

# 経路選択におけるドライバーの 合理的期待形成に関する実験的研究

小林 潔司・安野 貴人・四辻 裕文

社会開発システム工学科

(1994年8月29日受理)

An Experimental Study on Rational Expectations Formation by Drivers

by

Kiyoshi KOBAYASHI, Takato YASUNO and Hirobumi YOTSUTSUJI

Department of Social Systems Engineering

(Received August 29, 1994)

Expectations on traffic conditions play decisive roles in ones' daily traffic behavior. A series of in-house experiments to simulate route choice behavior in a group dynamics provide with a set of expectations data which explain how ones' expectations evolved over time through their learning processes. This paper proposes some statistical methods to test whether experiment-based expectations data satisfy the rational expectations hypothesis. The rationality of expectations can be investigated by testing their unbiasedness, efficiency, and orthogonality. This paper concludes that as far as our experiments are concerned, the rational expectations hypotheses cannot be statistically rejected.

**Key words :** rational expectations, in-house experiment, hypothesis testing



## 1. はじめに

日々の交通行動において、完全情報下で意志決定できる場面はきわめて限られている。交通行動主体は不完全情報下では実現するであろう走行時間などの交通条件を予想し、意志決定に重要な交通条件に関する期待を形成した上で行動に移している。期待形成の問題は経路選択などの交通行動に密接に関連しているものの、期待形成を明示的に考慮した研究は少ない。

最近、不完全情報下で期待形成を行うドライバーに適用するモデルが提案されている。残念ながら、それらのモデルは理論的裏付けのない直感的な仮説に基づいており、モデルの背後にある行動原理が明確でない場合が多い。その中で比較的明確な行動原理に基づく期待形成仮説として、1) 適応期待モデル、2) 合理的期待（以下、REと略す）モデルが挙げられる。さらに、Chang等、飯田等は室内実験、屋外実験を通じて適応期待モデルの推定を行っている。そこで、ドライバーの期待の不安定性を見いだしている。一方、REモデルは、ドライバーのその場における経路選択行動と選択の反復による長期的な学習行動を同時に表現できるという利点がある。さらに、公共主体が提供する交通情報による経路誘導効果をドライバーの経路選択行動と理論的に整合の取れた形で評価することができる。しかし、REモデルは分析モデルの提案がなされただけでありモデルの基盤となるRE仮説の実験による検証はまだ行われていない。

以上述べた適応期待モデルとREモデルは異なる期待形成仮説に基づく。しかし、これらのモデルは同じ合理的ドライバーの期待形成行動を異なる長さの時間間隔で記述しようとするものであり、短期の選択行為と長期の学習行動を同時に考慮した統一的な分析の枠組みを提示することができる。本研究ではChang等、飯田等が試みたような室内実験を通じてRE仮説の検証を行う。以下、2. では期待形成仮説について概説し、3. では期待形成仮説の検証に関わる諸問題を考察し、4. では具体的な検証方法について述べる。5. では室内実験の検証結果についてとりまとめる。

## 2. 期待形成モデルについて

## 2-1 期待形成のモデル化の意味

経路選択に直面するドライバーは交通条件に関する確定的な情報を持ち得ず、何らかの先見情報や過去の経験情報に基づいて、走行費用、走行時間、混雑度などを予測する。このようにドライバーは自分たちの意志決定において重要な変数に関して予測を行うが、この種の予測の結果を「期待」と呼ぶ。経路選択における期待形成を議論するために、簡単なランダム期待効用モデルを取り上げる。議論の簡略化のため、ドライバーは走行時間だけに基づいて経路選択を行うとしよう。経路*i*に対するランダム期待効用を次式で表そう。

$$U_i = \alpha + bT_i^s + \varepsilon_i \quad (1)$$

ここに、パラメータ  $\alpha, b$  は、ドライバーの効用構造を表現しておりドライバーに固有の確定値である。一方、 $T_i^s$  は、ドライバーが認知する経路*i*の走行時間の主観的期待である。添字  $s$  は、主観的期待であることを意味する。ドライバーが不確定情報の下で経路選択を行う場合、変数  $T_i^s$  の値を事前に確定的に知ることは不可能である。したがって、不確定情報の下で経路選択を行うドライバーの行動モデルを推計する場合、各ドライバーが説明変数の値の分布をどのように予測するかを表すモデルが必要となる。過去の経路選択回数がきわめて少ない場合、ドライバーはほとんど無知の状態では経路選択をするだろう。ドライバーが初期時点でどのような主観的期待を有するかは、多様に異なる。また、その状態を他人が予測することは不可能である。しかし、ドライバーが実際に経路選択を行えば得られた経験情報をもとに主観的期待を更新する。走行時間は他のドライバーの行動や経路条件により、日々変動し彼が予想した値と実現する走行時間とが一致する保証はない。しかし、彼が経路選択を繰り返すことにより主観的期待はある定常分布に収束していくだろう。いま、 $t$  期の期首においてドライバーが有するある経路の走行時間の平均値に対する主観的期待の値  $T_t^s$  を、過去の経験情報（過去の走行時間の実績値） $\hat{\varepsilon}_t = (\hat{T}_t - 1, \hat{T}_t - 2, \dots)$  と過去の主観的期待  $\pi_t^s = (T_t - 1^s, T_t - 2^s, \dots)$  の関数として表現しよう。

$$T_t^s = \Phi(\hat{T}_t - 1, \hat{T}_t - 2, \dots; T_t - 1^s, T_t - 2^s, \dots) \quad (2)$$

