

交通シミュレータ内における個人の走行経験蓄積を考慮した 経路選択モデルの交通シミュレーションへの適用*

Applying Way-finding Model with Personal Experience to Traffic Simulation*

吉田 豊**・坂本邦宏***・久保田尚****

By Yutaka YOSHIDA**・Kunihiro SAKAMOTO***・Hisashi KUBOTA****

1. はじめに

ネットワーク・シミュレーションにおいて、リンク交通量を算出する方法として配分理論に基づくものが現在の主流である^{1)~7)}。配分とは、ODペア毎の交通量をルールにしたがって各リンクに割り当てることであり⁸⁾、交通現象の捉え方として、全体の状況から部分を推測するものである。つまり、各車両から見れば、各車両は他の車両の置かれている状況を完全に認知していることになる。一方、実際の交通行動では、個人（運転者一人一人）の利用できる情報には限りがある。このことから、配分理論は個人を主体（個人個人で周囲の状況を判断し、行動する存在）とした実際の交通行動とは異なる考え方によりリンク交通量を算出するアプローチであるといえる。

本研究では、第1に、交通現象が個人の行動結果の総和であることに着目し、過去の走行経路や所用時間など、走行経験の蓄積を行う運転者個人の経路選択行動を表現した既存のモデルを交通シミュレーションに適用し、車1台1台の経路選択行動をシミュレータ内で表現することを目的とする。第2に、経験の蓄積を行うことで主体の相互作用により生じる交通現象の変化を時系列的に捉えていくことを目的とする。

2. 交通シミュレータ内における走行経験の蓄積を行う 個人の経路選択行動の表現

表現方法として、交通シミュレーションには埼玉大学で開発を続けている地区交通シミュレーションtiss-NET⁹⁾を、走行経験の蓄積を行う運転者個人の経路選択行動を表現したモデルには、筆者らのこれまでの研究成果である個人経路モデル^{10) 11)}を用い、それらを組み合わせる方法を採用した。

*キーワード：経路選択、ネットワーク交通流

**学生会員、埼玉大学大学院

(埼玉県さいたま市下大久保 255、

TEL 048-855-7833, FAX 048-855-7833)

***正会員、工学修士、埼玉大学工学部

****正会員、工学博士、埼玉大学大学院

(1) tiss-NET の概要

tiss-NETはイベントスキャン型のマイクロ交通シミュレータであり、地区交通を対象とした施策の評価を行うことを目的としている。このシステムでは、道路は長さ5m単位の要素に分割され、個別のデータを持った車両が各要素間を移動することで車両の移動を表現する。走行する経路についても、車両1台1台でデータを保持できるため、車両毎に異なる経路を設定することが可能である。

(2) 個人経路モデルの概要

個人経路モデルは、VICS等によるリアルタイムな情報提供やカーナビゲーションによる経路誘導が行われない場合を前提条件とした、実走行実験により得られたデータを解析した結果を基に提案しているものであり、複数のロジットモデル式から構成されている。

このモデルの構築の際には、まず、それまでのネットワーク・シミュレータに見られた次のような課題を整理した。

- 目的地までの旅行時間（コスト）を唯一の経路選択・経路変更要因として用いているものが多い。
- シミュレーションを行う際、対象となる道路ネットワークが意図的に作成される、もしくはシミュレーション製作者によって任意に選ばれた経路が採用される可能性がある。
- 運転者の個人属性や選好意識、ネットワーク認知度などを経路選択の要因としたモデルを組み込む必要がある。

これらの問題点に対し、個人経路モデルは次のように対応している。

- 道路の幾何構造や先詰まり状況を経路選択・経路変更要因に加えた。
- シミュレーション対象地域の全ての道路をネットワークとして形成してあることを前提として、そのネットワークを個々の車両が経路を選択、変更するようにした。
- ネットワーク認知度について、運転者個々人が過去の走行経験を蓄積し、そのデータを次の経路選択に反映されるようにした。これにより、時系列的な交通行動を表現できるモデルとなった。

モデルは大きく2つから構成され、走行前に利用予定経路を決定する「走行前予定経路決定モデル」と、走行開始後に動的経路変更を行う「2段式経路変更モデル」から成る（図-1）。

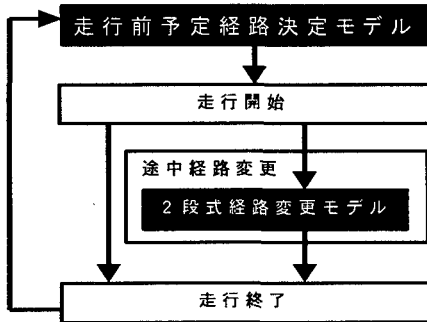


図-1 個人経路モデルの構成

「走行前予定経路決定モデル」は、その地域に関する認知情報がない場合（≒来訪経験なし）の走行前利用予定経路を決定する「暫定予定経路決定モデル」と、認知情報がある場合（≒来訪経験あり）の走行前利用予定経路を決定する「ネットワーク認知判断モデル」および「認知情報付加モデル」から構成される（図-2）。

