

# セルオートマトンモデルを用いた 自動運転がもたらす交通への影響

NTTデータ数理システム 学生研究奨励賞発表

---

早稲田大学 創造理工学部 経営システム工学科 蓮池研究室

1X17C068-6 櫻井 陸

# アウトライン

---

1. 研究背景
2. 研究目的・研究背景
3. 先行研究
4. シミュレーション手法
5. 実験結果・考察
6. 結論・今後の課題

# 研究背景

- 近年の交通状況の変化…自動運転車の増加

- 官民ITS構想・ロードマップによると…

- 2020年：高速道路での自動運転（レベル3）

- 2025年：高速道路での自動運転（レベル4）

⇒ 今後、自動運転の増加は確実

- 自動運転が交通にもたらす効果

- 人的事故の減少

- 渋滞の解消・緩和効果

- 環境負荷軽減効果

- 一定速度以下での車線維持、車両間隔維持、速度調整を自動で実施
- 本線上で自動運転を開始できる
- 本線上で自動運転を終了する

- 特定条件下で完全自動運転
- システムが運転を実施（無人でも可）

# 研究目的・研究概要

## ◆研究目的

- 自動運転車をもたらす交通への影響について評価・分析すること

## ◆研究概要

- 渋滞学の基本手法であるセルオートマトンモデルを用いてシミュレーションを行う
- 通常運転車・自動運転車の割合や量を変化させ、交通流に与える影響について調査する
- 渋滞を抑える条件や状況設定を考える



# 先行研究

## ■ 確率速度モデルとCA法による交通シミュレーション

玉城龍洋，安江里佳，北英輔 情報処理学会論文誌 45(3), 858-869, 2004-03-15

### 概要

- 車両の速度の変動を表現する確率速度モデルを提案
- 提案したモデルにもとづく車の行動ルールを定義
- 解析対象は信号機などを考慮しない自動車専用道路で、セルオートマトンモデルを用いて表現
- 再現を評価する際には、車両密度－流量の関係をグラフに表現し、比較を行う

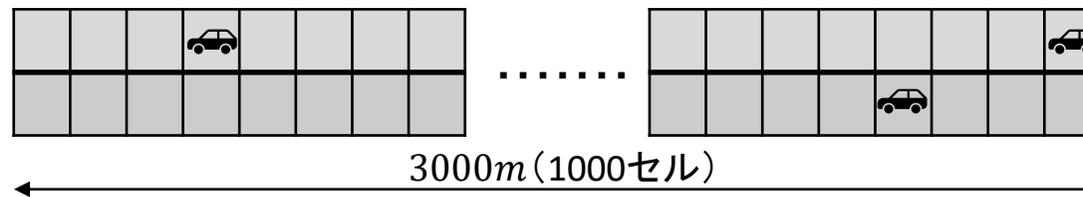
### 結果

- 定義したルールを用いて、実際の自動車専用道路に近い交通流の再現が可能

# シミュレーション手法

## ◆解析領域

- 片側二車線の自動車専用道路を再現する
- 各セルの大きさは3mとし、1セルに車が1台入る大きさとしている
  - ▶車両ごとの大きさの違いは考慮しない
- 流入地点と流出地点で周辺境界条件を取る
  - ▶流出地点から出た車両が反対側の流入地点から進入すること
  - ▶車両密度を一定に保つことができる



