

Disturbance Propagation and Shock Waves in Two-Lane Traffic Flows

○佐宗 章弘 (東北大流体研)

Akihiro SASOH

Shock Wave Research Center, Institute of Fluid Science, Tohoku University, Sendai 980-8577, Japan

Two-lane traffic flows are numerically simulated based on a deterministic, car following model. The purpose of this study is to better understand nonlinear disturbance propagation and shock wave formation, or jamming, peculiar to two-lane problems. Examples of the numerical simulation, in which a criterion for jamming depends on a disturbance propagation speed, are presented.

1. はじめに

交通流問題を流体力学的に捉える方法として、(1)Whitham¹⁾に代表される連続圧縮性流体力学との類似性に着目したモデル²⁻⁶⁾、(2)個々の車の運動法則を定めその運動を時間積分によって求める car following モデル⁷⁻⁹⁾、(3)cellular automaton 法やボルツマン方程式に対する解法を応用して、統計力学的な興味、例えば相変化や砂などの粒子流との類似性から交通流を扱うモデル¹⁰⁻¹⁵⁾がある。特に第三の方法は、アルゴリズムが比較的簡単であり、大規模計算や追い越し等を含む多車線問題への拡張が比較的容易、臨界密度などの統計量を求めるのには適しており、近年特に研究が進んだものである。しかし、簡単化のため、再現できる素過程には限界があり、それに起因する非定常波動現象を取り扱うには必ずしも適していない。

本研究は、交通流を題材として、特殊な擾乱伝播速度を持つ媒体中の非線形波動伝播/衝撃波現象を解析することを主眼としている。手法としては上記(2)の方法により、本稿の内容に限れば全て決定論的な現象を取り扱っている。

2. シミュレーションモデル

進行方向に沿って座標 x 、車線を横切る方向に座標 y をとる。 x については速度 0 における標準車間距離 (後述)、 y については車線間距離を用いて無次元化する。 (i, j) で車の番号付けをする。ある時点において、第 1 車線 (日本では左車線) に居る車は $j=1$ 、第 2 車線に居る車は $j=2$ とし、それぞれの車線において上流から下流に向かって通し番号 i をつける。また、 (i, j) 車と $(i+1, j)$ 車の車間距離を $\Delta x(i, j)$ (無次元量) とする。

(a) 減速/加速モデル

ここでは、車間距離に応じた目標速度に到達するように加速/減速する Bando らのモデル⁷⁾に、 Δx_i が極度に小さくなったときの衝突や不自然な挙動を避けるため分子間ポテンシャルに似た形の修正項を加えたものを採用した。

$$\frac{du(i, j)}{dt} = c_1 \{U(\Delta x(i, j)) - u(i, j)\} + c_2 \left\{ \frac{1}{\Delta x(i, j)} - (c_1, c_2, \dots \text{は定数}) \right\} \quad (1)$$

ここで、 u は代表速度で無次元化された x 方向の速度、 U は車間距離の関数としての目標速度を表す。Bando らのモデル⁷⁾では、 U は次式で与えられる。

$$U(\Delta x(i, j)) = c_3 \{ \tanh(\Delta x(i, j) - \phi) + \tanh \phi \} \quad (c_3 \text{は定数}) \quad (2)$$

ここで、 ϕ は定数で $\Delta x(i, j)$ が小さい時の関数の挙動に影響

を与える。この値の選び方に本質的な必然性はなく、ここで

(b) 車線変更モデル

(b-1) 車線変更の動機

$$\begin{aligned} & \{(i) \quad \Delta x(i, j) < \Delta x_{cr}\} \\ & \text{AND} \\ & \{(ii) \quad u(i+1, j) - u(i, j) < \Delta u_{cr} < 0\} \quad \text{OR} \\ & \{(iii) \quad u(i+1, j) < u_{cr}\} \end{aligned} \quad (3)$$

