

旅行時間情報提供下の 経路選択機構に関する実験分析*

Experimental Analysis Approach to Investigate Route Choice Behavior
under Providing Travel Time Information

飯田恭敬**、宇野伸宏***、村田重雄****、渡部健二*****

By Yasunori IIDA, Nobuhiro UNO, Shigeo MURATA and Kenji WATANABE

As the traffic congestion in urban area gets more serious, providing drivers with traffic information becomes to be regarded as a possible strategy for traffic management. But the effect of providing information on traffic condition has not confirmed accurately yet. In order to do this confirmation, first of all, we should analyze the relationship between traffic information provided and driver's travel behavior. Therefore, in this study, the experimental analysis approach, in which participants are repeatedly asked for their hypothetical route choices under providing travel time information, is proposed.

In this study, each participant is assumed to choose his/her route based on predicted travel time of which explanatory variables consist of travel experience and travel time information provided. The mechanism of travel time prediction is attempted to estimate by using generalized least square method. As the result of analysis, we find that participants tend to choose their routes mainly based on travel time information and that the quality of information may affect participant's route choice mechanism

1. はじめに

都市における交通渋滞に対する短期的対応策の1つとして、情報提供による交通管制手法が注目されている。特に路車間通信等を介して、道路網上の交通状態に関する動的な情報を提供し、利用経路の分散誘導を図るダイナミックナビゲーションは、交通の円滑化と利用者サービス向上の点から期待されている。しかし、ハードウェアと比して、ソフトウェア面の研究は遅れている。実効力あるシステムの確立には、情報と交通行動の因果関係を明確にした上で情報提供の影響評価を行い、適切な提供内容、時期、並びに対象者について検討する必要がある。詳

細な予測情報の提供は、ドライバーの特定経路への集中や過剰反応を引き起こし、かえって交通状態を悪化させるポテンシャルも有しており、その効果については疑問視する結果を導いた研究例も報告されている^{1) 2)}。情報提供の影響評価については、今後とも多面的かつ詳細な検討を要すると考えられる。

本研究では情報提供下の経路選択行動を分析するための一手法として、被験者の経路選択の選好意識を繰り返し問うアンケート実験を提案する。類似の手法により、ドライバーの交通行動分析を試みた研究としては、MahmassaniとChang による、出発時刻選択とその調整過程を分析した研究がある³⁾。また著者らは、既に情報のない場合の経路選択を対象として実験を行い、ドライバーの意志決定機構に関する知見をいくつか得ている^{4) 5)}。

本研究では、実験内での交通現象の観測、並びに、被験者の旅行時間予測機構のモデル化を通して、交通情報提供下でのドライバーの意志決定機構につい

* キーワード：経路選択行動、交通情報提供、室内実験
** 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学科
(〒606-01 京都市左京区吉田本町)
*** 正会員 工修 京都大学助手 工学部交通土木工学科
(〒606-01 京都市左京区吉田本町)
**** 正会員 工修 建設省土木研究所
(〒605 茨城県つくば市旭1)
***** 学生会員 京都大学工学部交通土木工学科
(〒606-01 京都市左京区吉田本町)

