

# 自然渋滞の発生と解消のメカニズム

安達真一郎 新村昌治  
岐阜大学工学部応用情報学科

Occurrence and solution of spontaneous traffic congestion

Shin-ichiro Adachi and Shoji Shinmura

*Department of Information Science, Gifu University*

## 1. 序

交通流の研究は、近年の急速に拡大する自動車輸送の重要性、更に社会や環境への響の増大から注目されている。渋滞のない流れから渋滞流への相転移、転移点近傍の不安定性などの交通流の示す動的な性質は追従モデルを用いて研究されている。本研究では追従モデルを用いて、(1) 渋滞の発生のみでなく、その解消の機構も統一的に調べる。(2) 従来モデル、とくに最適速度モデルについて、その有効性と不十分点を明らかにする。(3) より現実的なモデルを検討し、提案する。

## 2. 追従モデル

追従モデルでは、一車線一方通行の道路を走る多数の車からなる系の挙動を考える。個々の車両の運動を先行する車両からの刺激に基づく連立微分方程式として記述しようとするのが、追従モデルである。初期のモデルでは、直前を走る車との相対速度がなくなるように加減速が行われるが、これだけでは車間距離(車両密度)に依存した渋滞の発生を記述することはできない。

密度に対して渋滞が引き起こされるためには、車両の挙動が車両間隔(車頭距離)で調整されるモデルが必要とされる。最適速度モデルは、車頭距離によって決まる最適速度になるように車両が加減速を行う。k番目の車両の位置座標を $x_k$ と書くと、その加減速は直前の車両(k+1番目)との車頭距離 $\Delta x_k = x_{k+1} - x_k$ に依存した形で記述され、次の式が導かれる。

$$\frac{d^2 x_k}{dt^2} = \alpha \left[ V_{optimal} (\Delta x_k) - \frac{dx_k}{dt} \right] \cdots (1)$$

定数  $\alpha$  は最適速度への調整に要する時間の逆数に対応し、感受率と呼ばれる。これは本来車両の加減速性能と運転者の性質に依存しているが、ここでは定数として扱う。最適速度関数  $V_{optimal}$  は車頭距離に応じた最適な速度を表す。ここでは長さ  $L$  の周期的な道路（サーキット）上を  $N$  台の車両が走行するモデルを扱った。

### 3. 追従モデルの安定性

最適速度関数の形として重要な点は、車頭距離が大きい自由走行状態と車頭距離が短い場合の低速走行（停止状態）が安定であり、中間の車頭距離で後述のような不安定を示すことである。

そのような一様流の線形安定性は

$$\alpha/2 < V'_{optimal} (L/N) \cdots (2)$$

のとき失われ、渋滞相への転移が生じると考えられる。一方、渋滞の解消は非一様流からの転移となる。ここでは、数値シミュレーションによって検討する。

### 4. 最適速度モデルの有効性

最適速度モデルでは車頭距離によって最適な速度を決めているが、運動法則に速度が出現するのは力学的に言えば有効理論の特徴であって、より基本的な力学法則から基礎付けることが可能であろう。また、最適速度モデルがリアリティのあるモデルかどうかを数値シミュレーションによって、詳しく検討する必要がある。

### 5. 渋滞発生と解消の動的シミュレーション

従来のシミュレーションでは、揺らぎのない一様流が解であることをもちいて、そこに揺らぎを持ち込む。そのため、全車両数は変化しない。渋

滞発生と解消の動的な機構を調べるため、ここでは動的な手法として、実際に道路上に出入口を用意し車両を増減させる。しかし、その場合には、出入りのアルゴリズムに依存する部分と系の内的な性質を注意深く分離することがもとめられる。

## 6. 予備的な結果

### 6-1 渋滞の発生点と解消点

一方通行、一車線の長さ  $L$  のサーキットに  $N$  台の車両を走行させる数値シミュレーションを行った。渋滞の発生点 ( $L/N \approx 2.86$ ) は、予想されるとおり、ほぼ一様流の線形安定性が破れる点 ( $L/N = 2.88$ ) と一致しており、それに対して、解消点 ( $L/N \approx 3.51$ ) はかなり低い車両密度に対応している。また、 $L/N \approx 3.51$  という値は系の大きさ  $L, N$  に依存せずに決まる。この値がどのようにして決まっているのか検討すべきである。発生点と解消点の大きな違いは、自然渋滞を未然に防ぐことの重要性を示している。

### 6-2 渋滞領域の規模と数、渋滞車両数

一様流に揺らぎを導入する方法によって、発生する渋滞がどのように変わるかというシミュレーションを行った。車両1台のみに揺らぎを入れ渋滞を発生させたときには、1つの大きな渋滞と多くの小さな渋滞が発生する。1つの大きな渋滞は系の大きさ  $L, N$  とともに大きくなる。これは、1つの車両の揺らぎが直接の原因となって発生し、不安定化による自然渋滞の発生とは異なるものと考えられる。実際、全ての車両にランダムな揺らぎを導入するシミュレーションでは、このような大きな渋滞は生じない。

複数の小さな渋滞 (30-40 台程度) については、その個数は系の大きさ  $L, N$  にほぼ比例するが、30-40 台という渋滞の大きさは依存しない。また、揺らぎの入れ方にも依存せず、これは自然渋滞の発生の特徴と見ることができる。30-40 台という規模が、どのような機構で決まっているのか、興味深い。

## 7. まとめにかえて (今後の計画)

現時点では十分な結果は得られていないが、今後、

- (1) 最適速度モデルに基づいて、動的シミュレーションを行い、渋滞の発生点・解消点とその動的な機構、渋滞の規模と数、系の大きさや出入りアルゴリズムに対する依存性などの詳細な検討。
- (2) より一般的な追従モデルによる解析的、数値的検討を行い、最適速度モデルの基礎付け、および、より現実的なモデルの構築。
- (3) 実際の渋滞発生と解消の記述を通じて、出入り管理、速度規制などの交通制御の問題への応用

などに取り組みたい。