この式は、ドライバーが過去の経験情報と過去に予想した主観的期待に基づいて、 $t$  期の経路走行時間の平均値に対



する主観的期待を形成するメカニズムを表しており、「期待形成メカニズム」と呼ぶこととする。

## 2-2 期待形成仮説

式(2)は、ドライバーが過去の情報を将来の予想にどのように役立てるかという期待形成原理を表している。このような期待形成メカニズムを表す代表的な行動仮説として、1) 静的期待形成仮説、2) 外挿的期待形成仮説、3) 適応期待形成仮説、4) RE形成仮説がある。静的期待形成仮説は、ドライバーが走行条件に関して固定的な期待を形成すると主張する。従来の多くの経路選択モデルがこの仮説に立脚する。ドライバーが静的期待をどのように形成したかについては何も説明していないという問題点がある。つぎに、外挿的期待形成仮説は、予測値  $T_t^*$  が前期の実績値だけでなくその変動の程度にも依存すると考える。すなわち、外挿的期待は  $t-2, t-1$  期の走行時間の実現値  $\bar{T}_{t-1}, \bar{T}_{t-2}$  を用いて次式で表される<sup>9</sup>。

$$T_t^* = \bar{T}_{t-1} + \eta(\bar{T}_{t-1} - \bar{T}_{t-2}) \quad (3)$$

$\eta$  は期待係数と呼ばれる。もし、 $\eta$  が正ならば過去の傾向が継続することが期待され、負ならば逆転することが期待される。外挿的期待形成は機械的なルールであり、予測誤差を用いた学習行動は考慮されていない。外挿的期待形成仮説の欠陥を改善するため、前期の期待誤差を用いて主観的期待は修正されると考える適応期待形成仮説が提唱された<sup>10</sup>。適応期待形成仮説は次式で表される。

$$T_t^* = T_{t-1}^* + \zeta(\bar{T}_{t-1} - T_{t-1}^*) \quad (4)$$

ここで、 $\zeta$  は適応係数であり、予測誤差に基づいて主観的期待が調整される程度を表現する。式(4)を  $T_t^* = \zeta \bar{T}_{t-1} + (1-\zeta)T_{t-1}^*$  と変形し逐次展開すれば、 $T_t^* = \zeta \sum_{i=1}^{\infty} (1-\zeta)^{i-1} \bar{T}_{t-i}$  を得る。すなわち、適応期待形成仮説は過去の経験情報に幾何分布ラグで重み付けした期待形成メカニズムに他ならない。一方、 $T_t^*$  に関するより一般的な分布ラグは  $T_t^* = \sum_{i=1}^{\infty} \omega_{i-1} T_{t-i}$  と表される。 $\omega_{i-1}$  はその合計地が有限値となる任意のウェイトである。分布ラグの形式は多くの方式が可能である。幾何級数的に減少するラグはそのひとつの特殊形にすぎない。幾何級数ラグが期待形成行動を正確に記述しているという科学的根拠は薄弱である。また、最近では、幾何級数ラグは最適な「学習メカニズム」を表現していないことが証明され、適応期待形成仮説は ad hoc な期待形成仮説として批判されるよう

になった<sup>11</sup>。

## 2-3 RE仮説

ドライバーが主観的期待を逐次更新し、「学習プロセス」を通じて主観的期待がある値に収束していくと考えよう。収束値に関する一つの自然な考え方は、「ドライバーの経路走行時間に対する期待  $T^*$  は、実現する走行時間の平均値  $E[T]$  に一致する。」という RE 仮説<sup>12</sup>である。最も基本的な定義は次式で表現できる。

$$E[T] = T^* \quad (5)$$

ドライバーの選択経験が未熟な場合は、彼の主観的期待は過去の偶然的な履歴に依存する。このとき、その時々不安定な経路選択行動を記述することは不可能である。しかし、彼が経験情報を蓄積すれば、実現する走行時間の平均値を用いて彼の主観的期待を計測することができる。RE 仮説は本来きわめて個人的な情報で計測困難とされてきた主観的期待を客観的に計測するための有効な方法を与えようと言う意味できわめて実利的な利点を持つ。

## 2-4 ベイズ学習モデル

RE 仮説はドライバーがどのように期待を形成したかについて何も説明していないという問題点がある。そこで小林等は、ドライバーが走行時間の平均値と分散に関する RE を「ベイズ学習」するようなモデルを提案している<sup>6</sup>。走行時間の平均値に関する学習モデルは

$$T_t^* = T_{t-1}^* + \frac{1}{\nu_0 + n_t} \cdot (\bar{T}_{t-1} - T_{t-1}^*) \quad (6)$$

