

3車線高速道路における心理的状況を反映した交通シュミレーション

水谷, 亮 / MIZUTANI, Ryo

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院情報科学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 情報科学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 情報科学研究科編

(巻 / Volume)

9

(開始ページ / Start Page)

161

(終了ページ / End Page)

166

(発行年 / Year)

2014-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00010539>

3 車線高速道路における心理的状況を反映した 交通シミュレーション Psychological Traffic Simulation System on a Three-Line Highway

水谷 亮

Ryo Mizutani

法政大学大学院 情報科学研究科 情報科学専攻

E-mail: ryo.mizutani.5g@stu.hosei.ac.jp

Abstract

In recent years, the rapid progress of information technology in automobiles has been bringing an increasing attention to a fully automatic driving system. The realization of the automatic driving system requires sufficient experiments and analyses, which need enormous time and cost when these are carried out using real cars because of the risk of having serious accidents. A traffic simulation system, which is proposed in this paper using psychological aspects of drivers, reduces time and cost in experiment and analyses. The traffic simulation system has three psychological types: aggressive; careful; and situation-dependent. Psychological Traffic Simulation System (PTSS) has been realized using Netlogo and has capability of analyzing traffic jams on a three-line highway. Results of experiment and analyses using PTSS are also described in this paper.

Keywords- 高度道路交通システム, 交通シミュレーション, Netlogo, 心理学的状況

1 はじめに

近年, 自動車の運転支援システムが普及しつつある。プリクラッシュセーフティシステム (PCS) やアダプティブクルーズコントロール (ACC)[5] は代表的な例であり, これらは車の衝突事故の防止やドライバへの快適性の向上が目的となっている。このような運転支援システムの発展の延長線上には自動運転システムがあり, 自動運転システムは究極の ITS(Intelligent Transport Systems)[2] ともいわれている [1]。自動運転システムの実現は安全と効率に役立ち, 例えば高速道路の渋滞時のヒューマンエラーによる事故や渋滞発生 [3][4] の抑制が可能になると考えられている。一時期, 自動運転システムは実用化の見込みがみられずに関心が薄れたが, 今年度開催されたアジア最大級規模の映像・情報・通信の国際展示会 CEATEC(Combined Exhibition of Advanced Technologies) JAPAN 2013 では, 日産自動車が一般道路における自動運転システムの走行デモンストレーションを実施した。具体的には, 有人運転自動車

両と自動運転自動車を同時に走らせ, 交差点や駐車車両に遭遇した場合に, 自動運転自動車がどのように反応するかといったデモンストレーションである。技術進化に伴う自動車の IT 化により近年再び自動運転の関心が高くなっており, 実社会での自動車の自動運転システムの実現が迫りつつある。それでもなお, 自動運転システムの実現が困難を強いられる。実現のための実験は危険を伴うため, 数台で行う等小規模から行われている。地域と協力して実験を行っている例も存在する。実際の交通環境での実験は不可欠であるが, 実験と分析には多大な時間や費用がかかる。この負担を軽減するためには交通シミュレーションを用いることが有効である。

従来の交通シミュレーションでは高速道路の交通流に関する研究が長年行われており, モデル化の手法は流体モデル・追従モデル・セルオートマトンモデルの 3 種に大別されている。流体モデルはマクロな視点からのモデルであり, 追従モデルとセルオートマトンモデルはミクロな視点からのモデルであり, 追従モデルは連続モデルに対し, セルオートマトンは離散モデルである。これらの研究では交通の基本概念をモデル化し, 流量と車両密度からメタ安定相 [8] の発生メカニズムを解明することによって自然渋滞の発生軽減や渋滞解消を目指している。

本研究の交通シミュレーションでは心理的要素を取り入れた Psychological Traffic モデルを提案する。複雑系システムでは, 群集の行動予測をするときに, 「群集と反群集」というモデルが着目されている [9]。本論文でも対峙する心理的要素を導入することを考える。それぞれが意志決定して行動する 3 種類の自律エージェントを定義したマルチエージェントベースのモデルである。提案モデルに基づきマルチエージェントプログラムが可能なモデリング環境 Netlogo[6] を用いて 3 車線高速道路を想定した交通シミュレーション (Psychological Traffic Simulation System) の開発とそれを用いた実験例を紹介する。

