

数理科学実践研究レター 2018–19 August 27, 2018

混雑度センサ付き信号による渋滞解消

by

渡邊真隆、庄田宗人



UNIVERSITY OF TOKYO
GRADUATE SCHOOL OF MATHEMATICAL SCIENCES
KOMABA, TOKYO, JAPAN

混雑度センサ付き信号による渋滞解消

渡邊真隆¹ (東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構)

庄田宗人 (東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻)

概要

渋滞発生の原因は、区間に入ってくる車の台数が出ていく車の台数より多いためだ。個々のドライバーのレベルでは、車間距離を詰めすぎることによって、前方の車の減速が増幅されて後方に伝わることで渋滞が起こる原因の一つになる。高速道路において、これは渋滞発生の原因として大きい理由だが、一般の信号がある道路においては、信号を混雑度によってコントロールすることで渋滞を解消することができる。この論文では、そのような効果を、具体的な例における数値計算で確かめる。

1 はじめに

渋滞を記述するとき、個々のドライバーは渋滞に「巻き込まれる」と感じるが、個々のドライバーは集団的に渋滞自体を作る原因になっている。この意味で、渋滞とは内在的に集団的な現象であり、もっとも簡単には、何らかの流体方程式で記述されるべきである。この方向での研究は昔から行われており、様々なモデルが知られている [1, 2]。これらのモデルは、空間が離散的なモデルや、時間が離散的なモデルなど、様々であるが、どれも交通流のいくつかの性質を正しく記述することが分かっている。さて、交通モデルを考え、渋滞を記述するには、交通流の基本図を計算することが大事である。基本図とは、交通量もしくは交通流率・密度・平均速度の関係を示したものである。この中で交通流率と密度の関係に着目すると、典型的に、ある車の密度で交通流が最大化されるような、二次関数的なグラフを描くことが分かっている。この密度が、渋滞が発生する相転移が起こる相転移の密度であり、この密度が高ければ高いほど、渋滞が起きにくいといえる。定性的には、流体方程式と車の群速度に単調減少な関係を仮定すれば、密度不安定性が出るため、これが渋滞につながるが、流入量の増加がこの密度不安定性の影響に打ち勝つ密度が相転移温度ともいえる。この相転移密度は、高速道路のような信号のない系で様々なモデルで計算されてきたが、一般道路のような信号のある系では計算されていない。しかし、このような系では、密度不安定性を信号機の間隔のスケールで食い止められるため、このメカニズムでの渋滞は防げると定性的な理解ができる。また、信号機に混雑度のセンサをつければ、密度不安定性によって密度勾配が大きくなった区間を平衡化するような仕組みを作ることで、渋滞を解消できる。この論文では、上記の仕組みを数値計算で確かめる。

2 モデル

今回の計算では、交差点間の車の密度はほぼ一定と仮定し、交差点間の長さで道を離散化する。道の形は円形で、交差点は 10 個あるとする。時間方向は連続として扱う。この意味で、このモデルは普通の連続モデルとオートマトンモデルの中間のモデルである。車の平均速度 v と密度 ρ の関係は、以下で定義する。

$$v(\rho) = \frac{v_0 \sqrt{e}}{2} \exp \left[-\frac{2\rho^2}{\rho_0^2} \right] \quad (1)$$

速度と密度を $\Phi = v/v_0$, $r = \rho/(\sqrt{2}\rho_0)$ で規格化すれば、

$$\Phi(r) = A \exp [-4r^2] \quad (2)$$

となる。具体的なパラメータを代入すれば、例えば $A = 0.075$ となる。

¹masataka.watanabe@ipmu.jp

3 数値計算

以下に数値計算の結果を示す。初期条件は、最初の N ブロックを $r_i = 1$ とし、様々な N に関して総流量 Q の時間発展をプロットする。このグラフから、十分時間がたったあとの基本図を考え、相転移密度を求める。すべての図で、 $N = 1$ から $N = 9$ までプロットした。

