

審査の結果の要旨

氏名 西 遼 佑

修士(工学) 西遼佑提出の論文は「**Methods for easing traffic jams by microscopic behaviors** (和文題目：ミクロな相互作用による渋滞改善方法)」と題し、5章から成っている。

本論文は、自動車交通の渋滞改善の方法を流体力学的手法を用いて新しく提案したものである。渋滞を改善する研究の意義として、日本における交通渋滞による経済損失は約1兆円程度にもものぼり、その軽減は社会的にも大きな意義がある。そして本論文の特徴は、その解決手法として車同士の流れの中でのミクロな相互作用を積極的に活用している点である。まず1章において、この着想に至るまでの背景として、交通工学と数理物理学における交通流研究の発展が下記のように述べられている。交通工学では、観測や交通流モデルによる交通流メカニズムの解明が長足の進歩を遂げてきた。この知見に基づいた渋滞対策として、ランプ流入を制御したり、道路ネットワークでの経路選択を補助するなど、いくつかの方法が考案され、実用化されてきた。しかしながら、根本的な渋滞解消には至らず、新規の渋滞改善策が望まれているのが現状である。一方で、近年、数理物理学の分野では、自動車を含めた歩行者・アリなどを自己駆動粒子と総称し、その多体問題が盛んに研究されてきた。特に、近接する自己駆動粒子同士にはたらくミクロな相互作用と、発現されるマクロな集団現象の関連性が解明されてきた。本論文は、この結果をいち早く取り入れ、ミクロな相互作用を活用することで、マクロな交通流を改善することを主張している。従来よりミクロな相互作用を利用するための車車間通信などのドライバー補助装置の研究があるが、本論文はできるだけこのような補助装置に頼らず、数理物理学と流体力学の理論を活用した各々の車の運転方法を提案している。また、本論文の範囲としては、基礎研究として、簡易なモデルを用いた方法論の構築と基礎現象の解明に焦点を当てている。そして、改善を試みる具体的対象として、実高速道路で主要な渋滞を占める自然渋滞と合流による渋滞を取り上げている。

続いて2章において、合流による渋滞の改善方法として、ジッパー合流の励起方法を述べている。これは修士論文での結果のまとめであり、合流部に車線変更を禁止するオレンジ色の区画線を引くと、その線に沿って走行する車同士に排斥力が働き、お互いに位置を調整してスムーズな合流が実現されることを説明している。これはこの区間を二車線格子系で記述し、車の動きをセルオートマトンでモデル化することで得られた成果である。ここでは車線間相互作用と

して、隣近傍に車がいる場合に車の前進確率が減少するというルールを付加し、そしてジッパー配置の程度を表す指標が定義されている。また、シミュレーションと平均場近似によって、ミクロな相互作用のみでジッパー配置に近づいて流量が改善できる様子がまとめられている。

3章では、簡素な合流系を考察し、ジッパー合流の発生と合流効率の関連性が調べられている。理論モデルとしては、発進遅れの効果を付加したセルオートマトンを用いて、この発進遅れが大きい場合に、あらかじめジッパー合流する方が流量が増加すること、ならびに合流を行う車の割合が高い場合に旅行時間が改善することを見出している。また、シミュレーション結果とよく一致する流量の平均場近似計算が導出されている。

次に、自然渋滞の解消方法として、4章で圧縮性流体力学を応用した渋滞吸収運転の理論的枠組みが構築されている。渋滞吸収運転とは、渋滞に入る前に車間距離を空けて渋滞波を吸収する運転方法である。この吸収運転に関する理論はこれまでなく、本論文において初めてその枠組みが示されている。理論モデルとしてキネマティックモデルを利用し、吸収運転が成功する条件、吸収運転実行車が起こす衝撃波の後方車への伝播、そしてその衝撃波が膨張波と出会って消失する位置と時刻などが理論計算されている。特に、モデルのパラメータと衝撃波消失点の軌跡の関連性が解明されている。さらに、より現実的な吸収運転として、2段階で減速する吸収運転の提案がなされており、この2段階吸収運転で発生する複数の衝撃波と膨張波の干渉の様子が理論的に分類されている。

そして最後の5章で研究成果を総括し、まず本論文が扱ったジッパー合流の励起は、ミクロな相互作用が合流効率を改善する可能性について新たな知見をもたらしたことを述べている。また、渋滞吸収運転に関する基礎理論は、吸収運転の適用範囲と限界を明確に示したものであり、実際に実行する上で大いに役立つものである。

以上要するに、本論文は、ジッパー合流の励起と渋滞吸収運転の2つの方法を通して、高速道路上での主要な渋滞要因である合流渋滞と自然渋滞の改善に対して新たな知見をもたらしており、またその成果のもとになった圧縮性流体力学の新分野への応用を切り開いた点で航空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。