

審査の結果の要旨

氏名 増田 匠

修士（工学）増田匠提出の論文は、「ボトルネックを通過する粉体流の理論的研究」と題し、6章と付録からなっている。

この論文の研究対象は、ボトルネックを通過する粒子群の集団挙動である。こうした粒子群の例として、粉体や人の群衆の流れが挙げられる。ボトルネックを通過する粒子群は、目詰まりを引き起こすことが知られており、この性質は工学的に様々な問題を引き起こしている。例えば、粉体の目詰まりは、化学・食品・製薬・農業などの様々な分野における生産プロセスを停止させる恐れがあり、人の群衆の詰まりは、災害からの避難の遅延や、大規模なイベントにおける人の移動効率の低下や群集雪崩の危険性を高めてしまう。このように、ボトルネックにおける粉粒体の運動は非常に重要であるが、その複雑さのために未だにボトルネックを通過する粒子群特有の運動を統一系に説明できる理論はない。このような背景のもとで、本研究は、粒子群の流れを理論的に取り扱うための指針を提案することを目的としている。そのため本論文では基礎になる単純なモデルを考案し、それが実験で知られている性質の多くを再現することを示した。そしてそのモデルの性質と粒子群の物理的な性質を対応付けることに成功した。

第1章は序論であり、先行研究によって発見された粒子群の様々な性質を紹介している。また、本研究の理論的なモデル作成の基礎になるセルオートマトンについて説明している。

第2章では二次元の粉体を用いて実験を行った結果について紹介している。この実験によって、目詰まりの発生直前と解消直後の粒子の運動についてモデリングに関する着想を得ている。そしてこれが次章以降の物理モデルの作成の基礎になっている。

第3章では一次元セルオートマトンに基づいた単純な目詰まりのモデルを考案した。このモデルを用いて、目詰まりが起こる確率とボトルネックの幅の実際との関係を再現することに成功した。目詰まりが起こらないボトルネック幅の存在は、この分野における重要な未解決問題の一つである。そして提案したモデルを用いてこの問題を詳細に扱い、理論的な解析も行った。またボトルネッ

クから間欠的に出る流れの時間間隔に関する性質についても明らかにした。

第4章ではさらにこれまでの解析を踏まえ、新しく発展させたモデルを作成した。この新モデルにおいて、流出間隔の実際の確率分布を再現することに成功している。実験によってこの流出間隔はべき分布に従うことが確認されていたが、本モデルにおいてこの流出間隔の分布を初めて理論的に取り扱うことができた。

第5章では、第4章と第3章で得られた知見を基にしてさらにボトルネック通過に関する新しい拡張モデルを提案している。このモデルでボトルネックを通過する粒子群の実際の運動の多くを再現することに成功し、その粒子群の各性質を物理学的な説明とモデルによる理論的解釈の両面から考察した。そして以上のモデルから、ボトルネックを通過する粒子群の運動をモデル化するための三つの指針を提案した。一つ目は、粒子群の運動の性質はボトルネック近傍のみを着目するだけでよいこと、そして二つ目は、流出間隔のべき分布を再現する方法の一つは、粒子がボトルネックを通過する確率を離散ロジスティック方程式にしたがって更新すること、また三つ目は、粒子の運動が高密度で遅くなる効果は、粉体間の応力の伝搬と衝突によるエネルギーの減衰を考慮する必要がある、ということである。

第6章は結論であり、本研究の成果をまとめている。

以上要するに、本論文は、ボトルネックにおける粒子群の流動をモデル化するための指標を提案したものであり、これに従うことによって粒子群の流れ特有の運動を再現できることが実験と理論およびシミュレーションから示されている。この結果は粉粒体の流動に関連した広い分野で応用が期待されており、工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。