2 シミュレーションモデル概要

人間による運転操作と自動運転システムが混在した道路状況をシミュレーションすることを目指している。本研究ではより人間らしい運転を表現するために心理モデルを用いている。決められたルールにのみ基づいて行動するものと周囲の状況に応じて行動するものを定義

する。それぞれの車が自身で判断して走行することから自律型走行車モデルとして考える。本研究のシミュレーションの結果から自律型自動走行運転システムの導入のための走行指針を得ることを目指す。具体的には、一定時間内においての各心理の速度・移動量・満足度等からモデル別のシミュレーション結果を考察することによって自動運転システムの走行法について検討する。

3 Psychological Traffic モデル

本研究では3種類の運転心理を車の運転モデルとして定義する。それぞれの心理モデルの説明は以下である。

3.1 消極的心理

制限速度に近い速度で運転する心理で、左寄りの車線を走り続け、制限速度付近での走行を試みる。生真面目な性格や安全運転を意識する運転手が対象となる。また、軽自動車やコンパクトカー等速い速度で走らない運転手もこの対象である。

消極型心理における特徴は、左側2車線上で走行することである。加速・減速と車線変更を行動にとる。これらの行動のための条件は前方に車が存在するか、隣の車線に車がいるか、自身がどの車線を走行しているかである。状況による行動の例を図に示す。それぞれの状況を3桁の二進数で示す。車両の移動候補に車が存在すれば1、存在しないとき0とし、左車線・中央車線・右車線の順で示す。例えば図1内の左の図において、左車線の後方を走行している車を自車とすると、左側車線の前方のみ車が存在している。この状況は100となり、このときは減速または車線変更を行うものとする。同様に図1の真ん中の図は中央車線走行中において100のときは加速行動を取り、右図では010のとき減速行動を意味する。このようにして左車線と中央車線時の行動パターンの論理式表をそれぞれ表1、2に示す。

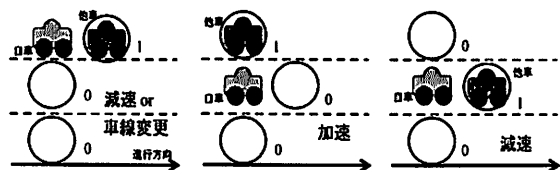


図1. 消極型心理の行動パターン例

表1. 消極型心理の左車線走行時の行動パターン

左車線	中央車線	右車線	行動
0	0	x	加速または車線変更
0	1	x	加速
1	0	x	減速または車線変更
1	1	x	減速

表2. 消極型心理の中央車線走行時の行動パターン

左車線	中央車線	右車線	行動
0	0	x	加速または車線変更
1	0	x	加速
x	1	x	減速

3桁の二進数によって8つの行動パターンが挙げられるが、消極型心理では左側2車線のみの走行し右側車線の状況によって行動パターンの変化はないため、簡略することができる。

3.2 積極型心理

制限速度を超えて速い運転しようとする心理で、走行中前方に車がいるときは車線変更を行って走行しようとする。強気やせっかちな性格や急いで走ろうとする運転手が対象となる。また、スポーツカーのような速い速度で走る車や走り屋と呼ばれるような運転手もこの対象である。

積極型心理では、3車線全ての車線上で加速・減速・車線変更を行動にとる。またこれらの行動パターンを消極型心理と同様に論理式表として左車線時、中央車線時、右車線時の順に表3~5に示す。