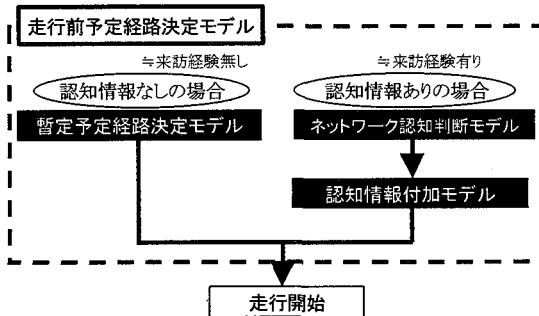


図-2 走行前予定経路決定モデルの構成

認知情報がない場合は「暫定予定経路決定モデル」において、幹線道路をなるべく利用するように暫定的に経路が決定される。つまり、出発地から最短距離で幹線道路に出られる経路を選択し、一方で、幹線道路から最短距離で目的地に到着する経路を選択する。

認知情報がある場合は、まず「ネットワーク認知判断モデル」（的中率：87.6%、尤度比：0.27）を用い、過去に走行した全経路において、その経路上に存在するノードに対してノードに接続しているリンクが「認知可能リンク」であるか、それとも「認知不可能リンク」であるかが、ロジットモデルにより判断される。判断要因としては、走行回数、信号機の有無、道路幅員が含まれる。認知可能リンクと判断された場合には、「認知情報付加モデル」（モデル的中率：80.2%、尤度比：0.31）により、

認知可能リンクから派生する目的地までの距離の最短経路に対して、その各経路の利用率が求められる。判断要因としては、経路選択回数、平均経路幅員、経路走行時間が含まれる。

次に、走行を開始した後に動的経路変更の判断を行う「2段式経路変更モデル」は、「走行前予定経路利用判別モデル」と「選択可能リンク判別モデル」から構成される（図-3）。

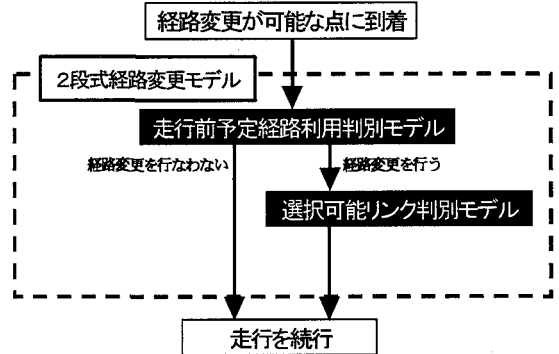


図-3 2段式経路変更モデルの構成

走行を開始した車両は、交差点など経路変更が可能な点に到着すると、「走行前予定経路利用判別モデル」（モデル的中率：96.6%、尤度比：0.17）により、走行前予定経路を走行する確率が計算される。判断要因としては、先詰まり状況、目的地と進行方向との方向角が含まれる。走行前予定経路を走行しない場合は、「選択可能リンク判別モデル」（モデル的中率：82.1%、尤度比：0.377）を用い、対象ノードに接続している各リンクに対して利用確率が計算される。判断要因としては、方向角、相対幅員比が含まれる。リンク選択後、目的地までの最短経路が走行前予定経路として更新される。

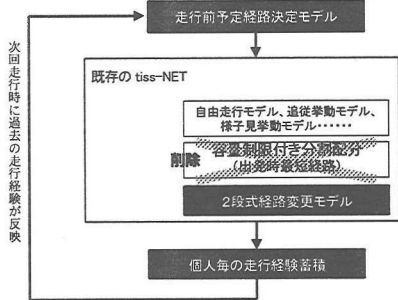
（3）走行経験の蓄積を行う個人経路モデルの tiss-NET への適用

筆者らのこれまでの研究は、動的経路変更を適用した交通シミュレーションでのモデル再現性の確認を行った段階であった。

本研究では更に走行前予定経路決定モデルを追加することで、これまでの多くのネットワーク・シミュレーションで用いられていた配分理論に基づく交通量予測では均衡状態でしか捉えられなかった交通現象が、個人経路モデルを適用したネットワーク・シミュレーション（図-4）では、時系列的な現象をも捉えられるようになった。

また、配分理論を採用している、現状の tiss-NET を含む幾つかのネットワーク・シミュレーションではコストとして旅行時間を用いて交通量予測を行っており、例

えば道路の幾何構造といった他の要因は考慮されていなかったが、個人経路モデルを適用したネットワーク・シミュレーションではリンク走行時間以外の要因も含めて経路選択が行なわれるようになった（表－1）。