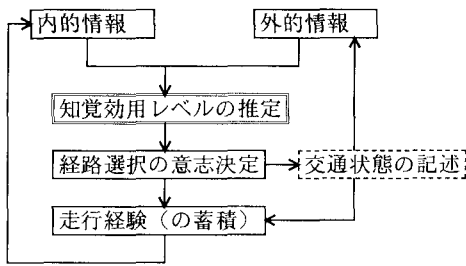


図-1 情報提供下の経路選択

て分析を加える。その際提供される情報の質が、ドライバーの反応に及ぼす影響についても検討する。

2. 経路選択実験の概要

(1) 情報提供下の経路選択行動

ドライバーが経路選択する場合、トリップを行う将来時点の交通状態を予測し、それに基づき意志決定すると考えられる。そのため、ドライバーは過去・現在の交通状態に関する情報よりも、信頼できる予測情報を求めており、情報提供システムを実行力あるものとするためには、予測情報の提供が必要不可欠と考えられる。だが、予測情報の提供は非常に困難である。予測情報の生成は、ドライバーの情報に対する反応に大きく依存する将来時点の交通状態の予測に基づかなければならないためである¹⁾。この問題に対処するための第1段階として、本研究では種々の条件を分析者が制御可能な室内実験を提案し、情報提供下の経路選択行動の分析を試み、情報とドライバーの意志決定の因果関係の把握に努める。

ところで、情報提供を受けないドライバーは、主に自身の走行経験（内的情報）に基づき、将来時点の交通状態を予測し、各自が被るコストを推測して、交通行動に関する意志決定を行うと考えられる。情報提供下では、図-1に示す通り、各ドライバー固有の内的情報に加えて、情報提供システム等から与えられる外的情報を用いて、ドライバーは、トリップ時の交通状態を予測し、被るコストを推測して経路選択すると仮定できる。本研究では、特に内的情報と外的情報を併せ用いて、トリップ時のコストを予測し、経路選択する機構に焦点をあわせ分析する。

(2) 経路選択実験の分析対象

本研究では、分析対象を旅行時間情報提供下の経

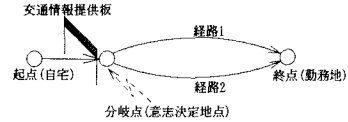


図-2 対象道路網

路選択に限定し検討する。これは、走行途中の動的交通情報提供による、利用経路の分散誘導方を前提とするためである。図-1に示したような情報提供下の経路選択行動を対象とすると、提供情報とともに内的情報としての走行経験が経路選択の説明要因として必要と考えられる。走行経験に関するデータの収集のため、同一被験者が類似のOD間で繰り返しトリップする状況を想定し、被験者の経路選択と走行結果のデータを収集する。この様な調査を現実の交通を対象として行うのは非常に困難であるので、室内実験手法を用いる。1OD2経路の簡単な道路網を設定し、被験者の経路選択に関する選好意識を繰り返し問い、経時横断面データを収集する。室内実験での仮定の状況に対する選択データから得られた結果を、現実の交通現象に直接的に移転して議論することは難しい。しかし、意志決定機構の中での情報と他の説明要因との関係、トリップの繰り返しによる意志決定機構の変容等に関する知見を得るには、屋内実験手法は有用と考えられる。

実験用の道路網を図-2に示す。経路選択は、図中の分岐点で行われると仮定する。交通目的は、交通管制が必要な都市域で代表的な通勤・業務目的を想定する。この種のトリップでは時間的制約の存在が考えられ、旅行時間に関する要因が、経路選択に強く影響する可能性が高い。上記の点を考慮し、被験者の意志決定原則として「各自の走行経験と交通情報を用いてトリップ時の旅行時間を予測し、それに基づき経路選択する」と仮定する。

(3) 実験の設計

最初に、旅行時間の決定方法を検討する。本研究では、2.(1)での議論を踏まえ、管理者側が予測旅行時間を情報提供する状況を想定する。情報の質等を制御するため、実験者は交通量並びに旅行時間の変動を予め設定し、被験者の選択に応じ走行結果として実旅行時間を提示する形式をとる。利用する旅行時間変動パターンを図-3に示す。これは被験者の

