

1. 研究の背景

近年コンピューターの進歩などの理由から、高度な交通シミュレーションが開発されてきているが、車線変更などの車両挙動についてはいまだ不明瞭な点が多く、解明する余地が大いにある。

ドライバーの車線変更挙動は走行車線、追い越し車線など、車線によって異なる判断基準によってなされているように考えられるが、どのような要因がどうドライバーの思考に影響しているかということははっきりしていない。そこで、本研究では、平均速度や密度、その他の車線ごとに生まれる特性は、ドライバーそれぞれの思考に基づいた行動の結果形成されたものなのか、それとも、道交法などの法律や交通規制などがなければ形成されなかったものなのかということや、渋滞など道路の状況が変わった時にどのような特性を示すかなどを解明することを目的とする。

本研究ではミクロシミュレーションを用いて車線ごとの特性の解明を目指す。ここで、複雑化したシミュレーションモデルはブラックボックス的な面があり、得られた結果がはたしてどの程度信頼に足るものなのか判断しにくいという問題がある。そこで、本研究では自分でシミュレーションモデルを作り、それによって車線変更に関係する要素を探る。

個々のドライバーレベルでの行動ルールや相互作用による効果などが、全体として交通システムに結果的にどのような影響を与えるかなどを検討することで、どのような要素が車線ごとの特性に影響するかなどを調べる。

2. 既存研究

(1) 車線変更について

ドライバーが車線変更をしようとする要因はいくつか考えられるが、ドライバーによって重みが違うことが予想される。しかし、あまり細かいものまで拾うと解析が難しくなってしまうので、いくらか一般的と考えられる要因のみを抽出してシミュレーションをする。

各ドライバーの振る舞いは、それぞれの設定した時間内に目的地へ着くという目標があり、それによって大きく左右されると考えられるが、それぞれの車両に対してこれを考慮することは難しいので、本研究のシミュレーションではこの要因を限定して解析する。

Gipps¹⁾によると、一般的に、ドライバーは車線変更をすることによって衝突の危険性がある場合は車線変更を実行しない。車線変更を実行する前に、目標車線（移動したい車線）の交通におけるギャップを確かめる。さらに、前後の両ギャップに対して、先行車に対して自分の速度は速すぎないか、後続車に対して遅すぎないかという相対速度の確認をする。ここで、必要なギャップの距離、時間、安全レベルはドライバーによって、また状況によって変化する。車線変更を迫られる状況の例として、駐車や合流の接近や、誤って専用レーンにいる場合、曲がりたい交差点への接近などがある。また道路に詳しいドライバーの場合は、駐車されやすいゾーンや運転しにくい環境を避けようとして車線を変更しようとする場合がある。そのほかにもドライバーが交差点を曲がろうとしている場合など、特定の車線に移る必要がある場合、その地点に近づくほどその車線に近づくこととする。逆に、遠ざかる方の車線に移動する意欲は減衰する傾向にあること、前後の車両が大型車である場合は、見通しの悪さなどやその圧迫感から運転環境を改善しようと車線変更を試みる場合があることなどを挙げている。

車線変更を試みる主な理由の一つとして速度を改善したいということが挙げられる。しかし、ドライバーによっては、追い越した後に遅い車両の後ろにはまってしまふことなどを避けて、敢えて車線変更を行わずに遅い速度に甘んじる場合もある。

後の車両が影響することもある。自分の速度が

*キーワードズ：交通ネットワーク分析

**学生員，金沢大学大学院自然科学研究科

(石川県金沢市角間町，E-mail：be-nice@stu.kanazawa-u.ac.jp)

***正会員，博(工)，金沢大学環境デザイン学系

(TEL：076-423-4614，E-mail：snakayama@t.kanazawa-u.ac.jp)

****フェロー会員，工博，同上

(TEL：076-423-4613，E-mail：takayama@t.kanazawa-u.ac.jp)

相手より著しく遅い場合、後の車両からあおりを受けたとき、または、自発的に譲る場合も考えられる。

また、日本では基本的には走行車線を走り、追い越すときにのみ追い越し車線を使ってもよいという決まりがあるため、追い越し車線を走っている車両は上記の理由に当てはまらない場合でも、スペースがあれば車線変更を実行することが考えられる。

