ開発および大規模計算実施計画

- ・宇宙論的構造形成シミュレーション数を200程度にまで増やす、MCMC統計解析用ライブラリを作成。銀河カタログ、クエーサーカタログを作成。
- ・宇宙論的共動座標での残存ニュートリノ入りVlasov-Poisson
- ・磁気プラズマにおけるVlasov-Maxwellシミュレーションの高精度スキーム開発
- ・複数の衝撃波角(上流磁場の角度)に対する加速効率を測定するプラズマ粒子計算
- ・コンプトン散乱を正確に取り入れた一般相対論的6次元輻射輸送コードを開発し、ブラックホール及び中性子星の輻射スペクトルを計算する。
- ・降着円盤の多様性および放射スペクトルの起源, 噴出流の加速メカニズム研究。成長途上にある巨大ブラックホールの観測的性質を予言。
- ・光学的に薄い高温降着円盤においてイオン温度と電子温度が異なる二温度降着円盤を扱う3次元磁気流体コードの開発