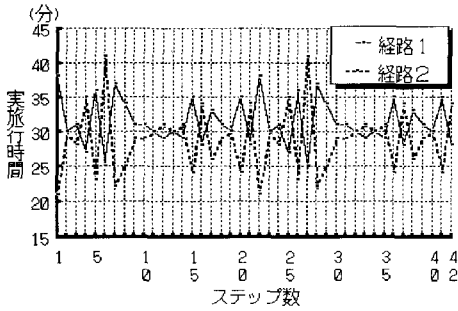


図-3 実旅行時間変動パターン

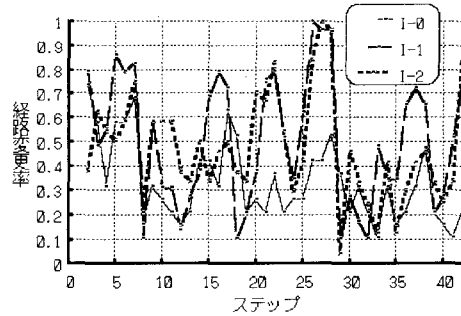


図-4 ステップ別の経路変更率

表-1 実験の設計概要

項目	設計内容
実験時間	42分～1時間10分
被験者数	実験I-0 19名, 実験I-1 30名, 実験I-2 24名
OD数	単一ODペア
経路数	並行な2経路
経路特性	(経路1) (経路2)
(経路長)	2.0 km 1.5 km
(車線数)	2車線 1車線
トリップ目的	通勤・通学交通
ステップ数	42ステップ(42分に相当)
行動基準	通勤・通学時を想定し旅行時間を予測し経路選択
事前情報	経路特性(経路長, 車線数, 自由走行時の旅行時間)
走行結果	前回選択した経路とその実旅行時間
提供情報	今回の(予測)旅行時間情報(実験I-1及びI-2)
回答項目	1)今回の両経路の予測旅行時間、2)今回の選択経路

意志決定を経路の交通状態に反映させ、旅行時間を内生的に算出した既往の実験より得たものである⁴⁾。

提供情報は n ステップ迄の走行を終え $n+1$ ステップの選択をする場合、 $n+1$ ステップの旅行時間予測値(情報旅行時間)とする。情報旅行時間は、既知の実旅行時間を平均とする正規確率変数で与えられ、標準偏差(σ)で精度を定義する。情報の有無及び精度により、3つの実験を行う。①高精度情報($\sigma=1$ (分))を提供する実験 I-1、②低精度情報($\sigma=4$ (分))を提供する実験 I-2、③対照実験としての情報提供のない実験 I-0である。高精度情報では、実旅行時間の経路間の大小関係が、情報の大小関係と常に整合しており、一方、低精度情報では実旅行時間と情報の大小関係の逆転が複数回含まれている。

実験手順は、①情報旅行時間を確認してもらい、②走行経験、情報旅行時間および経路特性を考慮して各経路の旅行時間を予測してもらい、③各自の予測に基づき経路選択してもらう。④実験者から被験者に走行結果として選択経路の実旅行時間を提示す

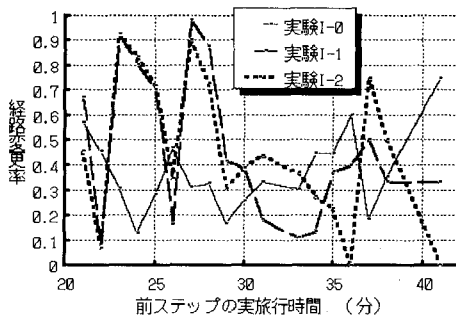
る。実験 I-0では情報の提供がないので、①を省略する。①～④を所定の回数繰り返し、実験を実施する。表-1に実験の設計概要を示す。経路特性、被験者数等については、表-1を参照のこと。

データ収集、結果並びに情報の提示の効率化を図り、ステップ数の確保に努める一方、実験時間を短縮し被験者の負担を緩和するため、携帯型のパソコンを利用する。利用可能な資源(主としてパソコン)の制約上、実験は1回当たり5～6名で実施し、得られたサンプルをプールし分析用データを収集する。

