

習慣解凍と交通政策： 道路交通シミュレーションによる考察

藤井 聰¹・中山晶一朗²・北村隆一³

¹正会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻 助教授(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

²正会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻 研究員(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

³正会員 Ph.D. 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻 教授(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

本研究では、これまでに指摘した「思い込み均衡」をより効率的な状態へと誘導するために必要とされる交通政策を議論するための基礎的な知見を得ることを目的とした交通システムシミュレーションを行った。分析に用いたシミュレーションモデルは、道路上の混雑現象を表現するだけでなく、個々の運転者の記憶の蓄積、選択ルールの学習といった長期的な情報処理プロセスを考慮した上で、道路交通量の日変動をシミュレートするものである。得られたシミュレーション結果と、従来の習慣と思い込みに関する理論的・実証的研究で得られている知見に基づいた考察から、交通量過多となっている選択肢の一時的および継続的な容量削減が、思い込み均衡の効率化に適した交通政策である可能性を指摘した。

Key Words: deluded equilibrium, simulation analysis, negative belief, unfreezing a habit

1. はじめに

(1) 交通ネットワーク分析の枠組み

道路網上の交通流の分析手法として、均衡分析が盛んに適用されている¹⁾。このネットワーク均衡分析は、個々のドライバーの経験情報の取得やそれに基づいた経路選択意思決定における認知的な情報処理プロセスについて単純な仮定を設けた上で経路選択行動をモデル化し、交通システム全体の挙動の記述を目指すものである。当然ながら、均衡分析によって現出する解、すなわち、モデルによって予想される交通状態は、前提とする行動モデルの性質に直接的に依存する。

一方、筆者らは交通ネットワーク上の交通現象を日変動に着目して分析する分析手法を提案している^{2), 3)}。この分析手法は、小林⁴⁾が提案する交通均衡モデルと同様に完全情報仮説を緩和するとともに、意思決定上の情報処理プロセスを出来る限り明示的にモデル化した上で交通現象の記述を目指すものである。言うまでもなく個人の意思決定プロセスを完全にモデル化することは不可能である^{5), 6)}が、このモデルでは運転者の意思決定を経験の蓄積、記憶の忘却、交通環境への適応を意味する意思決定ルールの変化等を考慮した上でモデル化している点が大きな特徴である。マクロな交通現象の記述にあたっては、各モデルが非線形な方程式群から

構成されることから、解析的に解を誘導することを放棄し、確率的要素を導入したシミュレーションを用いている。

(2) 思い込み認知と思想均衡

筆者らは、以上の枠組みに基づいたシミュレーションモデルを用いると、個人の意思決定プロセスを簡素化したモデルから数理解析的に誘導される均衡解とは性質の異なる解が現れることを示している。すなわち、

「道路交通システムは、最終的には定常状態に収斂するものの、その状態はシステム内の運転者の特質の分布によって分岐⁷⁾するとともに、不可逆な時間構造をもつなど均衡分析ではあまり取り扱われなかった「複雑な」性質がある」

ことを結論としている²⁾。なお、ここに言う定常状態とは、道路交通システム内の全ての運転者が同じ経路を利用し続ける状態であり、交通量が時間変動しない状態を意味している¹⁾。そして、この結論を特徴的に示す均衡解として「思想均衡」を報告している。

ここに言う「思想均衡」とは、習慣的にある選択肢を利用し続ける個人が、それ以外の選択肢のサービス水準が実際の水準以上に低いものと認識している状態であり、経済分析の際にしばしば仮定される合理的な期待⁸⁾からはシステムティックに乖離した認知状況を意味する。「合理的主体の長期的な学習行動の結果、彼の主観的な期待は客観的な実現値に一致する」ことを主張する合

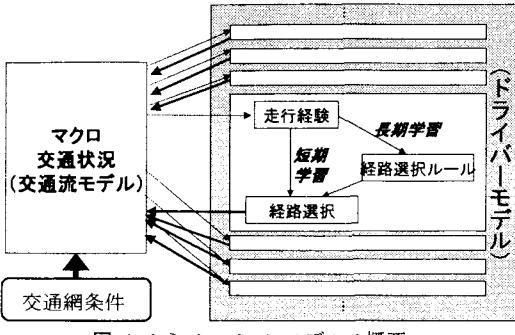


図-1 シミュレーションモデルの概要

理的期待形成仮説⁴⁾との対比で思い込み認知を定義すれば、特定の行動を繰り返す間に習慣を形成して学習を停止する^{9), 10)}ために生じる代替選択肢に対する否定的信念(negative belief¹¹⁾)、と定義できよう。

思い込み認知は、習慣を持つ個人の一つの心理的傾向としても指摘されている¹¹⁾。認知的不協和理論¹²⁾に基づけば、思い込み認知の様に、自らが利用していない選択肢のサービス水準を過小評価する(すなわち、否定的な信念を形成する)という仮説は、理論的な妥当性を持つものとも言える^[2]。実際、交通機関の所要時間に関して、それを支持する実証知見が得られている^{13), 14)}。この分析では、平常時では習慣的に高速道路を利用する自動車通勤者が、当該高速道路が通行止めのためにやむを得ず公共交通機関を利用した場合の、出発前の所要時間の予想値と実際の旅行時間を比較することで、思い込み認知の存在を統計的に示している。同様に、仮想的な状況を創出する室内実験においても、被験者が思い込み認知を形成するという結果が得られている¹⁵⁾。これらから、思い込み認知を運転者が持つという仮説の蓋然性は決して低くはない、と言うことが出来よう。

以上の様な思い込み認知を形成する個人は、現在利用している選択肢が主観的に最も望ましい選択肢であると考えているのであるから、選択肢を変更する誘因を持たず、したがって、同じ経路を選択し続けることになる。したがって、もし、運転者全員がこの様な認知を形成していれば、リンク交通量や所要時間等で表現される交通状態は変化しなくなる。筆者ら²⁾は、この様に、運転者全員が思い込み認知を形成し、その結果、交通状態が日変動しなくなる状況を、思い込み均衡と定義している^[3]。

(3) 本研究の目的と構成

もし、現実の交通ネットワークで思い込み均衡状態が成立している場合、どのような施策がネットワークの効率的利用に有効だろうか? この疑問に回答を提供する手

がかりを見いだすことが、本研究の主たる目的である。

本研究では、分析的基本的枠組みとして、筆者ら²⁾が従来に行った分析と同様に、シミュレーションアプローチを採用する。ただし、従来のモデルでは、経験の蓄積による認知旅行時間の変遷を表現するものではあったが、意思決定ルールの変遷を表現するものではなかった。

一般に、意思決定者は経験の取得によってそれを単に記憶していくだけではなく、意思決定ルールそのものも変遷していくものと考えられる。この点に着目し、本研究では個人の判断と意思決定についての知見¹⁶⁾を参考として、筆者らの過去のモデルをより発展させたモデルを構築し、それを適用する。

以下、2. ではシミュレーションモデルの概要を述べる。3. にて、様々な前提の下での計算結果を示した後に、4. でそれに考察を加える。その中で、シミュレーションの中で現れた思い込み認知と人々の習慣との関連について言及しつつ、道路交通システムの動的な挙動に関して議論する。そして最後に 5. で本稿の結論を述べる。

2. 道路交通シミュレーションモデルの概要

本研究の焦点は、個々の運転者の学習に伴う経路選択ルールの変遷がシステムの日変動に及ぼす影響の把握にある。このため、筆者らの従来の研究^{2), 3)}と同様、現実の道路交通システムを非常に簡便な形でモデル化するが、その際、少なくともシステムの日変動にとって重要な意味を持つであろう以下の因果関係を、図-1 に示されるモデルに反映させる。

- 1) 走行経験の記憶の蓄積(短期学習),
- 2) 走行経験に基づいた経路選択,
- 3) 道路交通環境に応じた経路選択ルールの形成(長期学習),
- 4) 運転者間の相互作用としての混雑現象,

これらのうち、1)～3)を運転者モデルで、4)を BPR 関数で表現することとし、これらを組み合わせて交通状態の日変動を表現する。

さて、これら 1)～4)の中で、一般的な均衡分析が明示的に考慮するものは、4)の混雑現象に過ぎない。本アプローチの大きな特徴は、運転者の学習と意思決定に関する 1)～3)の側面を明示的に考慮する点にある。また、本研究が従来の筆者らのモデルと異なるのは、3)の長期的学习を明示的に考慮している点である。以下、運転者モデルについて述べる。

(1) 運転者モデルの概要

運転者が経路選択を行っている場合、その選択を生成する何らかの選択ルールを持っているものと仮定することができるが¹⁷⁾、当然ながら、選択ルールは経験の蓄積や環境の変動に対応して変化していく。そこで、本研究では、1) それぞれの運転者は固有の経路選択ルールに基づいて経路選択意思決定を行っており、2) 経験の蓄積に伴って経路選択ルールが変化していく、と考えた。そして、経路選択ルールの変化を表現するために、各運転者について潜在的な複数の経路選択ルールを想定すると共に、各経路選択ルールごとにルール評価値を考え、その評価値が最も大きな経路選択ルールを採用している、という形でモデル化を図った。

(2) 経路選択ルール

本研究では、複数の経路選択ルールを考慮するが、それらは以下の3つの種類に分類される。

a) 経路固定ルール：経路変更せず、常に同一の経路を選択し続ける。

b) ランダムルール：全くランダムに経路選択を行う。

c) 経験利用ルール：過去の経験に基づいて経路選択を行う。

これらのルールはいずれも、完全情報仮説¹⁸⁾に基づくものではなく、情報の不完全性、すなわち、個人の視野の限界¹⁹⁾を前提とする。人間の情報取得量に限界が存在することは自明であるが、この自明の前提を考慮している点が、一般的な均衡モデルとは異なる点である。