と表せる。ただし、 $\nu_0$  : 初期期待に関わるパラメータ、 $n_t$  は  $t$  期までに経路を選択した回数である。この学習モデルは適応期待形成仮説と同様に、主観的期待  $T_t^*$  は  $t-1$  期における期待と実績値との予測誤差  $(\bar{T}_{t-1} - T_{t-1}^*)$  によって更新される。適応期待形成仮説と異なる点は、重み係数  $1/(\nu_0 + n_t)$  が定数でない点にある。経路選択の回数  $n_t$  が大きくなるにつれて 0 に近づき、主観的期待の平均値  $\pi_t^*$  の補正量は次第に減少する。主観的期待  $T_t^*$  は実現値の標本平均  $\bar{T}_t$  に漸近する。初期期待  $\nu_0$  の影響は次第に薄れていき、すべてのドライバーの主観的期待は同一の合理的期待に収束していく。その結果、RE が形成される。ドライバーが合理的期待  $T^*$  を形成すれば、 $T^* = E_{\infty}[\bar{T}_t]$  が成り立つ。ここで、 $E_{\infty}[\bar{T}_t] = \lim_{N \rightarrow \infty} N^{-1} \sum_{t=1}^N \bar{T}_t$  である。以上の学習モデルの利点は、各ドライバーの経験の差による期待形成の違いを明示的に表現できる点にある。すな



わち、短期的には、通算の経路選択回数が異なれば主観的期待の修正の度合いも異なるが、長期的にはその修正の度合いに差がなくなる点が表現されている。換言すれば、適応期待形成モデルは適応係数が定数と考えられる短期間の期待形成メカニズムを表現しており、その範囲内のドライバーの行動を表現する場合にのみ有効であると考ええる。

### 3. 期待形成仮説の検定問題

#### 3-1 仮説検定の方法論

主観的期待は、ドライバーの内部情報であり、分析者がその値を直接的に観測することはできない。よって、ドライバーの期待形成メカニズムを推計する場合、本来測定が困難である個人の主観的期待 $\hat{P}_i$ に関する情報を何らかの方法で獲得することが必要となる。期待形成仮説を検定する方法として、1) RP (Revealed Preference) に基づく方法、2) SP (Stated Preference) に基づく方法が存在する。前者は、主観的期待に関するデータを実際に観測することができないことから、期待形成仮説を直接検定することをひとまず放棄する。そして、期待形成仮説から誘導される理論モデルが現実には観測される行動をどの程度再現しうるかにより、間接的にその背後にある仮説の妥当性を検討する。この方法を採用する場合、そもそも理論モデルの有効性をどのように評価すればいいかという方法論上の難問が存在する<sup>13)</sup>。理論モデルの有効性をモデルの仮定の現実性に基づくべきか、モデルの予測能力によるべきかという問に対して明確な解答を用意することは極めて困難であろう。仮に理論モデルが十分な説明力を持たないことが判明しても、それがモデルの特定化誤差か行動仮説の説明力の差によるものかを判定することは極めて厳しいと言わざるを得ない。また、この種の立場から期待形成行動にアプローチするためには、交通主体に対するパネル調査を実施し、交通行動がどのように変化するかを分析する必要が生じる。交通主体の学習行動を追跡しようとすれば、管理された状態の下での多時点にわたるデータが必要となり、調査上多くの問題を抱えることとなる。

一方、後者の方法は、個人の期待を反映しているであろう観測可能なデータを通じて期待形成仮説の妥当性を直

接検定しようとする方法である。この種のアプローチの代表例としては、Chang等<sup>1)</sup>、飯田等<sup>2,3)</sup>、Bonsall<sup>4)</sup>による室内実験による方法があげられよう。これらの研究では、実験室という管理された空間内で経路選択を繰り返すSP実験を通じて、経験や情報の習得過程を明らかにするものである<sup>3)</sup>。この方法は、行動仮説を直接検定できるという利点があるが、その分析結果の信頼性に関しては若干割り引いて考えなければならない。SPデータを用いる研究が共通に抱える問題として、多くの研究者が指摘しているようなSPデータの信頼性の問題がある。計量経済学的手法を駆使することによりこの問題はある程度は回避できるが、データの信頼性という問題を本質的に解決することは不可能である。室内実験による方法は、あくまでもそれが実験という人工的な環境で実施されたものであり、それは行動仮説が実験で報告された期待に少しでも類似しているかどうかを検定したのに過ぎない。もとより、室内実験はあくまでも行動仮説の反証を試みているのであり、それにより仮説を検証することは不可能である。このことは室内実験にのみ特有な問題ではなく、行動仮説の検定すべてに共通する問題である。もちろん、室内実験で報告された期待が全体としてRE仮説を満足していない場合、RE仮説に基づく理論モデルの信頼性は低下せざるをえないことは言うまでもない。さらに、室内実験を通じてRE仮説の妥当性に関して問題提起を行なうことができれば、今後の期待形成モデルの発展の方向性に関していくつかの示唆を得ることができよう。交通行動分析の研究の過程において、その基礎となる期待形成仮説を直接検定したという研究事例は筆者らの知る限り見あたらない。いずれにせよ、期待形成モデルに関する研究は緒についたばかりであり、本研究はRE仮説の経験的妥当性に関する議論の第1歩として期待形成仮説の実験的検定を試みることにする。

