

分岐路を持つサーキットにおける最適速度モデル

Optimal Velocity Model for Circuit with Branch

松永 奈穂子¹, 吉川 周二², 玉城 龍洋³

Naoko MATSUNAGA¹, Shuji YOSHIKAWA², Tatsuhiro TAMAKI³

Abstract: We study the optimal velocity (OV) model for the circuit with branch. The OV model proposed by Sugiyama [5] is described as the simple ordinary differential equation system. Nevertheless, the behavior of solution takes the queue dynamics arising in traffic jams into account very well. In this article we shall consider the OV model under the circuit with a branch and a concourse.

Key words: OV model, branch, traffic jam, ordinary differential equation system, ODEs

1. はじめに

日本の自動車保有台数は一貫して増加し続け、平成20年の時点では7千9百万台を超えるに至る。現代社会において道路交通システムは、産業・生活の重要な要素となっているが、日本の道路交通容量に大きな変化が無いため、その影響は交通渋滞として大きな社会問題のひとつとなっている。また、渋滞現象はエネルギー消費、排気ガスなどによる環境汚染だけでなく、輸送コストおよび輸送時間の増大による年間12兆円に及ぶ経済損失をもたらしている([1])。

これらの問題を解決するために近年様々な交通流解析モデルが提案され、その物理的側面の解析が進んでいる。交通問題の研究は1950年代から始まり、1990年代のコンピュータの進展に伴い、近年、車両一台一台を考慮するマイクロモデルが開発されている([2], [3], [4])。このマイクロモデルにも多数のモデルが提案されているが、その中で特に注目されるモデルのひとつに最適速度モデルがあり、交通流の遷移やメタ安定分岐の解析に大きな成果を挙げている([5], [6])。

本研究では、1車線系モデルである既存の最適速度モデルに、分岐処理を加えた拡張最適速度モデルを提案し、車両の動きから交通流について考察する。

2. OVモデル

杉山ら([5])は、交通流に関して、渋滞の構造を表す最適速度モデル(Optimal Velocity(OV) Model)を提案している。ここではさらに位相図を調査することで遅延を誘発する時間の境界を調査している。

¹ 福岡市博多区博多駅前2丁目6番6号 日本アイ・ビー・エム共同ソリューションサービス

² 松山市文京町3番 愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻

³ 名護市辺野古905 沖縄工業高等専門学校メディア情報工学科

¹ CSOL, 2-6-6 Hakata-ekimae, Hakata-ku, Fukuoka, 812-0011 JAPAN

² Department of Engineering for Production and Environment, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, 3 Bunkyo-cho, Matsuyama, Ehime, 790-8577 JAPAN, yoshikawa@eng.ehime-u.ac.jp

³ Department of Media Information Engineering, Okinawa National College of Technology, 905 Henoko, Nago, Okinawa, 905-2192 JAPAN, t-tamaki@okinawa-ct.ac.jp

原稿受理 平成22年10月29日

杉山らは個々の車の方程式を基本とし、1列になって車が走行する1次元車両追従モデル(1-dimensional car-following model)を提案している。このモデルでは車両の大きさは考えず、車・運転手の運動性能もすべて同じとする。車は、前方車間距離によって加速度を制御する、という性質を持つものとし、モデル中での車両の動きは次式に従うものとする。

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

ここで、 n は車両の番号、 x_n は n 台目の車両の位置、 $\Delta x_n = x_{n-1} - x_n$ は車間距離、 \ddot{x}_n は x_n における加速度、 \dot{x}_n は x_n における速度、 a は感応度と呼ばれ、速度差に対してどれくらい鋭敏に応答できるかを表す正定数である。 $V(\Delta x_n)$ は0V関数と呼ばれ、車間距離に基づいて安全速度を決定する。杉山の用いる0V関数は次式で与えられる。

$$V(x) = \tanh(x - 2) + \tanh 2 \quad (2)$$

0V関数(2)式は車間距離 Δx_n が小さい程 $V(\Delta x_n)$ は小さくなり、車間距離 Δx_n が大きい程 $V(\Delta x_n)$ も大きくなる関数を選択するが、実際は速度制限や車の性能のため、いくらでも速くすれば良いわけではない。そこで、車間距離 Δx_n で最高速度に漸近する形となるシグモイド型の関数を選択する。また、車間距離 Δx_n が小さいときは衝突しないよう、徐々に加速・減速するようにする。