表3. 積極型心理の左車線走行時の行動パターン

左車線	中央車線	右車線	行動
0	0	x	加速または車線変更
0	1	x	加速
1	0	x	車線変更
1	1	x	減速

表4. 積極型心理の中央車線走行時の行動パターン

左車線	中央車線	右車線	行動
x	0	x	加速
x	1	0	車線変更
x	1	1	減速

表5. 積極型心理の右車線走行時の行動パターン

左車線	中央車線	右車線	行動
x	0	0	加速または車線変更
x	1	0	加速
x	x	1	減速

積極型心理は3車線全てで走行するため24の行動パターンが考えられる。しかし、消極型心理と同様に論理式を簡略できる。左車線走行時は右車線の状況によって影響がないため4パターンに絞れる。また積極型の走行心理から主に右2車線を走行するため、中央車線と右車線走行時は左車線の状況に影響されず、それぞれ3パターンに簡略できた。中央・右車線走行時、積極型心理を対象とする運転手の中には前方に車両がいる際ひとつ左へ車線変更して追い越し行動の可能性も存在するが、一般的に右側車線が追い越し車線であり、そのような行動は交通マナーに反するため本研究ではこれを考慮しないものとする。

3.3 環境依存型心理

周りの状況に応じて適切な運転を試みようとする心理で、混雑していると判断した状況下では周りに合わせて走行を試み、混雑でないと判断した状況では加速を試みる。運転慣れや協調性のある運転手であり、最も一般的なものである。

環境依存型は、周りの状況を判断して快適に走行できると考えられる運転を試みる心理とするが、これは非常に曖昧な表現となる。本研究では、左車線または中央車線を走行時に、その一定前方とひとつ右車線の一定前方それぞれの混雑具合によって消極型行動あるいは積極型行動をとるものとする。図2は判断の例を示している。

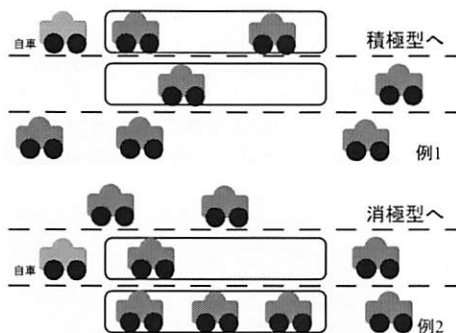


図 2. 環境型心理の選択

3.4 モデル定義

Psychological Traffic モデル (以降 PT モデル) の記述に用いる記号を以下に定義する.

1. L : 道路の長さ (座標)
2. T : 最大シミュレーション時間
3. N_{alp} : 道路上に存在する心理 alp の車の数.
 alp は A, B, C の 3 つあり, A は積極型, B は消極型, C は環境依存型心理である. (N_A, N_B, N_C)
4. N : 道路上に存在する車の数. 3 との数式関係は以下

$$N = N_A + N_B + N_C$$

5. $v_{alp,i}(t)$: 時刻 t における車 i の速度. 3 と同様に $v_{A,i}$, $v_{B,i}$, $v_{C,i}$ の 3 種類.
6. $v_j(t)$: 時刻 t において前方車が存在する時, その車 j の速度.
7. v_{limit} : 車道の制限速度
8. $Max\ v_{alp,i}$: 心理 alp の車 i が希望する最高速度. 7 との数式関係は以下.

$$Max\ v_{alp,i} = v_{limit} + \tau_{alp} \quad (\tau_{A,i} > \tau_{C,i} > \tau_{B,i})$$

実際の車道では制限速度よりも少し速い速度で走っている傾向が多いため、 $v_{alp,i}$ は v_{limit} よりも大きくなることもある。 $\tau_{alp,i}$ は心理 alp の車 i における乱数値である。

9. $V_{alp}(t)$: 時刻 t における心理 alp の車の平均速度
 , 式 3. 5 による数式関係は以下,

$$V_{alp}(t) = \frac{1}{N_{alp}} \times \sum_{i=1}^{N_{alp}} v_{alp,i}(t)$$

10. $p_{alp,i}(t)$: 時刻 t における心理 alp の車 i の満足度, 単位は % であり, 式 5, 8 によって導かれる.

$$p_{alp,i}(t) = \frac{v_{alp,i}(t)}{Max\ v_{alp,i}} \times 100$$

11. $P_{alp}(t)$: 時刻 t における心理 alp の平均満足度. 3, 10 によって導かれる.

