



Title	Application of Random Walk Theory to the First-Order Fermi Acceleration in Shock Waves
Author(s)	加藤, 恒彦
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/42537">https://hdl.handle.net/11094/42537</a>
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。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏 名	加 藤 恒 彦
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 16005 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 13 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科宇宙地球科学専攻
学 位 論 文 名	Application of Random Walk Theory to the First-Order Fermi Acceleration in Shock Waves (衝撃波における 1 次フェルミ加速へのランダムウォーク理論の適用)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 高原 文郎
	(副査) 教 授 佐々木 節 助教授 横山 順一 教 授 川村 光 教 授 東島 清

### 論 文 内 容 の 要 旨

衝撃波における 1 次フェルミ加速は、宇宙空間において、幕型のエネルギー・スペクトルを持つ高エネルギー粒子を作り出す機構として広く知られている。我々は、この機構をランダムウォークの理論により定式化した。これは従来の拡散方程式による記述とは異なり、少なくとも大角散乱が粒子の散乱のモデルとして適切である限り、相対論的衝撃波における加速の場合など、流体の速度が粒子の速度に対して無視できないような場合にも適用が可能である。

我々は始めに散乱過程が大角散乱である場合の粒子の運動が「吸収壁を持つ、流れる媒質中のランダムウォーク」として扱えることを示し、そのランダムウォークの散乱点の確率密度を決定する積分方程式を導いた。そして、それを近似的に解くことにより、媒質中に置かれたある境界面（これは衝撃波面に対応する）を横切った粒子が再びその境界に戻る確率やその時のピッチ角の確率分布等の解析的な表式を導出した。これらの近似解は、従来の拡散近似に対する補正を含む。そして、等方的大角散乱の場合に、この近似解があらゆる流体の速度と粒子の速度に対して、モンテカルロ・シミュレーションにより得られた結果と非常に良く一致することを確認した。また、相対論的な流速の場合の、拡散方程式における拡散長に対応する特性長の正しい表式を導出した。

この近似解において、さらに少數回の散乱で境界に戻る粒子の寄与を無視すると、我々が「multistep 近似」と呼ぶ近似解を得る。我々はこれが、（我々が正しい特性長を用いている点を除いて）以前 Peacock (1981) により用いられた近似と等しい事を示した。相対論的流速の場合には、個々の粒子に対しては、この multistep 近似は良い近似ではないが、それにもかかわらず、衝撃波面での粒子の分布にわたって積分した結果は、この近似によって非常に良く表わすことができる事を明らかにした。また、その理由も考察した。

以上の事から、我々は multistep 近似を衝撃波加速の問題に適用し、相対論的な平行衝撃波における加速粒子のスペクトル指数を解析的に計算した。そして、それがモンテカルロ・シミュレーションと非常に良く一致することを確認した。さらに、上流領域において大角散乱が適当でないと考えられる超相対論的な衝撃波の場合に、上流領域にジャイロ運動のみで粒子軌道が曲げられるとするモデルを適用して、同様にスペクトル指数を計算した。

最後に我々は、ランダムウォークの理論を用いて、粒子が境界へ戻るまでの平均ステップ数の解析的表式を導出した。そしてそれを応用し、衝撃波面の上流および下流での粒子の平均滞在時間を見積もった。また、モンテカルロ・シミュレーションにより粒子の各領域の滞在時間の分布や、個々の粒子の加速に要する時間の分布についても調べた。

## 論文審査の結果の要旨

衝撃波によるフェルミ加速は宇宙線の加速機構として広く受け入れられているが、同時にいくつかの未解決の問題も存在している。その一つに最近興味をもたれている相対論的衝撃波における加速がある。相対論的衝撃波では被加速粒子の速度と衝撃波の速度が同程度になるため、粒子の輸送に対する拡散近似が成立しないので解析的な取扱いが困難になるのである。本論文は粒子輸送が大角散乱に支配されている場合にランダムウォークの理論を適用して、相対論的衝撃波にも適用できるような解析的な手法を構築したものである。散乱点分布関数を求めるいくつかの近似法を考案し、多重ステップ近似がモンテカルロシミュレーションの結果をよく再現することなど多くの有用な結果を見い出している。本論文は独自の手法で相対論的衝撃波におけるフェルミ加速の理論を基礎づけており、その学問的価値は高い。よって、博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。