さて、まず、経験利用ルールについては、不確実性に対する態度²⁰⁾によってさらに分類し、それぞれの選択を、以下の式で定式化される主観的な経路評価値 C_{ij}^s の比較でなされるものとしてモデル化する。

$$C_{ij} = t_{ij}^{ave} + \gamma_i^s (t_{ij}^{max} - t_{ij}^{min}) \quad (1)$$

s : 経験利用ルールのラベル($=1, 2, \dots, S$)

m : 最も大きかった/小さかった旅行時間を記憶している日数

I : 旅行時間を記憶している日数($I < m$)

t_{ij}^{ave} : (i-1)日から過去 I 回分の経路 j の走行経験の平均旅行時間

t_{ij}^{max} : (i-1)日から過去 m 回分の経路 j での走行経験のうち、最も大きな旅行時間。

t_{ij}^{min} : (i-1)日から過去 m 回分の経路 j での走行経験のうち、最も小さな旅行時間。

γ_i^s : i 日目における経路選択ルール s の不確実性への

態度を表わすパラメータ。

この経路評価値の最小化行動という形で選択行動をモデル化することで；

- 1) 選択が過去の経験に依存すること、
 - 2) 一定期間以上以前の経験は忘却されること、
 - 3) 突出して早かった経験、遅かった経験は、より長い期間記憶されていること、
 - 4) 平均的に旅行時間が短い経験が得られている経路ほど選択されやすいこと、
- をそれぞれモデルに反映することができる。さらに、パラメータ γ_i^s が負の場合は走行経験のばらつきが大きい経路ほど選択されやすく、逆に正の場合はそれが小さい経路ほど選択されやすくなる。すなわち、当該式化において γ_i^s として複数のものを想定することで、
- 5) 不確実性に対する態度の異質性を表現すること、

ができる。

式(1)に示した学習モデルは、過去の経験旅行時間の平均 t_{ij}^{ave} が経路評価値に含まれていることから、従来から提案されている適応期待学習モデル^{21), 22)}と同型のモデルと言える。適応期待学習モデルは、経験の蓄積による認知と行動の変化を記述する代表的なモデルであることから、本研究でも経験利用ルールのモデルとして採用している。ただし、不確実性に対する態度、ならびにその異質性を考慮していることから、式(1)のモデルを、一般的な適応期待学習モデルを拡張したものであると捉えることもできる^[4]。

なお、以上に述べた経路固定ルール、ランダムルール、経験利用ルールの三つは、従来の研究²³⁾でも用いられている代表的な選択ルールではあるが、全てのルールを網羅するものではなく、これら以外のルール、例えば、これらの組み合わせからなるルールなども考えられる。この点については、結果解釈の際に留意するとともに、今後の課題としたい。

(3) 経路選択ルールの変遷のモデル化

ルールの変遷にも限定的な情報に基づかざるを得ない。この前提に加えて、本研究では、ルールの優劣の判断が参照点(reference point)を基準としたものであるものと考えた。これは、人間の種々の価値判断の際、参照点が頻繁に用いられており¹⁶⁾、参照点の水準が意思決定に大きな影響を及ぼすことも実証的に示されているからである²³⁾。

これらを最も基本的な前提として、「そのルールを用い

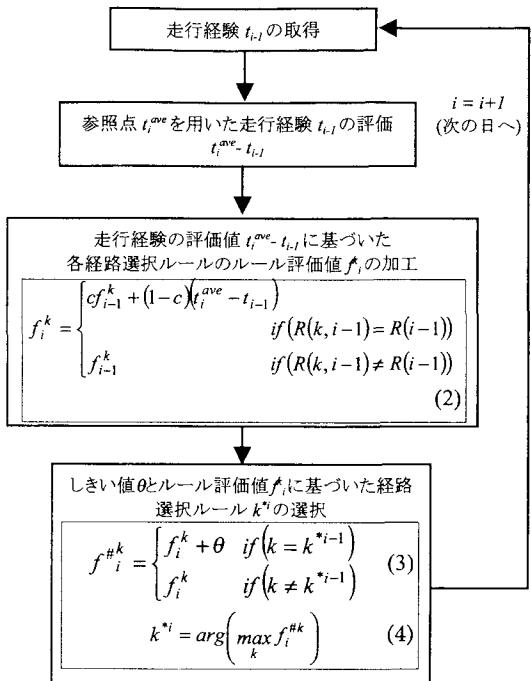


図-2 経路選択ルールの変遷についての情報処理プロセス

ていれば、普段よりも早く行けたのだろうか?」という判断が運転者の経路選択のルールを変更する基本的動機として働いているものと仮定した。すなわち、限定的な経験情報から構成される「普段」という参照点に基づいて選択ルールの優劣の判断が行われていると仮定した。本研究ではそれを、過去の経験旅行時間の平均値という形でモデル化した。

以上の仮定のもと、本研究では、図-2に示す情報処理プロセスを用いて運転者の経路選択のルールの変遷をモデル化する(付録1参照)。なお、図-2に示した式(2)～(4)で用いた各変数の定義は、以下の通りである。

k : 経路選択ルールのラベル($=1, 2, \dots, K$: 経路選択ルールには経験利用ルールも含まれるため, $K > S$)

$R(k, i-1)$: 経路選択ルール k の($i-1$)日目の推奨経路
(運転者が、経路選択ルール k を経路選択ルールとして採用した場合に選択する経路)

$R(i-1)$: 実際に($i-1$)日目に利用した経路

f_i^k : i 日目の経路選択ルール k のルール評価値

t_{i-1} : ($i-1$)日目の走行した経路の旅行時間

t_i^{ave} : ($i-1$)日より以前 n 日間の走行した経路の旅行時間の平均(走行経験を評価する際の参照点)

k^{*i} : i 目に用いた経路選択ルール

θ : 現在利用中の経路選択ルールへの固執性を意味するパラメータ(≥ 0)

c : 情報の保守性を意味するパラメータ($0 \leq c \leq 1$)

以下、この情報処理プロセスモデルについて述べる。

まず、運転者は走行経験情報 t_{i-1} を入手すると、その走行経験を「普段」を意味する参照点 t_i^{ave} との比較に基づいて評価する。走行経験は普段より早いものなら良い(正の)評価を、遅いものなら悪い(負の)評価を受ける。ついで、その走行経験の評価値に基づいて、各々のルール評価値が式(2)によって更新される。すなわち、推奨経路 $R(k, i-1)$ と実利用経路 $R(i-1)$ とが一致せず、推奨経路の実所要時間が得られていない経路選択ルールについては、「そのルールを用いていれば、普段よりも早く行けたのだろうか?」という判断が不可能であるため、ルール評価値は更新されない。一方で、この条件を満たすルール評価値は、入手した新たな経験情報に基づいて更新される^[5]。この更新は、式(2)に示したように、新しい走行経験の評価値 $t_i^{ave} - t_{i-1}$ と前日のルール評価値との重み付き平均という形で定式化する。この定式化は、先の式(1)で定義した経験に基づいた経路選択ルールのモデル化に採用した適応期待学習モデル^{[21], [22]}の考え方に基づいている。その際の重み c は、新しい情報に対する保守性、あるいは、私有する情報に対する依存の強度を表すパラメータである。1 の場合は新しい経験が全く考慮されず、極端に保守的な態度を意味する。一方、0 の場合は常に新しい経験で判断を行う、極めて革新的な態度を意味する^[6]。

こうして得られたルール評価値を比較して、最も大きなルール評価値の経路選択ルールが採用される。ただし、式(3)に示したように、現在利用している経路選択ルールが有利となっている。ここに、パラメータ θ は、現在の選択ルールへの固執性を意味するものであり、この値が大きいほど、他の選択ルールへの変遷が生じにくい。

(4) 経験利用ルール内のパラメータの変化

本モデルでは、前項に述べた様な形で、ルール評価値を用いて選択ルールの離散的な変遷をモデル化するが、それと同時に、個々の経験利用ルール内のパラメータも、ルール評価値に依存して変化する機構をモデル内に組み込んだ。この機構は、遺伝的アルゴリズム^[24]で用いられる突然変異の考え方を援用しつつ、運転者の学習をモデル化するため^[2]にモデル内に導入したもので

あり、次のようなものである。

経験利用ルールは、不確実性に対する態度のパラメータ γ_i^s と走行経験の記憶日数を意味するパラメータ I によってその性質が規定される。本モデルでは、毎回、ルールの選択が終了した時点で、評価値の最も低いルールのパラメータをランダムに変化させた。こうすることにより、より所要時間の短い経路を予測する能力があるルールは保存され、その能力がないルールは保存されず、そのパラメータが変化することで性質の異なったルールへと変化することになる。もし、変化したルールがより所要時間の短い経路を予測する能力があるのならば、そのルールは保存されることになる。本モデルではこのような形で、より早く目的地に到達しようという動機の下での、経路選択ルールそのものの学習を表現する。この学習は、 t_i^{ave} の更新等のような単なる経験の蓄積を意味する短期的学習ではなく、長期的なものであり、これを考慮している点が、筆者らが従来に提案しているモデル²⁾との相違点である。