3. 現象面から見た情報提供下の経路選択行動

(1) 集計的指標による実験結果の分析

情報の有無およびその精度が、経路選択に及ぼす影響を主に実験内の現象を記述する集計的指標により分析する。図-4は、ステップ毎の経路変更率を示している。走行結果としての実旅行時間は全実験で共通なのだが、情報の有無に応じて経路変更率の変動が明らかに異なる。情報のない実験 I-0と比較すると、情報提供を行った実験 I-1および I-2の経路変更率の変動幅の方が明らかに大きい。実験 I-1および I-2では、25～28ステップで100%近い値を示し、直後の29ステップでは約5%まで減少している。この間の実験 I-0の変更率が42%～53%であることと、情報旅行時間最小の経路が、25ステップから順に経路1→経路2→経路1→経路2→経路2と推移することを考え併せると、多数の被験者が、情報に従い意志決定すると考えられる。本実験では、被験者の選択と交通状態の相互関係を導入しておらず、また経路選択要因が非常に限定されているため、この結果はかなり誇張されていると考えられるが、



図－5 前ステップの実旅行時間別の経路変更率

情報提供による集中のあらわれとも解釈できる。

実験 I-1と I-2の結果を比較すると、実験 I-1の変更率の変動が、I-2 のそれより相対的に大きいと考えられる。高精度情報を提供された被験者の方が、情報旅行時間により敏感に反応するとも考えられるが、この図からは明確な差異は読みとれない。

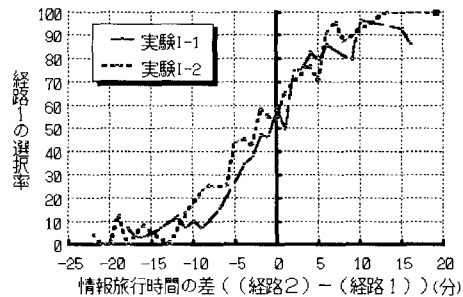
次に、前ステップの実旅行時間に対する経路変更率について分析する(図－5)。情報のない実験 I-0では実旅行時間が25分～33分の時(26分と29分を除き)、変更率は約30%と比較的小さい。大局的に捉えると34分以上では、前ステップの実旅行時間の増加に伴い、変更率の増加傾向が認められる。選択経路の実旅行時間が長ければ、経路変更するドライバーが増加するという傾向は、不完全情報下の交通では妥当と考えられる。また、あるステップで選択経路の実旅行時間が非常に小さくなると、他の経路の交通状態は芳しくないと推察できるため、次ステップでの流入を予測し、予防的に経路変更する被験者が存在する。これは実旅行時間が21分、22分の変更率の高さに示されている。以上より実験 I-0の被験者の多くは、実旅行時間に敏感に反応して経路選択すると思われる。情報提供した実験 I-1、I-2の経路変更率の変動は、実験 I-0とは異なる。特に前ステップの実旅行時間の増加に伴う変更率の上昇は認められない。実旅行時間が小さく走行結果が相対的に良い場合でも、変更率が90%程度に達するケースが見られる。従って情報の有無に応じて、被験者の意志決定機構が明確に異なると考えられる。

(2) 提供情報の影響

設定した情報の妥当性を概略把握するため、被験者の情報の精度の認識について、経路選択実験終了

表－2 旅行時間情報の精度に対する評価

情報の精度	実験I-1	実験I-2
とても正しい	11人(36.7%)	1人(4.2%)
ある程度正しい	16人(53.3%)	19人(79.1%)
あまり正しくない	1人(3.3%)	3人(12.5%)
全く正しくない	0人(0.0%)	0人(0.0%)
無回答	2人(6.7%)	1人(4.2%)
合 計	30人(100.0%)	24人(100.0%)



図－6 情報旅行時間の差と経路選択率

後アンケートにより調べた。その結果を表－2に示す。全般的に実験 I-1の提供情報に対する主観的評価の方が、実験 I-2と比較して高く、高精度情報と低精度情報の差異は、ほぼ正しく認識されており、設定した情報は概ね妥当であったと考えられる。

