

業務トリップチェーンにおける 経路・出発時刻選択行動の分析

山本俊行¹・北村隆一²・熊田善亮³

¹正会員 博(工) 京都大学助手 工学研究科土木システム工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

²正会員 Ph.D. 京都大学教授 工学研究科土木システム工学専攻

³正会員 東洋情報システム

業務トリップは、通勤トリップと異なり広い時間帯で発生することや、複数の目的地を持つトリップチェーンを形成する傾向が強い等の特徴を持つ。本研究では、トリップチェーン前後の業務活動も含めたトリップチェーン全体の費用最小化行動を仮定した、業務トリップの経路・出発時刻選択モデルを構築した。出発時刻選択については最適な出発時刻で総費用が極小値をとるとの条件を用い、連続時間軸上での時刻選択行動をモデル化した。路側配布によるアンケート調査で得られた実際のトリップチェーンデータ、および時間帯別所要時間データに基づき未知パラメータを推定した。さらに、出発時刻や経路、立ち回り順序の変更や所要時間の変化に伴う費用の変化を算出し、モデルの挙動を確認した。

Key Words: departure time choice, trip chain, business trip

1. はじめに

従来の都市交通政策は、朝夕のピーク時における渋滞の解消を主たる目的とし、通勤交通を対象とした施策が一般で、業務交通を中心とした昼間交通に着目した政策は相対的に少ない。しかしながら、都市中心部では昼間時でも交通渋滞が慢性化しており、何らかの対策を必要としている。

業務トリップは、通勤トリップとは異なり広い時間帯で発生することや、複数の目的地を持つトリップチェーンを形成する傾向が強い等の特徴を持つ。さらに、その特性としては、基本的に費用最小化原理が適切であると考えられる事、意思決定主体が運転者とは限らない事等が挙げられる。

業務トリップに関して、個々のトリップの上位問題である配車配送問題、あるいはさらに上位レベルの問題である事業所配置問題を含めた分析が進められている。家田ら²⁾、谷口ら³⁾は時間費用を含めた一般化費用最小化問題として問題を定式化し、利用貨物車台数、各車両の立ち回り先、走行距離等を出力するモデルシステムを構築している。しかしながら、これらの分析では、簡略化のために到着時刻制約が考慮されていない、あるいは遅刻確率に基づく期待費用やその他の費用を外生的に与えている等、実際の業務活動の再現性は限られたものと考えられる。

一方、個々の業務トリップを対象とした分析では、実

際のデータに合致したパラメータの推定等が行われている。加藤・門田⁴⁾はトリップを行う側とトリップ先の相手側との相互関係から生じる時間制約が業務交通の開始時刻に与える影響を分析している。また、松本・白水⁵⁾は旅行時間の不確実性が物資輸送交通に及ぼす影響を把握するため、遅刻確率と出発時刻とのトレードオフについて分析している。

時間制約や遅刻確率を考慮した交通行動分析としては、業務交通を対象としたもの他に、数多くの研究が行われている。山下・黒田⁶⁾は空港アクセス交通を対象として、遅刻確率下での遅刻回避行動として出発時刻選択行動をモデル化し、飯田ら⁷⁾は通勤交通を対象として、遅刻確率を考慮した出発時刻・経路選択行動をモデル化している。これらの分析では、業務交通に比べて出発時刻の選択範囲が限られているため、当該トリップ以外の行動は固定した形でモデルの構築がなされている。

本研究では、トリップチェーン前後の業務活動を考慮した上で、トリップチェーンを含む、業務活動全体の費用最小化行動を仮定した、業務トリップチェーンの経路・出発時刻選択行動の分析を行う。著者らはこれまでに、1つのトリップを対象として貨物車交通の経路・出発時刻モデルを構築しており⁸⁾、本研究は複数のトリップからなるトリップチェーンを取り扱うためにモデルを拡張するものである。本研究の結果を用いることにより、実際のデータに合致した形で1日の業務トリップチェーンをモデル化することが可能となる。また、より上位レ

ベルの問題である配車配送問題のパラメータとして適用する事により、実際の業務活動の再現性を高めることが期待される。さらにネットワークモデルと組み合わせることにより、交通需要管理施策実施時の交通状況の変化に伴う、業務トリップの出発時刻の変更や立ち回り順の変更等、様々な対応行動を再現することが可能となるものと考えられる。