$$P_{alp}(t) = \frac{1}{N_{alp}} \times \sum_{i=1}^{N_{alp}} p_{alp,i}(t)$$

12. $x_{alp,i}(t)$: 時刻 t における心理 alp の車 i の座標
13. a_{alp} : 加速度. a_A と a_B の 2 種類のみである. 環境依存型の加速量は, 消極型または積極型行動の選択にそれぞれ依存する.
14. d_{alp} : 減速度. a_A と a_B の 2 種類のみである. 環境依存型の加速量は, 消極型または積極型行動の選択に

それぞれ依存する。

以上の記号を前提とし，PT モデルにおける運転ルールは以下である．

- (1) 加速

$$v_{alp,i}(t) \leftarrow v_{alp,i}(t-1) + a_{alp} \times 1 + \delta_{alp,i}$$
 if $v_{alp,i} > \text{Max } v_{alp,i}$

$$v_{alp,i}(t) \leftarrow \text{Max } v_{alp,i}$$
 (* $\delta_{alp,i}$ は心理 alp の車 i における乱数値)
- (2) 先行車を原因とする減速

$$v_{alp,i}(t) \leftarrow v_j - d_{alp}$$
 if $v_{alp,i}(t) < 0$

$$v_{alp,i}(t) \leftarrow 0$$
- (3) 移動

$$x_{alp,i}(t) \leftarrow x_{alp,i}(t-1) + v_{alp,i}(t) \times 1$$

図 3. PT モデルの運転ルール

4 Psychological Traffic Simulation System の実装

4.1 Netlogo

本研究では Netlogo を用いて運転心理交通シミュレーションを実現した。Netlogo は Northwestern 大学の Uri Wensky らによって開発され、自然現象や社会現象をシミュレーションする為のプログラミング環境である。Netlogo はエージェント (agent) で成り立っている。エージェントは与えられた命令通りに動くものであり、タートル (turtle)、パッチ (patch)、リンク (link) の 3 種類がある。タートルはプログラム内で動くオブジェクトであり、パッチは四角い領域であり、背景である。タートルは動くことが可能である。本研究では車をタートル、3 車線道路をパッチで表現しており、車はサーキットのように右方向に周回して 3 車線道路上を移動する。積極型心理は赤いタートル、消極型心理は青いタートル、環境依存型心理を薄青色とオレンジ色のタートルで表現し、実現した PTSS (Psychological Traffic Simulation System) は図 4 に示す。

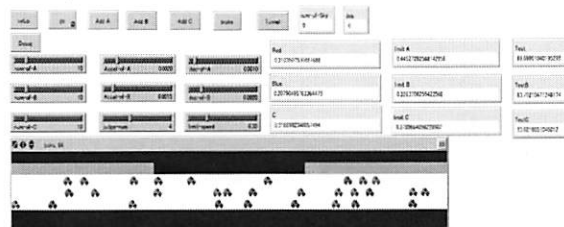


图 4. Psychological Traffic Simulation System

4.2 シミュレーション環境の設定機能

シミュレーション環境の設定機能について説明する。PTSS には 2 つの Button と 9 つの緑色の Slider がある。ボタンは setup と go があり、setup は車をランダムに配置する等、シミュレーションの準備を行い、go はシミュレーションを実行する。Slider はシミュレーションで利用するパラメーターを設定するものであり、プログラム内のグローバル変数として扱われる。また、使い方は第 2 章で動的パラメーターとして使うことが可能であり、シミュレーション中の変数の値の変更をシミュレーションに反映させることが可能である。設定した 9 つの

Slider を表 6 に示す。

表 6. PTSS のスライドバー一覧

変数名	説明	動的/静的
num-of-A	積極型心理の車両数 (N_A)	静的
num-of-B	消極型心理の車両数 (N_B)	静的
num-of-C	環境依存型心理の車両数 (N_C)	静的
Accel-of-A	積極型心理の加速量 (a_A)	動的
Accel-of-B	消極型心理の加速量 (a_B)	動的
dec-of-A	積極型心理の減速量 (d_A)	動的
dec-of-B	消極型心理の減速量 (d_B)	動的
limit-speed	制限速度 (v_{limit})	動的
judge-num	環境依存型の選択基準	動的