#### 3-2 RE仮説検定の課題

厳密に言えば、REはある定常的な環境の中で無限回経路選択を実施した結果として生じる。現実には、理想的な環境で経路選択が無限回繰り返されるわけではない。室内実験は実験環境を制御できるという利点があるが、1) 実験回数が限られる、2) 被験者の疲労等の雑音を完全に回避できないという問題がある。室内実験といえども、



被験者がREを完全に形成できるような実験環境を確保することは不可能である。合理的ドライバーが学習行動を行なう場合、REはそれに向かってドライバーの主観的期待が収斂していく参照点としての役割を果たす。室内実験による仮説検定においては被験者の主観的期待がREを十分に近似しているか否かが論点になる。

Muth<sup>12</sup>は、個人は必ずしも同一の期待を持つ必要はなく、個々人の主観的期待が期待されるべき変数の真値(RE)の周辺に分布していればRE仮説が成立すると主張した。MuthによるRE仮説は個人の期待形成の合理性に関する非常に弱い条件を提示している。のちに示すように室内実験において一人一人の回答はかなりの違いを示しており、すべての被験者の回答が同一の情報に基づいた条件付き期待であるとは限らない。そこで、個人が利用可能な情報をどの程度有効に利用しているのかという観点からREの合理性の程度を論議する必要性が生じてきた<sup>14, 15</sup>。

#### 4. 室内実験による仮説検定の方法

##### 4-1 実験方法

本研究では飯田等、Chang等が試みた室内での模擬実験の方法をそのまま踏襲する。したがって、実験方法自体には従来の研究と本質的に異なる点はない。むしろ、従来の研究と可能な限り同様の実験環境を再現し、その条件下においてドライバーのRE仮説が成立しうるかを検討することを目的とする。実験では図-1に示す分岐点の手前で起点を出発した全ドライバーに情報を提供し、分岐点での経路選択を質問する。経路1は容量が小さい道路を想定し、経路2は経路1より若干迂回するものの容量が大きい道路を想定している。いずれの経路もドライバーが事前に把握できない内々交通量の影響を受けると考える。自由走行が可能ならば経路1の走行時間のほうが短い、内々交通量による走行時間の変動が大きい。各ラウンドにおいて被験者は各経路の走行時間の予測値 $T_i^*$ と選択した経路を報告する。被験者には選択した経路のみの実走行時間 $\hat{T}_i$ が通知される。ここに、時点 $t$ は当該経路を選択した通算回数を意味する。

##### 4-2 仮説検定上の留意点

RE仮説の検定に関しては計量経済学の分野で研究成果が蓄積されている<sup>11, 17, 18</sup>。そこでは、市場で観察され

る期待(あるいはその代理指標)を用いて式(8)を推計している。パラメータが推定できれば回帰モデルの回帰係数に関する尤度比検定の方法等を用いてRE仮説を検定することができる。室内実験を通じてRE仮説を検定する場合、市場データと異なり1)実験の初期の段階では被験者が十分にREを学習していない可能性がある、2)各被験者の期待の間に高い相関が見られ誤差項の独立性を仮定できない、という問題がある。したがって、既存の研究方法をそのまま適用することは不可能であり、室内実験の特殊性を考慮した仮説検定の方法を開発することが必要となる。被験者が形成している主観的期待の合理性を問題としており、1)の方法により被験者の主観的期待が全体としてRE均衡に収束しているか否かを分析することはできない。被験者全体の主観的期待の合理性を検討するためには、最終的に2)の方法によりRE仮説の妥当性について検定する必要がある。上述の2)の問題に関しては、誤差項の相関を配慮できるように回帰モデルの推計方法や仮説検定の方法を工夫する必要がある。しかし、用いる推定方法や仮説検定自体はすでに計量経済学の分野で確立されたものであり、本研究で新たに開発した手法はない。したがって、推定方法および検定方法の詳細に関しては参考文献<sup>19</sup>に譲り、ここでは必要最低限の記述にとどめる。

##### 4-3 不偏性

ドライバーが予測した走行時間と実際に所要した経験値が一致する保証はない。しかし、ドライバーがREを形成すれば、経路選択を繰り返すことにより実現する所要時間の期待値 $E_{\infty}[\hat{T}_i]$ は彼の事前の予測値 $T_i^*$ に一致する。RE仮説の下では次式が成立する。

$$\hat{T}_i = T_i^* + u_i \quad (7)$$

ただし、 $E[u_i] = 0$ である。RE仮説は「ドライバーは経路走行時間の予測においてシステマティックな誤りを犯さない」ことを要求する。したがって、RE仮説を検定するもっとも単純な方法は、走行時間の実績値が主観的期待の不偏推定量になっているかどうかを検討することである。不偏性の検定のためにTurnovsky<sup>16</sup>の方法を用いよう。いま、

$$\hat{T}_i = \alpha_1 + \alpha_2 T_i^* + u_i \quad (8)$$

を推定する。この時、 $\hat{T}_i$ が $T_i^*$ の不偏推定値ならば $\alpha_1 = 0$ かつ $\alpha_2 = 1$ でなければならない。統計的仮説 $\alpha_1 = 0$ 、 $\alpha_2 = 1$