図－4 個人経路モデルの tiss-NET への適用
（白黒反転した部分は個人経路モデル）

表－1 個人経路モデルを適用した tiss-NET の仕様

	適用前	適用後
走行経路	出発時 最短時間経路	個人経路モデルに より決定される経路
出発後の 経路変更	なし	あり
走行経験の 蓄積	なし	あり (セクション走行時間※、 走行経路、走行回数)
走行経路 決定要因	セクション走行時間※	過去の走行経験、 道路幅員、方向角、 先詰まり

※セクション走行時間・・・リンク両端の交差点の進入・退出方向別の、
リンクとその両端の交差点を含めた範囲（＝セクション）の走行時間。

3. 主体の相互作用により生じる交通現象の分析

2章で構築したネットワーク・シミュレーションを用いて、繰り返し走行による個人の経験蓄積と主体の相互作用による経路選択行動の変化を見るために仮想空間で簡単な2種類の数値実験を行った。

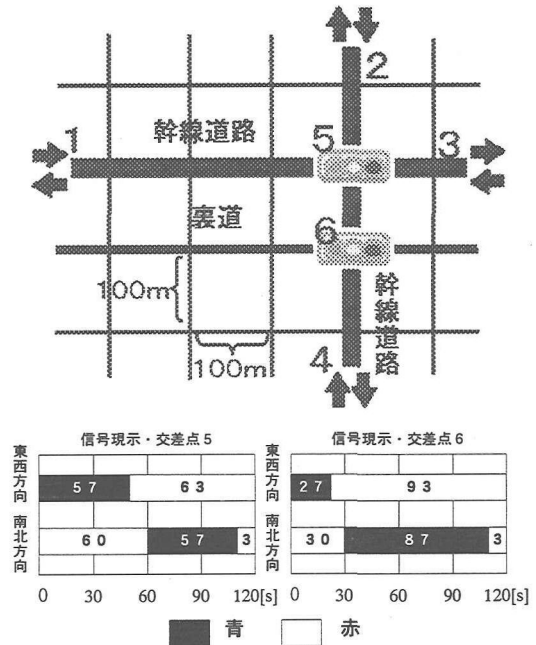
（1）条件設定

1日の中で1時間分のシミュレーションを行い、これを99日間分を行った。

ネットワークは図－5のように、1ブロックの長さが100mである仮想ネットワークを用いた。車線構成は全ての道路で往復2車線（右左折帯等なし）であり、1－3および2－4を幹線道路（規制速度40km/h、道路幅員13m）に設定し、1－3のすぐ南側には幹線道路の渋滞回避を誘発するために、東西方向に裏道（同20km/h、10m）を設定した。その他、細街路（同20km/h、7m）は東西方向を優先道路とした。信号現示の設定については、幹線道路どうしが交差する交差点5では同じ青現示秒、

裏道と幹線道路が交差する交差点6では幹線道路の青現示秒が長くなるように設定した。

ODは各幹線道路より流入・流出し、実験1日目において交差点5付近で1ブロック以上渋滞が発生するように、それぞれ200台/hを設定した。トータルでは200台/h×12方向＝2400台/hがネットワークに流入する設定となる。渋滞の発生により、動的経路変更が行われやすくなり、主体間の相互作用がより生じ易くなると思われる。



図－5 仮想ネットワークの設定

（2）経験パターンの設定

パターン1として、1日目から99日目まで同じ主体に繰り返し走行実験を行った。各主体の出発予定時刻は99日間通して同じとした。

パターン2として、1日目から50日目まではパターン1と同じ繰り返し実験を行い、51日目に各ODペア毎に約半数の主体を走行回数0回の新規参入者と入れ替えた。各主体の1日目の出発予定時刻はパターンAと同じとし、99日間実験を行う者は99日間通して同じとした。51日目に51日目からの参入者は50日目で実験を終了する者から出発予定時刻を引き継ぐものとした。

（3）分析対象の選定

東西方向の幹線道路（1→3）を走行する車両を対象とした。これは、幹線道路のすぐ南側に裏道が用意されており、経路変更が生じやすい環境にあるからである。

次に、出発予定時刻によりA（最初の10分）、B（次の10分）、C・・・Fと6グループ化し、パターン1の結果を用いて分析対象の選定を行った（図－6）。

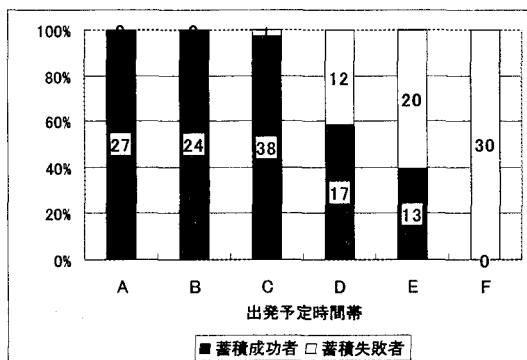


図-6 各グループにおける蓄積成功者の割合 (パターン1)