# シミュレーション手法

## ◆ 確率速度モデル

車両速度を確率変数を用いて表現するモデル

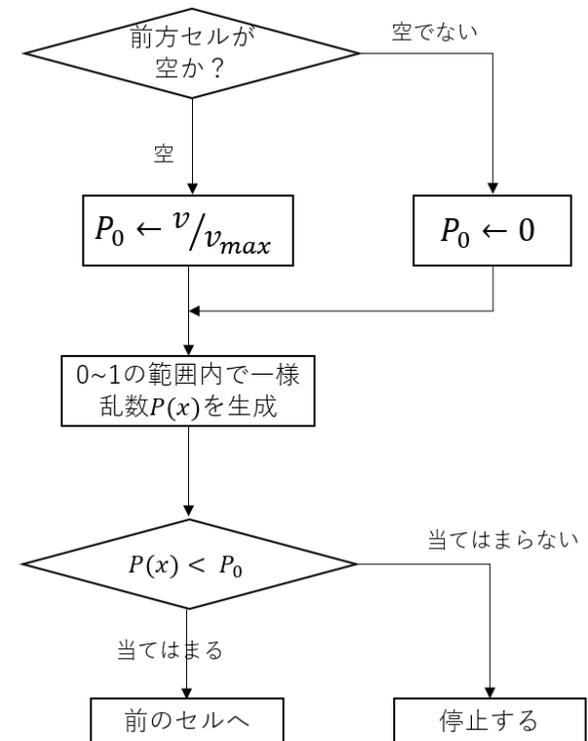
(1)  $P_0$  を次式より求める

$$P_0 = \frac{v}{v_{max}}$$

(2) 0~1の範囲で、一様乱数 $P(x)$ を生成する

(3)  $P(x) < P_0$  のとき、1セル進む

このモデルを利用して車両の進み方のルールを定める



# シミュレーション手法

## ◆安全車間距離 $G_s$ ：前方車両と保とうとする距離

速度 $v$ の車両が取るべき車間距離 $G_s^0 =$  空走距離 + 制動距離

$$G_s^0 = vT + \frac{v^2}{2\mu g}$$

$T$ ：反応時間,  $\mu$ ：摩擦係数=0.7,  
 $g$ ：重力加速度=9.8 m/s<sup>2</sup>

### □ 通常運転車

$T$ ：0.2~1.1sの一様分布

運転者の個性や車両特性に依存して安全車間距離は決まる

- 最小安全車間距離 $G_s^{min}$ を取り入れた式とする
- $G_s^{min}$ は6~21mで車両ごとにランダムに決定

$$G_s = \begin{cases} \max(G_s^0, G_s^{min}) & (v > 0) \\ 0 & (v = 0) \end{cases}$$

### □ 自動運転車

$T$ ：0.1s

運転者の個性や車両特性に依存しない

- 安全車間距離=取るべき車間距離

$$G_s = G_s^0$$

# シミュレーション手法

## ◆ 速度ローカルルール：

前方車両との車間距離 $G$ と求めた安全車間距離 $G_s$ により速度の制御を行うルール

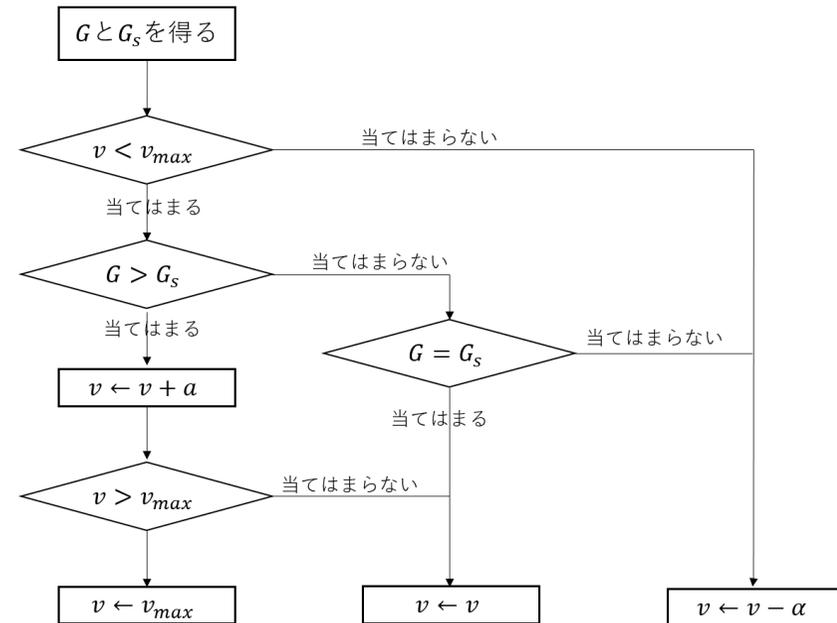
(1)  $v < v_{max}$  または  $G_s > G$  の場合、 $v \leftarrow v - a\Delta t$

