

道路情報提供下における交差道路の交通流

中日本自動車短大 福井 稔

東京大学大学院 工学系研究科 西成活裕

日本自動車研究所 予防安全研究部 横谷 靖

愛知淑徳大学 ビジネス学部 石橋善弘

1. はじめに

現代では、だれにとっても自動車は日常生活に必要なものとなっている。しかし、自動車大衆化時代は交通渋滞、交通事故、大気汚染といった社会的問題を発生させることとなった。これらの問題を解決するために、自動車の性能の向上や自動車・道路システムの高度情報化などの施策がとられ、安全性、環境への配慮が図られた。その一つの方法として、道路網における信号の系統的な制御や道路情報の提供による交通流の効率的なマネジメントがある。交通情報の提供による交通流への影響については、情報の収集や提供の方法、タイミング、運転者の行動などの問題が絡んで、ときには、交通流の不安定化や渋滞のきっかけとなりうると考えられている。数理的な基礎研究では、2ルート道路網で交通情報によって道路を選択する運転者と選択しない運転者がいるときの交通流の研究[1,2]、2つの道路が交差している道路[3]や2次元市街地道路網[4]で交通信号機の系統的制御で交通流の効率化を図る研究がなされている。また、交差道路において、交差点で **real-time** の交通情報を提供し、それに従って進路変更をするモデルで、交通流の効率を調べた研究[5]もある。我々は、今年の交通流シンポジウムで、交差点で旅行時間の交通情報を提供し、それに従って全ての運転者が進路を決めるというモデルの交通流を調べた。このときのモデルでは、交差点には信号機は無い。信号機が無いことで、両道路から交差点への進入には、確率的に選択されるルールがあった。そのため、交通流の時系列データには、カオス的時間変動が見られた[6]。今回は、信号機を設置して、確率過程を除いた決定論的ルールで、道路情報がリアルタイムに提供され、それに従って運転されるという交通流モデルについて、交通流の密度-流量関係を調べた。そして、自動車密度にしたがって、交通流は6つの相に分けられることが明らかになった。

2. CA 交通モデル

- 1) 2つの1車線道路が、1つのセルが重なるように互いに交差して、それぞれサーキットを成している。
- 2) 自動車は、**rule-184** に従って、一方向（東、北へ）に1単位時間に1セル進む。
- 3) 交差点には信号機があつて、1/2 単位時間ごとに赤、青と変わり、交互に交差点に進入が可能。

4) 交差点にいる車は、その交差点から、両道路上の車の平均速度が大きいほうの道路を選んで進む。(両方の道路の平均速度が同じ時は、進入してきた方向を変えないで、そのまま直進する)。全ての車が、この情報に従って進路を決める。

3. シミュレーションとその結果

両方の道路 (X-road、Y-road という) の長さを等しく、 $L=500$ セルとし、始めに両道路上に自動車をランダムに配置して、上に述べたルールにしたがってシミュレーションを始めた。一例として、両道路平均車両密度 $d=0.46$ のときの、各道路上の平均車両速度 V_x 、 V_y 、密度 D_x 、 D_y の時間変化を図1に示す。最初等しかった D_x 、 D_y は、自動車が V_x 、 V_y の大小関係により交差点で進路変更することにより、次第に不安定化が起こり振動し始め、周期的に変化するようになる。各道路上の平均速度と流量を速度-密度空間 (V-D) と流量-密度空間(F-D)に点描すると (図2, 3)、リミットサイクル的決まったループ上を時計回りにたどる。 V_x と V_y 、 F_x と F_y は全く同じループ上を (保存則 $N_x+N_y=N$ を保ちながら) 巡る。このようなシミュレーションを車両密度を変えて行って、密度によって6つの流相があることが分かった。

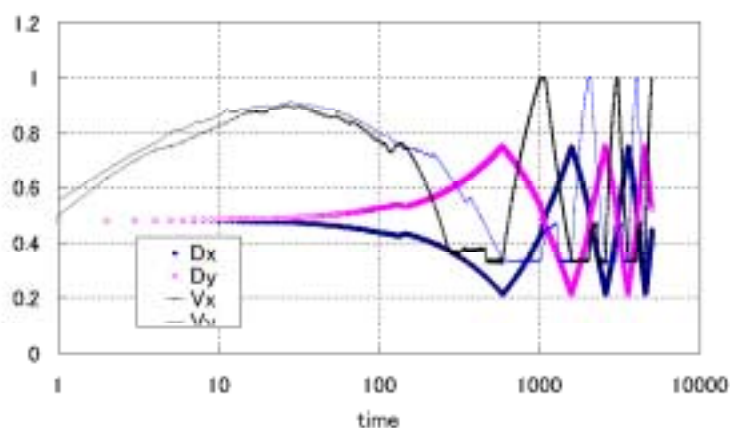


図1 車両密度、速度の時間変化 ($d=0.46$)