次に、経路選択に情報が及ぼす影響を捉えるため、横軸に経路1と経路2の情報旅行時間の差(経路1の情報旅行時間が小さい時为正)をとり、縦軸を経路1の選択率としたグラフを図－6に示す。実験 I-1、I-2ともに右上がりの傾向を示し、情報の差の増加とともに、情報旅行時間最小の経路の選択割合が増加する。換言すれば情報旅行時間の差が小さい時は、情報旅行時間最小の経路を敢えて選択しない被験者も相当数いると考えら、意志決定における情報旅行時間以外の要因の関与が考えられる。実験 I-1と I-2を比較すると、実験 I-1の方が、0分の近傍での勾配が若干急である。つまり、より精度の高い情報が提供された場合には、僅かな情報時間の差に対しても被験者は敏感に反応する可能性がある。

4. 情報提供下の旅行時間予測機構

(1) 旅行時間予測モデルの構造

仮定した意志決定原則に基づき、経路選択の際の判断材料を生成する旅行時間予測機構について検討

する。旅行時間予測モデルの推定を通して情報の精度が及ぼす影響を考慮した形で、被験者の意志決定機構における情報の位置づけについて検討する。

情報提供のある場合、多くの被験者は情報に敏感に反応して経路選択すると結果が、これまでの分析より得られた。一方、被験者は繰り返しのトリップし、内的情報としての走行経験を更新・蓄積しており、さらにこれまでの検討結果からも情報旅行時間以外の経路選択要因の存在の可能性が示唆されており、走行経験が説明要因の1つとなる可能性も否定できない。それ故情報旅行時間および走行経験を代表する選択経路の実旅行時間を説明変数に持つ、線形回帰モデルを旅行時間予測モデルとして導入する。

実験を通して得られたデータは、経時横断面データ（複数被験者に対する時系列データ）の一種であるため、旅行時間予測機構を回帰モデルとして推定する場合、その誤差項に系列相関の存在が考えられる。そこで、以下の旅行時間予測モデルを通常の最小2乗法(OLS)により推定し、DW（ダービーフォットソン）統計量を用いて、系列相関の存在の有無を確認する。

$$t^{n+1} = \alpha + \beta t^n + \gamma t^k + \eta I^{n+1} + \varepsilon \quad (1)$$

ここで、 t^{n+1} : $n+1$ ステップの予測旅行時間、
 t^n : n ステップの選択経路の実旅行時間、
 t^k : n ステップと同じ経路を $n-1$ ステップ以前の最近過去に選択した時の実旅行時間、
 I^{n+1} : $n+1$ ステップの情報旅行時間、
 $\alpha, \beta, \gamma, \eta$: 定数パラメータ、
 ε : 誤差項 である。

表-3は、式(1)で示されたモデルの推定結果、並びにDW比を示している。誤差項に関する1階の自己相関係数を ρ とすると、検定すべき帰無仮説 H_0 並びに対立仮説 H_1 は、次の通りである。

$$H_0: \rho = 0, \quad H_1: \rho > 0$$

実験I-1の場合、DW比は1.45であり、DW統計量に基づくと有意水準1%で帰無仮説 H_0 は棄却される。実験I-2では、DW比は1.64であり有意水準5%で H_0 は棄却される。このため、誤差項における系列相関の存在の可能性は十分に考えられ、モデル推定の際のOLSの適用は、妥当ではないと考えられる。

ところで、被験者は走行経験を選択経路と対応づけて蓄積すると考えられる。そのため各経路の効用レベルを推測するための旅行時間予測機構も影響を

表-3 自己相関の存在可能性

分 類	実験I-1	実験I-2
データ数	840	720
α	3.302 (3.06)	8.705 (6.34)
β	0.058 (2.22)	0.080 (2.50)
γ	0.015* (0.60)	-0.065 (-1.99)
η	0.839 (41.8)	0.716 (26.6)
DW比	1.45	1.64