車の数は setup を実行したときのそれぞれの車の数に依存する。それ以外の 6 つの変数は動的パラメーターとして利用できる。

5 走行法の検討実験

PTSS を用いて自動車運転システムの走行法について検討する。車両数 $N_A, N_B, N_C = 20$ (よって $N=60$) とし、limit-speed=0.30, judge-num=4 の固定とする。 $Max v_{alp,i}$ と関わる τ_{alp} は、 $0.1 \leq \tau_A \leq 0.2$, $0 \leq \tau_B \leq 0.05$, $0.05 \leq \tau_C \leq 0.1$ とした。加速量と減速量に関するパラメーター一覧は次の表 7 で示し、全 11 パターンの実験を行う。

表 7. 実験パラメーター一覧

番号	Accel-of-A	Accel-of-B	dec-of-A	dec-of-B
①	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
②	0.0010	0.0010	0.0010	0.0015
③	0.0010	0.0010	0.0010	0.0020
④	0.0010	0.0010	0.0015	0.0015
⑤	0.0010	0.0010	0.0015	0.0020
⑥	0.0010	0.0010	0.0020	0.0020
⑦	0.0015	0.0010	0.0010	0.0010
⑧	0.0015	0.0015	0.0010	0.0010
⑨	0.0020	0.0010	0.0010	0.0010
⑩	0.0020	0.0015	0.0010	0.0010
⑪	0.0020	0.0020	0.0010	0.0010

Netlogo では様々なデータをプロットという機能で時系列データをグラフ表示でき、そのグラフの中身を csv ファイルで出力することが可能である。実験結果のグラフ例を図 5 に示す。

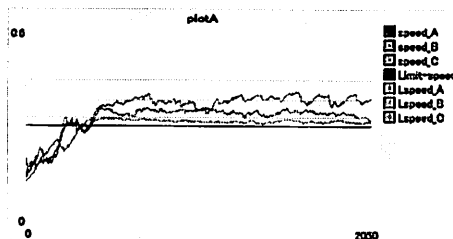


図 5. 実験結果例

結果例では、平均速度 ($V_A(t), V_B(t), V_C(t)$), 制限速度 v_{limit} , 希望最高速度の平均 ($Max V_A, V_B, V_C$) をグ

ラフ出力している。x 軸に並行な 4 線は上から $Max V_A, V_C, V_B$, 制限速度 v_{limit} 。その他の時系列データが平均速度である。また、同時に平均満足度 ($P_A(t), P_B(t), P_C(t)$) を別のグラフで出力している。本実験は 1 回の実験を 2000step ($T = 2000$) とし、1 パターンに対して 1000 回分りデータを集計した。各回分のデータを用いて最終的に平均速度、平均満足度、平均移動量、平均速度の分散を実験結果として紹介する。

6 実験結果と考察

11 パターンの実験結果を紹介する。この実験によりどのような走行法が優位的か考察する。表 7 の番号に基づき 2 つに分けてグラフ化した。これらの違いは全てのパラメータ 0.0010 の①基準に減速のみ変化させたものを②～⑥、加速のみ変化させたものを⑦～⑪としている。②～⑥の減速量の大小関係は積極型 $\leq$ 消極型、⑦～⑪の加速量の大小関係は積極型 $\geq$ 消極型とする。

