

交通流に現れる高密度から低密度への急激な変化 Jump phenomenon from jam to free flow in traffic flow

○社本 大輔, 東大工, 文京区本郷 7-3-1, E-mail: daisuke7@yg8.so-net.ne.jp

友枝 明保, 東大工, 文京区本郷 7-3-1, E-mail: tt67055@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

西成 活裕, 東大工 独立行政法人科学技術振興機構 さきがけ, 文京区本郷 7-3-1, E-mail: tknishi@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

Daisuke Shamoto, Department of Aeronautics and Astronautics, Faculty of Engineering, University of Tokyo, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

Akiyasu Tomoeda, Department of Aeronautics and Astronautics, Faculty of Engineering, University of Tokyo, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

Katsuhiro Nishinari, Department of Aeronautics and Astronautics, Faculty of Engineering, University of Tokyo and PRESTO, Japan Science and Technology Corporation, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656, Japan

In real traffic flow, we have found jump phenomena from jam to free flow. From the viewpoints of fluids dynamics, we can say this phenomenon as 'expansion shock wave.' In conventional fluids dynamics, 'expansion shock wave' can never occur because this phenomenon goes against the 2nd law of thermodynamics. We analyzed this phenomenon from viewpoints of fluids dynamics.

1. Introduction

近年、交通流は物理学の対象として注目され、ここ 20 年程盛んに研究されてきた。一次元交通流を表現するモデルとしてはセルオートマトンモデル⁽¹⁾や最適速度モデル⁽²⁾などが有名である。これらのモデルでは交通流の特性である、自由流、渋滞流などの相転移を表現することができ、主流なモデルになっている。一方、流体モデルを用いたマクロなモデルも Lighthill⁽³⁾以来 50 年以上の歴史がある。

今回我々は、実際の交通流に現れる高密度状態から低密度状態への急激な状態変化を流体モデルの観点から考察、説明することを試みる。この現象は従来の流体力学では起こり得ない膨張衝撃波である。

2. 首都高に現れる膨張衝撃波

首都高には数キロおきに感知器と呼ばれるセンサーがあり、そのセンサーを通過する単位時間あたりの車の台数や速度を得ることができる。そのため各感知器での速度データをつなげることで道路での渋滞の様子などを再現することができる。Fig.1 は実際の交通データであり、横軸が 42km の付近で急激に車の流れが良くなり、速度が急激に回復している。これは高密度状態から低密度状態への急激な変化であり、膨張衝撃波に対応する。さらにこの急激な変化は非常に安定で 30 分程この状態が続いた。首都高の例でみたように交通流では膨張衝撃波のような現象が起きている。

3. 理論解析

交通流をモデル化するのに Lighthill の思想を用いる。Lighthill は車の数が保存するという連続の式と、車の流量 Q と密度 ρ の関係を Greenshields の観測結果⁽⁴⁾より、 Q が ρ に関して上に凸な二次関数であると仮定した。上に凸な関数では膨張衝撃波は起こりえないが、高密度な領域で下に凸であると考えると、特性曲線の議論より流れの上流で高密度であり流れの下流で低密度であるような膨張衝撃波が発生しうる。

また道路の傾斜が原因であるとの立場より、道路の傾斜が膨張衝撃波を発生させる可能性を考えた。実際に中央道小仏峠では道路の傾斜が原因でこの現象が起きていることを確認できた。

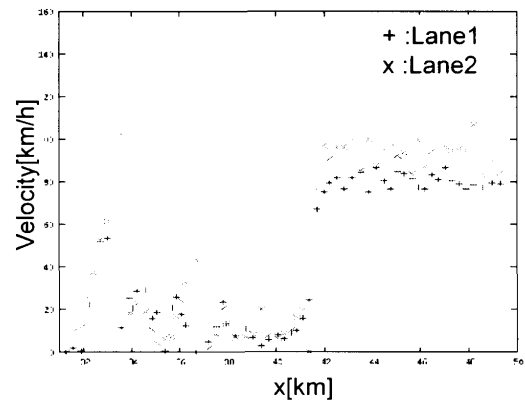


Fig. 1 Real traffic data of Metropolitan Expressway. The vertical axis is velocity of the flow and the horizontal axis is the positions of the sensors

4. Conclusion

本研究では実際の交通に現れる、高密度から低密度への急激な状態変化、膨張衝撃波にスポットをあて、流体力学的な見地から考察した。交通流の最も歴史ある Lighthill のモデルでは膨張衝撃波が説明できないことを示し、下に凸な部分を持つ基本図を考えることで膨張衝撃波が発生しうることを示した。また道路の傾斜に原因があるという立場より中央自動車道小仏峠を例に膨張衝撃波の定性的な説明を試みた。

参考文献

- (1) M.Kanai, K.Nishinari and T.Tokihito, PHYS.REV.E72(2005),pp.035102-1
- (2) M.Bando, K.Hasebe, A.Nakayama, A.Shibata and Y.Sugiyama, PHYS.REV.E51(2)(1995),pp.1035
- (3) M.J.Lighthill and G.B.Whitham, Proc.R.Soc.London, Ser.A229(1955)p.317.
- (4) B.D.Greenshields, in *Proceedings of the Highway Research Board*, Washington, D.C., 14(1935)p.448.