シミュレーション時間1時間以内に旅行が完了しなかった場合は、便宜的にシミュレーション終了時点までの走行経路、及びその時点での走行前予定経路をその日の走行経験として蓄積するものとし、加えて、過去に1回でもシミュレーション時間内に旅行が完了しなかったものは、過去の走行経験の中に実走行から得られていない経験が含まれる（つまり、過去に走行経験の蓄積に失敗している）ため、「蓄積失敗者」と定義した。

グループE・Fは蓄積失敗者の割合が高いため、分析対象として不適とした。グループA・B・Cは交通流が不安定であることと、主体間の相互作用が生じにくいと考えられるため不適とした。よって、分析対象としてパターン1および2ともにグループDの蓄積成功者（サンプル数：n=17）を選定した。

(4) パターン1の分析結果

まず、経路変更率の推移を調べた（図-7）。

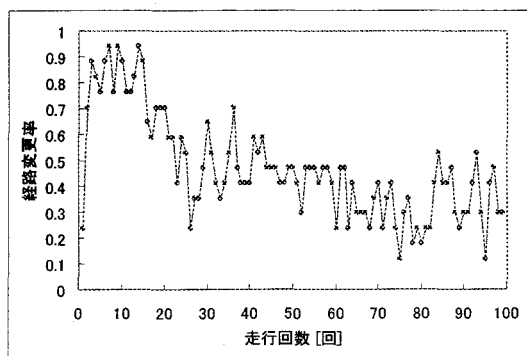


図-7 経路変更率と走行回数の関係 (n=17)

経路変更率とは、前回の走行経路と違う走行経路を選択した割合である。この図から明らかに10回前後をピークに減衰傾向にあることが読み取れる。つまり、ピーク時に各主体が新たな経路を探し、経験を重ねていくほど選択経路が固定されてきている。

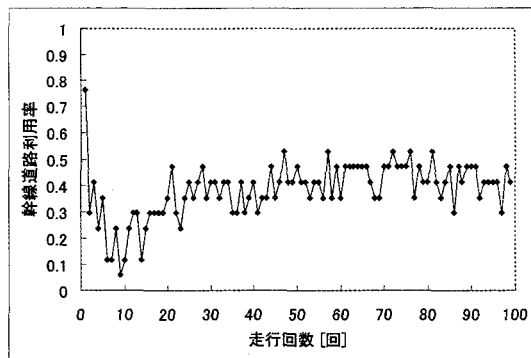


図-8 幹線道路利用率と走行回数の関係 (n=17)

図-8における幹線道路利用率とは、走行経路として幹線道路のみを利用した割合である。走行1回目は幹線道路を利用する率が高く、徐々に低くなっていく。そして、ここでも走行回数10回前後で非幹線道路を利用する割合が最も高くなる。図-7と照らし合わせると、この期間は細街路に進入して幹線道路以外の経路を探索している期間と考えられる。その後、幹線道路利用率は0.4前後で収束傾向があり、経路変更率は減衰傾向にあることから、主体によって経路の利用傾向が、幹線道路・非幹線道路で分かれてきていることがうかがえる。

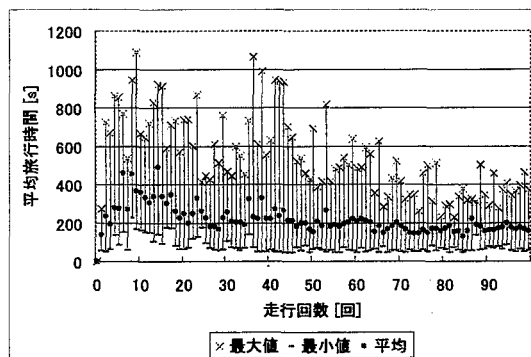


図-9 平均旅行時間と走行回数の関係 (n=17)

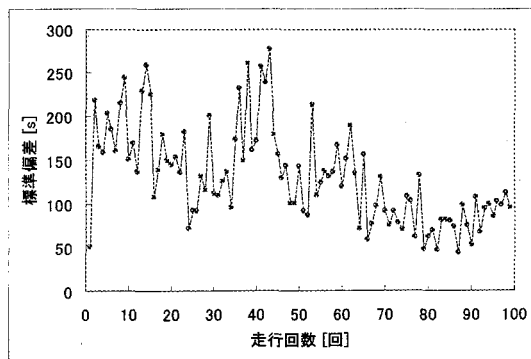


図-10 旅行時間の標準偏差と走行回数の関係 (n=17)