6.1 分散による渋滞発生有無の分類

始めに実験 1000 回の速度に関する分散結果を図 6 に示す。



図 6. 積極型心理の平均速度に関する分散

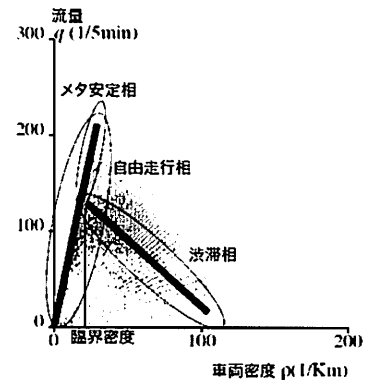


図 7. 高速道路における交通基本図の例

交通流の高速道路における交通基本図 (図 7) では、臨界限度を境にメタ安定相または渋滞相が現れる。分散のグラフでは t が 300～500 前後で山なりの結果になり、 $t \geq 1000$ では多くが低い値を維持している。低い値の時は、メタ安定相に入り速度が安定していることが予測できる。一部結果は $t \geq 1000$ でも分散値が大きくなっている。その結果になっているパラメータは図 6 内の上から⑥, ⑤, ③である。これらのパラメータの特徴は減速度が大きいことである。渋滞発生の原因の 1 つは車の減速の連鎖反応によって生じることである。減速度が大きほど、その様子が顕著になることから⑥, ⑤, ③のときに渋滞が発生した回数が多いために分散値が多くなったの

ではないかと推測した。実際に渋滞が発生した場合の実験結果例を図 8 に示す。

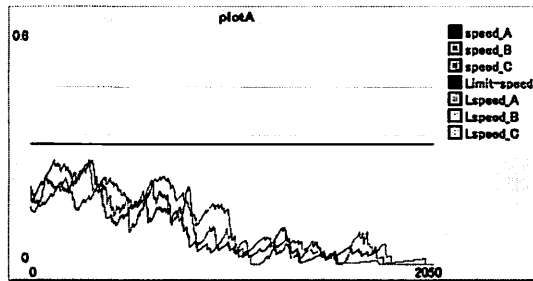


図 8. 渋滞発生時の結果例

高速道路における交通基本図の例では、臨界限度を境に渋滞相またはメタ安定相を見分けられる。分散の結果では $t=1000$ を前後で分散値低くなっているものが多いので、全体的に臨界限度を過ぎている可能性がある。本実験では、渋滞発生した結果とそうでない結果の分離を試みた。 $t=1000$ では臨界限度を過ぎてしていると仮定して $\sum_{t=1001}^{2000} V_A(t) \geq 300$ を満たした時、渋滞が発生、満たさないときは渋滞発生せず快適に走行しているものとして分離を試みた。基準としている 300 は制限速度 (0.30) を 1000step 走行した値から選択している。この試行結果による各パラメータの渋滞発生回数を表 8 に示し、この渋滞発生の結果を取り除いた実験結果の分散は図 9 である。

表 8. 各パラメータでの渋滞発生数 (1000 回中)

番号	渋滞発生数	番号	渋滞発生数
①	0 回		
②	3 回	⑦	1 回
③	14 回	⑧	0 回
④	3 回	⑨	0 回
⑤	34 回	⑩	0 回
⑥	65 回	⑪	0 回

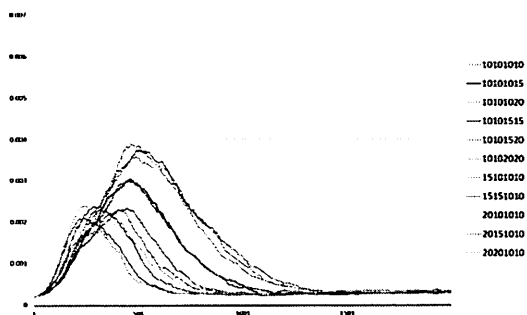


図 9. 渋滞発生結果を取り除いた時の分散

表 8 では ⑥, ⑤, ③ の順で渋滞発生回数が多い。これは図 6 の分散の値が大きくなっているものと同様の順である。図 9 では、 $t \geq 1000$ 以降で分散値を低くすることができた。この結果の中でも分散値がより大きい傾向のものがあり、これは臨界限度の位置が遅いことが予測される。以降の実験結果では、この渋滞発生した結果を取り除いた実験結果を集計したものを使用する。

6.2 平均速度

積極型心理の①～⑥の平均速度のグラフを図 10 に示す。

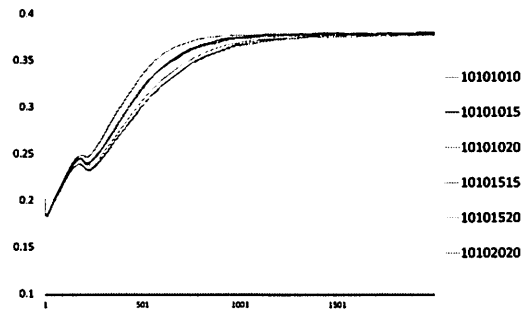


図 10. 積極型の平均速度 (①～⑥)