(b-2) 車線変更の制限

ただし、車線変更途中で次の条件が満たさなければ、車線変更を中止する。

$$\{(iv) \quad |\Delta x(i', j')|_{j', c_j} > \Delta x'_{cr} \text{ for all } i', s\}$$

(b-3) 車線変更速度は一定値 v (無次元値) とした。

3. 数値計算法と計算例

数値計算では、初期値と運動法則を予め与え、leapfrog 法による時間積分により決定論的に各車の運動を追跡する。速度 0 に対する標準車間距離を無次元数で 1 とし、それに対応する目標速度 (無次元数) も 1 とする。本稿の計算では、車線や個々の車について目標速度は全て一定値とする。また、計算の対象とする車の総台数は 40 とした。外部擾乱として、第 1 車線の先頭の車をある有限時間内に停車させた。なお、現象を出来るだけ単純にするため、本稿では第 2 車線から第 1 車線への変更は考慮していない。

計算例を Fig. 1, 2 に示す。いずれの場合も初期条件として、各車線での車間距離は 4、隣車線の最も近い車との距離は 2、車間距離、速度のばらつきはなし、また $c_1=0.1, c_2=c_3=1, \alpha=-2, \beta=-4, v=0.1$ とした。Fig. 1 に、車線変更を動機付ける前方車との車間距離が比較的短い ($\Delta x_{cr}=1$) 場合の $x-t$ 線図を示す。車線変更の動機が遅れると、第 2 車線に減速なしで侵入できなくなり、急減速を伝える波が第 1 車線後方に伝播する。また、第 2 車線においても、第 1 車線から進入した車によって急に車間距離が縮まり、速度差の絶対値も増加するので、減速を伝える波が後方に伝播する。

Fig. 2 は、車線変更を動機付ける前方車との車間距離が比較的長い ($\Delta x_{cr}=60$) 場合の計算例で、この場合は車線変更前の減速は、直後の車を除いて、必要ない。ただ、車線変更した後第 2 車線での車間距離が短くなることから、車線変更は弱い減速波を誘起する。この車間距離は、実効中立車間距離 (後述) よりも短いいため、一旦車線変更によって圧縮された流れは、膨張波を通じてやや高速・低密度の流れとなる。

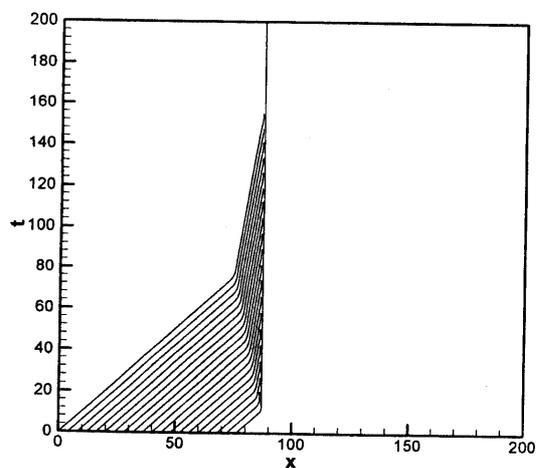
4. まとめ

本稿では、二車線交通流問題を決定論的に扱い、非線形擾

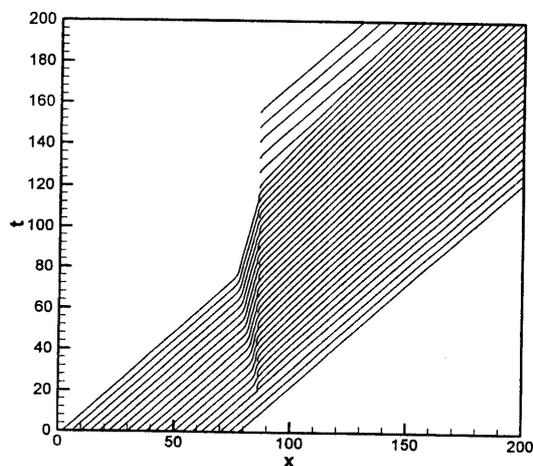
乱の発生と伝播、衝撃波の発生をシミュレーションした。一例として、車線変更を動機付ける車間距離を変えてシミュレーションを行い、それにより減速領域、衝撃波の形成に違いが出ることを示した。より体系的な取り扱いを現在検討中である。

