

相対論的流体コードの開発と超高エネルギーガンマ線連星系への応用



1. 研究の背景

ガンマ線天文学の急進展

近年、世界各地に撮像型チェレンコフ光望遠鏡が建設され、ガンマ線天文学（超高エネルギー天文学）は本格的なイメージング観測時代へ。

➡ 100個以上の天体が超高エネルギーガンマ線 ($E > 100 \text{ GeV} = 10^{11} \text{ eV}$)を放射していることが明らかになった。



図1. チェレンコフ光望遠鏡 H.E.S.S.

超高エネルギーガンマ線連星系

- 最近確立した新しいガンマ線源グループ。これまでに見つかったのは5天体のみ。いずれも大質量星（太陽よりも8倍以上大きな質量を持つ恒星）とコンパクト天体（中性子星かブラックホール）からなる連星系。

- コンパクト天体の性質は1天体(PSR B1259-63)についてのみ分かっており、その天体では、パルサー風（高速自転する中性子星から放出された相対論的速度を持つ荷電粒子の流れ）と大質量星周囲の物質との衝突が起こっている。

➡ パルサー風モデル（パルサー風と大質量星周囲の物質の衝突による衝撃波領域で粒子加速が起こり、高エネルギー放射が出るとするモデル）を中心に研究が進んでいる。

➡ **パルサー風と星周物質の複雑な相互作用を解明し、高エネルギー放射機構を理解することはこの分野にとっての大きな挑戦**

2. これまでの成果

三次元非相対論的流体シミュレーション

Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法を用いた非相対論的流体コードによりいくつかの超高エネルギーガンマ線連星系のシミュレーションを行ってきた。**相対論的パルサー風は同じ運動量流速を持つ非相対論的流れとしてエミュレート。**

シミュレーションに基づく高エネルギー放射計算

計算領域を分割し、各セルでのパルサー風の圧力を求め、それと粒子加速のモデル（電波～X線はシンクロトロン放射、ガンマ線は大質量星の出す光子を逆コンプトン散乱）を組み合わせ非熱的放射を計算。

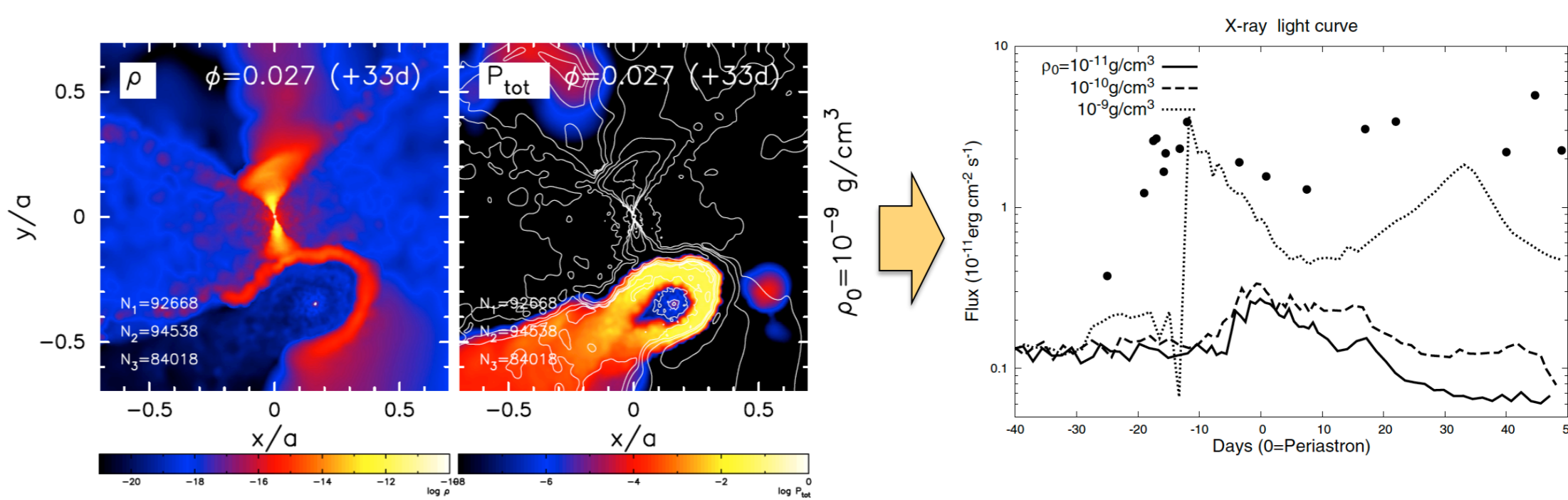


図2. PSR B1259-63のシミュレーション（左図）から、各時刻のパルサー風の圧力分布（左図の右パネル）を求め、それをもとにして衝撃波領域から出る高エネルギー放射の光度曲線を計算（右図点線）

3. 現コードの問題点（より良いシミュレーションに向けての課題）

非相対論的コードなので相対論的な流れを扱えない

現在のやり方（パルサー風を同じ運動量流速を持つ非相対論的な流れで近似）では、パルサー風と恒星風の衝突による衝撃波面の先端付近の構造は再現できるが、下流側での形状（大域的な形状）が不正確（図3上参照）。