(5) 本シミュレーションの解釈に向けて

本研究では、道路交通シミュレーションを行うにあたって、以上の様にいくつもの前提、仮定を設けている。例えば、式(2)にルール評価値の関数を定義するが、通勤行動等における遅刻に代表されるような時間に対して非線形のペナルティ関数も当然ながら考えられる²⁵⁾。しかし、これをモデルに導入するためには、経路のみでなく出発時刻の選択も内生的に取り扱い、かつ、交通状態の時刻変動を表現することも必要となる。選択ルールについても、通常の経路選択行動を、「ある状況 A を知覚した場合には行動 B をとる」といったルールや、認知負荷の小さいヒューリスティクス²⁶⁾、あるいはスクリプト²⁷⁾で表現する方がより現実的な限定合理性²⁸⁾を仮定したモデルとなり得るものとも考えられる。しかし、この様な形で経路選択ルールを表現するためには、具体的な個々の車両の挙動や渋滞長、あるいは、歩行者や沿道の条件など、様々な条件を設定することが必要となる。さらに、次章に述べる様に、本研究で行うシミュレーションでは、計算時に自由度を持たせる条件もある一方で、ネットワーク形状や需要量など、全ての計算において固定化している条件もある。

このように考えると、本シミュレーションが極めて単純な形で意思決定をモデル化していることが分かる。しかし、上述のように、本シミュレーションでは、経験の蓄積と日々の判断、選択ルールの変遷といった長期的な情報処理プロセスをモデル化している点が、一般的な均衡分

析の枠組みとは本質的に異なる点である。繰り返しになるが、現実の運転者が日々の判断と短期的、長期的な学習を行う可能性を持つ存在であるものと考えられる。この点に着目し、均衡分析では取り扱えない諸問題についての知見を得ることが本研究の意図である。

本論文では、結果を分析するにあたり、本シミュレーションで現れる「思い込み認知」は人間の習慣の形成と深い関わりを持つ¹⁴⁾ものであるという前提を受け入れる。そして、人間行動としての習慣について蓄積されている従来の実証的、理論的な知見^{9), 10), 11), 13), 14), 15), 34), 35), 36)}を参照しつつ、結果を解釈する。その上で、人々の思い込み認知、ひいてはその背後に潜む習慣を解凍するための方略とは如何なるものか、という視点からシミュレーション結果が暗示する交通計画上の意義の解釈を試みる。

3. シミュレーション分析結果

(1) 計算の前提

1OD、2リンクの単純な道路網上を 200 人の運転者が毎日利用しているという状況を想定し、両リンクのリンクコスト関数を以下の BPR 関数で定式化した。

$$T = T_f \{1 + \alpha(Q/C)^\beta\} \quad (5)$$

ここに Q が交通量、 T が所要時間である。そして、 T_f として 16、 C として 200、 α, β をそれぞれ 1, 2 と設定した。

運転者モデルの各パラメータについては、経験利用ルールのルール数 S を 5 とした。経路固定ルール数が経路数に対応して 2 つ、ランダムルールが 1 つなので、ルール数の合計 K は 8 である。また、式(1)で定義した旅行時間の最大値と最小値を記憶できる範囲 m を 10、式(2)で定義したルール評価値算定の際に基準とする経験の日数 n を 3 と設定した。なお、式(1)に定義した、旅行時間を記憶している日数 I は 2。(4)で述べたように遺伝的アルゴリズムによって 1 から 10 の範囲で変動する。

シミュレーション結果を分析する際の指標として、以下の指標を用いる事とした。

変動性指標:

$$Fluct = \sum_i \sum_j |q_{i,j} - q_{i-1,j}| / M \cdot N$$

効率性指標

$$Total = \sum_g \sum_i t_{i,g} / M$$

ここに, q_{ij} は経路 j の i 日目の交通量, M は計算日数, t_{ig} は運転者 g の i 日目の所要時間である. 変動性指標はシステムの日変動の程度を意味する^[7]. 一方, 効率性指標は一日あたりの平均総旅行時間を意味する.

また, ある日の交通状態がどれほどシステム最適状態から乖離しているかを表す指標として, 以下の指標を定義する.

最適性指標

$$Deviation = \sum_i (t_i - t_i^*)$$

ここに, t_i^* はシステム最適状態^[8]における経路 i の所要時間である. なお本稿では, t_i^* に変化がみられるような政策分析(以下では分析 3, 4)の時にのみ最適性指標に基づいて結果解釈を行う.

(2) 運転者の異質性とシステムの挙動(分析 1: その 1)

運転者モデルでは, 運転者の異質性を意味するパラメータとして現状の経路選択ルールへの固執性を意味するパラメータ θ , 情報への保守性を意味するパラメータ c がある. それに加えて, 各経路選択ルールのルール評価値の初期値 f_0^k ($\forall k$) も挙げられる. なお, 初期値 f_0^k は, 選択ルールの選択における初期的な態度と見なすことができる.

本研究では, まずこれらの運転者の異質性の設定条件とシステムの日変動との関係を見る目的として, c として 0.5, 0.9, θ として 0.0, 0.5, 1.0, 選択ルール評価値の初期値分布として表-1 の 5 つのケースを考え, それらの全ての 30 の組み合わせについてシミュレーションを行った. 各初期分布の変動性指標 $Fluct$ と総走行時間平均 $Total$ を表-2(1)に示す. なお, f_0^k については, 分散(スケールパラメータを 1 と設定)は等しいが期待値の異なるガンベル分布をそれぞれの選択ルールについて設定し, その分布に基づいてランダムに生成して, 各ドライバーが初期的に用いる選択ルールのシェアが表-1 に示した値となるようにした.

計算結果より, 選択ルールについての新しい情報に関する保守性を意味する c が大きい程, 全ての条件において変動性が低くなる結果となった. 同様に, 現状の経路選択ルールへの固執性を意味するパラメータ θ についても, その値が大きい程変動性が低下する結果が示された. これらの傾向を表す一例を図-3 に示す. これらは

表-1 選択ルールの初期シェア

	経路固定 ルール (経路0)	経路固定 ルール (経路1)	ランダム ルール	経験利用 ルール
初期分布1	0.167	0.167	0.33	0.33
初期分布2	0.4	0.4	0.1	0.1
初期分布3	0.1	0.7	0.1	0.1
初期分布4	0.05	0.05	0.8	0.1
初期分布5	0.05	0.05	0.1	0.8

注 1: 初期分布 1 は固定, ランダム, 経験利用の各ルールシェアが均等, 初期分布 2 以降は, それらのうち, いずれか一つが極端に大きく, 残りは均等, というものである.

注 2: 特に, 経路固定ルールが多いものについては, 一方の経路が多い場合(初期分布 3)と, 均等である場合(初期分布 2)の二つを想定した.

注 3: 経験利用ルールは, 5つのルールにさらに細分されるが, それらの初期シェアはいずれの初期分布においても, 均等となるようにした.

自明の結果であるとも言えるが, 運転者の選択行動と過去の経験との関係を如何に記述するか, という点にシステムの挙動が依存していることを示すものである. 非集計行動モデルの立場からこの結果を解釈すれば, 環境変化への適応行動についての情報を含むパネルデータ²⁸⁾を用いることが, マクロな政策評価のためには不可欠であることを意味しているものとも言えよう.

(3) 思い込み均衡の成立(分析 1: その 2)

表-2(1) より, 極めて変動性の低い状態($Fluct < 1.0$)が, 選択ルールの初期シェアとして初期分布 3(一方の経路への固定ルールが極端に多いケース: 表-1 参照)を設定した場合に, いくつか計算されていることが分かる. これは, 図-4(1)~(3)に示すように, ある程度の日数が経過すると, 経路変更をする運転者がなくなり, 交通量の変動が無くなってしまったことが原因である. これらのケースの総旅行時間 $Total$ に着目すると, 他のケースに比べて必ずしも効率的な状態とはなっていないことが分かる. これは, 交通状態が利用者均衡状態よりも最適性が低い状態に収斂したためである.

ここで, それらの中でも最も効率性, ならびに最適性が低かったケース($\theta = 1.0$, $c = 0.9$, 初期分布 3)において定常状態を迎えている 100 日目における個々の運転者の認知状況に着目する. この時, 経験利用ルール採用者が 35 名, 経路 0 の固定的利用者が 40 名, 経路 1 の固定的利用者が 125 名であった. ランダムルール採用者は 0 名であったが, これは表-3 に示したように経路 0 と経路 1 の間に 4.0 分の実旅行時間差が存在している

表-2 運転者の異質性の影響について(分析1, 分析2)

(1) 利用経路の旅行時間の経験のみを蓄積する場合

		c = 0.5					c = 0.9				
		初期分布1	初期分布2	初期分布3	初期分布4	初期分布5	初期分布1	初期分布2	初期分布3	初期分布4	初期分布5
<i>Fluct</i>	$\theta=0.0$	25.42	26.12	25.02	25.5	25.27	16.82	18.61	16.48	16.53	17.24
	$\theta=0.5$	13.44	14.35	12.94	13.52	13.81	5.13	2.75	0.45	6.74	3.32
	$\theta=1.0$	6.99	3.87	0.32	7.53	5.29	4.79	3.15	0.26	6.63	3.55
<i>Total</i>	$\theta=0.0$	4078	4090	4079	4084	4083	4035	4052	4051	4037	4041
	$\theta=0.5$	4024	4033	4031	4026	4026	4004	4002	4018	4009	4004
	$\theta=1.0$	4010	4009	4025	4010	4008	4011	4002	4217	4009	4006

(2) 非利用経路の旅行時間を事後的に与える場合

		c = 0.5					c = 0.9				
		初期分布1	初期分布2	初期分布3	初期分布4	初期分布5	初期分布1	初期分布2	初期分布3	初期分布4	初期分布5
<i>Fluct</i>	$\theta=0.0$	81.64	82.72	81.19	80.88	81.2	66.33	68.74	66.00	65.21	59.47
	$\theta=0.5$	77.89	77.68	78.41	76.45	78.05	6.45	2.67*	3.52	6.69*	3.63
	$\theta=1.0$	65.45	2.46*	47.28	62.84	67.60	4.72*	2.54*	2.93	7.25	2.80*
<i>Total</i>	$\theta=0.0$	4402	4425	4408	4405	4408	4284	4304	4288	4279	4239
	$\theta=0.5$	4373	4380	4392	4373	4352	4012	4002	4006*	4010	4005
	$\theta=1.0$	4312	4002*	4242	4037	4333	4010*	4002	4007*	4010	4004

