

# 先進運転支援システムに着目した交通流モデルの提案

首都大学東京大学院 知能機械システム学域 M2 呉 承剛 (児島研究室)

## 1.はじめに

### 研究背景

交通渋滞は経済もたらした。交通渋滞に対しては、ASV(Advance Safety Vehicle) が渋滞解消の1つ活動の阻害, 交通事故の増加, 環境の悪化など深刻な社会問題を対策として注目されている。

### MLD (Mixed Logical Dynamical System)システム

離散事象と連続事象を同時に扱えるため, モード遷移が可能. 車両の動特性や車線変更のモードを記述するため導入。

### 研究課題

近年, ASVといった新技術の普及率が大幅に上がっており, 複数の運転支援システムが同時に導入される場合での影響を考慮されていない。

### 研究目的

ACC (Adaptive Cruise Control)やCACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) を搭載した複数のASVを考慮した交通流モデルを構築し, 交通流に与える影響を検討。

## 2.車両の基本モデル

車両運動を質点の運動ととらえ, 自転車以外の車両を障害物として回避行動をMLD (Mixed Logical Dynamical) システムを用いて表現する. ACC車両を含めた交通流モデルを用いて目標点への最適な挙動を表現する[1][2].

### 車両のダイナミクス

$$f_x = m\ddot{x}$$

$$\dot{s} = A_c s + B_c u$$

$$s = [x \quad v_x]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 \\ m \end{bmatrix}^T$$

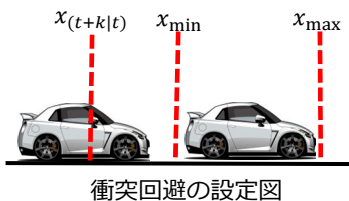


### 衝突回避条件

$$x(t+k|t) \leq x_{\min} + M\delta_1(t+k|t)$$

$$-x(t+k|t) \leq -x_{\max} + M\delta_2(t+k|t)$$

$$\sum_{i=1}^2 \delta_i(t+k|t) \leq 1$$



### 走行モード

■ 一般車: 先行車との車間距離  $D$  [m] により加速度制約を定める。

自由走行  $D \geq 40$  [m]

$$a_{x\min} \leq \frac{1}{m} f_x \leq a_{x\max}$$

追従走行  $D < 40$  [m]  $\frac{1}{m} f_x = k_1[(D-15)] + k_2[v_{x+1}(t-\tau) - v_x(t-\tau)]$   
 $k_1 = 0.212 \quad k_2 = 0.645 \quad \text{反応遅れ時間: } \tau = 0.6 \sim 1.0$  [s]

減速走行  $D \leq G$  [m]

$$a_{x\min} \leq \frac{1}{m} f_x \leq 0$$

安全車間距離:  $G = 0.0029 \cdot (v_x \cdot 3.6)^2 + 0.3049 \cdot (v_x \cdot 3.6)$

### モデル予測制御

モデル予測制御(MPC: Model Predictive Control): 各時刻で未来の応答を予測しながら最適化を行う制御手法である。

$$J = \sum_{l=1}^{N-1} \{ (s(t+l|t) - s_f)^T Q (s(t+l|t) - s_f) + (u(t+l|t))^T R u(t+l|t) \}$$

$$\min_u J, U = \{u(t|t), u(t+1|t), \dots, u(t+N-1|t)\}$$

subj. to  $\begin{cases} \text{状態方程式} & \text{各制約条件, 走行状態のもとで評価関数を最小にする2次計画問題に帰着し, 車両の運動を表現する.} \\ \text{速度・加速度制約} \\ \text{衝突回避条件} \end{cases}$

### ASVの挙動表現[4]

IDM(Intelligent Driver Model)+: 自車速度及び先行車両との速度により加減速度制御を定める。

$$\frac{1}{m} u_f = a_{x\max} \cdot \min \left[ 1 - \left( \frac{v_x}{v_d} \right)^4, 1 - \left( \frac{s^*}{D} \right)^2 \right]$$

■ ACC車: 先行車との車間時間  $g_d$  [s] により加速度制約を定める。

$$s^* = g_d \cdot v_x + \frac{v_x \cdot (v_{x-1} - v_x)}{2\sqrt{a_{x\max} a_{x\min}}}$$