今年度の課題：相対論的な流体を扱うようにするため基礎方程式（連続の式、運動方程式、エネルギー式）を相対論的SPH法の式に基づき書き換え、超高エネルギーガンマ線連星へ応用する。

Kelvin-Helmholz不安定性を再現できない

衝撃波領域でパルサー風と周囲の物質の混合が起こりにくいため、衝撃波領域での物理量の評価が不正確（図3下参照）。



次年度の課題：これまでの密度を基本にしたフォーマリズムから圧力を基本にしたフォーマリズム (Saitoh, Makino 2013) へコードを書き換えることで、衝撃波領域の計算を正確なものにする。

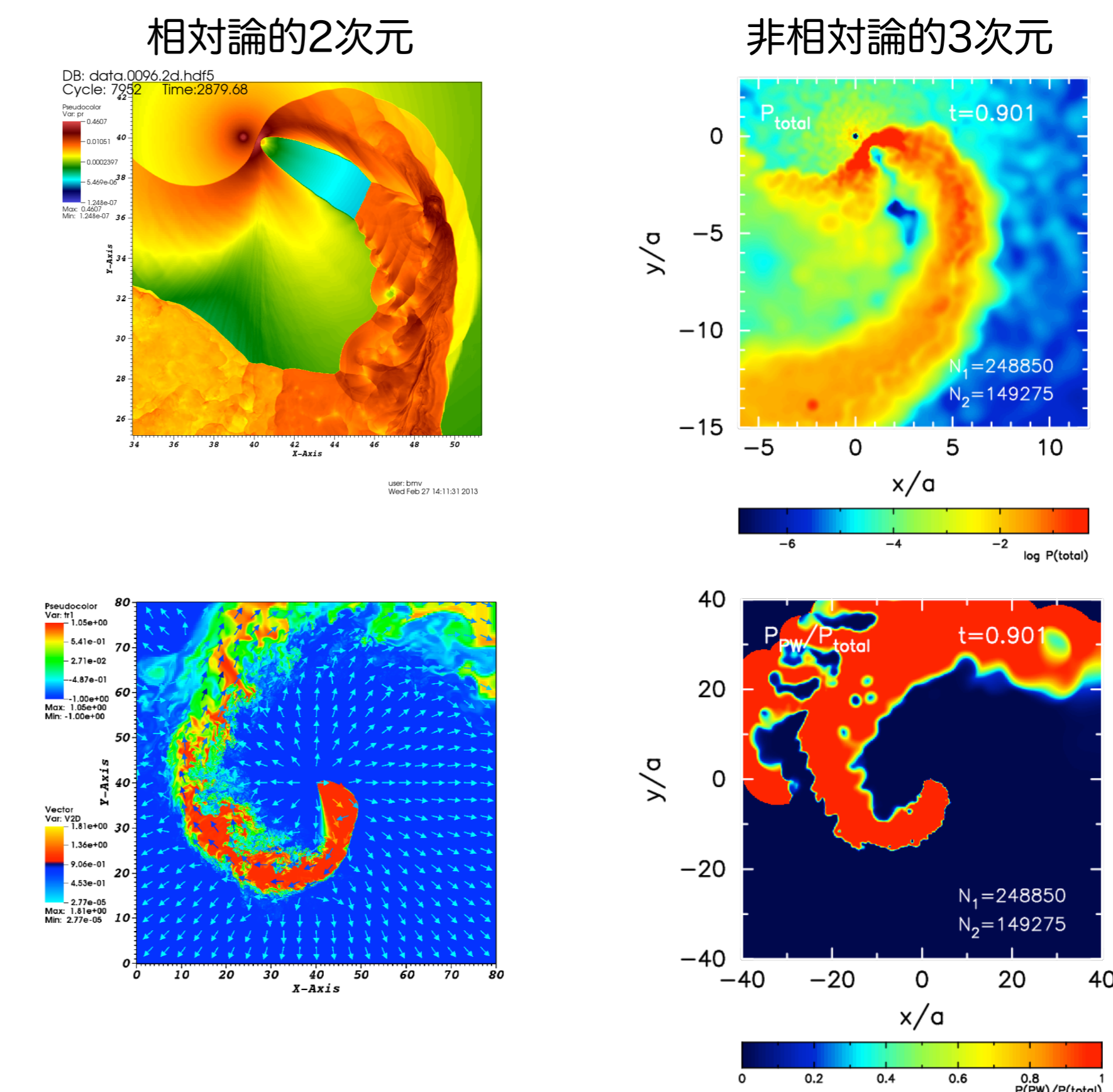


図3. 相対論的2次元流体コードによる衝突恒星風のシミュレーション (Bosch-Ramon+ 2012; 左図) と我々の非相対論的3次元コードによるシミュレーション (右図) での圧力分布 (上パネル) と物質混合度 (下パネル) の比較。