0Vモデルに従い、交通流のシミュレーションを行うと次の結果が得られる。図1は車間距離(headway)と速度(velocity)の位相空間における車の軌道を表している。ここでは、パラメータを次のように設定した： $a=1.0$ 、 $N=10$ (車の台数)、 $L=20$ (レーンの長さ)。図1において、上の頂点は車間距離および速度が大きく、スムーズな走行が可能である自由クラスタ、一方、下の頂点は車間距離および速度が小さく、道路の一部分に車両が詰まり、スムーズな走行ができなくなる渋滞クラスタである。車両が渋滞クラスタから自由クラスタへ、また自由クラスタから渋滞クラスタへの閉曲線に沿って動いていることがわかる。また、渋滞クラスタから自由クラスタへ移行する際、車両は緩やかに加速し、自由クラスタから渋滞クラスタへ移行する際には、車両は緩やかに減速していることがわかる。

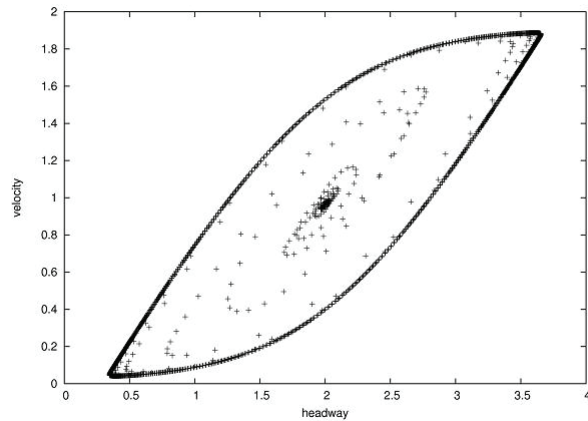


図1: 車間距離と速度の関係

3. 分岐路を持つサーキットにおける0Vモデル

杉山のモデルではループ状のサーキット上を追い越しなしで前方の車に追従する。そこで本研究では、図2のようにサーキット中に分岐路を設置し、車両の順番の入れ替わりを考慮したモデルを構築する。L1の車道は杉山のモデルと同様、追い越しなしで前方の車に追従する。A地点は分岐ポイントであり、A地点に来た車はL2の車道とL3の車道のいずれかを走行する。この分岐ポイントでは、L1の車道でナンバリングされた車両番号が偶数ならばL2に、車両番号が奇数ならばL3に車を分岐させる。このナンバリングは1タイムステップごとに車両の位置に基づいて更新する。もし、L1上の車 c_i が次のタイムステップでL2もしくはL3に入る場合、 c_i の車両が偶数ならば、車間距離 Δx_n は“ c_i の車両の位置からAポイントまでの距離”と“AポイントからL2上で一番手前の車両の位置までの距離”の和で表される。同様に、 c_i の車両が奇数ならば、車間距離 Δx_n は“ c_i の車両の位置からAポイントまでの距離”と“AポイントからL3上で一番手前の車両の位置までの距離”の和で表される。ここで、

L2 および L3 の車道も追い越しなしで前方の車に追従するものとする。

また、B 地点は合流ポイントであり、A 地点で L2 および L3 に分岐したそれぞれの車は B 地点で合流する。この合流ポイントには、車両番号の小さい車が先に入る。合流時の車間距離 Δx_n は“自分の車両の位置から B ポイントまでの距離”と“B ポイントから L1 上で一番手前の車両の位置までの距離”の和で表される。例外処理として、合流時、L2 上の車と L1 上の車の車間距離と、L3 上の車と L1 上の車の車間距離が同じだった場合、車両番号の大きい車両を $\Delta x_n / 2$ 前に進めることとする。

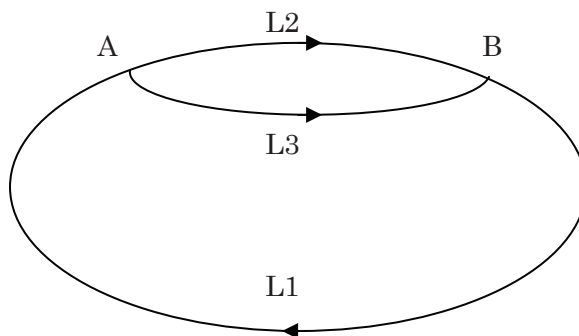


図 2 : 分岐路の形状

4. シミュレーション結果

車両の台数を変化させながら、車間距離(headway)と速度(velocity)の変化を解析する。なお、車両台数 N 以外のパラメータは次の通りである。 $a = 1.0$, $L1 = 10$, $L2 = 10$, $L3 = 10$ ($L1, L2, L3$ はそれぞれレーンの長さ)。 $N = 10$ および $N = 50$ の場合の結果を図 3, 図 4 に示す。