が棄却されれば、RE 仮説は棄却される。

#### 4-4 検定方法

被験者の走行経験の多寡は学習の熟度の差異となって主観的期待の報告値の精度に影響を及ぼす。主観的期待の報告値  $T_i^*$  の精度を統一するため、期番号を表わす  $i$  は実験を開始した時点から何回当該経路を選択したかを表わす添字であると定義する。すなわち、 $i$  は実験における試行の期番号とは 1 対 1 に対応していない。被験者の経路選択の履歴が異なれば被験者によって  $i$  期の走行実績値  $\hat{T}_i$  は異なる。ここで、回帰モデル (7) を

$$\hat{T}_i = X_i \alpha + u_i \quad (9)$$

とベクトル表示しよう。ただし、 $\hat{T}_i = (\hat{T}_{1,i}, \dots, \hat{T}_{n,i})'$  : 走行時間の実績値ベクトル ( $\hat{T}_{i,i}$  は被験者  $i$  の  $i$  期の走行実績値)、 $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2)'$  : 回帰係数ベクトル、 $u = (u_{1,i}, \dots, u_{n,i})'$  : 誤差ベクトルである。 $X_i = [I_n, T_i^*]$  は走行実績値行列であり、 $I_n = (1, \dots, 1)'$  は  $n$  次元単位列ベクトル、 $T_i^* = (T_{1,i}^*, \dots, T_{n,i}^*)'$  は  $i$  期における主観的期待の報告値ベクトルである。記号'は転置を表わす。誤差項については、不偏性の定義より  $E[u_i] = 0$  を仮定し、誤差項の分散共分散行列は  $E[u_i' u_i] = \sigma^2 I$  であると仮定する。回帰係数  $\alpha$  の通常の最小 2 乗法 (OLS) による推定値 (OLS 推定量) は次式で表わされる。

$$\hat{\alpha} = (X_i' X_i)^{-1} X_i' \hat{T}_i \quad (10)$$

ここで、主観的期待の不偏性を検定するために仮説  $H_0^1$  と対立仮説  $H_1^1$

$$H_0^1 : \alpha_1 = 0, \quad \alpha_2 = 1$$

$$H_1^1 : \alpha_1 \neq 0, \quad \alpha_2 \neq 1 \quad (11)$$

を設けよう。もし  $H_0$  が真であれば

$$F_1 = \frac{(\hat{\alpha} - \alpha^*)' X_i' X_i (\hat{\alpha} - \alpha^*) / 2}{\hat{u}_i' \hat{u}_i / (n - 2)} \quad (12)$$

は、自由度  $2, n - 2$  の  $F$  分布に従う<sup>10)</sup>。 $F_\phi$  を  $F_1$  の  $\phi \cdot 100\%$  棄却水準とした場合、もし  $F_1 \geq F_\phi$  であれば、不偏性仮説  $H_0^1$  は有意水準  $\phi$  で棄却できる。ただし、 $\alpha^* = (0, 1)'$ 、 $\hat{\alpha}$  は式 (7) の回帰係数の OLS 推定量である。また、 $\hat{u}_i = \hat{T}_i - X_i \hat{\alpha}$  は推定誤差である。

### 5. 実験結果の考察

#### 5-1 実験結果の概要

本研究では、同一被験者 60 名に対して表-1 に示すような条件を設定し、2 回の実験を実施した。2 回の実

表-1 実験の条件

[ 1 ]	実施日時	1994. 5. 20
	所要時間	1 時間 30 分
	選択回数	60 回
	被験者数	60 名
	流入交通量	900 台/h
	拡大係数	1.5 (経路 1) (経路 2)
[ 2 ]	交通容量	800 台 1000 台
	内々交通量	N (150, 30)
	実施日時	1994. 7. 1
	所要時間	1 時間 30 分
	選択回数	60 回
	被験者数	60 名
[ 2 ]	流入交通量	900 台/h
	拡大係数	1.5 (経路 1) (経路 2)
	交通容量	500 台 700 台
	内々交通量	N (175, 30)

