

参加型経路選択シミュレーション実験システムの開発*¹

Development of a Route Choice Experiment System with Participatory Simulation Technology*¹

菊池輝*²・山本貴之*³・北村隆一*⁴

By Akira Kikuchi*², Takayuki Yamamoto*³ and Ryuichi Kitamura*⁴

1. はじめに

情報技術の進展に伴い、交通情報提供による道路混雑の解消に期待が寄せられて久しいが、情報提供に関しては、その有効性を疑問視する見解もある。例えば、多数のドライバーに同一内容の情報を提供することで、推奨された経路に交通が集中し、その結果、情報提供により逆に道路混雑を招くというハンチング現象が生じる可能性が示唆されている¹⁾。このような情報提供による負の影響を回避し、効率的な道路利用を促す適切な情報提供のあり方を明らかにするためには、情報提供下でのドライバーの行動を解明することが必要不可欠である。

情報提供下でのドライバーの行動を分析する研究はこれまでも多く報告されており、提供情報に対する個人の反応メカニズム²⁾や、画一的な行動規範が与えられた行動主体を想定した交通流シミュレーションを用いた情報提供効果³⁾に関する知見が得られている。しかしながら、上述のハンチング現象に見られるように、現実の交通状況は多様な行動規範に基づいた多数の行動主体の意思決定結果により、大きく様変わりする可能性がある。言い換えると、現実の交通状況は個々人の意思決定行動の集積として表出した一結果であると言える。個々人の行動選択に対する結果には、知ることのできない他者の選択が強い影響を及ぼし、それと同時に個々人の選択は他者の選択結果に影響を及ぼす。この事実を鑑みると、情報提供効果を把握するためには、ドライバー間の相互作用の影響を考慮する必要がある。

そこで、本研究では、ドライバー間の相互作用を考慮できる室内実験環境を構築し、多人数同時参加型のシミュレーション実験を行った。本稿ではその実験環境の概要を紹介する。

2. 経路選択行動分析における実験研究のレビュー

実験を広義にとらえ、被験者を対象とした実験のみならず、シミュレーション等による数値実験をも対象とすれば、経路選択行動分析の研究において、実験アプローチは様々適用されている。

(1) 被験者を対象とした室内実験

提供情報に対するドライバーの反応を分析するためのデータ収集方法として、海外では1980年代の後半から実験アプローチが採用されており⁴⁾、行動変更のメカニズムや、情報の違いが行動にもたらす影響について分析している。しかしこれらの研究では被験者間の相互作用は考慮されていない。

飯田ら⁵⁾は「選択状況の文脈に依存しない、基本的な、ある種の反応のようなメカニズムを探る」ために、繰り返し実験を行っている。この実験では、経路の旅行時間変動の与え方を操作要因とし、外生的（被験者の選択とは無関係に実旅行時間を決定）な与え方と、内生的（被験者の選択結果を集計し実旅行時間を決定）な与え方の経路選択行動への影響を分析している。結果として旅行時間変動の与え方の違いはあまり影響しないと結論づけている。しかし内生的な与え方において、被験者の選択結果を集計し旅行時間を決定する作業が手作業になっているため実験結果の再生性に疑問があることに加え、旅行時間の大小が数値でしか被験者に示されていないので、時間の差異が適切に認識されていない可能性が指摘できる。

宇野ら⁶⁾も、情報提供下のドライバーの経路選択機構の解明を目的とした室内実験を実施しているが、経路の所要時間が予め外生的に決められており、ドライバー間の相互作用は考慮されていない。

一方、溝上ら⁷⁾の室内実験では、仮想のドライバーを実験に内在させ、被験者の選択結果を拡大したものと合算した上で、旅行時間を算出している。しかし仮想ドライバーの選択は外生的に与えるものであり、また被験者の選択結果を拡大する根拠も乏しい。

(2) シミュレーションによる数値実験

飯田ら⁸⁾は、情報提供が経路選択や交通流に与える影響

*1 キーワーズ：参加型シミュレーション実験，経路選択

*2 正員，工博，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
(京都市西京区京都大学桂4-C1-2，
TEL 075-383-3240, FAX 075-383-3236
E-mail:kikuchi@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

*3 学生員，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

*4 正員，Ph.D.，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

を考慮した動的経路選択モデルの構築を目的に、提供情報の利用者率と情報の依存率を可変パラメータとした交通流シミュレーションモデルを構築し、各可変パラメータが交通流状況に与える影響を分析した。Yoshii et al⁹⁾は、現在情報か予測情報かといった情報の内容やその正確さが、情報利用者率の変化に伴って、交通状況にどのような影響をあたえるかに着目し数値実験を行っている。しかし、これらの既往研究では、行動主体を均一なものとして扱っており、情報が個人に与える影響のみしか考えていない。つまり、個々の異質性や、個人間の相互作用に関しては考慮されていない。一方、行動主体間での相互作用を考慮した既往研究として、山下¹⁰⁾は、マルチエージェントシミュレーションを用いて、提案した経路情報共有戦略の効果を検証している。