*:情報事を事後的に与えて指標が減少したケース

<i>Fluct</i>	~10	
	10~20	
	20~30	
	30~	

<i>Total</i>	~4010	
	4010~4020	
	4020~4030	
	4030~	

表-3 経験利用ルール採用者の経路評価値 C_{ij}^* と実旅行時間

	経路 0	経路 1
実旅行時間	18.25 分	22.25 分
経路評価値 C_{ij}^*	18.25	24.06
差の t 値	0.00	9.66

* 経路評価値は、式(1)で定義されるものであり、必ずしも認知旅行時間を意味するものではなく、その単位も時間ではない
(サンプル数=35: 全員経路 0 利用)

表-4 経路固定ルール運転者の 100 日目における両経路の経路固定ルール評価値 t_{ave}^*

固定的に利用する経路	経路 0 固定ルールの評価値 f_i^*	経路 1 固定ルールの評価値 f_i^*	評価値の差	サンプル数
経路 0	1.00	0.10	8.13	40
経路 1	0.06	1.00	-20.98	125

ことが原因である。この様な場合、ランダムルールを採用する運転者は、早い経路と遅い経路をランダムに利用することになる。したがって、この様な運転者は、両経路の実際の所要時間を把握することができる。これは、式(2)における t_{ave}^* に両経路の実旅行時間が反映されている、と換言することもできる。この様な認知状況の下では、ランダムに選択した結果、所要時間の長い方の経路を利用してしまった場合、式(2)よりその旅行経験を否定的

に評価することになる。その結果、ランダムルールのルール評価値が低下していくことになる。これが、ランダムルール採用者が 0 であった理由である。

一方、上述の様に、経路固定ルールの採用者が多く存在していたが、この原因を以下に説明する。まず、固定的な経路利用者の場合には、例え自らが利用する経路の実所要時間が実際にはもう一方の経路よりも大きなものであっても、その事実を把握していない。なぜなら、過去の経験の全てが現在利用している経路のものであるため、判断の基準となる t_{ave}^* には、利用し続けている経路の実旅行時間のみが反映されているためである。したがって、客観的には他の経路よりも所要時間が長い経路を利用し続けていたとしても、個々の走行経験は否定的には評価されない。そのため、経路固定ルールのルール評価値が低下していくことはない。これが、経路固定ルールを採用する運転者が少なからず存在していた理由である。以上の結果は、Kahneman & Tversky²³⁾や Hogarth¹⁶⁾らがその重要性を指摘していた判断の基準、あるいは、参照点に基づいた意思決定モデルに基づけば、サービスレベルの悪い経路においてさえ、それを固定的に利用する運転者が少なからず存在する可能性が十分に考えられることを示している。

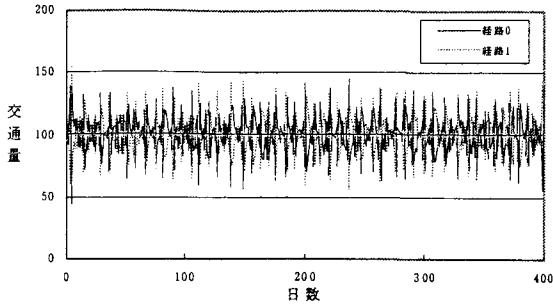


図 3(1) $\theta = 0, c = 0.5$, 初期分布 1

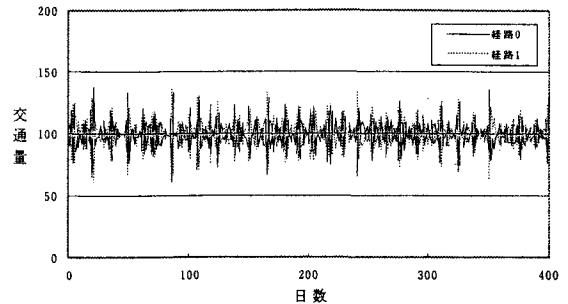


図 3(3) $\theta = 0, c = 0.9$, 初期分布 1

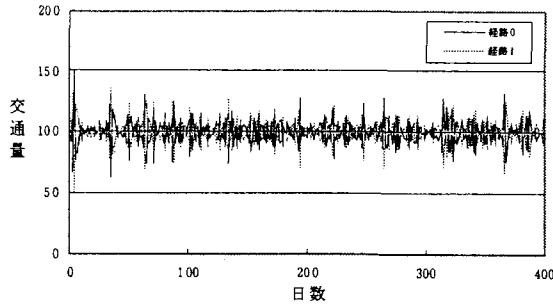


図 3(2) $\theta = 0.5, c = 0.5$, 初期分布 1

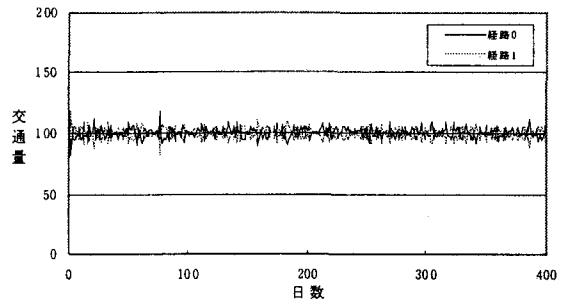


図 3(4) $\theta = 0.5, c = 0.9$, 初期分布 1

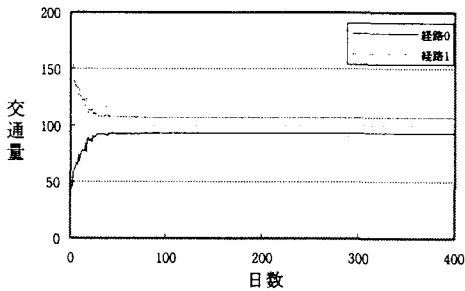


図 4(1) $\theta = 1.0, c = 0.5$, 初期分布 3

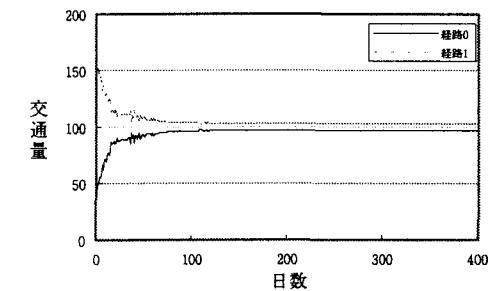


図 4(3) $\theta = 1.0, c = 0.9$, 初期分布 3

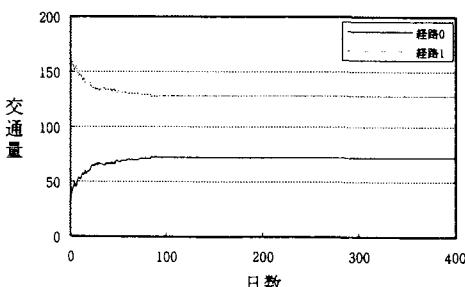


図 4(2) $\theta = 0.5, c = 0.9$, 初期分布 3

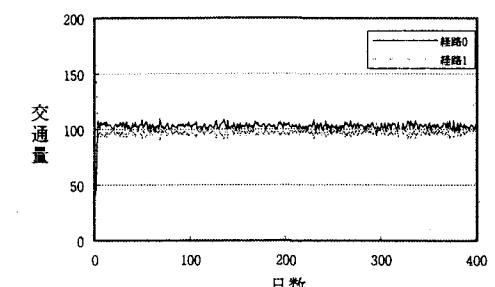


図 5 事後情報, $\theta = 1.0, c = 0.9$, 初期分布 3

さて次に経験利用ルールを採用している 35 人に着目しよう。この 35 人は、全員経路 0 を利用していたのだが、これは、先述のように経路 0 の実旅行時間が経路 1 より

も小さいためである。この意味において、この 35 名の運転者は、少なくともいずれの経路がより所要時間が短いか、という点を把握していることが分かる。ところが、実旅

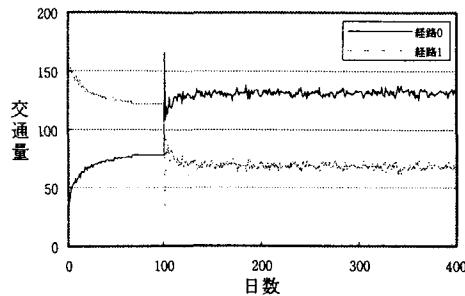


図-6(1) 経路 1 の交通容量を 100 日以降半減

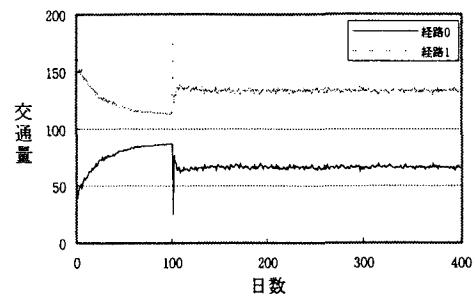


図-6(3) 経路 0 の交通容量を 100 日以降半減

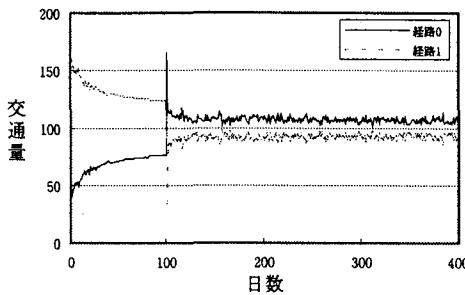


図-6(2) 経路 1 の交通容量を 100 日目だけ半減

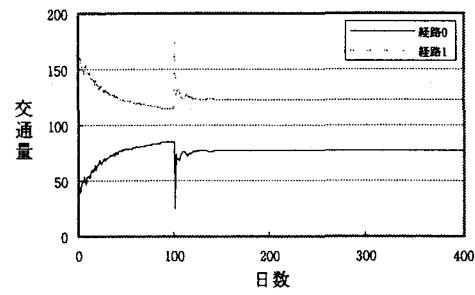


図-6(4) 経路 0 の交通容量を 100 日目だけ半減

行時間と経路評価値 C_{ij}^* に着目してみると、現在利用している経路 0 については差異は全く認められないものの ($t = 0.0$)、利用していない経路 1 については有意に過大な経路評価値 C_{ij}^* を形成していた ($t = 9.66, p < 0.001$)。このことは、経験利用ルールを採用している人達は、現在利用していない経路を実態以上に否定的に評価する、という形の思い込みを形成していることを意味している。この思い込みは、経路 0 から経路 1 へ転換する可能性、あるいは、動機を低下させるものとして働くであろう。