験では、異なった走行時間関数を用いており、走行時間の実績値が異なった確率分布に従って生起するように設計されている。各実験では、選択可能な 2 つの経路を有する仮想ネットワークを設定し、シミュレーションの各ステージごとにいずれかの経路を選択することになる。シミュレーションにあたっては、各経路の走行距離等の経路特性を初期情報として与えた。被験者は、シミュレーションの各ステージにおいて各経路の予想走行時間を報告したのちに経路を選択する。以上の予測結果と経路の選択結果を各ステージごとにアンケート調査票にて回収することにした。経路選択が終了した段階で実際に選択した経路の所要時間を被験者へ通知した。以上のプロセスを 60 回繰り返した。各経路の走行時間は、各ステージごとに変動する内々交通量とドライバーの経路選択の結果によって決定される。内々交通量は各ステージごとに正規乱数を用いて設定した。走行時間関数としては次式に示すような TRB 関数を用いた。

$$\tau = d \cdot \left[ 1 + \left( \frac{kX + N}{C} \right)^2 \right] \quad (13)$$

ここで、 $d$  : 走行距離、 $k$  : 拡大係数、 $X$  : 経路交通量、 $N$  : 内々交通量、 $C$  : 経路交通容量である。

#### 5-2 不偏性検定の結果

本実験では、被験者は実験の初期時点にて経路特性に関する初期情報を与えられるものの、各経路の走行時間分布に関する情報を獲得していない。各被験者は実験において繰り返される試行を通じて走行時間分布 (走行時



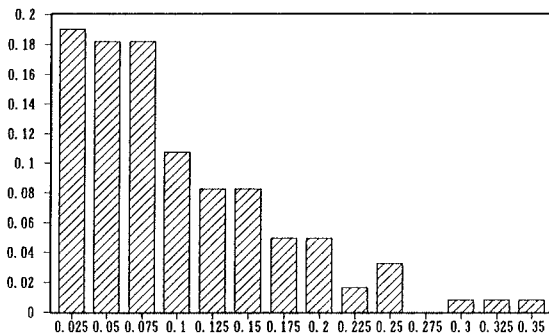


図-1 相対予想誤差のヒストグラム

間の期待値)を学習していく。理論的には、被験者は無限回試行の極限において合理的期待を形成することが保証される。しかし、室内実験において無限回試行を実現するのは不可能である。被験者が近似的にしろ合理的期待を形成しておれば、有限回試行における期待報告値を用いて合理的期待形成仮説を検定することは可能であろう。室内実験では被験者を「経路走行時間の予測-経路選択の報告-走行実績値の通知」という試行が何度も繰り返されるが、被験者の疲労等を考慮にいれば試行回数をそれほど多くはとれない。また、いたずらに試行回数を増加させても、信頼性の高い実験結果を得ることは困難であろう。以上の理由により、本実験では試行回数を60回(実験時間約2時間に相当する)と定めている。

各実験において被験者は2本の経路のいずれか1つを選択する。また、各経路の選択回数が必ずしも同数になるとは限らない。したがって、被験者によって経路の選択経験に大きな散らばりが生じることになる。本分析においては、被験者の経験の熟度を一定にするために、各経路を30回目選んだ試行における経路走行時間の予測値と走行実績値に着目することとした。被験者によって、選択行動の履歴が異なるので、通算30番目の試行が実験全体の中のいずれの試行に一致しているかは被験者によって多様に異なることになる。以上の考え方に基づいて抽出したデータ(予測値と走行実績値)に関するサンプル数は121であった。

図-1はサンプルとして抽出した被験者が当該経路の走行時間に関する合理的期待を近似的にしろ形成してい

表-2 不偏性検定の結果

	標本数	O L S 推定量		F 値	相関係数 $r^2$
		alpha1	alpha2		
30期 削除なし	121	7.02	0.81	6.39	0.440
30期 5.8% 削除	112	3.50	0.91	2.94	0.532
30期 25.6% 削除	80	2.80	0.91	0.61	0.618
29期, 30期 経路2プール	98	6.33	0.83	3.44	0.459

るかどうかを分析した結果である。ここで、相対予想誤差とは第30番目の試行が行われた期における予想値と「その期までの実績値の平均値」の差を「その期までの実績値の平均値」で除したものであり、被験者の期待の合理性の程度を表している。被験者が完全に合理的期待を形成していれば、この値は理論的に0でなければならない。図-1に示すように大半の被験者の相対予想誤差は0.2以内に収まっている。この図より多くの被験者の期待は過去の実績値の平均値の周辺に分布しているが、依然として相対予想誤差が大きく合理的期待を形成しているとは思えない被験者も存在する。

表-2には以上で抽出したサンプルに対して不偏性検定を行った結果を示している。相関係数は0.44となりそれほど大きな値を示していない。また不偏性検定で用いるF値は6.39となる。すなわち、F値が臨界値4.82より大きい値を示しており、不偏性仮説 $H_0$ は有意水準1%で棄却される。次に、図-2は予測値と走行実績値の関係を示している。図-2に示すように実験により走行時間の実績値の分散が大きく異なっており、確率モデル(8)の誤差項に異質分散性が見られる。したがって、不偏性検定をより厳密に行うためには異質分散性を考慮したGLS推計を行う必要があるが、これに関しては今後の課題としたい。さらに、被験者によっては予測値と走行実績値が大きく異なる場合が存在する。このような被験者の存在が相関係数の低さに結びついていると予想される。