*:有意水準5%で非有意

受け、各経路に固有のものとなる可能性があり、経路別モデルの構築を検討すべきとも考えられる。一方、仮定した旅行時間予測モデルの誤差項には、系列相関が存在する可能性が非常に高いため、データの持つ情報を損わずに、統計手法的にも問題のない形でモデルを推定するには、経時横断面データの形式を保持し、誤差項の系列相関を考慮できる一般化最小2乗法の適用が望まれる。そのため被験者の回答によってはデータの欠損が生じ、モデルの推定に問題を生じる経路別モデルは今回は導入しない。ただし、旅行時間予測機構の経路間の差異の存在を検討するため、選択経路ダミー変数を導入した式(2)のモデルを仮定する。モデルの推定には、誤差項の系列相関と同時相関を考慮可能なParksの方法を用いる。推定手法に関する説明は、参考文献4)、6)に譲る。

$$t^{n+1} = \alpha + \beta t^n + \gamma t^k + \eta I^{n+1} + \zeta d^n + \varepsilon \quad (2)$$

d^n : n ステップの選択経路が経路1ならば1

経路2ならば0のダミー変数

ζ : 定数パラメータ

ε : 誤差項、ただし次の構造を有する

$$\begin{cases} \varepsilon_{i, n+1} = \rho_i \varepsilon_{i, n} + \mu_{i, n} & (\text{誤差の自己相関}) \\ E \{ (\varepsilon_{i, n})^2 \} = \sigma_{i, n} & (\text{不均一分散}) \\ E (\varepsilon_{i, n}, \varepsilon_{j, n}) = \sigma_{i, j}, i \neq j & (\text{同時相関}) \\ E (\varepsilon_{i, n}, \varepsilon_{j, n'}) = 0, i \neq j, n \neq n' & \\ i, j: \text{被験者番号}, n, n': n+1: \text{実験ステップ}, \\ \mu: \text{正規分布に従う誤差項} \end{cases}$$

(2) 旅行時間予測モデルの推定結果

旅行時間予測モデルの推定結果を表-4に示す。推定には12ステップ以降のデータを利用する。本実験では12ステップ迄に全被験者が両経路を一度は走行しており、これ以降のデータであれば式(2)の t^k に欠損が生じないからである。走行の繰り返しの伴う意志決定機構の経時変化も考慮するため、データ

表-4 旅行時間予測モデルの推定結果

実験	実験 I-1				実験 I-2			
分類	Exp. 1-A	Exp. 1-1	Exp. 1-2	Exp. 1-3	Exp. 2-A	Exp. 2-1	Exp. 2-2	Exp. 2-3
Step	---	12~21	22~31	32~41	---	12~21	22~31	32~41
データ数	840	280	280	280	720	240	240	240
α	2.364 (12.8)	4.796 (4.89)	1.075* (1.17)	8.737 (21.5)	6.778 (10.9)	8.736 (8.17)	10.912 (8.43)	0.525* (0.63)
β	0.086 (23.2)	0.051 (2.27)	0.106 (4.66)	-0.054 (-6.00)	0.098 (7.37)	0.096 (4.36)	0.039* (1.28)	0.212 (12.0)
γ	0.016 (4.79)	-0.014* (-0.90)	-0.015* (-0.72)	-0.035 (-4.89)	-0.046 (-3.66)	-0.030* (-1.27)	-0.116 (-4.73)	0.028* (1.49)
η	0.849 (320.7)	0.834 (46.1)	0.896 (53.8)	0.797 (138.7)	0.743 (67.9)	0.656 (38.2)	0.729 (39.4)	0.761 (65.6)
ζ	-0.499 (-20.3)	-0.311 (-2.74)	-0.469 (-3.31)	0.083 (2.13)	-0.358 (-3.90)	0.304 (2.33)	0.159* (0.77)	-0.864 (-7.07)
TMSE	1.003	0.342	0.297	0.339	1.002	0.408	0.397	0.407