3. シミュレーションモデルの概要

(1) モデルの骨格

本研究では CA(セルオートマトン)によって交通流をシミュレーションする。CA は簡単な規則によるセル間の相互作用により複雑系の現象を表現するものであり、実際の交通現象を噛み砕いてセルの状態を決めるルールにあてはめる必要がある。

める。このシミュレーション中での 1 タイムステップを 0.5 秒とすると、一度に 5 セル進んだ場合の速度は 108km/h とみなすことができる。

初期の車の配置は、乱数を発生させ確率的に配置する。道路全体の車両の密度や速度別の割合なども調節することができる。

ドライバーはそれぞれ快適と感じる速度を設定しており、それは周囲の環境によって影響を受けるものと考えられるが、本モデルにおいては、各車両は最初に設定された速度を目標とし、その速度に達するために車線変更などを行って状況を改善しようとすることとする。

各ドライバーは快適な速度で走行することを目標とし、そのために加速や車線変更を実行するが、それは、事故に遭遇せず、安全に走行できるという前提のもとに行われる。もしもドライバーが衝突の危険性を察知した場合は、車線変更や加速はあきらめ、必要によっては減速をし、場合によっては急ブレーキも行う。

ドライバーは基本的には現在走行している車線の中で加減速をしつつ走行をするものと考え、前の車両との間の距離によって現在の速度を決める。これは、前の車両が何らかの原因で減速したときに対応するためのもので、ドライバーの個性や状態、さらに速度、相対速度の影響を受けるものと考えられるが、モデル上では速度は距離にのみに依存すると考える。

もしも前の車両が遅いなどの理由で、自分の目標速度を得られない場合は車線変更をすることによって状況を改善しようとする。ドライバーはそのために隣の車線の前後の車両のとの距離、つまりギャップを確認する。隣の車線の前の車両との距離が速度

本研究のモデルでは、1 セルは 1 車両を表現している。そのため、1 セルは長さが縦 3m 、横 3m の正方形セルとみなすことにする。車両は左のセルから右のセルへ移動していき、右端に達した車両は、また左端から侵入してくる。これは出口のない環状道路を一定量の車両が巡回しているものをイメージできる。道路長は $3\text{m} \times 3000$ セルの 9km となっていて、1 タイムステップ 0.5 秒のシミュレーションである。交通量、速度、密度は任意の地点・区間で測定し、プログラム内を流す交通量は初期の道路全体の密度を設定することによってコントロールする。

道路上には二種類の車両が存在し、それは、遅い速度で満足する車両とより速い速度を目指す車両に分けることができる。このシミュレーションでは、速い速度を目指す車両は一度のタイムステップで 5 セルまで進むことができ、遅い速度で満足する車両は一度に 4 セルまで進を改善するのに十分な場合は車線変更を考える。そして、安全に車線変更を完了するために隣の車線の後方の車両との距離を確認する。もしもこのとき、隣車線の後方の車両との間の距離がその車両の速度と比べて十分とは言えなかった場合は、ドライバーは車線変更をあきらめ、次のチャンスを待ち、現状の速度を保持、もしくは減速をする。

1 タイムステップで 1 セルずつ加速するというルールでは、1 タイムステップは 0.5 秒なので、 4m/s^2 で加速していると考えられる。減速の場合は、場合によっては急ブレーキを踏むこともあり、最大で一度に 5 セル分（最高速から速度 0 もでの減速）減速するのでその加速度を計算すると、最大 -20m/s^2 ということになる。

このモデルでは、ドライバーの全判断は同時に行われており（0.5 秒内）、つまり判断による時間遅れも 0.5 秒以内となっている。

モデルでは、時刻 t のセルの状態は時刻 $t-1$ のセルの状態によって決まる。言いかえると、時刻 t の道路上の車両の配置、その状態は、時刻 $t-1$ の道路上の車両の配置とその状態によって決まる。その単位時間の間に、ドライバーはまず周囲の状況を確認し、自分が取るべき行動（車線、速度）を決定する。その決定に基づいてそれぞれの車両の移動がなされる。ここで、車両の移動は解析区間上のすべての車両について同時に行われる。

ドライバーはまず自分と自分の周囲の状態を確認する。確認する状態とは自分の目標とする速度、自分の速度、自分よりもひとつ前の車両までの距離（間にある空白セルの数）、隣の車線のひとつ前の車両までの距離、隣の車線のひとつ後ろの車両までの距離とその車両の速度である。次にドライバーは行