(2)  $G_s = G$  の場合、速度 $v$ を維持する。

(3)  $G_s < G$  の場合、 $v \leftarrow v + a\Delta t$

(4)  $v < 0$  の場合、 $v \leftarrow 0$  とする

- ▶ 1タイムステップ  $\Delta t = 0.1s$
- ▶ 最高速度 $v_{max}$ は、75.6~108km/hからランダムに決定
- ▶ 加速度 $a$ は、0.6~0.9  $m/s^2$ からランダムに決定



# シミュレーション手法

## ◆ 通常運転車基本行動ローカルルール :

1 タイムステップの通常運転車の行動を定めたルール

(1) 走行車線の前方車両との車間距離 $G_0$ と隣車線の前方車両との車間距離 $G_1$ を得る

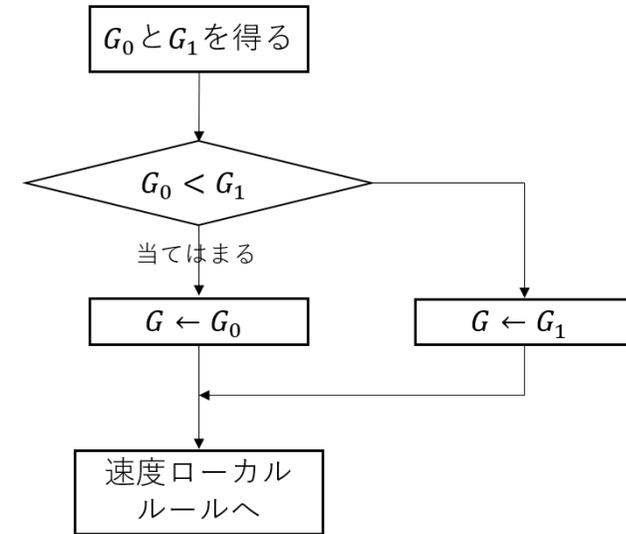
(2) 現在の速度 $v$ から安全車間距離 $G_s$ を計算する

(3)  $G_0 > G_1$ の場合、 $G \leftarrow G_0$ とし、

$G_0 < G_1$ の場合、車線変更し $G \leftarrow G_1$ とする

(4) 速度ローカルルールに進み、速度を変更する

(5) 確率速度モデルに基づき、前方セルへ進む



# シミュレーション手法

## ◆ 自動運転車基本行動ローカルルール：

1タイムステップの自動運転車の行動を定めたルール

- (1) 走行車線の前方車両との車間距離 $G_0$ を得る
- (2) 現在の速度 $v$ か安全車間距離 $G_s$ を計算する
- (3)  $G \leftarrow G_0$ とし、車線変更は行わない
- (4) 速度ローカルルールに進み、速度を変更する
- (5) 確率速度モデルに基づき、前方セルへ進む

本研究では…自動運転車はレベル3を想定  
車線変更を行わず前方車両に追従する車両  
として扱う

速度の制御に関しては、  
通常運転車と同様のルールを用いる

# シミュレーション手法

---

## ◆ シミュレーション手順

- (1)通常運転車・自動運転車の各台数を設定し、解析領域にランダムに配置する
- (2)7200秒（2時間）分、各車両行動ルールに基づいて車両を動かす
- (3)3600秒経過し交通流が定常状態になった後にデータを測定する

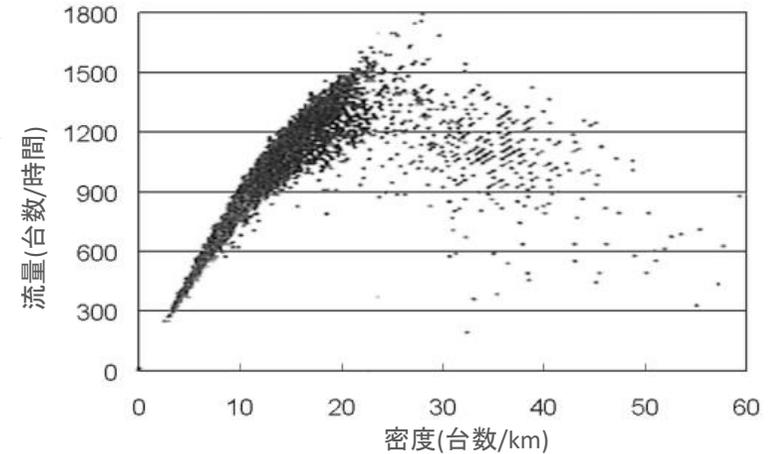
シミュレーションには、S-Quattro Simulation System ver6.0 を使用