このようにシミュレーションを用いた経路選択行動分析は多数行われており、個々人の選択行動の集積がシステム全体としてどのような状況を創り出すのか、興味深い知見が得られている。しかしシミュレーション内のドライバーの選択構造は、いくつもの仮定の上で構築されており、果たして実際のドライバーが同じような反応を示し、同じような状況が創り出されるのか、という疑問に対しては、選択モデルの仮定を考慮した上議論する必要がある。

(3) 本研究の位置づけ

実験アプローチによる経路選択行動研究はこれまでに多数行われてきたが、ドライバー間の相互作用という観点に着目して、情報提供下のドライバーの行動を明らかにすることを目的とした研究はシミュレーションによる数値実験にとどまっている。そこで本研究では、シミュレーション結果の実証性を分析する実験ツールを開発する。またこの実験ツールを用いることにより、明示的に被験者間の相互作用を取り扱える室内実験が可能となり、経路選択行動分析のための現実的なデータ収集方法となるであろう。

3. 実験システムの概要

本室内実験システムは、10台のPCと、それらをLANで接続した1台のサーバーPCから構成される。サーバーPCには図-1に示すように、複数のAgent (Agentの数は外生的に与える) が内在しており、被験者と同様の選択を行う。つまり、サーバーPC内ではAgent Simulationが実行され、Agentが創り出す仮想空間内に被験者がドライバー・アバターとして参加することになる。

被験者端末はパーティションで区切られており、他者の選択結果を見ることはできない。実験者からも直接には被験者画面を見ることはできないが、管理用のPCを1台設置しており、VNC (Virtual Network Computing) によって被験者画面を確認できる (図-2)。

以下では、サーバーPC内で稼働するAgent Simulationの詳細を述べる。

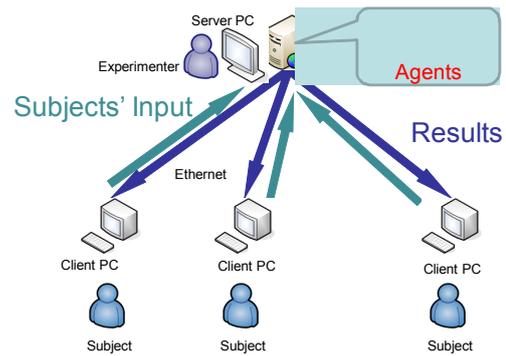


図-1 実験システムの構成



図-2 被験者端末管理用PC

(1) 想定する経路選択行動

図-3に示すような、10Dの自動車トリップを想定し、トリップ途中に分岐点が存在し、複数経路に分岐する。被験者ならびにAgentはこの分岐点に到着時に経路選択を行う。出発時刻は全ドライバーほぼ同時であると仮定しているが、一部のAgent (先行決定Agent; 次節参照) は被験者よりも先行して走行させている。これは後述の交通情報を生成するためである。また場合によっては一部の被験者やAgentには交通情報が提供される。情報の種類については節を改めて述べる。

なお、分岐後の経路数や各リンクの属性は外生的に設定可能となっている。

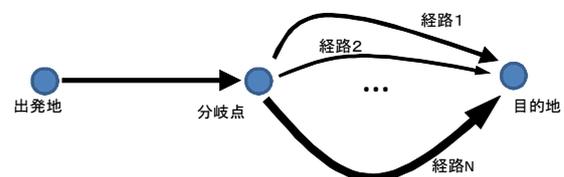


図-3 想定する道路ネットワーク

(2) Agentの挙動

Agentは次の2種類の属性いずれかに属している。

- ・先行決定Agent: 被験者より先に経路を決定
- ・同時決定Agent: 被験者と同時に経路を決定

また各Agentは、以下の過程で毎回の経路選択を行う。

- ① 自身の走行経験の蓄積により、各経路の認知所要時

間を形成する

- ② 提供される情報と自身の認知所要時間から各経路の所要時間を予測する（この予測値を意思決定基準と定義する）
- ③ 意思決定基準の値を基準に確率的に経路選択する

a) 認知所要時間の更新式

- Agent kが $s_{i,n-1}$ 回目で選択した経路

$$T_{i,n}^k = \left(1 - \frac{\theta}{S_{i,n}^k}\right) \times T_{i,n-1}^k + \frac{\theta}{S_{i,n}^k} \times t_{i,n-1}$$