次に、表-4 に、同ケース 100 日目での、経路 0 と経路 1 を固定的に利用しているドライバーの、経路 0 固定ルールと経路 1 固定ルールのそれぞれに対する経路評価値の平均を示す。経路 0 を固定的に利用する 40 人の経路 0 固定ルールの評価値平均は 1.0 である一方で、経路 1 のそれは 0.1 にしか過ぎず、その差は有意である ($t = 8.13, p < 0.001$)。逆に、経路 1 を固定的に利用する 125 人の経路 1 固定ルールの評価値は 1.0 だが経路 0 のそれは 0.06 であり、その差は有意である ($t = -20.98, p < 0.001$)。この結果は、経路固定ルールを採用している運転者達は、経路 1、経路 0 のいずれであるかに関わらず、現在利用している経路を固定的に利用し続けることが、もう一方の経路を利用し続けるよりも得策である、と思いこんでいることを意味している。

このように、図-4 に示した定常状態は、全ての運転者

が自らが利用する経路が他方の経路よりも所要時間が十分に短い、あるいは自らが利用する経路を固定的に利用し続ける経路選択ルールが最も良い経路選択ルールであると思い込むことでシステムが変動しなくなる状態、すなわち、思い込み均衡となっているのである。

(4) 事後的な走行経験情報の効果(分析 2)

先の分析は、利用した経路の旅行時間情報のみを入手できると仮定した分析であった。この運転者の限定性の仮定の緩和がシステムの挙動とどのような関係にあるのかを見るために、1 日の走行が終了する度に代替経路の旅行時間も運転者に伝達するという前提でシミュレーションを行った。このケースでは、両経路の旅行時間の記憶が蓄積されるだけでなく、全てのルール評価値が毎日更新される。計算結果を表-2(2)に示す。

得られた結果と表-2(1)との比較より、変動性指標 $Fluct$ 、総旅行時間 $Total$ ともに増加したケースが、全 30 ケースのうち 22 ケースとなった。従来の研究においても、時間変動に着目した動的分析から情報の提供によって変動性が増加し、効率性が低下するケースが存在することが指摘されてきたが²⁹、この結果は交通状態の日変動に着目した場合にも情報提供が必ずしも望ましい結果を導くものではない事を意味するものと考えられる。

ただし、 $c = 0.9$ 、かつ、 $\theta = 0.5$ または 1.0 の場合では、

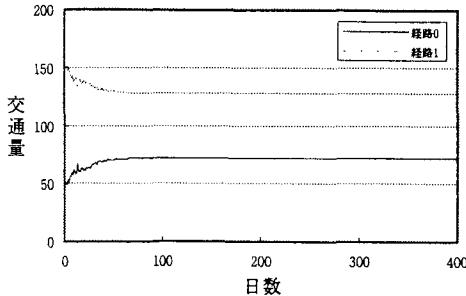


図-7(1) 経路 1 の交通容量を 100 日以降倍増

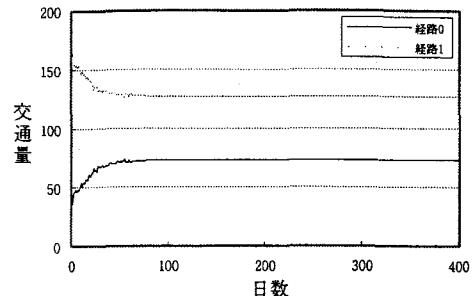


図-7(3) 経路 0 の交通容量を 100 日以降倍増

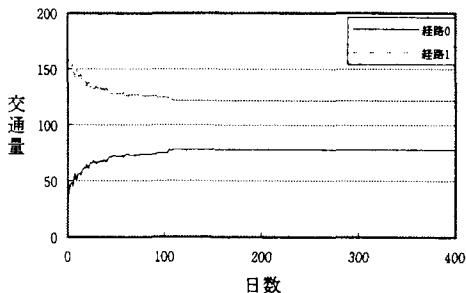


図-7(2) 経路 1 の交通容量を 100 日目のみ倍増

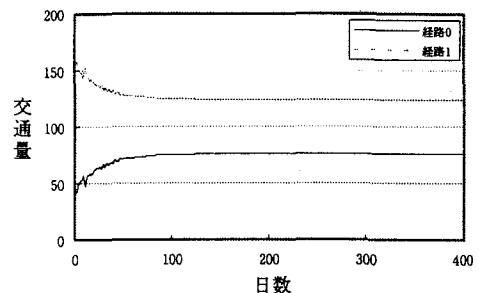


図-7(4) 経路 0 の交通容量を 100 日目のみ倍増

事後情報の入手によっていずれか一方の指標が減少したケースが 10 ケース中 7 ケース(7 割)にも上る一方で、それ以外の 20 ケースのうち変動性か効率性のいずれかの指標が減少したケースは 1 ケースしかない(0.5 割)。すなわち、情報の提供が交通の日変動に及ぼす影響は、パラメータ c とが意味する運転者の過去への状態依存性に大きく左右される。

先ほどの“思い込み均衡”が得られたケースのうち、最も非効率性が強かったケース($\theta = 1.0, c = 0.9$, 初期分布 3)に着目すると、その非効率性が大きく改善されていることが図-5 より分かる。これは、事後的な情報を提供することによって、思い込みが是正され、効率的な交通状態が得られたことを意味している。

(5) 容量削減と思い込み均衡(分析 3)

ここでは、上述の情報の提供以外の何らかの外的刺激を思い込み均衡状態に与えた場合に、どのような状態が現れるのかを計算した結果を示す。対象とした思い込み均衡解は、上述の $\theta = 1.0, c = 0.9$, 初期分布 3 で得られたものである。

まず、交通量過多となっている経路 1 の交通容量を 100 日目以降半減させた場合、100 日目一日のみに半減させた場合のそれぞれを計算した。図-6(1)に示すよ

うに、容量を 100 日目以降半減させると、多くの交通量が経路 1 から経路 0 へとシフトして、交通量の逆転が生じ、その結果、容量変化に伴って変化したシステム最適解の近傍で確率変動する、という結果が得られた。また、100 日目のわずか一日だけ交通容量を半減させるだけでも、大幅に思い込み均衡の非効率性が改善され、ほぼシステム最適状態に近い水準で変動しなくなる結果が得られた。

これら 2 つの結果は、習慣的に利用する経路 1 のサービス水準が悪化することで、利用経路以外を選択する動機が生じ、一部の運転者が経路 0 へシフトするために得られたものである。シフトした運転者は、実際に経路 0 を利用することで、自らの経路 0 の認知が過剰に否定的であったことを知り(すなわち、それが単なる思い込みであったことを知り)、経路 0 をそれ以後利用するようになったのである。

逆に、交通量が過小となっている経路 0 の交通容量を 100 日目以降を半減させた場合においても、図-6(3)に示すように、経路 0 の利用者の一部が経路 1 にシフトして、その結果、システム最適状態(経路 1 の交通量が約 67 台、経路 0 の交通量が約 133 台)の近傍で確率変動する結果が得られた。ところが、100 日目の一日前に半減させた場合(図-6(4)参照)には、先ほどと同様に経路

0 の容量が減少することで経路 0 の利用者の一部が経路 1 にシフトするのではあるが、経路 0 の容量が元通りに復帰した後でも、経路 1 にシフトした交通量が経路 0 に再びシフトすることはないという結果になった。すなわち、ネットワーク利用の非効率性がさらに助長される結果となったのである。これは、経路 0 のサービス水準が一時的に悪化したために、経路 0 に対する否定的な思い込みを持つ運転者が増加したことが原因である。

(6) 容量増強と思い込み均衡(分析 4)

先節の分析は、容量削減が思い込み均衡に及ぼす影響分析であったが、ここでは、容量増強が思い込み均衡に及ぼす影響を調べるために行った分析結果を示す。図-7(1)～(4)に、それぞれ経路 0, 1 の容量を 100 日以降ずっと、あるいは 100 日目の 1 日だけ倍にした結果を示す。なお、容量操作以外の点は、前節(5)の分析と同じである。図-7 より、容量削減による効果が様々な形で現れていた一方で、容量増強による効果は全くといって良いほど見られなかった。これは、自らの経路がより良い経路であると思い込み、学習を停止している運転者には、他方の経路のサービス水準が向上したという情報は伝わらず、逆に自らが利用する経路のサービス水準が向上した折りには、ますます自分の利用する経路が良い経路なのだ、という形で思い込みが増強されてしまうことが原因である。

4. 議論

ここでは、2. (5)で述べた立場に基づいて、前章で述べたシミュレーション結果が示唆する内容、ならびに、それに基づいた考察を加える。

(1) 思い込み均衡の存在

過去の研究²⁾で示したように、動的に日変化する交通状態と、その中の運転者の経験情報取得との相互作用を考慮した交通システム分析を行うと、1) 必ずしも利用者均衡が生じないこと、および、2) 利用者均衡からは乖離した状態で定常状態となること、すなわち、思い込み均衡解が得られる可能性があること、が本研究からも示された。