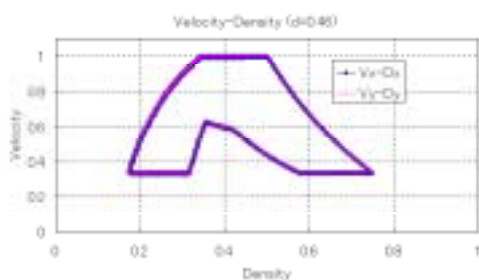


図2 速度-密度図 ($d=0.46$)

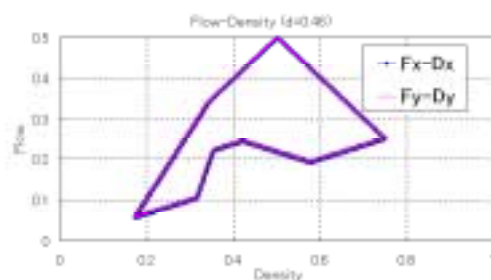


図3 流量-密度図 ($d=0.46$)

I相： $3/4 \leq d < 1$ では、両道路の密度、流量は、一旦は振動するが、ダンプして、両道路で同じ値の、密度、流量の一定状態に収束する。

II相： $1/2 \leq d < 3/4$ では、流量、密度ともに周期的に振動する。両方の道路では、位相がずれて同じ振動をする。流量-密度空間では、同じループを巡る。(図4) また、初期配列の密度の違いによらず、同じループに収束する。

III相： $5/12 \leq d < 1/2$ では、両道路の流量、密度ともに(位相をずらして)同じ振動をし、同じループを巡る(図2,3)。図5に密度を変えて調べたF-Dトラジェクトリを示す。

IV相： $0.312? < d < 5/12$ では、両道路の流量は、2つの異なった複雑な周期振動をする。F-D空間のトラジェクトリも2つの異なったループに分岐し、歪んだ単一ループを描くようになる。初期配列が異なっても、この同じループに収束する。(図6)

V相： $0.25 < d < 0.312?$ この密度では、両道路の流量変化は、2つの異なった(分離した)複雑な幾重にも回る多ループになる場合と両トラジェクトリが一致して複雑な多ループになる場合(図7)が見られる。この領域は初期配置によって異なったループをたどる。また、交差点でのランダムな車両遭遇による多重なループを描く流れもあり、この密度領域は、更にいくつかの相に分かれるかもしれない。

VI相： $d < 0.25$ では、両道路の密度、流量は、一旦は振動するが、ダンプして、密度、流量は、両道路で異なった一定の値に収束する。

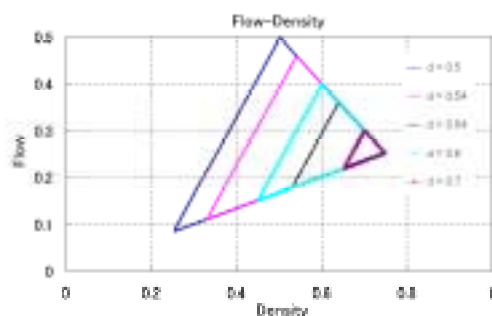


図4 流量-密度図 (II相)

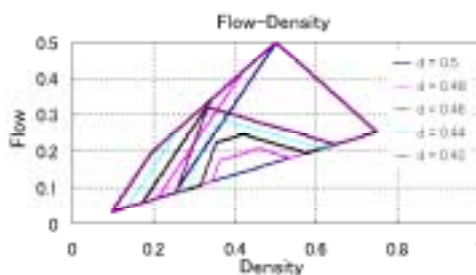


図5 流量-密度図 (III相)

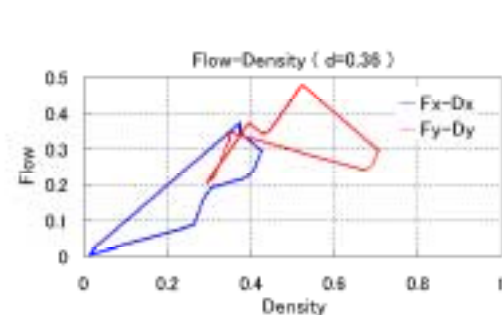


図6 流量-密度図 (IV相)