つぎに、学習効果の少ない被験者を逐次データセットから取り除き、不偏性検定の結果がどのように変化するかについて考察した。特に、相対的予想誤差が大きい被験者9名に関するサンプルをデータセットから取り除いて改めて回帰式(8)を推計し直した結果を表-2に示している。



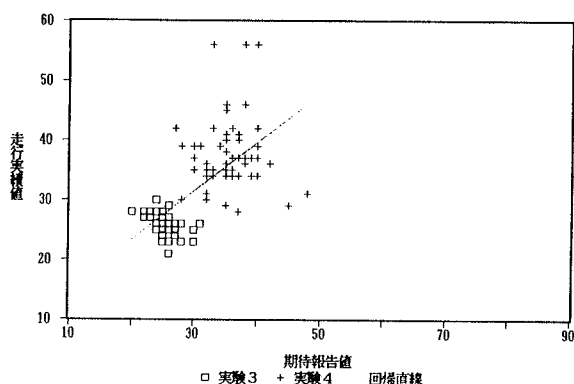


図-2 実績値と予測値の関係(30期)

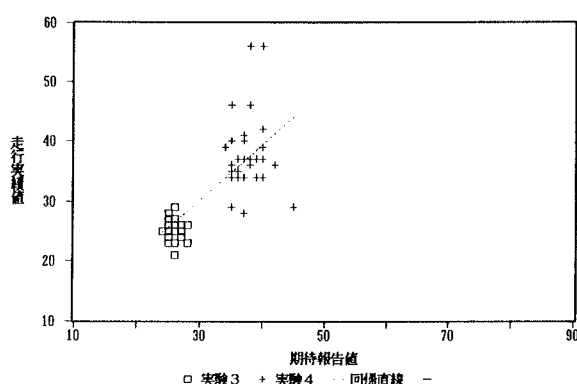


図-4 実績値と予測値の結果(41名削除した場合)

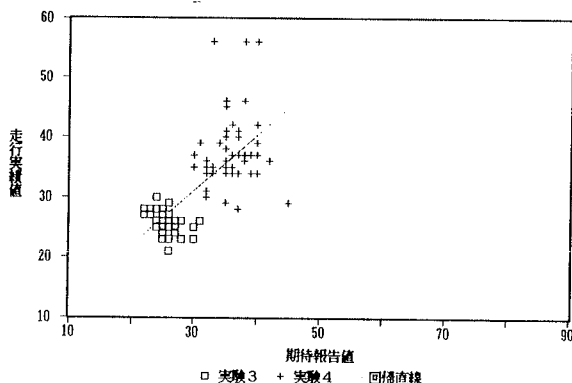


図-3 実績値と予測値の結果(9名削除した場合)

この場合、相関係数は0.532、 $F$ -値は2.94となり、不偏性仮説を棄却することはできない。さらに、41名のデータを削除した場合、相関係数は0.618と向上し、 $F$ -値は0.61となり不偏性仮説を棄却できない。図-3、図-4にはそれぞれの場合における予測値と実績値の関係を示している。この場合にも、着目した経路および実験によって実績値の分散が異なっており、回帰モデルの推計において誤差項の異質分散性が何らかの影響を及ぼしていることが推測される。

実験および経路が異なれば異質分散性の問題が表れる。そこで、異質分散性が回帰モデルの推定にどのような影響を及ぼすかを分析するために、経路2のみのデータを用いて不偏性検定を試みた。経路1と比較して経路2の

誤差分散は相対的に小さい値を示す。分析対象を経路2に限定したために標本サンプルの数が少なくなる。そこで、第30番試行のみでなく第29番試行の結果も合わせてプーリングしたデータセットを作成した。不偏性検定の結果は表-2に示しているとおりである。経路2のみに着目した場合、被験者を削除しなくても不偏性仮説は棄却されない結果となっている。経路2は相対的に走行時間の分散の小さい経路である。走行時間の分散が小さい場合、30期程度の試行の繰返しにより被験者の期待は合理的期待に比較的早く収束する。しかし、経路1のように分散の大きい経路では、30回程度の試行では十分に合理的期待に収束していない被験者が存在することが、この結果から読みとれよう。また、経路による走行時間の分散の違いは不偏性回帰モデルの推計における異質分散性の問題も引き起こしていると考えられる。

以上の実験結果より、少なくとも本実験に関する限り不偏性仮説は棄却できない。特に、走行時間の分散が小さい場合には被験者の期待は十分に合理的期待を近似できる程度にまで収束することが可能である。一方、経路1のように分散の大きい経路では、学習が不十分のため合理的期待を形成しえない被験者も数名ではあるが存在することも明らかとなった。また、本実験を通じて不偏性検定には室内実験を行う以上避けられない構造的な異質分散性の問題が存在することが判明した。この問題を解決するためには本研究で採用したOLSではなく、異質分散性