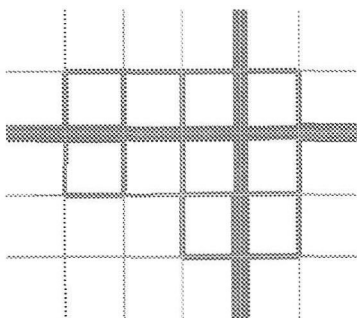
平均旅行時間の推移（

図－ 9、10）を見ても、やはり 10 回目前後をピークに減衰し収束する傾向が見られる。ここまでの分析と合わせて考えれば、10 回目前後で新たな経路を探そうと幹線道路以外の道に入ったが、旅行時間が結果的に短縮せず、その後は幹線道路にいくらか戻ってきたと考えられる。

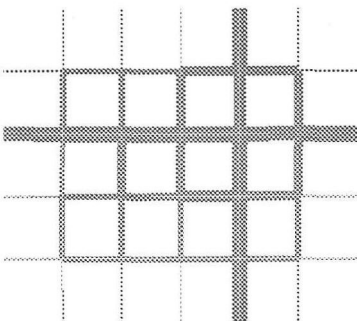
なお、蓄積失敗者をサンプルから除外したことによるバイアスの発生については、図－ 8 および図－ 9 より、走行回数10回目前後でのサンプルの旅行時間の大小に関わらず、その後の旅行時間や標準偏差は減少傾向にあることから、仮に、今回の分析から外された旅行時間の大きいサンプルについて分析を行ったとしても、全体として旅行時間が安定する傾向にあることには変わりないと判断し、よってバイアスは無視し得るほど小さいと判断した。

次に、これらの考察を断面交通量から捉えてみる。

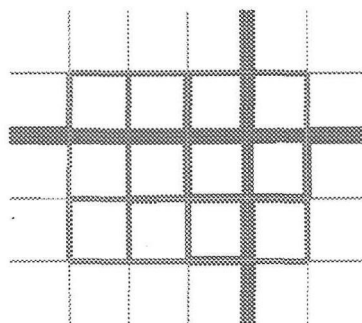
図－ 11,12,13はDグループの時間帯（30分～40分）におけるネットワーク全体について図化したものである。走行1回目では主に幹線道路が利用され、10回目ではネットワーク内の全ての道路が利用され、99回目では利用道路が多少淘汰されていることがわかる。



図－ 11 断面交通量・走行1回目

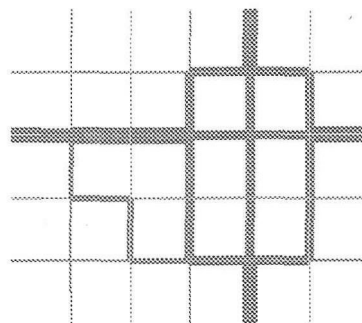


図－ 12 断面交通量・走行10回目

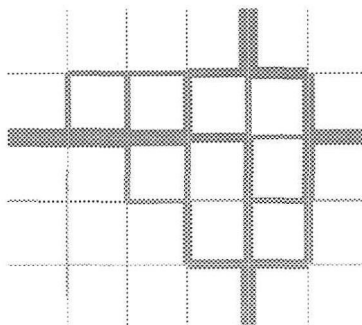


図－ 13 断面交通量・走行99回目

また、比較のために容量制限付き分割配分法・Dial配分で7200秒計算させて均衡状態を得たときの断面交通量も示す（図－ 14,15）。いずれの配分法でも裏道が利用されなかったのに対し、個人経路モデルを用いた99日目では裏道利用が発生していることは、幾何構造も判断要因とする個人経路モデルの有用性を示すものと思われる。



図－ 14 断面交通量・容量制限付き分割配分法



図－ 15 断面交通量・Dial 配分

以上を総括すれば、主体が経路を獲得して行く過程として、初めは幹線道路をなるべく利用するが、走行数回目では経路の探索を試行錯誤行い、その後は経路が固定されて行く、という流れがこの数値実験上では確認された。この過程については、過去に筆者らが長期に渡る実車での繰り返し走行実験より、経路の形成過程として概

ね3つの段階が存在することを明らかにしており¹²⁾、数値実験でもこの形成段階を確認できたといえよう。

(5) パターン2の分析結果

まず、51日目から参入した者について時系列的な傾向を見てみることにする。(n=12)

経路変更率については、走行1回目(51日目)は経路変更せず、走行5回目(55日目)前後でピークとなり、その後、減衰してゆくという傾向が見られた(図-16)。この傾向はパターン1で見られた傾向と同じである。