分析 1 に示した結果から、思い込み均衡が生じた条件を考えると、1) 個人の過去への状態依存性が強い、2) 初期状態において一方の選択肢を固定的に利用する運転者が極端に多い、という 2 つの条件が重なった場合、

思い込み均衡が生じやすくなる、ということが言えるかも知れない。もちろん、現実の各パラメータがどの程度の水準であるかが不明であるため、この結果から思い込み均衡の現実世界での存在の有無、あるいはその偏在性等を直接議論することは出来ない。ただし、先述のように、1) 習慣を形成する個人の一般的な心理的傾向として negative belief が知られていること¹¹⁾、2) 認知的不協和理論¹²⁾の帰結として、普段利用しない経路の特性を必要以上に悪く評価する可能性は十分に考えられること、3) 実際の交通機関選択や室内実験においてはその存在が実証的に示されていること^{13), 14), 15)}、の三点を考え合わせると、現実の経路選択においても思い込みが存在し、それに基づいた思い込み均衡が成立している可能性は十分に考えられるものと思われる。

さらに、計算結果として現れた思い込み均衡解は、利用者均衡解に近いものもあれば、利用者均衡解よりも効率性の観点から望ましくないものもあった。このことは、思い込み均衡解は、利用者均衡とは異なり、ネットワークと交通需要が与件として与えられれば一意に定まる解ではなく、運転者の過去依存性の程度や、個々の運転者の経験の分布などの、微細な要因で任意の状態になり得るものであることを示していると考えられる。

(2) 思い込み均衡と情報

分析 2 からは、的確な情報を運転者が入手することで、思い込み均衡が利用者均衡状態に近づくことが示された。この結果は、思い込み認知の定義からして当然のことである。一方、前節に述べた様に、思い込み均衡解は、ネットワークと交通需要とから一意に定まらないものである。これらの二つの事は、少なくとも思い込み均衡が利用者均衡よりも非効率的な場合には情報提供がネットワークの効率的利用を促すことを意味している。

なお、思い込みの形成する程に強い習慣を持つ運転者は情報収集活動を十分に行わない^{9), 10)}ため、情報を強制的に提供している本シミュレーション結果は、情報提供効果を過大評価していると考えられる。したがって、情報提供方策が有効である可能性は存在する一方で、その効果は期待されるほど大きくないかも知れないとも考えられる。

(3) 思い込み均衡と一時的容量変化

運転者にとって最も信頼性の高い情報は、走行経験から得られるものであろう。分析 3 では、サービス水準が現実以上に低いと信じられている選択肢を利用し、実経験の情報を入手することで、各運転者の思い込みが解

消し、よりシステム最適状態に近い利用者均衡に近づく結果が得られた。

分析3, 4の結果をまとめたのが表-5である。表-5より、今回の数値計算では、効率性指標 Total(総旅行時間の絶対的な水準)とシステムの最適性 Deviation(すなわち、実際の旅行時間とシステム最適な状態における旅行時間との差)との観点の双方ともが改善されるのは、交通量過多選択肢の継続的容量増強と、その選択肢の一時的交通量削減だけという結果になった。言うまでもなく、継続的容量増強方策は莫大なコストが必要である一方で、一時的な交通容量削減に必要なコストは比較にならない程に低い。

一時的容量削減によって思い込み解消する事例は、過去の研究で報告されている^{13), 14)}。その研究は、1)ある選択肢を習慣的に利用する個人は代替選択肢に対して否定的思い込みを抱いているが、2)一時的な容量削減によって一時に代替選択肢を利用することで思い込みを解消する、ということを現実の運転者の行動と認知のデータから示している。

これらのこととは、一時的な容量削減方策は、現有の交通システムの効率的な利用のために有効な方法である可能性を示唆している。

(4) 思い込み均衡と継続的容量変化: 需要追随型インフラ整備方策の心理学的問題点

分析3, 4で示された特徴的な結果は、思い込み均衡下では、継続的容量削減は交通量シフトを誘発するが、継続的容量増強は誘発しない、ということである(表-5参照)。これは、先述のように、非利用選択肢のサービス水準が変化しても行動変化の動機となり得ない一方で、利用選択肢のサービス水準の悪化は行動変化の動機となり得るからである⁹⁾。以下、この結果の交通計画上の意味を考察する。

まず、表-5に示すように、交通量過多の選択肢の容量を増加させた場合(図-7(1)参照)、システム最適解そのものが変化するので、交通量のシフトに変化が無いにも関わらず、見かけ上はシステムの最適性指標 Deviation が改善される。さらに、サービスレベルが向上した選択肢を利用する利用者の旅行時間が短縮されるため、効率性指標 total も向上する。一方、交通量過小の選択肢のサービスレベルを引き下げた場合(図-6(3))でも、交通量過小の選択肢(経路 0)から過多の選択肢(経路 1)へと交通量の一部がシフトし、結果、利用者均衡が得られる。

以上の結果は、非効率的な思い込み均衡が成立して

いる場合には、交通過多の選択肢の容量を増加させ、交通量過小の選択肢の容量を減少させる方策、すなわち、需要追随型方策によって、交通量の大幅なシフトを生じないままに、最適性指標と効率性指標の双方を向上することができる可能性を示している。

一方、本分析では、需要追随型政策とは全く逆に、交通容量過多の選択肢の容量を削減する政策を行った場合(図-6(1))にも、システムの最適性が向上することが示された。容量削減が全体の便益の向上を導く可能性、あるいは、パラドクスは、いわゆる均衡分析の枠組みの中でも示されている^{30), 31)}。特に、特殊な道路ネットワークにおいては、例え完全情報が成立していたとしても交通容量の増強が混雑の悪化をもたらすことが知られている³²⁾。しかし、本分析における結果は、容量削減によって思い込み認知が矯正されるために得られたものであり、従来に指摘されているパラドクスとは本質的に異なる。もし、運転者が思い込み認知を形成しており、かつ、思い込み均衡解が利用者均衡よりも最適性が低いならば、いかなるネットワーク構造においても、容量削減が最適性の向上をもたらす可能性があるものと推察される。

さて、上述の需要追随型政策と、その逆の政策はともに最適性指標を改善するものであり、マクロな交通量の観点からは本質的な差はない。ところが、個々の個人の認知を考えた場合、前者は個人の思い込みそのものを強化(reinforce³³⁾)させる一方で、後者は思い込み認知を消去する、という本質的な相違がある。この相違は、本研究のように個人の認知を明示的にモデル化した上でシステムの挙動を表現しない限りは現れてこない。

もしこの議論に現実的正当性があるならば、それが意味する交通計画上の意義は決して小さく無い。なぜなら、思い込み認知の強い個人は環境からの影響を受けにくい状態に陥っている^{9), 10)}ため、何らかの行政的意図のもとで政策を行っても、その影響を与えることが難しいからである。すなわち、需要追随型のインフラ整備を繰り返すほど、思い込みを強化し、需要追随型政策以外の政策の有効性がますます低下していくかも知れない。本研究で示した計算結果は、この悪循環を断ち切る一つの方法として、需要追随とは逆のインフラ整備政策によって利用者一人一人に、自らの認識が思い込みであることの理解を促す事が有効であり得る可能性を示している。特に、本章(2), (3)で述べた情報提供や一時的な容量削減で抜本的な思い込みの解消を図ることが難しいのならば、その必要性はさらに大きなものと言えるだろう。

表-5 思い込み均衡状態下での容量削減・増強効果

	方策の種類	容量削減方策(分析3)		容量増強方策(分析4)	
		継続的削減	一時の削減	継続的増強	一時の増強
シェア過多選択肢 (本分析:経路1) (例 ¹² :自動車)	結果の図番号	図6(1)	図6(2)	図7(1)	図7(2)
	交通量のシフト	経路1⇒経路0	経路1⇒経路0	シフト無し	シフト無し
	最適性指標Deviationの変化	改善(○)	改善(○)	改善(○)	変化無し(—)
	効率性指標Totalの変化	悪化(×)	改善(○)	改善(○)	変化無し(—)
シェア過小選択肢 (本分析:経路0) (例 ¹² :公共交通機関)	結果の図番号	図6(3)	図6(4)	図7(3)	図7(4)
	交通量のシフト	経路0⇒経路1	経路0⇒経路1	シフト無し	シフト無し
	最適性指標Deviationの変化	改善(○)	悪化(×)	悪化(×)	変化無し(—)
	効率性指標Totalの変化	悪化(×)	悪化(×)	改善(○)	変化無し(—)

¹²= 交通機関分担上の一例

5. おわりに

当然ながら、本シミュレーションは交通現象を極めて簡素化して表現するものであり、各サブコンポーネントに関してもさらなる吟味が必要であるとともに、結果そのものの取り扱いにも慎重な態度が必要とされるものと思われる。しかし、そこで現出する思い込み均衡の背後に存在する思い込み認知は、人間の習慣と深く関わる問題である。本稿では、その点に焦点を当て、シミュレーションの結果と既往の研究で示されている実証的知見を重ねながら、以下のような考察を加えた:

- 1) 思い込み均衡は、利用者均衡とは異なり、ネットワークと交通需要量から一意に定めることが出来ない。
- 2) 運転者が時間情報を取得できれば、思い込み均衡は利用者均衡に向かう。しかし、思い込みを形成する程に習慣化した運転者の積極的な情報取得活動を如何にして促進するか、という現実的問題がある。
- 3) 思い込み均衡では混雑した経路の容量を削減することで、いくらかの交通量を代替経路にシフトさせれば(例えそれが一時的なものであったとしても)、習慣的に同一の経路を利用し続けていた運転者の思い込みは消滅し、その結果利用者均衡が得られる可能性がある。逆に、需要追随型の方策では、運転者の思い込みは解消されない。