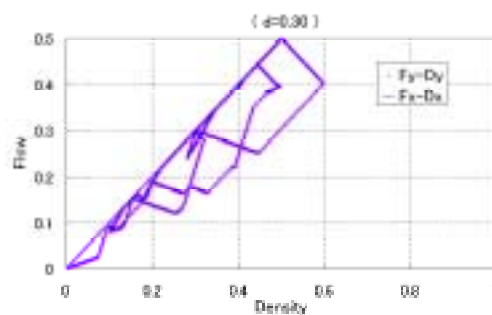


図7 流量-密度図 (V相)

さて、図4の三角形で、 $d=1/2$ のとき、頂点(1/2,1/2)をAとし、頂点(3/4,1/4)をBとし、他をC (1/4,1/2)とすると、線分AB,BC,CA上では、車はどのような配列になって進行しているのだろうか。X-roadの流れがB点にあるときは、Y-roadはC点にある。X-roadの流れがB点からC点まで移動する間に、Y-roadはC点からA点を経由してB点に移る。AB線上では、...01010101...という(自由流)配列の中で、交差点の手前に0111011101110...という(渋滞)配列があり、B点に近づくにつれてこの渋滞配列が延び、B点では道路全体が渋滞配列で埋めつくされる。ゆえにB点の密度は3/4。X-roadがB点からC点に向かうにつれて、渋滞配列から交差点を通過した車は、全てY-roadに進路変更して車両数が減少していく。C点に来ると、Y-roadはB点に来ているので、これ以降は、Y-roadからこちらの道路に進路変更車が入ってくるので、再び車両数は増加に転じ、A点に向かう。

図8に周期変動する流れの周期(L=500)を示した。図9には、その周期変動する流れの平均流量を示した。第IV相では、両道路の分岐に従って2つに分かれるが、殆ど全相で、平均流量は1/4である。我々(一部)は、以前に、このような情報提供が無く、交差道路の直進車両の交通流の研究[7]を行い、その相図を調べた。その結果は、 $1/3 < d < 2/3$ で、流量は1/3であり、ここでの流量より大きい。単純に考えると、このような情報提供、全運転者の情報利用の下では、全流量が増加しそうであるが、かえって全流量は下がるという結果になった。情報提供の仕方、運転者の情報利用の仕方についての更にモデルを考えたい。

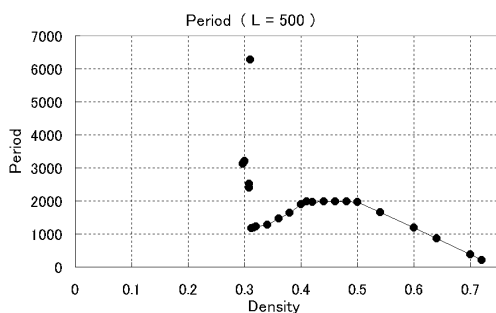


図8 密度変動の周期

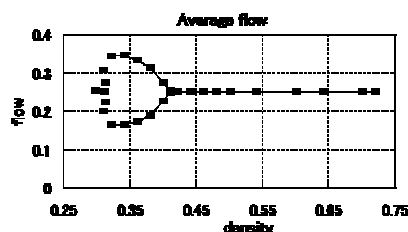


図9 周期的変動する流れの平均流量

参考文献

1. J. Wahle, A.L.C. Bazzan, F. Klugl and M. Schreckenberg. *Physica A*, **287**, 669 (2000).
2. K Lee, P.M. Hui, B.H. Wang and N.F. Johnson. *J. Phys. Soc. Jpn.*, **70**, 3507 (2001).
3. M.M Fouladvand, Z. Sadjdi and R. Shaebani. *J. Phys. A:Math.Gen.*, **37**, 561 (2004).
4. R. Barlovic, E. Brockfeld, A. Schadschneider and M. Schreckenberg. *Phys. Rev. E*, **64**, 056132 (2001).
5. Y. Yokoya. *Phys. Rev. E*, **69**, 016121 (2004).
6. M. Fukui, K. Nishinari, Y. Yokoya and Y. Ishibashi, TGF'05 (2005).
7. Y. Ishibashi and M. Fukui, *J. Phys. Soc. Jpn.* **70**, 2793 (2001).