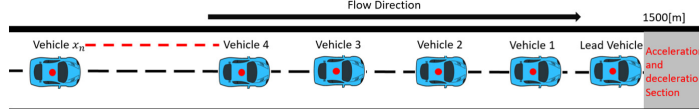
■ CACC車: 先行車との車間距離  $s_0$  [m] により加速度制約を定める。

$$s^* = s_0 + \frac{v_x \cdot (v_{x-1} - v_x)}{2\sqrt{a_{x\max} a_{x\min}}}$$

## 3.シミュレーション

### シミュレーション[1]

先頭車は急に加減速度することを想定し, ACC交通流モデルの円滑化を検討する。



### 条件

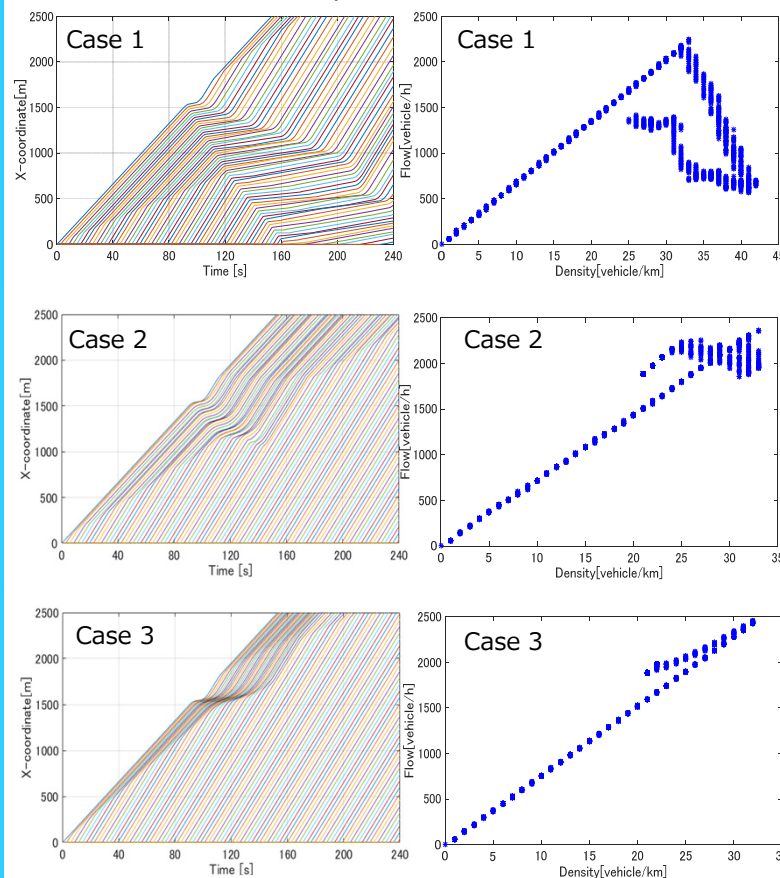
- 初期状態: Vehicle1:  $\begin{bmatrix} 0 \\ 16.6 \end{bmatrix}$ , Vehicle2:  $\begin{bmatrix} -60 \\ 16.6 \end{bmatrix}$ , ...
- 最大速度: 90[km/h] ● 流入速度: 60[km/h]
- 流入間隔: 60[m] ● シミュレーション時間: 200[s]