交通計画において、需要追随型の交通政策からTDM型の交通政策へと転換を図るのならば、すなわち、利用者の気ままな行動に合わせた交通政策から、利用者の行動の変化を望む交通政策へと転換を図るのならば、利用者の習慣という問題を避けて通ることはできない。

我々の日常的な行動に習慣が果たす役割は極めて大きい^{34), 35)}。そうだとするならば、いかに習慣を解凍(unfreeze^{36), 11)}するかが交通計画上の中心的課題の一つと捉えられるべきである。従来の研究^{11), 37)}では、公共心の活性化が習慣解凍のためには必要であることが示されているが、それだけでは不十分であることも同時に主張している。そう考えた場合、少なくとも、交通システムの効率的利用を妨げる人々の思い込みを適正化するためにも、本稿で検討したような強制的方策を合わせて検討していくことも必要であろう。

謝辞:本論文は、1998年京大土木ワークショップ「均衡を超えて」での発表原稿に基づいて作成したものである。当該ワークショップにて活発なご議論を頂いた参加者全員に、そして、貴重なご意見を数多く頂戴した土木学会論文集編集委員会の方々に、深謝の意を表します。

付録1: 意思決定と判断の記述について

当然ながら、式(2), (3)にて定式化されるルール評価値を運転者が紙と鉛筆、あるいは、計算機を使って計算しているとは考えられない。同様に、式(1)に関しても、運転者が走行経験を毎日メモに残しているとも到底考えられない。ましてや、それらの式に含まれる全ての情報を正確に記憶しているとも考えられない。しかし、それらの評価値や参照点が無意識下に潜在的に存在すると我々分析者が考えることは「意思決定の記述」にとって意義のあることだと考えられる。

例えば、不確実性状況下の意思決定の理論の一つであるProspect理論²³⁾においても、参照点は無意識下の現象であり³⁸⁾、かつ、それを、意思決定者を含むいかなる立場からも観測することも非常に困難であることが指摘されている³⁹⁾。にも関わらず、観測可能な人々の選択をうまく記述することができる。この点においては、Prospect

理論も、無意識的な効用概念を用いて意思決定を記述する効用理論と、同一の立場をとるものである。Kühberger の定義⁴⁰⁾に従えば、これらの意思決定記述モデルは意思決定モデルの種類としては、何らかの価値関数を用いる formal model に分類される(付録2参照)。

しかし、何らかの無意識的な価値関数を想定することと、効用理論を援用することとは明確に区別する必要がある。効用理論は、formal model の特殊な一つの理論体系に過ぎず、効用理論が主張する原則通りではない意思決定についての実証的知見が多く報告されている^{41), 42)}一方で、それらが formal model の枠組みで構築されている記述モデルで理論的に説明されている^{23), 43)}。

本研究で提案する意思決定記述モデルも、記述アプローチとしては基本的には formal model の立場をとるものであるが、効用理論との共通性は、その立場以上のものではない。本モデルが式(1), (2), (3)に定義される指標に基づいて行動をモデル化してはいるものの、それらの指標は効用理論における効用概念とは異なるものであり、価値や便益を計算することはできない。

付録 2: formal Model と cognitive model

formal model に対比されるモデルとして、cognitive model が挙げられる⁴⁴⁾。cognitive model とは、意思決定の過程を直接モデル化するものであり、したがって、意思決定者情報処理能力を考慮することが、モデル構築上の必要条件である。一方、formal model は、認知過程を考慮せずに、意思決定の入力と出力の関連を構造的に記述するに過ぎない。したがって、入力と出力の関連を適切に定式化できる以上は、formal model は個人の情報処理能力を必ずしも考慮する必要はない。すなわち、formal model で重要なのは、その定式化で、意思決定に関するどのような性質をモデルに反映させることができるか、という点であり、認知的処理能力についての議論は不要である。

本研究における運転者モデルは、経験と行動との相互作用のプロセスを記述する。その意味において、このモデルは cognitive model であり、したがって、その相互作用のプロセスを記述する場合には、認知的処理能力が考慮することが不可欠である。ただし、個々のサブモデルは formal model であり、したがって、必ずしも認知プロセス的に解釈する必要はない。すなわち、本シミュレーションモデルは、経験と行動の相互作用プロセスを cognitive model で再現しながら、一つ一つの意思決定は formal model で記述していることになる。もちろん、経験と行動の相互作用の cognitive model に非現実的な情

報処理能力が仮定されていないか、個々の意思決定が満たすべき性質が的確に formal model に反映されているか、については、これからも検討を重ね、改良を加えることが必要である。

注

- [1] ここに言う定常状態は、以下のように定義される。Liapunov 安定の状態である: 状態が S で表現され、かつ、時間と共に状態 S が変化する系を考える。この時、時刻 t における状態 S を $S(t)$ と表現すると、ある時刻 t_1 以降、 S が $S(t_1)$ に留まっている場合、この系は Liapunov 安定と呼ばれる。なお、この系が、ある時刻において如何なる状態 S にあっても、 $t \rightarrow \infty$ の時に特定の Liapunov 安定の状態 S^* に収斂する場合、その系は漸近安定と呼ばれ、これは Liapunov 安定とは区別される。
- [2] 人間には、行動と認知の間に不協和(あるいは矛盾)が存在する場合、1) 認知を歪曲させる、あるいは2) 行動を変化させる、のいずれかによって、その不協和を解消しようとする傾向があることが知られている¹²⁾。例えば、普段ある選択肢ばかりを利用している個人が、その代替選択肢が魅力的であるという認知を形成すれば、不協和がもたらされる。その不協和を解消するために、代替選択肢を利用するという直接行動をとる人もいる一方で、認知の方を歪曲する人もいることになる。この後者の人たちの認知が、思い込み認知である。
- [3] 人々が合理的期待を形成することが保証されているならば、思い込み均衡はたまたま得られた不安定な状態にすぎない。したがって、それが最終的に収斂すべきシステムの状態であるとは考えられない。しかし、合理的期待が成立することは保証されたものではない。確かに、室内実験で、合理的期待形成仮説を支持するデータが得られている⁴⁵⁾が、本文で述べたように思い込み認知を支持する理論的、実証的知見は決して少なくない。すなわち、思い込み均衡がたまたま得られる不安定な状態ではある、とは言えない。
- [4] γ_i が 0、すなわち、リスク中立の運転者の経路評価値は、経験旅行時間の平均となる。この場合の式(1)のモデルは最も単純な適応期待モデルと解釈できる。ただし、リスク態度が中立でない以上は、この経路評価値はリスク態度を反映したものとなる。したがって、その場合は、適応期待モデルとは異なったものとなる。その意味において、適応期待モデルを拡張したものと言える。
- [5] このルール変遷手続きでは、当日に利用されなかったルール評価値でも、 $R(k, i-1) = R(i-1)$ の条件を満たす場合には更新されることになる。このように仮定したのは、本文に記載したように、運転者がそれを実行することは不可能ではないためである。しかし、有限な認知資源しか持たない運転者がそれを現実に行っているか否かは不明である。

ただし、本研究の主要な関心である思い込み均衡の成立との関連で述べれば、このようにモデル化する方が学習

がより早く進行することになるため、思い込み均衡はより成立しにくくなることが予想される。それにも関わらず、このモデルの下で思い込み均衡が現れたことは、思い込み均衡の成立を主張する本論文の結果の妥当性を、多少なりとも支持している様にも見受けられる。ただし、いずれにしても、この点については、運転者の認知過程をより詳細に反映したモデルを構築することが、今後の課題である。

[6] 式(1)では経験した旅行時間の最大値と最小値の差の項が含まれている一方で、式(2)では含まれていない。この点が、経路選択のモデル化のための式(1)とルールの変遷のモデル化のための式(2)との相違点である。この項は、リスク態度を考慮するために式(1)に導入したものであるが、経路選択を一例とするリスク下の意思決定では、リスク態度が演ずる役割は詳しく知られている¹⁶⁾。しかし、ルールの変遷においてリスク態度が演ずる役割については、筆者らの知る限りでは一般的な知見は無いように思える。この点から、ルール変遷の表現式(2)ではこの項を導入しなかった。

[7] 変動性指標と通常の分散との相違は、前者が数値の順番を反映する一方で、後者が数値の順番を考慮しないという点である。それゆえ、変動性指標では、分散では捉えられない日変動の大きさを捉えることができる。

[8] ネットワークを所与とした場合に総旅行時間が最小となる規範的な交通状態。計算対象ネットワークでは、両リンクの特性を同じものと設定しているため、システム最適状態と利用者均衡が一致しており、いずれも両リンクのリンク交通量が等しい状態である。

[9] もちろん、現実の交通網では、代替選択肢のサービス水準の変化を経験以外の何らかの情報媒体によって知覚し、それによって思い込み認知を初期化する運転者が現れるかも知れない。しかし、そうでは無い可能性も非常に高い。まず、第一にこれまでに繰り返し指摘したように、思い込み認知を形成した個人は、その思い込みと「認知的不協和¹²⁾（注[1]参照）」を起こす様な新たな情報の取得を避ける傾向にある。第二に、利用経路の容量変化は直接的に運転者に立ち現れるが、代替経路の容量変化に関しては「情報媒体」を通じた間接的な情報しか運転者に伝わらない。認知に及ぼす影響力は、間接的な情報媒体よりも実経験の方が圧倒的に高いことは実証的に確認されている⁴⁶⁾。第三に、例え交通状況が大幅に変化した事を知っていたとしても、経験の取得が無い限りは認知旅行時間は大きく変化しないことも実証的に確認されている⁴⁶⁾。以上の実証的知見が一貫して示しているのは、“現状の行動を変更する動機の強さは、利用していない選択肢のサービス水準が向上するよりは、利用する選択肢のサービス水準の悪化した場合の方が遙かに強い”，ということである。これは、本シミュレーションの結果と一致するものである。