# 実験結果[1]

## ●通常運転車のみの場合の交通流

- 実際の高速道路の交通流と比較
- 流量一車両密度の関係で比較
- 実データは1998年8月東名高速道路下り岡崎一豊田間

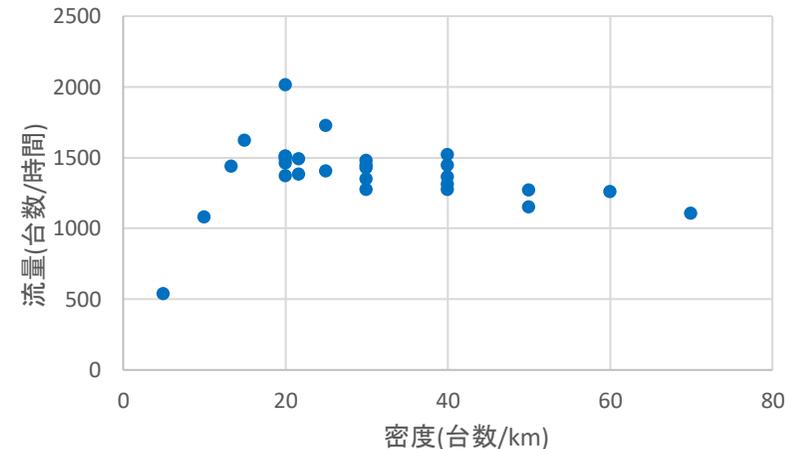
(参考文献[1]から引用)



実データ (参考文献[1]から引用)

## 結果・考察

- 密度20(台数/km)未満では渋滞が発生せず、流量は密度の増加とともに増加している
- 密度20~30(台数/km)程度では流量のばらつきが生じ、同一の車両密度でも渋滞が発生する場合と発生しない場合がある
  - この現象はメタ分岐現象と呼ばれ、実際の交通流でも生じる現象である
  - 本研究のシミュレーションで実際の交通流の再現ができています
- 密度30(台数/km)を超えると、流量がさらに少なくなり、渋滞が慢性的に起き、交通流が流れにくくなっていることが分かる

