

非対称 Optimal Velocity 模型

菊地 誠(大阪大学), 杉山雄規*(三重短期大学)
只木進一(佐賀大学), 湯川 諭(東京大学)

Optimal Velocity(OV) 模型は、自然渋滞を動力学的に発生させる簡単な1次元追従模型である [1]。

$$\ddot{x}_n = a \{V(\Delta x_n) - \dot{x}_n\}, \quad (1)$$

x_n は n 番目の車の位置、 $\Delta x_n = x_{n-1} - x_n$ は車間、 a は感応度を示す定数。 $V(\Delta x_n)$ は“OV 関数”といい、最適速度を車間に応じて与える。この模型は、現実データの基本図を良く説明する [2]。

この模型を現実の道路状況でのシミュレーションに応用するには、いくつかの改良を必要とする。我々は、この模型を2車線道路へ適用し追い越し可能な模型を作ること、また合流/分岐のある系にも適用可能にするために、まず微分方程式で書かれた OV 模型を結合写像模型の形 (CMOV 模型) に表現することを試みた [4][5]。その過程で、ひとつの問題があることを認識した。それは、傾向として元来 OV 模型が持っていた性格であり、実はこれまでに我々が知るかぎりすべての追従タイプのミクロ模型、OV 模型のように微分方程式で書かれたものだけでなく、セルオートマトン (CA) 模型にも存在する問題である。それは、「渋滞の形成されている際の加速度が非現実的に大きい」ということである [6]。実際には、前方の車両に衝突しないで渋滞に入るために大きな加速度で減速する必要がある、ということである。(CA の場合、変数の離散性から異常に大きい。) CMOV 模型では、現実的な値から10倍程度のずれがある [5]。これほどではないが連続の場合の OV 模型でも同じ傾向はあった。OV 模型では OV 関数によって車両の加速度がコントロールされるので、これまでのように加速時と減速時で対称の OV 模型を採用すると、渋滞が形成されているとき加速時も減速時も同じように大きな値になる。つまり、渋滞に入るときには最高速度に近いところから急に減速して渋滞の最後尾に入り、先頭になって渋滞から離れるときは急に加速して走って行ってしまふ。

我々はこのような振る舞いを現実的な車の運転状況に近づけることを試みる。具体的には、加速時と減速時で加速度のコントロールの仕方を変えることである。可能性として2つある。ひとつは、1) 感応度 a を加速時と減速時で変えること。もうひとつは、2) OV 関数を加速時と減速時で変えることである。いずれにしても、加速時と減速時で運転の仕方が同じでないことは、大加速度の問題がなくても、現実的な運転の仕方から考えれば自然な改良である。この範囲の改良で、どれくらい大加速度の問題が改良されるかを探った。

1) については、渋滞から抜けるときの加速時に比べて渋滞に入るときに減速時の方が sensitive な運転をすると思われる。したがって a_{JF} (加速時の感応度)、 a_{FJ} (減速時の感応度) と記して

$$a_{JF} > a_{FJ}. \quad (2)$$

*e-mail address: genbey@eken.phys.nagoya-u.ac.jp

これだけの変更により、定性的に OV 模型の振る舞いの何が変わるかを見ておく。これは厳密に解ける OV 関数を階段関数に選んだ OV 模型によって、解析的に調べることができる [3]。結果は図でみるのが早い。(Fig.1)

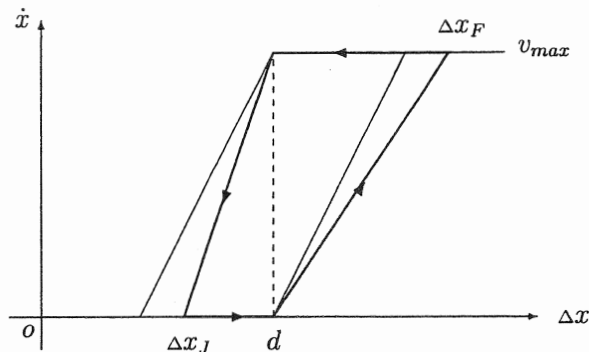


Figure 1: 階段関数 OV 関数模型の (車間-速度) 空間での渋滞のプロファイル (hysteresis loop) : 非対称模型 (太線) と 対称模型 (細線)