参考文献

- 1) 土木学会:交通ネットワークの均衡配分-最新の理論と解法-, 1998.
- 2) 中山晶一朗、藤井聰、北村隆一:ドライバーの学習過程を考慮した道路交通の動的解析-複雑系としての道路交通システム解析に向けて-, 土木計画学研究・論文集, No. 16, pp. 753-761, 1999.
- 3) Nakayama, S., Kitamura, R. and Fujii, S.: Drivers' Learning and Network Behavior: A Dynamic Analysis of the Driver-Network System as a Complex System, *Transportation Research Record*, No. 1676, pp. 30-36, 1999.
- 4) 小林潔司:不完全情報下における交通均衡に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No. 8, pp. 81-88, 1990.
- 5) Daly, A.: Behavioral Travel Modelling: Some European experience, in *Transport and Public Policy Planning*, D. Banister and P. Hall (eds.), Mansell: London, 1981.
- 6) 藤井聰:交通計画におけるシミュレーション手法の適用可能性について, 土木計画学研究・論文集, No. 16, pp. 19-34, 1999.
- 7) 長倉三郎他:理化学辞典, 岩波書店, 1998.
- 8) Lucas, R. E.: Asset prices in an exchange economy, *Econometrica*, No. 46, pp. 1429-1445, 1978.
- 9) Verplanken, B., Aarts, H. and van Knippenberg: Habit, information acquisition, and the process of making travel mode choices, *European Journal of Social Psychology*, No. 27, pp. 539-560, 1997.
- 10) Gärbling, T., Boe, O. and Fujii, S.: The development of Script-Based Travel Choice, Submitted to *Experimental Social Psychology, Applied*, 1999.
- 11) Dahlstrand, U. and Biel, A.: Pro-environmental habit: Propensity levels in behavioral change, *Journal of Applied Social Psychology*, No. 27, Vol. 7, pp. 588-601, 1997.
- 12) Festinger, L.: *A theory of cognitive dissonance*, Stanford University Press, 1957.
- 13) 藤井聰、中野雅也、北村隆一、杉山守久:自動車通勤ドライバーの公共交通機関の思い込み認知とその改善についての実証研究, 土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集第4部, pp. 636-637, 1999.
- 14) Fujii, S., Gärbling, T. and Kitamura, R.: Changing Habitual Drivers' Attitudes Toward Public Transport: Triggering Cooperation in a Real-World Social Dilemma, submitted to *Environment and Behavior*, 2000.
- 15) 中山晶一朗、山田憲嗣、藤井聰、山本俊行、北村隆一:旅行時間の思い込み認知と同一行動の繰り返しによる選択肢の絞り込みについての実験研究, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集第4部, 2000.
- 16) Hogarth, R.M: *Judgement and Choice: the Psychology of Decision*, John Wiley & Sons, Ltd., 1987.
- 17) 中村和男、富山慶典:選択の数理・社会的選択と社会的選択, 朝倉書店, 1998.
- 18) 飯田恭敬:交通モデルの課題と展望, 土木計画学研究・論文集, No.10, pp.1-13, 1992.
- 19) 塩沢由典:複雑系経済学入門, 生産性出版, 1997.
- 20) 藤井聰、守田武史、北村隆一、杉山守久:不確実性に対する態度の差異を考慮した交通需要予測のための経路選択モデル, 土木計画学研究・論文集, No. 16, pp. 569-575,

1999.

- 21) 飯田恭敬, 内田敬, 宇野伸宏: 経路選択行動の動態変化に関するシミュレーション分析, 土木計画学・講演集, No. 12, pp. 29-36, 1989.
- 22) Chang, G. L. and Mahmassani, H. S.: Travel Time Prediction and Departure Time Adjustment Behavior Dynamics in a Congested Traffic System, *Transportation Research*, No. 22B, pp. 217-232, 1988.
- 23) Kahneman, D. and Tversky, A.: Prospect theory: An analysis of decision under risk, *Econometrica*, No. 47, pp. 263-291, 1979.
- 24) Goldberg, D. G.: *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*, Addison-Wesley Pub. Co., 1989.
- 25) 山下智志, 黒田勝彦: 交通機関の定時性と遅刻回避型効用関数, 土木学会論文集, No. 536 /IV-31, pp. 59-68, 1996.
- 26) Simon, H.A.: Invariants of human behavior, *Annual Review of Psychology*, No. 41, Vol. 1, pp. 1-19, 1990.
- 27) Abelson, R.: Psychological status of the script concept, *American Psychologist*, No. 36, Vol. 7, pp. 715-729, 1981.
- 28) 北村隆一, 飯田恭敬, 杉恵頼寧, 石田東生, 西井和夫, 屋井鉄雄, 兵藤哲朗, 内田 敬, 張 峻屹, 宇野伸宏, 佐々木邦明, 伊藤雅, 古屋秀樹, 藤井 聰, 清水哲夫, 倉内文孝, 山本俊行: 交通計画におけるパネル調査の方法論およびパネルデータ解析手法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, No. 19, pp. 617-624, 1996.
- 29) 飯田恭敬, 藤井聰, 内田敬: 動的交通流シミュレーションを用いた道路網における情報提供効果に関する分析, 交通工学, No. 6, Vol. 31, pp. 19-29, 1996.
- 30) Cairns, S., Hass-Klau,C. and Goodwin, P.: *Traffic impact of highway capacity reductions: Assessment of the evidence*, Landor Publishing, London, 1998.
- 31) Goodwin, P. B.: The urban transport problem: not enough road space? Or too much traffic?, 京大土木 100 周年記念シンポジウム「21 世紀の都市と交通」テキスト, pp. 75-85, 1997.
- 32) Yang, H. and Bell, M. G. H.: A capacity paradox in network design and how to avoid it, *Transportation Research*, No. 32A, pp. 539-545, 1998.
- 33) Schwarz, B. and Robbins, S.J.: *Psychology of Learning and Behavior* (4th edition), W. W. Norton & Company, New York, 1995.
- 34) Gärling, T.. & Garvill, J.: Psychological explanations of participation in everyday activities. In T. Gärling & R. G. Golledge (Eds.), *Behavior and environment: Psychological and geographical approaches*. Elsevier/North-Holland, Amsterdam, pp. 270-297, 1993.
- 35) Ronis, D. L., Yates, J. F. & Kirscht, J. P.: Attitudes, decisions, and habits as determinants of repeated behavior. In A. R. Pratkanis, S. J. Breckler & A. G. Greenwald (eds.) *Attitude structure and function*, Erlbaum, Hillsdale, NJ, pp. 213-239, 1989.
- 36) Lewin, K: Group decision and social change: In E.E. Maccoby, T.M. Newcomb, & E.L. Hartley (eds.) *Readings in social psychology*, Holt, Rinehart and Winston, New York, pp. 459-473, 1958.
- 37) 藤井聰: TDM と社会的ジレンマ・交通問題解消における公共心の役割-, 土木学会論文集, No. 667/IV-50, pp. 41-58, 2001.
- 38) Tversky, A. and Kahneman, D.: The framing of decisions and the psychology of choice, *Science*, No. 211, pp. 453-458, 1981.
- 39) Fischhoff, B.: Predicting frames. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, No. 9, pp. 103-116, 1983.
- 40) Kühberger, A.: Theoretical conceptions of framing effects in risky decisions, in Ranyard, R., Crozier W. R. and Svenson, O. (eds), *Decision making: cognitive models and explanations*, Routledge, London, pp. 129-144, 1997.
- 41) Kühberger, A: The influence of framing on risky decisions: a meta-analysis, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, No. 75, Vol. 1, pp. 23-55, 1998.
- 42) Tversky, A., Slovic, P. and Kahneman, D.: The causes of preference reversal, *American Economic Review*, No. 80, pp. 204-217, 1990.
- 43) Fujii, S. and Takemura, K.: Attention and Risk Attitude: Contingent Focus Model of Decision Framing, presented at the 27th International Congress of Psychology, Stockholm, 2000.
- 44) Ford, J.K., Schemitt, N., Schechtman, S.L., Hults, B.M. and Doherty, M.L.: Process tracing methods: Contributions, problems, and neglected research questions, *Organizational Behavior and Human Decision Process*, No. 43, pp. 75-117, 1989.
- 45) 小林潔司, 安野貴人: 室内実験によるドライバーの合理的期待に関する仮説検定, 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp. 493-500, 1999.
- 46) Fujii, S. and Kitamura, R.: Anticipated travel time, information acquisition and actual experience: the case of Hanshin Expressway route closure, *Transportation Research Record*, in press, 2000.

(2000.1.27 受付)

UNFREEZING HABITUAL BEHAVIOR BY TRANSPORTATION POLICIES: A TRAFFIC NETWORK SIMULATION ANALYSIS

Satoshi FUJII, Syoichiro NAKAYAMA and Ryuichi KITAMURA

The objective of this paper is to find clues for improving inefficient traffic condition caused by *deluded equilibrium* (Nakayama. et. al, 1999). With this aim, a day-to-day dynamic traffic simulation model was developed. The simulation model comprises a traffic simulator and a simulator of driver behaviors. The latter simulates the driver's learning of route choice strategies. The results of simulation analysis indicate that providing traffic information and the reducing road capacity in roadways of which traffic volume is excessive, are efficient means for breaking drivers' negative beliefs and improving the inefficiency in deluded equilibrium.