Case 1: 先頭車の後続車を一般車に配置する場合

Case 2: 先頭車の後続車をACC車 (30%) にランダム配置する場合

Case 3: 先頭車の後続車をACC車 (30%) に連続配置する場合

### 結果と考察 (左: 走行軌跡図, 右: 基本図)



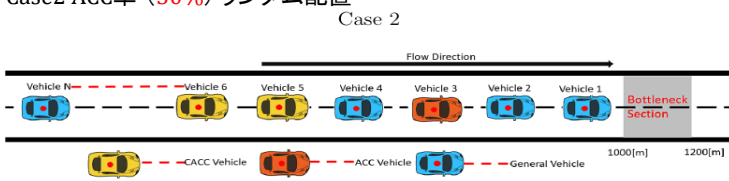
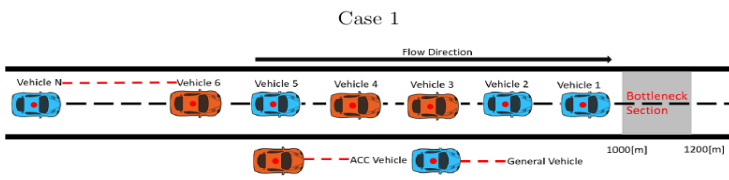
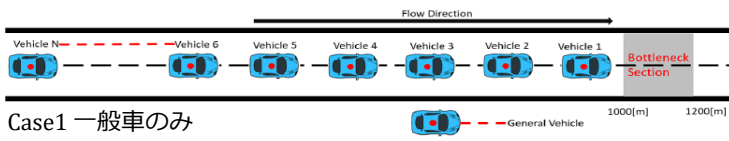
- 後続車が先頭車の減速や加速した影響を受け, 速度変動が大きくなり, 増幅伝搬することが確認した。
- Case 2, Case 3の場合はACC車 (30%) により加減速の影響が抑制させることを確認した。さらに, Case 3はCase 2より加減速の影響に抑制効果が上回ることを確認した。

# 先進運転支援システムに着目した交通流モデルの提案

首都大学東京大学院 知能機械システム学域 M2 呉 承剛 (児島研究室)

## ■シミュレーション[2]

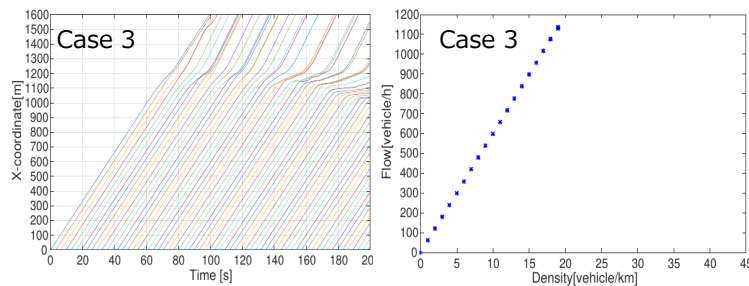
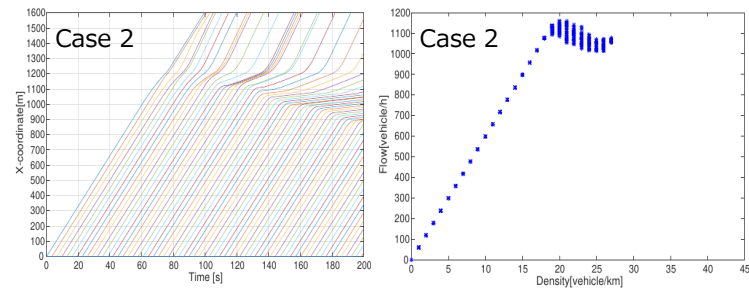
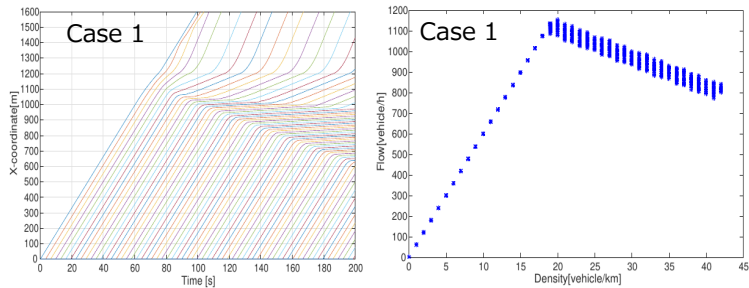
ACCとCACC車が混在した場合の渋滞状況を観察するために1000[m]~1200[m]にボトルネックを設けたシミュレーションを行った。



### ◆ 条件

- 初期状態: Vehicle1:  $\begin{bmatrix} 0 \\ 16.6 \end{bmatrix}$ , Vehicle2:  $\begin{bmatrix} -50 \\ 16.6 \end{bmatrix}$ , ...
- 最大速度: 80[km/h] ● 流入速度: 60[km/h]

