

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	相互作用する高速プラズマ流を用いた実験室天体物理への試み
Title(English)	An Experimental Approach to Astrophysical Phenomena using Interacting High-Speed Plasma Flow
著者(和文)	足立興市郎
Author(English)	Koichiro Adachi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9519号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種類:課程博士, 審査員:堀岡 一彦,奥野 喜裕,赤塚 洋,長谷川 純,河村 徹,高橋 努
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9519号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		足立 興市郎	
		氏名	職名		氏名	職名	
論文審査 審査員	主査	堀岡 一彦	教授	審査員	河村 徹	講師	
	審査員	奥野 喜裕	教授		高橋 努	教授	
		赤塚 洋	准教授		(日本大学)		
		長谷川 純	准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「An Experimental Approach to Astrophysical Phenomena using Interacting High-Speed Plasma Flow」(相互作用する高速プラズマ流を用いた実験室天体物理への試み)と題し、宇宙空間で形成されるプラズマ衝撃波の構造解明に向けた実験室模擬実験のための高速プラズマ流発生装置の開発について述べたものであり、英文で記述され6章で構成されている。

第1章「Introduction」では、宇宙線と総称される高エネルギーの粒子線が宇宙空間での人間活動や人工衛星に搭載される電子機器の信頼性への大きな障害となっていること、また、地球大気と相互作用する宇宙線が気候変動や地球規模の環境変化に大きな影響を及ぼしていること、さらには宇宙空間に存在する高速のプラズマ流およびそれに伴うプラズマ衝撃波が宇宙線の生成にかかわっていることについて述べている。また、高速で高マッハ数のプラズマ流中に形成される衝撃波の構造は複雑であるため、構造の解明のためには実験室において能動的にパラメータを変化させることのできる研究手法が不可欠であることを指摘している。さらには、実験室で高速プラズマ流に関連する現象を模擬するという観点から既往の研究設備を比較し、能動的な制御のしやすさや再現性、装置の大きさなどにおいて評価することで、本研究の背景と目的を明らかにしている。

第2章「Laboratory Experiments on Shock Waves」では、衝撃波構造のマッハ数依存性と模擬実験を行う際の相似パラメータの重要性について述べている。一般に高速流のマッハ数が増加すると流体構成粒子の様々な内部自由度が励起される事によって衝撃波の構造は複雑に変化するが、高速のプラズマ中に無衝突の条件の下に形成される衝撃波は電磁場を介したエネルギーの散逸過程が支配的で構造はさらに複雑になると予想されている。したがって、衝撃波の形成機構と構造を明らかにするためには実験室規模で状況を再現すると同時に、能動的にパラメータ変化させて研究を行うことが有効であることを説明している。また、そのためには現象に関連する重要な物理変数を規格化して、適切なスケールリングを行うことが必要であることを指摘している。

第3章「Plasma Source with Tapered Pinch Discharge」では、プラズマ衝撃波形成のスケール実験には、高マッハ数でよく定義されたプラズマ流を生成できると同時に、再現性が高くパラメータ制御できることが重要であることを指摘した後、このような背景の下に新たに開発したテーパーピンチ型プラズマ源の動作原理と特徴について述べている。また、提案した装置はテーパー状の細管を用いてプラズマを電磁流体力学的に加速した後、自由膨張させることによって平均自由行程の大きい高マッハ数の無衝突プラズマ流を得ることを基本概念としている事を説明している。なお、試作した装置で実験を行った結果、テーパーピンチプラズマ流は再現性が高く、初期ガス密度、放電電流値、テーパー形状などで制御可能であるうえに、試験室に自由膨張させたプラズマ流は cm 程度の空間スケールと μ 秒の時間スケールを持つため、よく確立された既存の測定手法によって精度の高いプラズマ診断が可能であることを指摘している。

第4章「Counter-stream Experiments」では、前章で明らかにした高い制御性と再現性を持つ一対のテーパーピンチプラズマ流を対向させることによって、高速流の相互作用実験装置を構築できることを明らかにしている。また、対向流形状にすることによって高速プラズマ流同士の相互作用の強さを、単一のプラズマ流の足し合わせを基準として評価できる実験系を構築できることを説明している。なお、ファラデーカップ、静電プローブ、高速度カメラ、光検出器などを用いて予備的な実験を行った結果、対向流の相互作用領域では発光量が増加する一方、プローブのイオン飽和電流は減少すること、それらの変化は高速流の密度と流速の変化に対して非線形的に増大することを明らかにしている。

第5章「Discussion of Results」では、対向流を用いた相互作用実験によって観測された発光量の増大およびプローブ電流の減少の原因についての考察を述べている。発光量の増加には、電子加熱、電子およびイオン密度の上昇が要因として考えられるが、プローブ電流の減少とも考え合わせると、これらの測定結果はイオン速度の減少を示唆している。また、このことは、対向流の相互作用領域では古典的なイオン同士の衝突

が無視できる条件であるにもかかわらず、イオンの運動エネルギーを散逸させる強い相互作用が働いていることを示唆するものであることを指摘している。

第6章「Conclusions」では、本研究で得られた成果を総括し結論としている。

以上を要するに、本研究では高速のパルスパワー装置で駆動されるテーパーピンチ高速プラズマ流発生装置を開発するとともに、開発した装置を用いることによって宇宙プラズマの衝撃波の形成にかかわる高速流の相互作用実験を再現性良く行うことができることを明らかにしている。

また、予備的な実験を行い、イオン同士の衝突が無視できる条件下であるにもかかわらずイオンの減速を誘起する強い相互作用を示唆する結果が得られたことを示している。これらの成果は、天体物理、航空宇宙工学やプラズマ理工学をはじめ、幅広い分野への波及効果が大きく、基礎工学上貢献することが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。