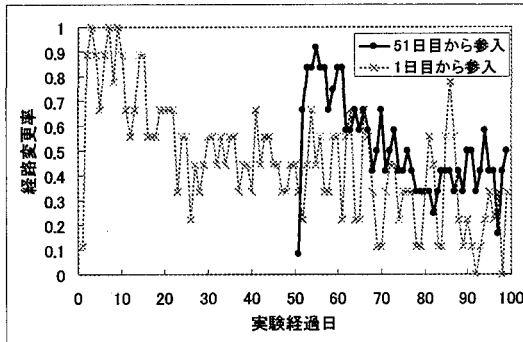


図-16 経路変更率と実験経過日の関係

幹線道路利用率についても、走行1回目ではほとんどの主体が幹線道路を利用し、走行5回目前後で幹線道路利用率は最低となり、その後は0.4ぐらいで収束するという傾向が見られた(図-17)。これもパターン1で見られた傾向と同じである。

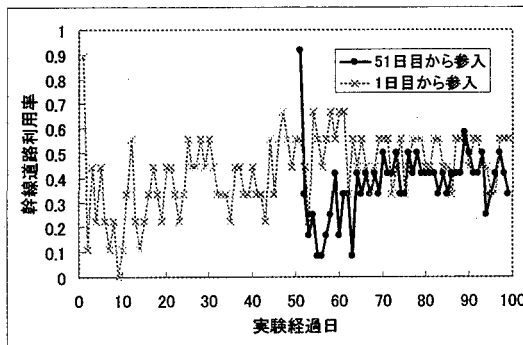


図-17 幹線道路利用率と実験経過日の関係

平均旅行時間、旅行時間の標準偏差については、パターン1ほど明確ではないものの、ともに値が伸びているのは走行開始から10日目(実験経過日61日目)前後であることがわかる。(図-18,19)

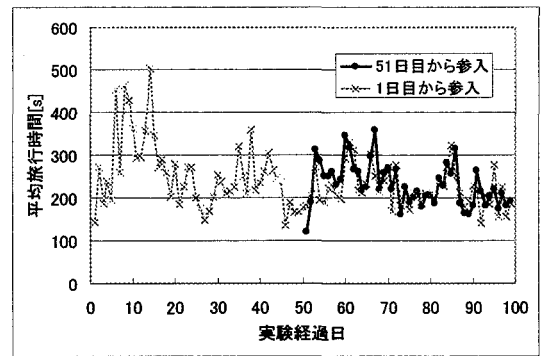


図-18 旅行時間と実験経過日の関係

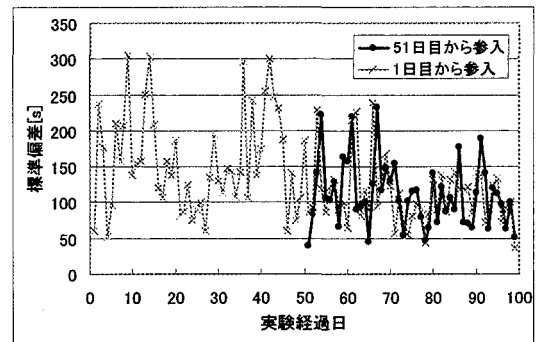


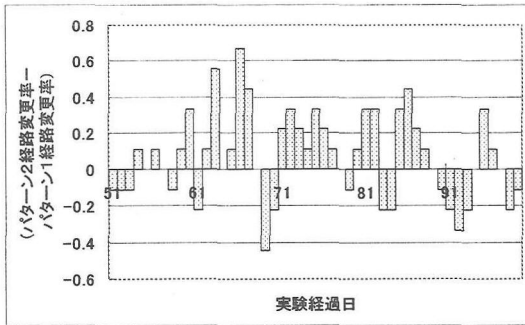
図-19 旅行時間の標準偏差と実験経過日の関係

以上のことをまとめると、パターン2の51日目からの参入者が走行1回目で置かれている状況は、パターン1とは違うものの、筆者らが明らかにした経路の形成過程が見られることが分かった。

また、経路変更率、幹線道路利用率、旅行時間、標準偏差、いずれも実験経過日が経過するにつれ、51日目から参入した者と1日目から参入した者で差がなくなりつつあることも読み取れる。つまり、51日目からの参入者が実験に加わった直後は、経路選択の傾向が2層に分かれていたが、経験の蓄積により、日が経過すればするほど、それらは融合して1体のものとなりつつあることが読み取れる。