引用文献

- 1) G.B. Whitham: Proc R Soc Lond A 428 (1990) 49.
- 2) M.J. Lighthill, GB Whitha: Proc R Soc London Ser A 229(1955)281.
- 3) G.B. Whitham: Linear and Nonlinear Waves. John Wiley & Sons, New York (1974) Chap 3.
- 4) A.D. May: Traffic Flow Fundamentals. Prentice Hall (1990) Chap 11.
- 5) D. Helbing: Phys Rev E 53(1995) 2366.
- 6) B.S. Kerner, P. Konhauser: Phys Rev E 48(1993) R2335.
- 7) M. Bando, K. Hasebe, A Nakayama, A Shibata, Y Sugiyama: Phys Rev E 51(1995) 1035.
- 8) L.A. Pipes: J Appl Phys 24(1953) 274.
- 9) E. B-Naim, P.L. Krapivsky, S. Redner: Phys Rev E 50 (1994) 822.
- 10) M. Schreckenberg, A Schadschneider, K Nagel, N Ito Phys Rev E 51(1995) 2939.
- 11) K. Nagel: Phys Rev E 53 (1996) 4655.
- 12) T. Nagatani: Physica A 218(1995) 145.
- 13) L.C.Q. Vilar, A.M.C. Souza: Physica A 211(1994) 84.
- 14) S. Yukawa, M. Kikuchi, S. Tadaki: J Phys Soc Jpn, 63(1994) 3609.
- 15) M. Gerwinski, J Krug: Phys Rev E, 60(1999) 188.

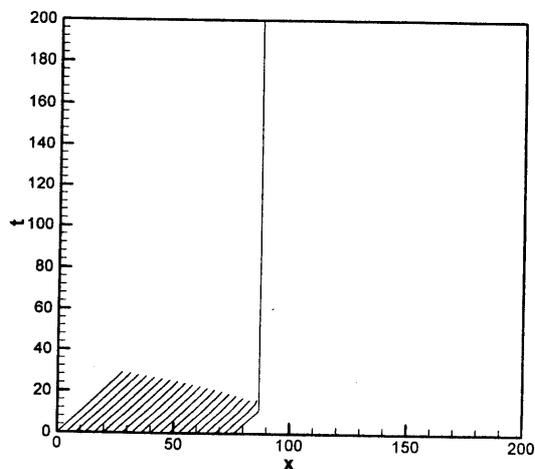


a. First lane

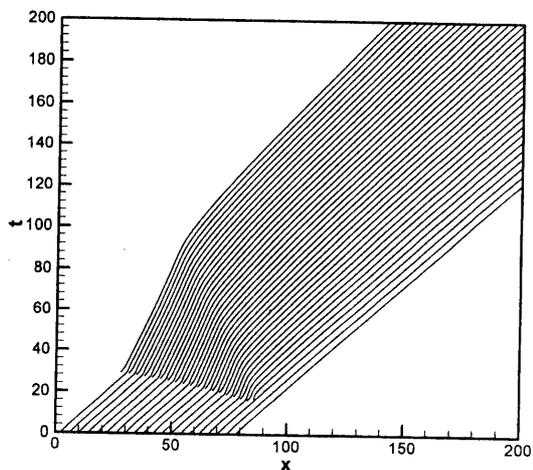


b. Second lane

Fig. 1 x-t diagram, $\Delta x_{cr}=1$.



a. First lane



b. Second lane

Fig. 2 x-t diagram, $\Delta x_{cr}=60$.