図から明らかなように、非対称な感応度にするると渋滞を特徴付けるループが、非対称になる。 $a_{JF} > a_{FJ}$ の場合には

$$|\Delta x_J - d| < \frac{v_{max} T^*}{2} < |\Delta x_F - d| \quad (3)$$

の関係があり、ループの上の方が伸ばされて下の方が縮む。一般的傾向を押さえた上で、OVCMLによるシミュレーションをやってみる。シミュレーションには現実的な OV 関数を使う。

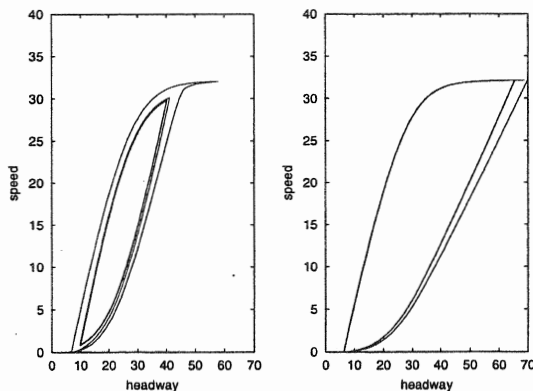


Figure 2: CMOV 模型 : ノイズなし

まず、ノイズ (揺らぎ) のない場合でみると、ループの形の変化は解析的結果からの予想のような傾向を示すことが確認される。図2の左が対称の場合 ($a_{JF} = a_{FJ} = 2$) で、右が非対称の場合 ($a_{JF} = 0.5, a_{FJ} = 2$) である。さて、その上でノイズを入れた現実的な状況でのシミュレーションを行う。

Fig.3 と Fig.4 は、同じ条件下での比較可能な結果である。

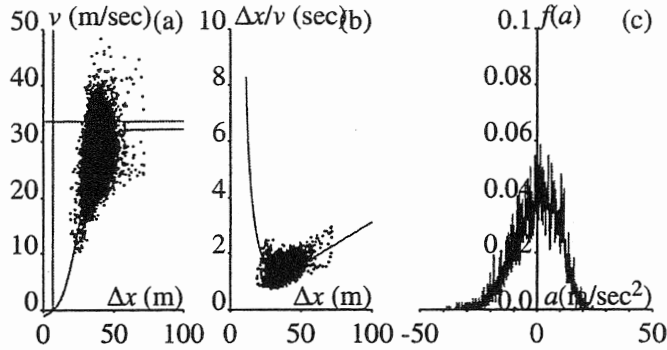


Figure 3: 対称 CMOV 模型: 感応度 $a_{JF} = a_{FJ} = 2$ 、ノイズレベル $f_{\text{noise}} = 0.3$. (a) 車間-速度 空間 (b) 車間-時間 空間 (c) 加速度分布

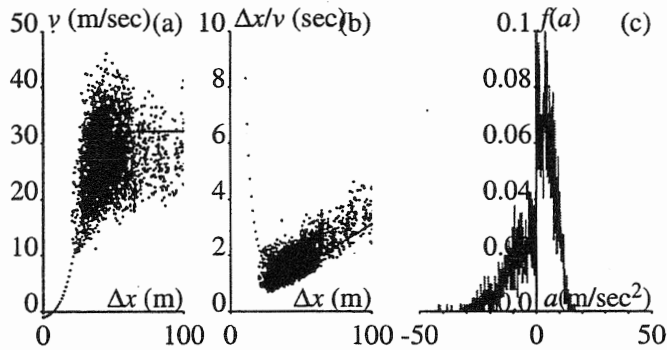


Figure 4: 非対称 CMOV 模型: 感応度 $a_{JF} = 1, a_{FJ} = 2$ 、ノイズレベル $f_{\text{noise}} = 0.3$. (a) 車間-速度 空間 (b) 車間-時間 空間 (c) 加速度分布