の問題を明示的に考慮にいった GLS 推計を試みる必要がある。この問題に関しては、今後の研究課題としたい。

## 6. おわりに

本研究は、交通主体の経路選択における RE 仮説の経験的妥当性に関して室内実験を通じて 1 つの統計的検定を試みたものである。そのために、まず、適応期待形成仮説等の代替的な期待形成仮説が有する理論的問題点について考察し、RE 仮説の理論的妥当性について考察した。さらに、室内実験を用いた RE 仮説の検定方法について考察した。室内実験は管理された環境の中で実験を行うとはいえ、RE 仮説を検定するためにはいくつかの構造的な問題を有している。第 1 に人間を対象とした実験であり、試行回数をそれほど多くはとれないという問題がある。試行回数が少ない場合、被験者の期待は十分に合理的期待に収束していない可能性が存在する。特に、走行時間の分散が大きい場合には、この種の問題が特に顕著に現れてくる。第 2 に、実験における被験者数が限定されることから、仮説検定のために十分な数のサンプルを採取できないことがあげられる。サンプル数の少なさを克服するためには、異なる実験や経路から採取されたデータをプールする必要が生じる。この場合、実験間・サンプル間での異質分散性の問題が生じる。この問題は計量経済学的手法によりある程度克服することができる。本研究ではこの点に関する分析が依然として不十分であり、今後解決していきたいと考える。第 3 に、本論文の以上では言及しなかった問題点として、走行時間分布の非正規性の問題があげられる。特に、本研究で用いた TRB 関数のような非線形走行時間関数を用いた場合、誤差項の非正規性の問題が現れる。TRB 関数を用いた場合、平均値に比較して非常に大きな実走行時間となる（混雑が生じる）場合が生じる。このような混雑現象が存在する場合、誤差項の正規分布を仮定した RE 仮説の検定方法では十分に対処しえない可能性がある。誤差分散の非正規性に関しても今後の研究課題としたい。

なお、本研究における室内実験にあたっては、平成 6 年度社会開発システム工学科 3 年生および 4 年生の諸君に被験者になっていただいた。また、実験の遂行にあたっては、太田真理技官をはじめとしてシステム計画学研究室

の皆様の協力を得た。ここに、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) Chang, G. and Mahmassani, H. : Travel time prediction and departure adjustment behaviour dynamics in a congested traffic system, Transportation Research, Vol. 22B, pp. 217-232, 1988.
- 2) Iida, Y., Akiyama, T. and Uchida, T.: Experimental analysis of dynamic route choice behaviour, Transportation Research Vol. 26B, No.1, pp. 17-32, 1992.
- 3) 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分析、土木学会論文集、No. 470/IV-20, pp. 77-86, 1993.
- 4) Kobayashi, K.: Incomplete Information and Logistical Network Equilibria, in Å. E. Andersson, D.F. Batten, K. Kobayashi, and K. Yoshikawa, (eds.): The Cosmo-Creative Society, Springer-Verlag, pp. 95-119, 1993.
- 5) 小林潔司: 不完備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.
- 6) 小林潔司、藤高勝巳: 合理的期待形成を考慮した経路選択モデルに関する研究、土木学会論文集、No. 458/IV-18, pp. 17-26, 1993.
- 7) 小林潔司、井川修: 交通情報によるドライバーの経路誘導効果に関する研究、土木学会論文集、No. 470/IV-20, pp. 185-194, 1993.
- 8) Bonsall, P.: The influence of route guidance advice on route choice in urban networks, Transportation, Vol. 19, pp.1-23, 1992.
- 9) Metzler, L.: The nature and stability of inventory cycles, Review of Economics and Statistics, Vol. 23, pp. 113-129, 1941.
- 10) Cagan, P.: The Monetary Dynamics of Hyperinflation, in M. Friedman (ed.): Studies in the Quantity Theory of Money, University of Chicago Press, 1956.
- 11) Sheffrin, S. M.: Rational Expectations, Cambridge University Press, 1983, 宮川重義訳: 合理的期待論, 昭和堂, 1985.
- 12) Muth, J.: Rational expectations and the theory of price movements, Econometrica, Vol. 29, pp. 315-335, 1961.



13)Friedman, M.: *Essays in Positive Economics*, University of Chicago Press, 1971, 佐藤隆三訳: 実証経済学の方法と展開、富士書房、1977.

14)Friedman, B.: Optimal expectations and the extreme information assumptions of rational expectations macromodels, *Journal of Monetary Economics*, Vol. 5, pp. 23-41, 1979.

15)DeCanio, S. J. : Rational expectations and learning from experience, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 370, pp. 47-57, 1979.

16)Turnovsky, S.: Empirical evidence on the formation of price expectations, *Journal of American Statistical Association* 65, pp. 1441-1454, 1970

17)Shiller, R. J.: Rational expectations and the dynamic structure of macroeconomic models, *Journal of Monetary Economics*, Vol. 4, pp. 1-44, 1978.

18)Pearce, D.: Comparing survey and rational measures of expected inflation, Forecast performance and interest rate effects, *Journal of Money, Credit and Banking*, Vol. 11, pp. 447-456, 1979.

19)例えば、岩田暁一：計量経済学、有斐閣、1982.