$0 \leq t \leq 1000$ の間で違いが見え、減速量 (d_A, d_B) が大きくなればなるほど、速度が遅い結果になった。また、 $0 \leq t \leq 500$ の間を着目すると、加速している途中に一度減速され、また加速している様子がみられる。 $1000 \leq t \leq 2000$ は最終的に速度が収束しており、6.1 の分散値が低くなっている結果と繋がる。また、それぞれのパラメータで最終的な速度に大きな違いがみられず、非常に近似している。このグラフの傾向は、⑦～⑪の結果でも同様であり、その結果では加速度が大きくなればなるほど、 $0 \leq t \leq 1000$ での速度が大きくなっている差がうまれた。消極型心理でも同様な結果となり、積極型と比較すると最大速度に差がある結果だった。一方で、環境依存型のグラフの形に少し違いがあり、その結果を図 11 に示す。



図 11. 環境依存型の平均速度 (①～⑥)

積極・消極型では、 $0 \leq t \leq 500$ の間で加速中に一度減速し、再度加速する傾向がみられた。しかし、環境依存型ではその傾向がみられず、消極・積極型よりも滑らかに加速していく様子がみえた。最終的な速度は積極型は約 0.38、消極型は約 0.32、環境型は約 0.34 となり、積極型、環境型、消極型の順になる結果だった。

6.3 平均移動量

平均速度から平均移動量を求めた。

移動量 $= \sum_{t=1}^{2000} V_{alp}(t)$ とし、各回でこの移動量を求め、

1000 回の結果の平均を平均移動量とする。実験結果による平均移動量を各心理に分けて図 12～14 に示す。

各心理の実験結果は左から①～⑪の順である。移動量の大きさは平均速度と同様に積極型・環境依存型・消極型の順である。パラメータに関しては、加速量について (⑦～⑪) と減速量について (②～⑥) とで大きく差が生まれている。加速量が大きくなるほど、移動量が大きくなり、減速量が大きくなるほど移動量は小さくなっている。積極型の移動量に関して一番差がある⑥と⑪には 60 程度の差がある。1step あたりを制限速度の $v_{limit} = 0.30$ から考慮すると 200step、全体 (2000step)

