

## 審査結果の要旨

氏 名 友枝 明保

修士(工学)友枝明保提出の論文は「Unified Analysis on Shock Wave Formation in Traffic Jam (和文題目：交通渋滞における衝撃波形成の統一的解析)」と題し、本文 5 章および付録 9 項から成っている。

現代社会では、「渋滞」と呼ばれる現象がいたるところで見られる。特に車の渋滞現象は輸送効率の低下・エネルギー浪費・環境悪化など、様々な形で我々の生活・産業に損失を与え、その経済的損失は年間 12 兆円に達し、渋滞を解消することは急務である。しかし、車の渋滞現象のメカニズムは基本的な現象でさえ、未だ完全に解明されているとは言えない。車は作用＝反作用の法則が成り立たない自己駆動型の粒子であるため、従来の物理法則による記述が困難であることがその理由である。その一方、自己駆動粒子といえども集団となると通常のニュートン粒子のような振る舞いをすることも知られており、特に渋滞現象は従来の物理法則で精度よく記述できる場合もある。論文では、車の流れにおける「渋滞形成のダイナミクス」に注目し、車粒子を 2 通りの視点で捉え、それぞれの視点に適したアプローチでモデル化している。一方は一次元の高速度道路における交通流を記述する圧縮性流体力学のモデル(マクロモデル)であり、他方はバスや鉄道といった公共交通におけるダンゴ運転形成ダイナミクスを記述するセルオートマトンモデル(マイクロモデル)である。このマクロモデルとマイクロモデルは数理的的手法によって関連性が明らかにされ、本論文ではこの理論を用いて渋滞現象を数理的に統一した手法で取り扱った。

第 1 章は序論で、本論文のキーワードと、「渋滞学」という学問の特徴、交通渋滞の研究の多様性について述べている。

第 2 章では、交通流理論と題し、交通流の研究の目的、意義、過去の研究について述べられている。実測データに見られる統計的特徴について概観した上で、交通流現象に潜む重要な特徴として、「一様流不安定性」を示すことと、渋滞波は安定な衝撃波として伝播すること、の 2 点を挙げて、過去の様々なモデルに対してこの特徴を再現しているかどうかの検証を行っている。そして車を連続体で近似する流体力学的アプローチと個々の車の運動をルールによって記述するセルオートマトンによるアプローチの関連性が数理的手法を用いて示せることも紹介している。

第 3 章では、交通流の既存の流体モデルの問題点を述べ、それを改善する新しいモデルを提案し、数値計算と理論解析によって詳細に解析している。拡散項が導入されている従来の流体モデルは交通流を記述する数理モデルとしては

不適切であることを指摘し、拡散項が含まれない流体モデルを新しいモデルとして提案している。また実際の走行実験を行い、その結果に基づいて、ドライバーの反応時間と呼ばれる定数量を関数化し、その結果擾乱が発散せずに伝播することを数値計算や通減摂動法を用いた理論解析によって示した。

第 4 章では、確率セルオートマトンモデルを用いて公共交通のモデル化を行い、バスシステム、エレベーターシステム、鉄道ネットワークと 3 種類の公共システムの渋滞を解析した。その際に適切な評価関数を設定することで、元来経験的に測られていたシステム効率というものを定量的に導出することに成功している。さらに、ダンゴ運転を解消する制御システムを導入し、制御するシステムと制御しないシステムの効率の比較を行っている。またバスのダンゴ運転はアリの行列形成ダイナミクスと等価であることを示し、分野横断的な観点から非常に興味深い結果も得ている。また鉄道ネットワークでは、バスシステムに乗客の経路選択モデルを導入することでネットワーク化し、事故などによってネットワーク構造が変化したときの乗客の流量変化を見積もることに成功している。

第 5 章は結論であり、本研究で得られた知見をまとめている。

付録は 9 項から成り、定数係数 **Burgers** 方程式の厳密解の導出、進行波解の導出、膨張波解の導出などについて述べられている。

以上要するに、本論文は、流れに生じる渋滞の形成メカニズムについて、流体力学とセルオートマトンというアプローチに基づいて一般的に解析することで、統一的な新しい知見を得ている。特に現実に合う新しいモデルを提案してその有用性を示し、また圧縮性流体力学の理論を自己駆動粒子のダイナミクスへ応用できることを示した点で、流体力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。