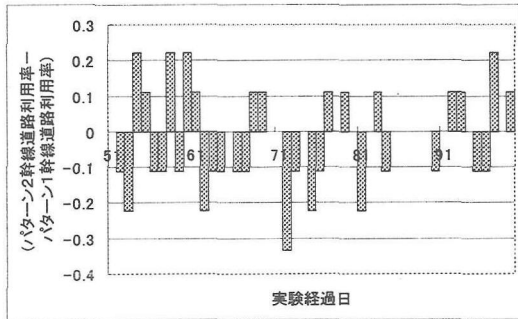
次に、交通環境が急激に変わることによる既存の主体への影響を評価するために、99日間繰り返し走行実験をする者に対してパターン1とパターン2の経路変更率の差、幹線道路利用率の差、平均旅行時間の差、標準偏差の差を51日以降について求めた。

経路変更率の差については、65回目前後でパターン2と1の差が大きくなっている(図-20)。つまり、交通環境が変わったことによる経路変更への影響が大きいのはこの時である。これより、交通環境の急激な変化は既存の者の経路変更をすぐに促すわけではないことが分かる。



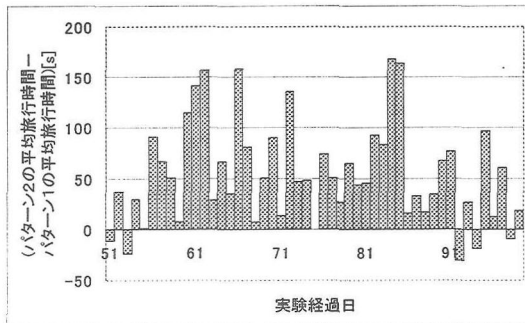
図一 20 経路変更率の比較 (n=9)

幹線道路利用率の差については、全体の傾向として若干変動している程度が、サンプル数が少ないため誤差の範囲とも考えられ、交通環境の急激な変化による影響はあまり見られなかったと思われる (図一 21)



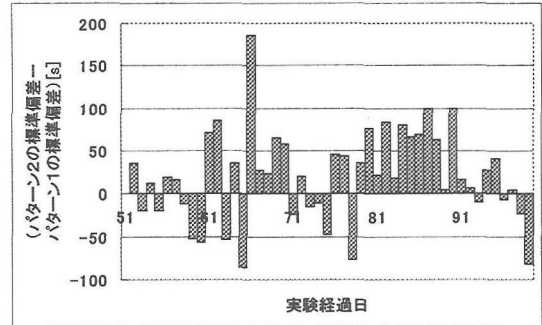
図一 21 幹線道路利用率の比較 (n=9)

平均旅行時間の差については、急激な変化に対してすぐに影響を受けるわけではないようだが、全体の傾向として平均旅行時間は伸びており、交通環境の変化に対して、平均旅行時間が伸びる可能性があることを示している (図一 22)。



図一 22 旅行時間の比較 (n=9)

旅行時間の標準偏差の差については、全体的な傾向としては、交通環境の変化に対して旅行時間のばらつきが大きくなる傾向にある (図一 23)。



図一 23 旅行時間の標準偏差の比較 (n=9)

4. まとめ

本研究では、過去の走行経験の蓄積を行う運転者個人の経路選択行動を表したモデルを交通シミュレーションに適用し、車1台1台の経路選択行動をシミュレーション内で表現することを試みた。さらに、時系列的に交通現象を捉えることを試みた。その例として、経験パターンの設定を2種類用意し、仮想ネットワーク上で99日間分の繰り返し走行実験を行った。

パターン1では、全ての主体は1日目より99日目まで実験に参加した。その結果、次の結果を得た。

- 経路の形成過程として、初めは幹線道路をなるべく利用するが、走行数回目は経路の探索を試行錯誤行い、その後は経路が固定されて行く、という流れが見られた。この流れは、過去に筆者らが長期に渡る実車での繰り返し走行実験より得た知見と一致するものであった。
- 個人経路モデルを用いた場合には交通現象を時系列的に捉えられるという利点が明らかになった。¹⁰⁾
- 配分理論 (容量制限付分割配分、Dial配分) との比較において、個人経路モデルを用いた場合は道路幅員等、道路構造を考慮した交通量予測を出力できた。

パターン2では、基本的特性を把握するために51日目にパターン1の主体の約半分を初来訪者と入れ替える実験を行った。その結果、次の結果を得た。

- 51日目からの参加者に着目すると、交通環境がパターン1と異なっても、パターン1と同様の経路の形成過程が見られた。
- 経路変更率、幹線道路利用率、旅行時間、標準偏差、いずれも実験経過日が経過するにつれ、51日目から参加した者と1日目から参加した者で差がなくなっていくことが分かった。
- 交通環境が急激に変化した場合でも、既存の1日目からの参加者は直後にその影響を受けるわけではなく、その後、何日か経過すると影響が現れる、ということが分かった。