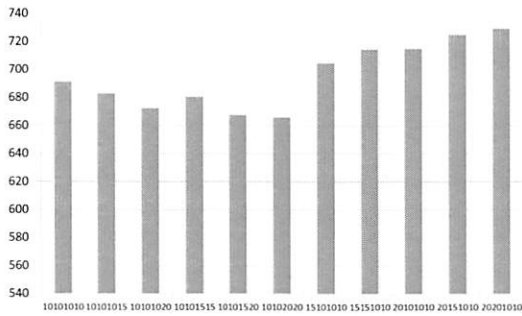


図 12. 積極型の平均移動量

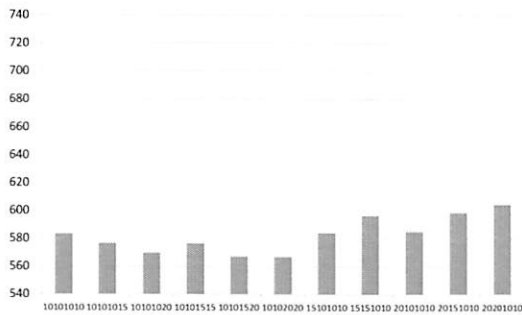


図 13. 消極型の平均移動量

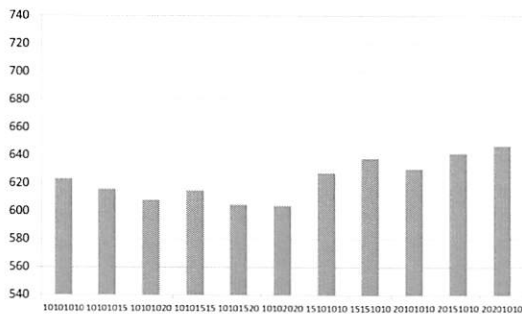


図 14. 環境依存型の平均移動量

の時間約 10% の差が生まれていることになる。パラメータによる移動量の関係はどの心理においても同様の結果となった。

6.4 平均満足度

平均満足度のグラフ結果は平均速度と依存関係があるので、似た形の実験結果となった。1001 ≤ t ≤ 2000 の値がほぼ一定になっている最終的な満足度の結果を表 9 に示す。

表 9. 最終的な満足度

	積極型	消極型	環境依存型
最終満足度	約 85%	約 97%	約 90%

平均速度・平均移動量の値の大きさは共に積極型・環境依存型・消極型の順であったが、満足度では消極型・環境依存型・積極型の順になった。満足度はその心理が走りたいと思っている速度に対してどこまで希望通りに走れているかを示している。つまり、97% という消極型心理の結果は運転手にとって非常にストレスの感じない走行ができていることを示している。一方で速度・移動量で勝っている積極型は、平均速度のグラフで速度が最終的にほぼ一定となり、希望最高速度付近で走っているのではないかと考えられたが、実際は交通状況から速度がボトルネックになっていたことがわかる。

7 まとめ

本論文では 3 種類の走行心理 (積極型・消極型・環境依存型) を考慮した PT モデルを用いて 3 車線高速道路の交通シミュレーションを実装した。実装した Psychological Traffic Simulation System は車両数と動的に変化できる加速量・減速量等、全 9 種類のパラメータを設定することができる。シミュレーションの実験例として、11 パターンのパラメータから各心理の速度・移動量・分散・満足度の結果を示し、走行の優位性について検証を行った。走行速度・移動量の点では積極型心理が優位的であったが、満足度の点では消極型心理が勝る結果になった。自動運転システムの走行法を考える際、移動量のみで特化した走り方や運転手にとって精神面を考慮した走行等選択できるように実現するとよいのではないかと考える。紹介した実験は一部であるが、PTSS では様々なまた、前方と左右の状況によって運転の選択を行っている。実世界では後方を確認して譲るという走行もあるので後方状態を考慮した運転の選択が将来研究として挙げられる。

参考文献

- [1] 津川 定之, “自動車の自動運転-その特長と課題-”, 情報処理学会研究報告, Vol.2009-MBL-51, No.9
- [2] 安藝 雅彦, 亀井 潤也, 平沢 隆之, 須田 義大, “既存自動車のインフラ設備による自動運転-パーク・アンド・ライドへの適用に関する基礎検討-”, 生産研究, Vol.64, No.2, pp. 215-218(2012)
- [3] 越 正毅, 桑原 雅夫, 赤羽 弘和, “高速道路のトンネル, サグにおける渋滞現象に関する研究”, 土木学会論文集, No.458, pp. 65-71(1993)
- [4] 大口 敬, “高速道路サグにおける渋滞の発生と道路線形との関係”, 土木学会論文集, No.524, pp. 69-78
- [5] 稲垣 敏之, “運転支援システムへの過信と依存”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 100, No. 242, pp. 21-24(2010)
- [6] Seth Tisue, Uri Wilensky, “Design and implementation of a multi-agent modeling environment”, Proceedings of the Agent 2004 Conference on Social Dynamics: Interaction, Reflexivity and Emergence, Chicago, IL.
- [7] 水谷 亮, 大森 健児, “Netlogo を用いた心理的状況を反映した交通シミュレーション”, FIT2013(第 12 回情報科学技術フォーラム), M-043
- [8] 増淵 達也, 荒井 幸代, “前方情報を考慮したルールによるメタ安定相の発生と特徴の解析”, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J92-D(11), 1935-1944, 2009-11-01
- [9] ニール・ジェンソン (著), 阪本 芳久 (翻訳), “複雑で単純な世界: 不確実なできごとを複雑系で予測する”