動の決定をする。まずは自分が目標速度に到達しているかどうかを確認し、到達している場合はその速度を維持することを考え、到達していない場合は目標速度に近づこうと努力する。前の車両との距離が自分の速度に比べて十分でない場合は、安全に移動するために速度を落とさなければいけない。このとき車線変更をすることで減速をしなくて済む場合、ドライバーは車線変更の可能性を検討する。もちろん車線変更の実行も安全に行われなくてはいけないため、安全に実行できないと判断した場合は、ドライバーは自車両の速度を落とす決定をする。シミュレーションでは、この意思決定パートでの条件を少しずつ変えることで、ドライバーの行動を操作する。

この段階で決定された速度、車線変更の有無に基づいて、車両の移動が行われる。この移動のパートは、基本的にどのシミュレーションでも同じ働きをする部分であり、結果に影響するのは前段階のドライバーの意思決定のパートである。

シミュレーションでは、任意の時間の任意の区間にどのような車両が存在していたかを記録しているが、車線ごとの特性を調べる場合には特定の車両の行動よりも交通流全体の特性を見たほうがより特徴をつかめると考えるため、シミュレーションの出力は交通量、密度、平均速度などを車線ごとに出して基本図を作り、それらを比較することで考察をする。

(2) 解析方法

本研究ではモデルのパラメーター（車両の移動ルール）を変えてシミュレーションすることで車線ごとの特性の解明を目指す。はじめに、初期の車両配置が車線ごとの特性にどのように影響するのか、あるいはしないのかを調べるため、左右の車線の移動ルールを同じにし、道路上に配置される車両の数を変えてシミュレーションをした。ここで、配置される車両の種類の割合も調節し、目標速度が違う車両の割合が変わることによって交通流にどのような影響が起こるのかも観察した。

まずは、車線の特性は初期の車両配置によって決まるかどうかということを調べるため、左右の車線の車両の配置を変えたものをいくつか用意してシミュレーションをする。初期の車両配置は左車線と右車線の車両の割合を変えたものと、目標速度が速い車両と遅い車両の割合を変えたもので分けている。

他にも、ドライバーが前後の車両との間を取るスペースを変えることで、ドライバーの運転性能を変えることを表現したモデルでもシミュレーションした。しかし、これは特定のドライバーだけではなく、

道路上のすべてのドライバーが同じように性能を向上させたものである。

4. シミュレーション結果の考察

シミュレーションの結果は交通量、密度、平均速度による基本図を比べることにより検証した。得られた基本図の例として左右の車線に同じ割合で車両を配置したモデルから得られた Q-V 曲線を図 1 に、左と右の車線に 2 : 1 で車両を配置したモデルから得られた Q-V 曲線を図 2 に示す。

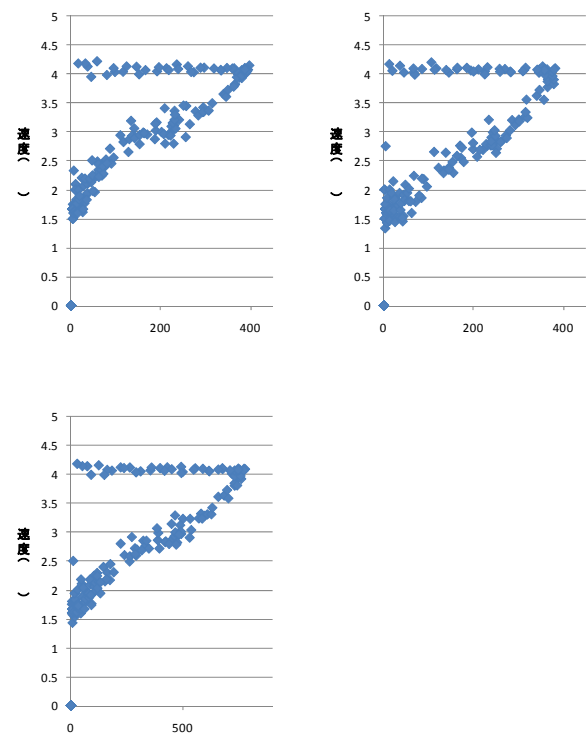
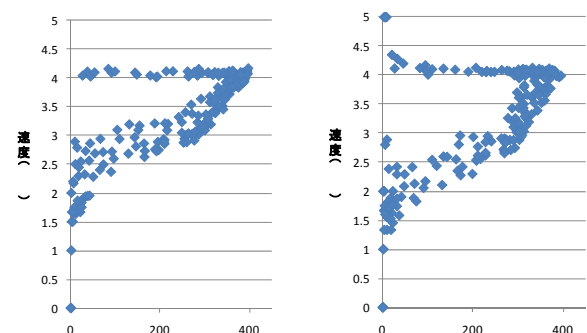