Fig.3 と Fig.4 の (c) が加速度の分布を示している図である。このプレリミナリな結果を見る限りでは、感応度を非対称にしたことによって、加速度分布が小さい値に集中してくる傾向が出てきたが、まだ本質的な改良には至っていないように思える。(a) の図を比較すると、非対称の場合は、車間-速度空間のデータが、対称の場合でノイズを入れたのに対して、越らが採取した現実のデータにかなり近くなっているように見える [7]。さらに種々のパラメータ領域による計算結果を検討したい。

OV 模型を非対称化するもう一つの可能性、2) OV 関数を加速時と減速時で変えること、について述べる。OV 関数そのものも加速時と減速時とで同じであるというのは現実的でないであろう。かといって、定性的な関数の形はもちろん同じである必要がある。最も簡単に OV 関数の違いを導入するには、やはり階段関数を使う。この場合 1) と同じように非対称化したときの傾向を解析的に調べることができる。

簡単に結果をのべると、2)の変更では、渋滞のループは基本的に対称のままである。ただし、対称のまま変形が加わる。これは、渋滞が形成されているときの加速時(減速時)の立ち上がり方を一様に変える余地があることを意味している。1)の感応度の非対称では、ループが非対称になることにより、加速時(減速時)の立ち上がり方が小さくなると逆に減速時(加速時)の立ち上がり方は大きくなる。したがって、両者の非対称化は加速度のコントロールに対して、それぞれ特徴的な異なる変更を加えることができ、その組み合わせによって、現実的な車の運転状況を実現するパラメータ領域が見つけれられる可能性がある。

大加速度の問題に限って考えると他の変更の可能性もある。これまでの追従モデルは、すべて最前方の車しか見ない運転の仕方に基づいている。もちろんこの効果が渋滞形成には本質的で、交通流の振る舞いの重要な部分はこれで尽きていると思われるが、大加速度問題のような定量的な問題になると、この効果のみで説明するのは無理があるかも知れない。もう一つ前方の車を見たり、後方の車を見ることの効果も定量的には影響する可能性はある。また、減速時に前方車両のブレーキランプの点灯を見て早めに減速する、という効果も重要かも知れない。ただ、この辺りまで考える必要があるとすると、数理モデルの範囲から現実的シミュレータという領域に入っていくことになりそうである。

References

- [1] Bando, M., Hasebe, K., Nakayama, A., Shibata, A., Sugiyama, Y.: *Phys. Rev. E* **51**, 1035 (1995). *Japan J. of Ind. and Appl. Math.* **11**, 203 (1994);
- [2] Bando, M., Hasebe, K., Nakanishi, K., Nakayama, A., Shibata, A., Sugiyama, Y.: *J. Phys. I France* **5**, 1389 (1995).
- [3] Sugiyama, Y., Yamada, H.: *Phys. Rev. E* **55**, 7749 (1997);
- [4] S. Tadaki, M. Kikuchi, Y. Sugiyama and S. Yukawa, *J. Phys. Soc. Jpn.* **67** (1998), 2270.
- [5] S. Tadaki, M. Kikuchi, Y. Sugiyama and S. Yukawa *J. Phys. Soc. Jpn.* **68** (1999), no.9.
- [6] D. Helbing and B. Tilch: *Phys. Rev. E* **58** (1998) 133; P. Wagner: private communication.
- [7] M. Koshi, M. Iwasaki and I. Ohkura, "Some Findings and an Overview on Vehicular Flow Characteristics", Proc. 8th Intl. Symp. on Transp. and Traffic Theory, V.F. Hurdle et al., Eds. (1983) pp403-426.