なお、これらの結果については、経路選択行動に関する可能性を示唆したに過ぎないが、個人経路モデルを融合したネットワーク・シミュレーションの妥当性および将来的な発展の可能性を議論するための、1つの材料となったと考える。特に、既存研究での知見である、「経路の形成過程には3段階ある」という現象について、旅行時間、経路変更率、幹線道路利用率という指標を用いて、融合したシミュレーション上で表現できる可能性があることを、2つのシミュレーション・パターンを通して確認できたことは、本研究における一番の成果である。

今後の課題として、ある程度リアルなデータを用いたシミュレーションを行い、個人経路モデルを融合したネットワーク・シミュレーションの妥当性の検証を進めてゆくのと同時に、詳細な仮定を設定し、複雑な経路選択行動をシミュレーションを用いて解明してゆくことが挙げられる。個人経路モデル自体の問題として、推定式には含まれていない要素（個人属性、その他の物理的特性など）、あるいはモデル構造（認知した複数情報のリンケージによる判断モデル、出発時刻の変更を考慮したモデルなど）を再検討してゆく必要がある。また、VICS等によるリアルタイムな情報提供とそれに基づいたカーナビゲーションによる経路誘導の影響を考慮したモデルの検討も行う必要がある。なお、そのモデルを検討する際にも、今回用いた個人経路が基本となるはずである。

【謝辞】

本研究は国土交通省の受託研究「ITSに関する基礎的先端的研究」の一部として実施したものである。土木系主査の桑原雅夫教授（東京大学）をはじめ、関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吉井稔雄：やさしい交通シミュレーション 7. シミュレーション技術総覧，交通工学，Vol.33 No.4，pp.75-

79,1998.

- 2) 関根憲一：やさしい交通シミュレーション 8. シミュレーション技術総覧，交通工学，Vol.33 No.5，pp.46-50, 1998.
- 3) 堀口良太，片倉正彦，桑原雅夫：都市街路網の交通流シミュレーター-AVENUE-の開発，第13回交通工学研究発表会論文報告集，pp.33-36，1993.
- 4) 岡村寛明，桑原雅夫，吉井稔雄，西川功：一般街路網シミュレーションモデルの開発と検証，第16回交通工学研究発表会論文報告集，pp.93-96，1996.
- 5) 中川了爾，大鹿裕幸，久野雅弘，平山正広：多目的型交通シミュレーションシステムの開発，第15回交通工学研究発表会論文報告集，pp.33-36，1995.
- 6) 井上博司：道路網交通流の動的シミュレーション手法に関する研究，土木学会第48回年次学術講演会，pp.684-685，1993.
- 7) 土木計画学研究委員会：土木計画学ワンディセミナシリーズ23，pp.91-137，2001.
- 8) 土木学会編：交通ネットワークの均衡分析－最新の理論と解法－，丸善，1988.
- 9) 坂本邦宏，久保田尚，門司隆明：地区交通計画評価のための交通シミュレーションシステムtiss-NETの開発，土木計画学研究・論文集No.16，pp.845-854，1999.
- 10) 菊池守久，坂本邦宏，久保田尚：個人の経路変更可能性に着目した動的地区交通シミュレーションモデルの開発，土木計画学研究・論文集，No.16，pp.651-658，1999.
- 11) 菊池守久，坂本邦宏，久保田尚：自動車運転者の経験および認知情報の蓄積による経路選択機構の変容に関する研究，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集 第4部，pp.734-735，2000.
- 12) 久保田尚，福田剛男，坂本邦宏：くり返し走行実験による自動車運転者の経路選択機構とその変容に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.16，pp.643-650，1999.

交通シミュレータ内における個人の走行経験蓄積を考慮した 経路選択モデルの交通シミュレーションへの適用*

吉田豊**・坂本邦宏***・久保田尚****

ネットワーク・シミュレーションにおいて、リンク交通量を算出する手法として配分理論に基づくものが現在の主流である。しかし配分理論は個人を主体とした実際の交通行動とは異なる考え方によりリンク交通量を算出する方法である。本研究では交通現象が個人の行動結果の総和であることに着目し、走行経験をも保持しうる運転者個人の経路選択行動モデルを交通シミュレーションに適用することで、主体の相互作用により生じる交通現象を時系列的に捉えることを試みた。

Applying Way-finding Model with Personal Experience to Traffic Simulation*

By Yutaka YOSHIDA**・Kunihiro SAKAMOTO***・Hisashi KUBOTA****

In the Network-simulator, it's mainstream to calculate the link-volume by using assignment theory. However, assignment theory is the method to calculate the link-volume, but based on the real transport phenomenon that is reflected by personal activities. In this paper, the attention is focused on applying way-finding model with personal experience to traffic micro-simulation. At the same time, we attempt to observe the time-series transport phenomenon by using this simulation.