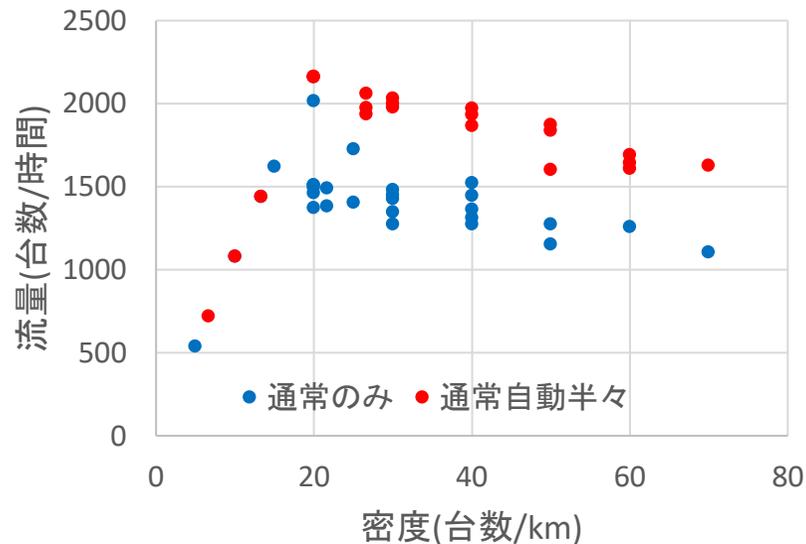


本研究のシミュレーションから得られたデータ

# 実験結果[2]

## ●自動運転車による交通への影響

➤通常運転車のみ／通常運転車と自動運転車半分ずつで比較

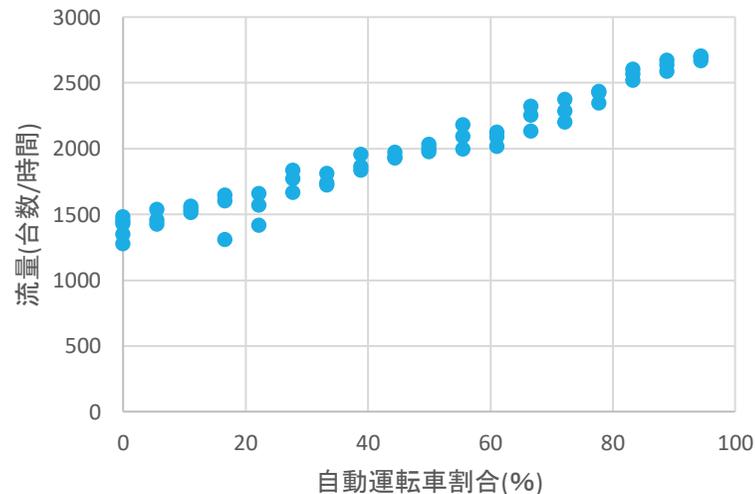


## 結果・考察

- 密度20(台数/km)未満だと、どちらでもほぼ同じ流量になる
- 渋滞が発生しない場合、自動運転車が交通流に与える影響は少ない
- 密度20(台数/km)を超え、渋滞が発生すると自動運転車を含む交通流の方が流量が大きくなる
- また、自動運転車を含む場合の方がばらつきが小さくなる
- 渋滞が発生する場合、自動運転車による影響はどの程度なのだろうか（続いての実験へ）

# 実験結果[3]

- 自動運転車の割合の変化による影響を比較
  - 渋滞が発生する条件で、自動運転車の割合を変化させて検証
  - 検証結果[2]より密度30(台数/km)の場合で検証



## 結果・考察

- 自動運転車の割合の増加とともに流量も多くなる
- 自動運転車割合が0%と95%で比較すると流量がほぼ倍増する
- 通常運転車の割合が大きい方がデータのややばらつきが大きい（データが少ないので不確実）
- 自動運転車を含む場合の方が車間距離を短く取ることができるので、交通流が円滑になりやすいと考えられる

# 結論・今後の課題

## ◆ 結論

- 自動運転車増加により渋滞の解消が見込まれる
- 渋滞が生じない場合、自動運転車が交通に与える影響は少ない
- 混雑した状況でも自動運転車が多い方が交通流が円滑に流れやすい

## ◆ 今後の課題・追加研究に向けて

- 他の切り口から結果を検討したい（多角的に結果を考察）
- 自動運転車にも様々な種類があることを考慮した実験
  - レベル4の自動運転車を考慮することや、車間距離の設定に幅を持たせるなど
- 他の道路における自動運転車の影響を調べる
- 道路の速度規制や、初期車両配置を別の条件設定にした場合の影響を調べる

# 参考文献

---

- [1].確率速度モデルとCA法による交通シミュレーション  
玉城龍洋, 安江里佳, 北英輔 情報処理学会論文誌 45(3), 858-869, 2004-03-15
- [2].速度制限区間によって発生する交通渋滞と特性  
増倉秀一, 端浦宏俊, 長谷隆 日本流体力学会、ながれ28(1), 2009-02
- [3].官民ITS構想・ロードマップ2020,  
[http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20200715/2020\\_roadmap.pdf](http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20200715/2020_roadmap.pdf)
- [4].西成活裕、クルマの渋滞 アリの行列、技術評論社 (2007)
- [5].適切な車間距離のあり方に関する調査研究、自動車安全運転センター  
調査研究報告書、2007-03