- Agent kが $s_{i,n-1}$ 回目で選択しなかった経路

$$T_{i,n}^k = T_{i,n-1}^k$$

- ただし、いずれの経路も1回目では0である

$$T_{i,1}^k = 0$$

ここで、

$T_{i,1}^k$: n回目開始時に、Agent kが経路i について持つ認知所要時間

$S_{i,n}^k$: n回目開始時までAgent kが経路iを選択した回数

$t_{i,n-1}$: n-1回目の経路 i の実所要時間

θ : 経験による学習効果 (外生パラメータ)

b) 意思決定基準

- 情報を提供されないAgent

$$DT_{i,n}^k = T_{i,n}^k$$

- 情報を提供されるエージェント

$$T_{i,n}^k \neq 0 \text{ のとき } DT_{i,n}^k = (1 - \lambda) \times T_{i,n}^k + \lambda \times IT_{i,n}$$

$$T_{i,n}^k = 0 \text{ のとき } DT_{i,n}^k = IT_{i,n}$$

ここで、

$DT_{i,n}^k$: n回目の経路選択時に、Agent kが経路iに について持つ意思決定基準

$IT_{i,n}$: n回目の経路選択時における経路iの提供 情報時間

λ : 情報依存度 (情報の種類によって異なる 値 ; 外生パラメータ)

c) 確率的選択方法

Agent kが経路を選択する確率は、以下で与える。乱数を用いて、選択経路を決定する。

$$P_i^k = \frac{\exp(-\gamma \times DT_i^k)}{\exp(-\gamma \times DT_1^k) + \exp(-\gamma \times DT_2^k) + \dots + \exp(-\gamma \times DT_N^k)}$$

ここで、

γ : 外生パラメータ

このように、サーバーPCに内在するAgentは繰り返し実験の過程で各々が学習することになる。また、被験者同様に道路状況を把握していない状況から学習を開始させるこ

とに加え、以前の実験結果を用いて、予めAgentに認知所要時間の初期値を与えることも可能にしている。

(3) 選択結果から実現される旅行時間

各ドライバー（被験者とAgent）の実験内での経路選択が、経路の交通状態つまり交通量に反映され、その交通量に基づいて旅行時間が内生的に決定される。各経路の選択人数を以下のBPR関数に代入して、その時の経路の実旅行時間を算出する。

$$t^i = tf^i \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{q^i}{C^i} \right)^\beta \right\}$$

ここで、

t^i : 経路iの実旅行時間

tf^i : 経路iの自由旅行時間

q^i : 経路iの交通量

C^i : 経路iの交通容量

α, β : 外生パラメータ

(4) ドライバーに提供される交通情報

本実験システムでは、経路上の交通状況から内生的に提供情報を生成する。逆に言えば、提供情報を予め外生的に与えることは不可能になっている。本システムでは、以下の提供情報が設定可能である。

- ① 走行前情報：被験者には、最近過去数回分（外生的に設定可能）の自身の選択経路とそのときの所要時間の履歴を毎回の走行前に情報として提供
- ② 経路選択時情報
 - 予測情報：先行決定Agentの各経路選択比率に全ドライバーが従うと仮定した上で、各経路に配分される交通量を予測し、BPR関数から算出される各経路の予測所要時間を提供
 - 統計的情報：最近過去数回分（外生的に設定可能）の各経路の実所要時間の平均値をそれぞれの経路の情報として提供

(5) ドライバーの意思決定と走行結果の表示

被験者には、分岐点到着時、どの経路を選択するかという質問が表示される。被験者はキーボードのテンキーを使用し、選択経路を入力する。全被験者の入力完了すると、分岐後の走行が開始する。走行終了後には、各被験者に実旅行時間が数値で提供される。しかし数値情報だけでは旅行時間の大小が認識されにくいと考え、各リンクを走行中には、車両が走行しているアニメーションを表示し（図4）、当該経路を選択したドライバー数に応じて周辺車両が表示される。またBPR関数から計算された走行速度に基づく速さで再生される。そのため混雑している経路かどう

かを感覚的にも把握することができる。

また走行前・分岐点到着時・走行終了後には、任意のアンケートを設定することが可能である。例えば各経路の認知所要時間や、今回の旅行時間に対する満足度等を任意の繰り返し回数時に提示することができる。