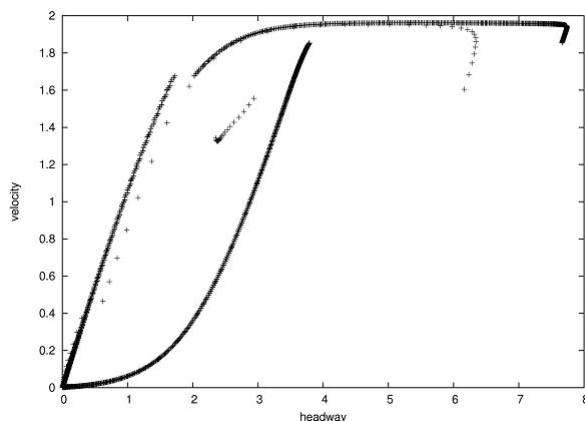


図 3: 拡張モデルの車間距離と速度の関係 ($N = 10$)

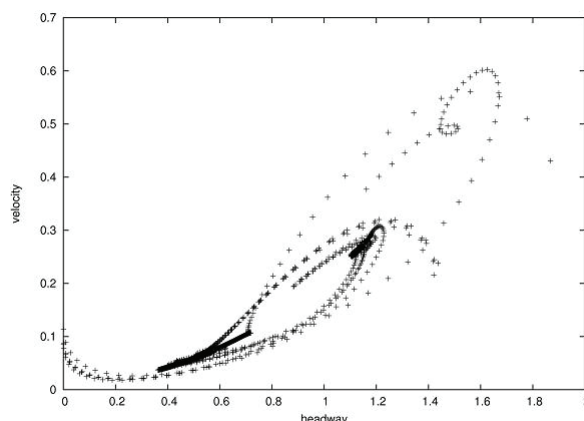


図 4: 拡張モデルの車間距離と速度の関係 ($N = 50$)

まず、図 3 より、headway=2, velocity=1.6 付近と、headway=4, velocity=1.8 付近でグラフが大きく飛んでいるのがわかる。これは、分岐ポイントで急激に車間が広がったこと、および合流ポイントで急激に車間が狭まったことが原因であると予測される。渋滞クラスタから自由クラスタへの移行に注目すると、一次元車両追従モデルと同程度の加速である。一方、自由クラスタから渋滞クラスタへの移行時には、車間距離が小さくなるにつれ、急激な減速が生じている。

また図 4 からは、図の中央部分と右上部分に 2 つの軌道の乱れが観察される。そこで、タイムステップ数を増加させて定常状態にした場合の車間距離と速度の関係を調べた。その結果を図 5 に示す。図 5 から、図 4 の中央部分が定常状態であることがわかる。さらにタイムステップを絞ってみると、headway=0.9, velocity=0.2 付近でグラフが大きく飛んでいるのがわかる (図 6)。これは図 3 で示したものと同様の動きが観察されたといえる。つまり、分岐ポイントで急激に車間が広がったことが原

因であると考えられる。最終的な定常状態（図 7）では，headway, velocity とともにほぼ変化は無く，

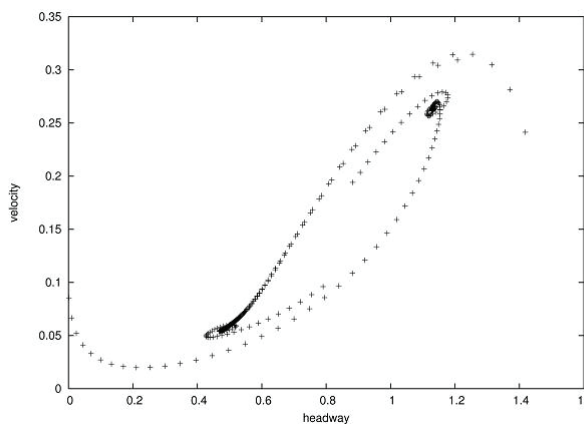


図 5: 拡張モデルの車間距離と速度の関係
($N = 50$, $TIMESTEP=700$)

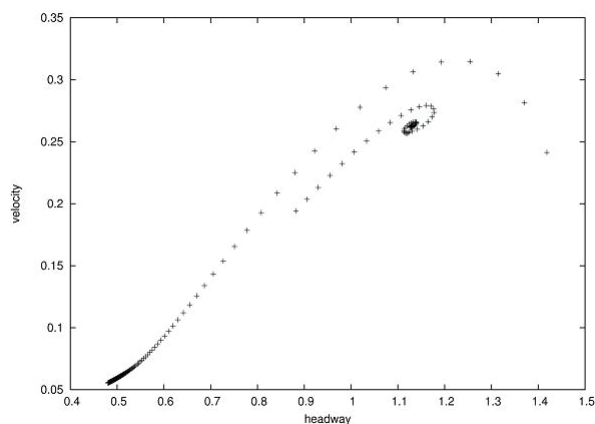


図 6: 拡張モデルの車間距離と速度の関係
($N = 50$, $TIMESTEP=900$)

