

論文審査の結果の要旨

氏名 金井 政宏

本論文の主題は交通流の新しい数理モデルの提案とその主として数値シミュレーションによる解析である。交通流モデルは、たとえば高速道路における車の密度と流量の関係など記述し、渋滞解消の解明など応用上も重要である。交通流モデルには、微視的なものから巨視的なもの、決定論的なものから確率論的なもの、離散的なものから連続的なものと極めて多様であるが、実測データによく合致するモデルとして、連立常微分方程式系である optimal velocity model (OV モデル) およびその拡張モデルが広く使われてきた。しかしながら、OV モデルは非線形微分方程式系であるために厳密解を得ることはほとんど不可能であり、大規模な数値シミュレーションも困難である。また、運転者の個人差等の揺らぎを導入するためには、確率過程を導入する必要があるが、これまで提案されてきた確率モデルでは実測値、とくに基本図（流量を密度の関数として表したグラフ）を再現できなかつた。

これに対して、本論文では、確率分布関数を導入した確率セルオートマトン (CA) モデルを提案し、このモデルが実測された基本図をよく再現することを示した。適当な連続極限で OV モデルに移行するため、このモデルを確率最適速度モデル (SOV モデル) と呼ぶ。特徴的なことは、車の移動速度にランダムノイズを入れる形で確率過程を導入するのではなく、各車が進もうとする確率を与える分布関数 (intention と呼ぶ) を各時刻の関数とし、この intention が前の時刻の intention と全車の配置によって定まるとモデル化したことである。また、運転者の状況判断能力にあたるパラメータ (a , $0 \leq a \leq 1$) が存在し、 $a = 0, 1$ では、おのおの ASEP (asymmetric simple exclusion process) および ZRP (zero range process) と呼ばれる厳密に解けるモデルに帰着する。

本論文の第1章は交通流に関する従来のモデルとその特徴の説明にあてられ、第2章では確率セルオートマトンモデルの一般論を展開し、その特殊化である SOV モデルの定義が述べられている。第3章が主結果であるが、 $a = 1, 0$ の場合の基本図の厳密解、OV 関数としてステップ関数を与えた場合、および \tanh 関数の場合について詳しい理論解析と数値シミュレーションによる解析が行われている。特に、シミュレーションによる重要な結果として、

- SOV モデルは同一の密度に対し二つの安定状態が共存する相転移領域(またはヒステリシス)を持ち、ある臨界密度で相転移が起こる。
- 流量が密度に比例している安定状態(自由相)は臨界点を越えると摂動に対して不安定になり、メタ安定状態になる。

- 密度が臨界点を越えると現れる状態(渋滞相)は常に安定でメタ安定状態は摂動により渋滞相に遷移する。

ことが示された。この結果は実測データともよく符合しており、従来の確率モデルでは得られなかったものである。さらに、いくつかの妥当な条件の下で、3種類の相転移点の位置を理論的に見積もり、この転移点の位置が数値シミュレーションの結果とよく一致することを示している。第4章では総括と今後の展望が述べられている。

以上のように本論文は、OVモデルを拡張した、新しく数値的な扱いにも優れた数理モデルを提案し解析したもので、しかも、このモデルはいくつかの場合に厳密に解け信頼性も高く数理的な貢献も高く評価できる。論文全体を通して、複雑な計算を実行して明快な結果を得る計算力や、大規模計算のための効率的なプログラム作りにおいていくつか独創的なアイデアが見て取られる。また、論文の記述も明快である。よって、論文提出者 金井 政宏 は、博士(数理科学)の学位を受けるにふさわしい十分な資格があると認める。