3.1 信号機がない場合

信号機がない場合の $Q(t)$ を図 1 に示す。

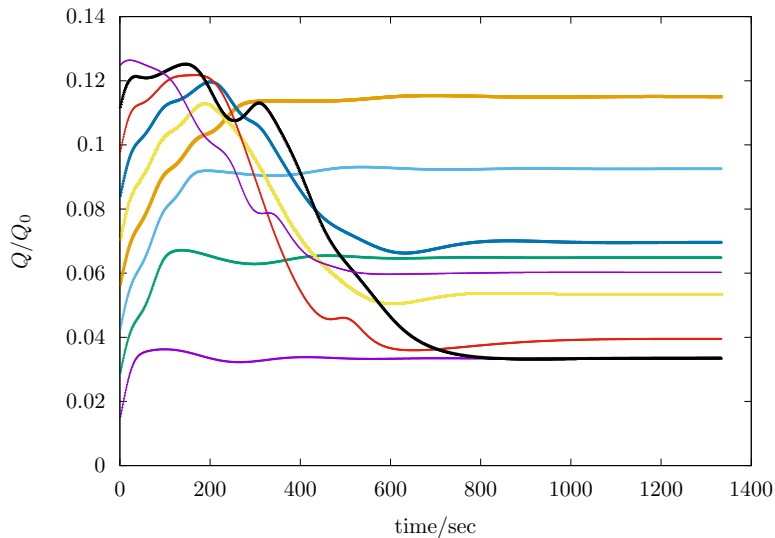


図 1: 信号機がない場合の $Q(t)$ 。車の総量が多くなると、効率が悪くなることが分かる。

これによれば、相転移密度は $N = 4$ であるとわかる。

3.2 周期的に赤青の交代する信号機がある場合

信号機がある場合の $Q(t)$ を図 2 に示す。

これによれば、相転移密度は $N = 4$ であるとわかる。

3.3 交通量センサ付きの信号機がある場合

交通量センサ付きの信号機がある場合の $Q(t)$ を図 3 に示す。このセンサは、自分より前のブロックの密度が、後ろの密度の 2 倍以上になった場合無条件で赤になり、逆に半分以下になった場合無条件で青になるようにしている。

これによれば、相転移密度は $N = 7$ であり、信号がない場合や、あっても単に周期的な場合と比べて大幅に効率が上がることが分かる。これは、信号がある系において渋滞が緩和する現象の具体例となっている。

4 結論

交通量センサを用いて信号を適切にコントロールすることで、渋滞が解消できることが分かった。一般道においては、信号のために系に新たなスケールが導入され、高速道路の渋滞のように emergent

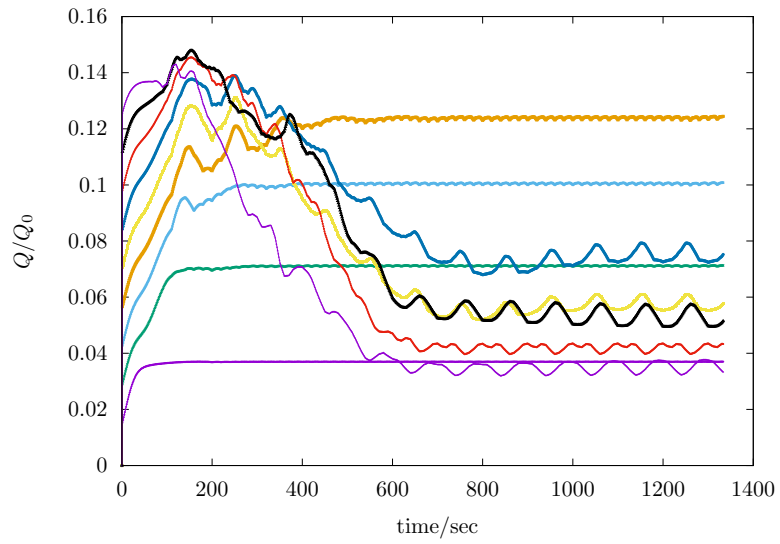


図 2: 信号機がある場合の $Q(t)$.

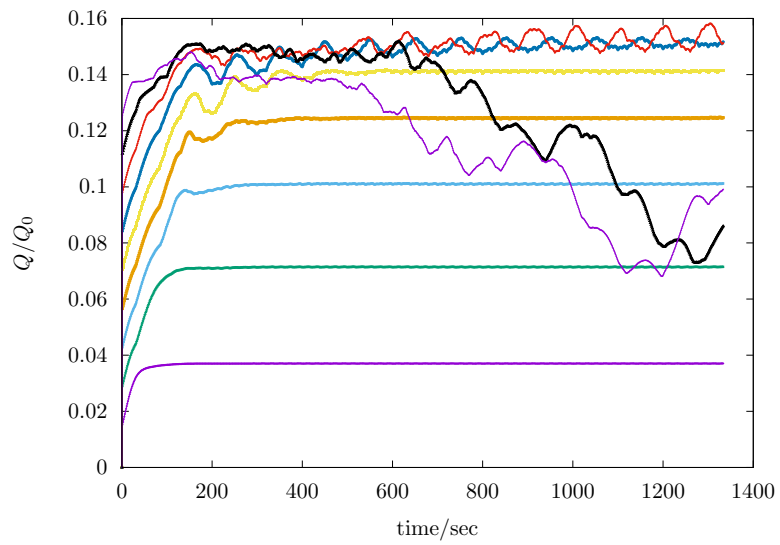


図 3: 交通量センサ付きの信号機がある場合の $Q(t)$.

なスケールの効果を打ち消すことができることがこの理由である。特に、周期的な信号とセンサ付きの信号の場合では、交通量の時間発展に大きな違いがみられ、興味深い相転移的現象が観察された。今後の研究ではこの結果を二次元に拡張すべきであると考え。一次元の場合と異なり、交差する部分が矛盾なく信号変化させないといけないため、必ずしも効率が良くなるとはすぐにはわからないため、そのような具体例を構成することが重要になるだろう。

参考文献

- [1] Debashish Chowdhury, Ludger Santen, and Andreas Schadschneider. Statistical physics of vehicular traffic and some related systems. *Physics Reports*, 329(4):199 – 329, 2000.
- [2] H.J. Payne. *Models of Freeway Traffic and Control*. Simulation Councils, Incorporated, 1971.