

Title	Jet Propagation in Universe and Laboratory
Author(s)	水田, 晃
Citation	大阪大学, 2004, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45115
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	みず た あきら 水 田 晃
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学位記番号	第 1 8 3 8 0 号
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Jet Propagation in Universe and Laboratory (宇宙と実験室におけるジェットの伝搬)
論文審査委員	(主査) 教授 高部 英明 (副査) 教授 高杉 英一 教授 高原 文郎 京大基礎物理学研究所教授 嶺重 慎 助教授 横山 順一

論文内容の要旨

ジェットの伝搬に関して宇宙ジェット、実験室での宇宙ジェットの模擬実験を研究対象に調べた。

多次元の時間発展を扱う為、2次元以上の数値計算が必須である。本研究で軸対称2次元の数値流体計算コード開発を行なった。非相対論的流体コードと、相対論的流体コードである。コードは解析解が得られている問題でテストを行ない、解析解と比較する事によって、高精度であることを確認した。

非相対論的流体コードを用いて、実験室ジェットの解析を行なった。実験はコーンターゲットの裏面に短パルス(～100 ps)の高強度レーザーを照射して行なわれた。生成された物質は瞬時にプラズマ化し、膨張する。流れは超音速であり、対称軸上に流れ込む。これまで行なわれた実験では、軸上に高密度構造ができ、輻射冷却効果が構造を決める上で重要である事が示されていた。ジェット状の構造はできたが、実際に宇宙ジェットと相似則を適応するには、実験が真空中で行なわれていた為に星間物質に変わるものがなく、改良の必要性が指摘されていた。流体計算に輻射の効果を取り込みシミュレーションを行なった。その結果、流れの構造はターゲットからの流れが軸へ向かう領域と、ターゲットから十分離れた膨張する領域に分けられる事、前者の部分に輻射冷却の効果が効き、輻射冷却崩壊が起こって収束した構造が現れる事が明らかになった。また、前者の領域はターゲットからの流れによる動圧によって支えられており、後者の領域ではその支えが無くなる為に構造が保たれない。この結果は実験結果と良く合っている。更に同じ実験をガス中で行なった場合を仮定してこれに関して調べた。2つの流れの構造が見られ、初めの部分に輻射冷却効果が効き、収束した構造が現れる事は真空の場合と変わらないが、後半の部分ではガスがある為にバウ衝撃波が形成され、その衝撃波によって高圧になったガスが収束構造を保っている事が分かった。生成されるジェット構造は宇宙ジェットの無次元パラメータに近く、伝搬の研究が実験室内で行なわれる可能性を示した。

活動銀河核と呼ばれる非常に活発な領域から伸びる双極ジェットの伝搬を調べる為に数値流体計算を行なった。相対論的流体コードを用いた。活動銀河核のジェットビームの密度は一般に低く、逆に周りのガスは密度が数桁高い。この為、ジェットビームは相対論的な速度を持っているにもかかわらず、強い散逸を受けながら周りのガスへと伝搬していく。非常に伝搬効率の悪いジェットが減速することが近年数値計算結果として報告されたが、その原因とされるジェット先端での渦の形成に関する物理的メカニズムは明らかにされていなかった。本研究ではその機構を明らか

にすると共に現象のパラメータ依存性を調べた。

その結果、ジェットビーム先端でビーム内に発生する斜め衝撃波が原因であることが分かった。斜め衝撃波を通過した速い流れがホットスポットと呼ばれる領域からの流れを塞ぎホットスポット内の速度場から渦が発生している。また、渦の成長に伴い、ビーム流に対する実効的な断面積の増加が減速の原因である。渦の生成は伝搬効率のより悪いジェットに顕著見られ、その為、初期に数倍程度の伝搬速度の差でも長い距離の伝搬では大きな差となる。また、大きな渦はホットスポットからのガスも効率良く外側へ広げる為にシンクロトロン放射などはより広がったものとなる事が分かった。

論文審査の結果の要旨

本論文は銀河系や系外の銀河などで観測されているジェット現象の多様な物理に関し、未だ物理機構が解明されていない以下の2点について、多次元の流体コードを開発する事により、新しい知見を得たものである。それは、

- ① 実験室での高強度レーザーを用いた星の誕生前後に見られるジェット現象の相似変換を理論根拠にした模擬実験の提案とジェット伝搬の物理機構の解明
- ② 銀河中心に巨大なブラックホールを持つ活動銀河核からの相対論的な電子・陽電子ジェットの長距離伝搬の物理機構の解明と、減速にいたる物理過程の解明

まず、研究の手段として、衝撃波現象を精度良く捉えるための数値計算コードを自ら開発し、それも①の目的のために輻射冷却を含む非相対論的な2次元軸対称流体コードを、②の目的のために特殊相対論的2次元軸対象コードを開発した。①の研究に関してはすでに行われている実験の解析から始め、宇宙の現象を相似変換するための輻射冷却パラメータなどを保ちながら模擬する実験の提案を行った。その結果、宇宙空間物質に相当する周辺ガスの効果がジェットの長距離伝搬には不可欠であり、ジェットにより生じたバウ衝撃波の圧力がジェットを閉じこめて長距離伝搬を支えていることを解明した。

②に関しては以下の2つの新たな物理を解明した。

1. 長距離伝搬の際、ジェット内の斜め衝撃波の発生が、広がろうとするジェットの速度場を収縮に導き、空間的な斜め衝撃波により加熱された部分が輻射で観測するとノット状（節状）に輝いていること。これは、観測を説明する。
2. 長距離伝搬の際、初期には形状効果もなく1次元的に伝搬していたジェットが減速に至るのは、ジェット先端部に渦が発生し、実効的なビームの断面積が大きくなるため強い抵抗を受けること。

上記のように、実験室、宇宙におけるジェット現象の新しい知見はすでに宇宙物理でもっとも権威ある *Astrophysical Journal* の論文として掲載および受理されており、この点からも世界的な研究レベルにあることが証明されている。

上記の結果を受け、本論文は博士（理学）の学位に充分値するものと認める。