図 1 車両の初期配置が両車線で均等なモデルの Q-V 曲線



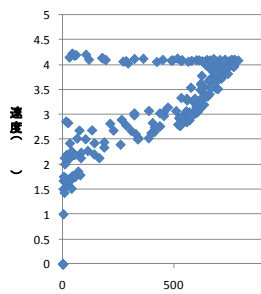


図 2 車両の初期配置が左右で 2 : 1 のモデルの Q-V 曲線

基本図では自由流領域と、渋滞流領域の違いは現れ、メタ安定分岐現象と思われる状態も見られた。最大交通量を与える空間オキュパンシーは、どのモデルでもほぼ同じ値をとった。

車線の特性は初期の車両配置によって決まるかどうかということ調べるため、左右の車線の車両の配置を変えたものをいくつか用意してシミュレーションをしたが、どのモデルにおいても大きな違いは認められなかった。初期の車両の配置を片方の車線に偏って配置させた場合も、自動的に両方の車線に分散して、左右の車線で同じような基本図になった。ここで、本研究で使用したモデルは、初期に配置された車両数は時間の経過にかかわらず一定であり、流出した車両はまた端から流入してくるので、区間全体の車両密度、車両数は一定である。よって、初期に片方の車線にのみ車両を配置した場合には両車線の合計車両数はどうしても少なくなってしまうため、渋滞流での解析は十分にはできなかった。しかし、自由流では他のものと似たような形をとったので、渋滞流でも大きな違いは現れないだろうと考えられる。

目標速度が速い車両と遅い車両の割合を変えた場合、自由流での平均速度にわずかに違いがあらわれるが、基本図に大きな違いが表れることはなかった。

片側 2 車線道路では、観測地点を単位時間に通過した車両の数（流量） q と、通過した車両の速度の平均 $\bar{v}$ から算出される密度 $\rho = q / \bar{v}$ と流量の関係を表す基本図において、追い越し車線には明確な頂点があるが、走行車線にはないという傾向がある。しかし、本研究のシミュレーション結果からはどちらも同じような図になった。ここから、この現象は、走行車線と追い越し車線の意識の違いなどの車線のルールの違いが要因となると考えられ、初期の配置が走行車線だけであることなどは関係しない、もしくは、その要因単体では関係しないと考えられる。

空間オキュパンシーが 0% に近いときは、自由流であり、車両はそれぞれの好む速度で巡航しているので、速度分布にばらつきが出るのが普通だが、本研究のモデルでは車両の速度は 2 種類であるため、速度のばらつきは少ない。実際の交通流と比べると、高い速度をとる車両が少ないようである。また、平均速度が 1 セル (20km/h) 以下のデータがない。これらの原因は、車両がとりうる速度の幅が大きいことが影響していると考えられる。特に速度が 0 セル（ストップ状態）と 1 セル (20km/h) の間の速度が無いことが大きく関係していると考えられる。

5. まとめと今後の課題

（1）シミュレーションのまとめ

今回のシミュレーションでは全体的に、走行車線と追い越し車線の違いは現れなかった。このことから、車両の目標速度の違いや、車両が流入時に走行車線にいたことなどは、車線ごとの特性の違いには直接関係しないということが考えられる。しかし、左右の車線で移動のルールを変える、もしくは、他の移動ルールと組み合わせた場合には、車線ごとの特性の違いに影響を与えることも考えられる。

（2）今後の課題

今回のシミュレーションでは走行車線と追い越し車線の移動ルールに違いを作らなかったが、実際には、ドライバーは走行車線を走るように気をつけているのが一般的であると考えられるため、その挙動を表現するアルゴリズムを加えることが必要であると考えられる。また、速度によってドライバーがとる車間距離は変化することや、ドライバーの特性を増やすこと、速度のレベルを細かく分けることなどが課題となる。

<参考文献>

- 1) Gipps P.G. (1986) A Model for the Structure of Lane Changing Decisions, Transportation Research, vol.20B, pp. 403-414, 1986