*が付された値は有意水準5%で非有意、()内は t 値、TMSEはTransformed Mean Square Error

を10ステップ毎に分類し、推定した結果も併記する。モデルの内部妥当性は比較的高く予測旅行時間の観測値と推定値の相関係数は、全サンプルを用いたモデルでは実験I-1で0.84、実験I-2では0.72であった。

結果を見ると、実験I-1、I-2ともに情報旅行時間のパラメータが大きく、予測機構における情報の影響の大きさを伺い知れる。10ステップ毎に分類して推定したモデルでは、モデル自体は経路選択の繰り返しとともに変化するが、情報の影響力は常に大きく、その経時変化は大きくはないと考えられる。実旅行時間に関するパラメータ (β 、 γ) の値は小さく、ステップで分類したモデルでは、有意水準5%で非有意な場合もあり、旅行時間予測に対する走行経験の影響は大きくないと考えられる。

情報旅行時間のパラメータ値は、高精度情報を提供した実験 I-1の方が、低精度情報の実験 I-2に比べて大きい。高精度情報を提供した場合、意志決定時の情報への依存度がより高くなると考えられる。

旅行時間予測機構の経路間の差を表すダミー変数 (d^n) のパラメータ値は大きくないが、有意水準5%では1ケース以外は統計的に有意である。被験者が経路特性を考慮し、意志決定する可能性を旅行時間予測機構のレベルでは完全には棄却できない。

5. おわりに

本研究では、情報と交通行動の因果関係を明確にするための一手法として、経路選択アンケート実験を提案し、実施した。主に走行経験と提供される情

報を説明要因とする被験者の意志決定機構の分析を試みた。その結果、次のような知見を得ている。

- ①得られたデータは経時横断面データであるため、これを用いて線形回帰モデルとしての旅行時間予測モデルを推定する場合、誤差項の系列相関の存在に留意する必要がある。
- ②情報提供下のドライバーの意志決定機構は、情報がない場合とは異なると考えられ、情報を説明要因の中心に据えた経路選択機構が形成されている。
- ③情報への依存度はその精度で規定され、高精度情報の場合ほど依存度が高まる可能性が大きい。

ただし、設定した情報の精度が全般的に高かった点、初期のステップから継続的に情報提供した点等が影響して、上記の結果を導いた可能性も考えられる。今後、情報提供システムの導入に伴う被験者の経路選択機構の変容を分析するため、主に情報の提供方法を再検討し、新たな実験の実施を考えている。

【参考文献】

- 1) Ben-Akiva, M., de Palma, A. and Kaysi, I.: Dynamic Network Models and Driver Information Systems, Transpn. Res.-A Vol. 25A, No. 5, pp. 251-266, 1991
- 2) Arnott, R., de Palma, A. and Lindsey R.: Does Providing Information to Driver Reduce Traffic Congestion?, Transpn. Res.-A Vol. 24A, No. 1, 1991.
- 3) Chang, G. L. and Mahmassani, R.: Travel Time Prediction and Departure Time Adjustment Behavior Dynamics in a Congested Traffic System, Transpn. Res.-B Vol. 22B, No. 3, pp. 217-232, 1988.
- 4) 飯田恭敏, 内田 敬, 宇野伸宏: 通勤者の旅行時間予測機構に関する実験分析, 土木計画学研究・講演集, No. 13, pp. 335-342, 1990.
- 5) 飯田恭敏, 内田 敬, 山本政博, 村田重雄: 実験アプローチによる動的経路選択行動のモデル化, 土木計画学研究・講演集, No. 14, pp. 271-278, 1991.
- 6) Drummond, D. J. and Gallant, A. R.: The TSCSREG Procedure, SUGI Supplemental Library User's Guide, pp. 625-645, 1986