渋滞から抜け出せていない状態であるということがわかる。

次に，提案する拡張モデルの密度と交通量の関係を図 8 に示す．密度が 0 から 0.2 の単調増加が自由流を表し，0.2 から 1.3 までは自由走行と渋滞が混合した交通流を表す．また，1.3 以降は安定的に渋滞が存在する渋滞流を表している ([5])．図 8 より，密度が 0.2 を越えた辺りで一度交通量が減少し，密度 1.3 まで一定の交通量になっていることがわかる．密度 0.2 近辺の急激な減少は，合流ポイントにおいて前方車両の存在が無視できなくなり，その結果，急激な車間距離減少が生じるためと考えられる．また，密度 0.2 から 1.3 までの一定の交通量は，現実の交通でも見られるボトルネックの影響で，合流部の交通容量が小さいことからその部分がボトルネックとなり，本来の交通容量が制限されるために発生する現象である ([7])．この密度区間では，自由流と合流部の渋滞流が共存した状態になっていると考えられる．密度 1.3 以降が滑らかな曲線になるのは，サーキット全体で渋滞が発生するため分岐・合流の影響よりも渋滞の影響が大きくなり，本来の密度による交通量の減少が強く表れるためである．

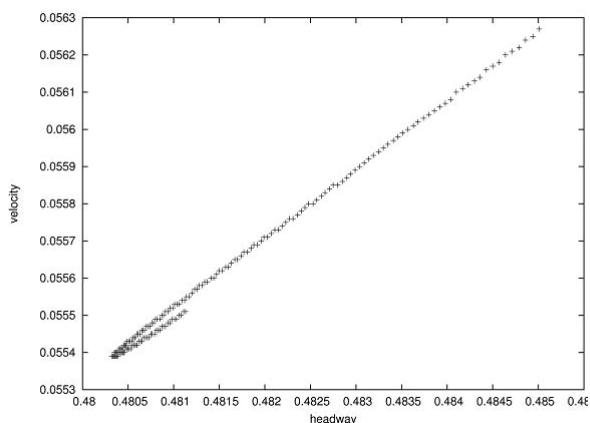


図 7: 拡張モデルの車間距離と速度の関係
($N = 50$, $TIMESTEP=950$)

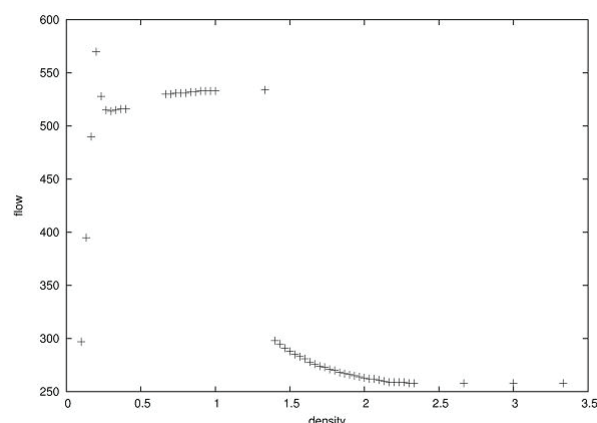


図 8: 拡張モデルの $Q-k$ 図

5. おわりに

本研究では、杉山の提案する最適速度モデルを追試するとともにその拡張モデルを提案した。提案する拡張モデルは、杉山らの提案する 1 車線系モデルである既存の最適速度モデルに、分岐処理を加えたモデルである。その結果、分岐ポイントと合流ポイントにおいて、車間距離の急激な変化が起こり、それが原因となって渋滞が発生していると考えられる。さらに、提案モデルの密度と交通量の関係図を示した結果、本来、自由走行が可能な密度でも合流による影響で交通流に不安定さがもたらされ渋滞が発生したことにより、交通量が一時的に減少するボトルネック現象が確認された。

6. 引用文献

- [1] (財)自動車検査登録情報協会: <http://www.airia.or.jp/number/index.html>
- [2] K. Nagel, S. Rasmussen: Traffic at the edge of chaos, *Artificial Life IV*, pp.222-235, 1994.
- [3] 玉城龍洋, 安江里佳, 北栄輔: セル・オートマトンによる自動車専用道路の交通シミュレーション, *情報処理学会・数理モデル化と問題解決*, Vol.46, No.SIG10, pp.30-40, 2005.
- [4] K. Nagel and M. Schreckenberg: Cellular automaton model for freeway traffic, *Journal of Physics I france*, Vol.2, pp.2221-2229, 1992.
- [5] Y. Sugiyama: Optimal velocity model for traffic flow, *Computer Physics Communications*, pp.399-401, 1999.
- [6] M. Bando, and K. Hasebe, et al: Dynamical model of traffic congestion and numerical simulation, *Physical REVIEW E*, Vol. 51, No. 2, pp.1035-1042, 1995.
- [7] 玉城龍洋, 安江里佳, 北栄輔: セル・オートマトン法による自動車専用道路での道路工事区間交通シミュレーション, *知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌)*, Vol.18, No.1, pp.91-101, 2006.