### ◆ 結果と考察 (左: 走行軌跡図, 右: 基本図)



- Case 1より, ボトルネック区間や反応遅れ時間などの影響で減速波が増幅伝播されていることを確認した。
- ACCシステム, CACCシステムを導入することで, 渋滞が抑えられていることを確認した。
- Case 3はCase 2より渋滞に抑制効果があることを確認した。

## ■シミュレーション[3]

提案モデルに基づいて, CACC車群走行の考察を行う。



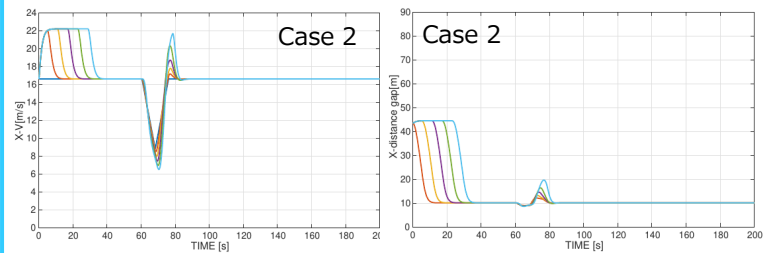
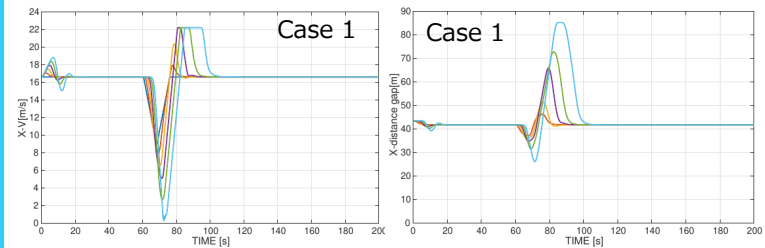
### ◆ 条件

- 初期状態: Vehicle1:  $\begin{bmatrix} 0 \\ 16.6 \end{bmatrix}$ , Vehicle2:  $\begin{bmatrix} -60 \\ 16.6 \end{bmatrix}$ , ...
- 最大速度: 80[km/h] ● 流入速度: 60[km/h]
- 流入間隔: 60[m] ● CACC希望車間距離: 10[m]

Case 1: 一般車のみ

Case 2: CACC車のみ

### ◆ 結果と考察 (左: 車間距離図, 右: 速度図)



- Case 1の速度図より, 先頭車がボトルネック区間により減速した影響を受けたものとして, 後続車は人の反応遅れの影響によりさらに減速し, 速度が回復する際には, 22.2 [m/s]まではオーバーシュートする様子が確認できる。Case 2では減速波の増幅伝搬が抑制されていることを確認し, 速度が回復する際にもCase 4より早い。
- Case 1とCase 2の車間距離図を比較すると, Case 1では車間距離が大きく振動があり, 収束は40[s]かかったことがわかる。一方, Case 2では車間距離が設定した10 [m]維持しながら車群走行を行うことを確認し, 収束Case 4より20 [s]は早いことがわかる。

## 4.まとめと今後の展望

- ✓ MLDシステム表現を用いて渋滞緩和効果に着目したACCモデル及びACCとCACCシステムが混在した交通流モデルの提案を行った。
- ✓ 先進運転支援システム (ACC・CACC) の導入により渋滞への抑制効果を確認した。
- ✓ CACCシステムが車群走行することで, 渋滞発生の要因である減速波の増幅伝搬が抑えられることを確認した。

- 複数支援システムを用いた自動運転車が普及することによる影響を調べる。

## 参考文献

- [1] 横江, 石橋, 児島: ハイブリットシステム表現に基づく交通流モデルの提案 計測自動制御学会 第13回制御部門大会 (2013)
- [2] Y.Sone and A.Kojima: Lane Change Model of Vehicles Based on a Hybrid System Approach, Proc. of SICE Annual Conference (2017)
- [3] Roberto C. Ambrosio-Lázaro, Luis Alberto Quezada-Télez, Oscar A. Rosas-Jaimes, Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference of Control, Dynamic Systems, and Robotics (CDSR'18), Niagara Falls, Canada, PP.107 (2018)
- [4] R.Horiguchi and T.Oguchi: A study on Car Following Models Simulating Various Adaptive Cruise Control Behaviors, International Journal of Intelligent Transportation System Research (2014)