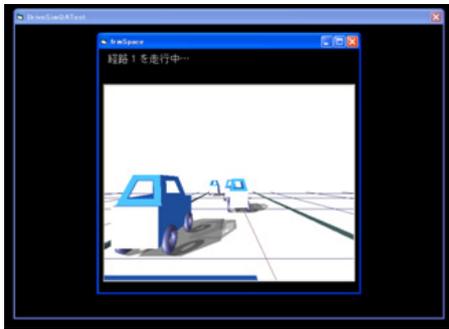


図-4 走行中アニメーション

(6) 実験システムの流れ

以上をまとめると、実験システムの流れは図-5のようになる。先行決定Agentが、被験者ならびに同時決定Agentに先行して経路を走行しているために、先に経路選択を行い、後から経路選択を行うドライバーには先行決定Agentの選択結果をもとに提供される情報が生成されることになる。

なお、繰り返しにおける毎回の出発は全員が同時に行えるよう、サーバーPCが全被験者端末と同期を取り、進行を管理している。

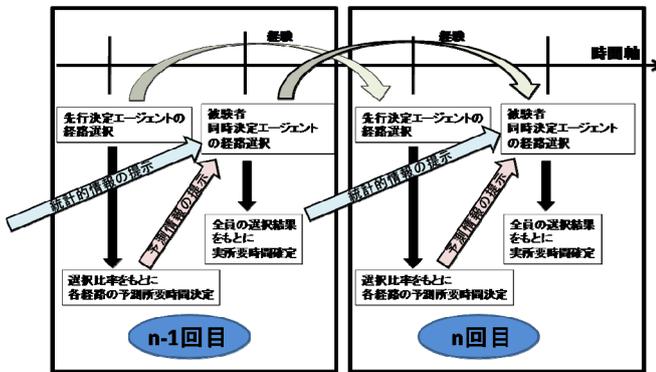


図-5 実験システムの流れ

(7) パラメータの設定と実験結果の出力

実験実施にあたり、各種外生パラメータを設定する必要がある。本システムはサーバーPC上においてWEBブラウザを用いて、各種パラメータやアンケート項目、アンケートを行う繰り返し回数等を設定可能である。また実験前に様々なパラメータ設定を保存し、実験開始時に呼び出すことも可能である。

実験結果はCSV形式でサーバーPCに保存される。各被験者の選択結果やアンケートの回答結果に加え、被験者が入力に要した時間が記録される。また全Agentの情報（選択結

果、認知所要時間の値、意思決定基準の値）や、道路状況の情報（各経路の選択人数、実所要時間、提供情報値）も記録される。

4. おわりに

本研究では、ドライバーのday-to-day dynamicsの解明には、被験者間の相互作用を考慮できる実験環境が必要であると考え、多人数同時参加型経路選択シミュレーション実験装置を開発した。本システムを用いた経路選択実験の分析結果については講演時に紹介する。

なお、本実験システムは、科学研究費補助金（基盤研究 (B)、課題番号17360246）にて開発したものである。また本システム開発にあたっては橋本博至氏に大いなる協力を得た。

参考文献

- 1) 大口敬 編著：「交通渋滞」徹底解剖，社団法人 交通工学研究会，2005.
- 2) 飯田恭敬，宇野伸宏，村田重雄，渡部健二：旅行時間情報提供下の経路選択機構に関する実験，土木計画学研究・講演集 No.16 (1)，1993.
- 3) 飯田恭敬，宇野伸宏，長谷川哲郎：情報提供のための経路選択シミュレーション，土木計画学研究・講演集 No.15(1)，pp67-74，1992.
- 4) Mahmassani, H.S., G.-L.Chang and R. Herman: Individual decisions and collective effects in a simulated traffic system, *Transportation Science*, Vol.20, pp.258-271, 1986.
- 5) 飯田恭敬，内田敬，宇野伸宏：交通情報の効果を考慮した経路選択行動の動的解析，土木学会論文集 No.470/IV-20，pp77-86，1993.
- 6) 宇野伸宏，飯田恭敬，久保篤史：旅行時間情報提供下での逐次経路選択行動に関する実験分析，土木計画学研究・論文集 No.14，pp. 923-924，1997.
- 7) 溝上章志，柿元竜治，柴木雅也：情報提供下での動学的経路選択行動に関する実験的分析，土木学会論文集 No.470/IV-20，pp.77-86，1993.
- 8) 飯田恭敬，宇野伸宏，長谷川哲郎：情報提供のための経路選択シミュレーション，土木計画学研究・講演集 No.15(1)，pp67-74，1992.
- 9) Yoshii, T., Akahane, H. and Kuwahara, M. : Impacts of the accuracy of Traffic Information in Dynamic Route Guidance Systems, *Proceedings of The 3rd Annual World Congress on Intelligent Transport Systems*, 1996.
- 10) 山下倫央，和泉潔，車谷浩一：交通流における経路情報の共有に基づいた経路選択の効果の検証，電子情報通信学会技術研究報告 Vol.103 No.725，pp.41-46，2004.