本研究では、出発時刻による経路所要時間の変動を明示的に取り扱い、所要時間の最小化を出発時刻決定の一要因としたモデル化を行っている。モデル推定にあたって各経路の時間帯別平均所要時間、変動幅のデータを用いているが、ITS 技術を援用し、より詳細で広汎な動的所要時間データを得ることにより、将来モデル精度の向上が可能となることが期待される。

本論文の構成は以下のとおりである。第2章では業務トリップチェーンにおける経路・出発時刻選択行動モデルの概要を示す。未知パラメータの推定方法を第3章に、事例分析の結果を第4章にそれぞれ示す。第5章でモデルの挙動を確認し、第6章にまとめを示す。

2. モデルの概要

本研究では、トリップチェーンに関する費用、およびその前後の業務活動に伴う費用を含めた総費用 C_{total} を以下のように定式化する。

$$C_{total} = C_{time} + C_{delay} + C_{other} + C_{cost} + \xi \quad (1)$$

ただし、 C_{time} はトリップチェーンの所要時間費用、 C_{delay} は到着時刻制約に対する遅刻確率に基づく費用、 C_{other} はトリップチェーン以外の業務活動に伴う費用、 C_{cost} は高速料金、 ξ は誤差項を表わす。本研究で仮定する行動原理として、各立ち回り先への到着制約時刻を条件として、総費用が最小となるように、出発時刻、立ち回り順序、経路が決定されるものとする。ただし、立ち回り先によっては到着制約時刻が存在しない場合もあるとする。

費用要素のうち、所要時間は出発時刻、経路により変動する事から、所要時間による費用を以下の式で表わす。

$$C_{time} = \beta_{time} X_{time} \sum_{i=1}^n \int_0^{\infty} t \cdot f_i(t|T_i, R_i) dt \quad (2)$$

ただし、 β_{time} は未知パラメータベクトル、 X_{time} は外生変数ベクトル、 T_i は i 番目のトリップの出発時刻、 $\int_0^{\infty} t \cdot f_i(t|T_i, R_i) dt$ は i 番目のトリップの出発時刻 T_i における利用経路 R_i の平均所要時間を表す。また、 $f_i(t|T_i, R_i)$ は

i 番目のトリップの出発時刻 T_i における利用経路 R_i の所要時間の確率密度関数を表す。また、当該トリップチェーンは n 個のトリップから構成されるものとする。

到着時刻制約に対する遅刻確率に基づく費用としては、遅刻することによる固定費用と遅刻時間に依存する変動費用からなるものと仮定し、以下のように定式化した。

$$C_{delay} = \sum_{i=1}^n \left\{ \beta_{delay1} X_{delay1} \int_{T_f - T_i}^{\infty} f_i(t|T_i, R_i) dt + \beta_{delay2} X_{delay2} \int_{T_f - T_i}^{\infty} (T_i + t - T_f) f_i(t|T_i, R_i) dt \right\} \quad (3)$$

ただし、 β_{delay1} 、 β_{delay2} は未知パラメータベクトル、 X_{delay1} 、 X_{delay2} は外生変数ベクトルを表わし、 $\int_{T_f - T_i}^{\infty} f_i(t|T_i, R_i) dt$ 、

$\int_{T_f - T_i}^{\infty} (T_i + t - T_f) f_i(t|T_i, R_i) dt$ は i 番目のトリップの遅刻確率、および遅刻時間の期待値を表わす。また、 T_f は i 番目のトリップの到着制約時刻を表す。

トリップチェーン以外の業務活動に伴う費用については、就業時間が固定的な場合には、就業時間とトリップチェーンに要する時間から活動時間が一意的に決定されるため、業務活動の生産効率が活動時刻に依存せず一定とした時、費用最小化の費用要素に含める必要はない。しかしながら実際には当日の業務の計画や社内での打ち合わせ等、業務活動の生産効率は時刻によって異なる可能性がある。

一方、トリップチェーンの出発時刻によっては超過勤務の必要が生じようが、時間帯毎の所要時間の変動や到着制約時刻との関係から、超過勤務を行った方が総費用が抑えられる場合があるものと考えられる。この場合、業務活動時間は、トリップチェーンの所要時間が一定の場合にも変動する。

よって、本研究では、トリップチェーン以外の業務活動に伴う費用は活動時間に比例し、トリップチェーンの前後では単位時間あたりの費用が異なるものと仮定し、以下の式で表わす。

$$C_{other} = \beta_s X_s (T_1 - T_A) + \beta_e X_e \left\{ T_B - \left(T_n + \int_0^{\infty} t \cdot f_n(t|T_n, R_n) dt \right) \right\} \quad (4)$$

ただし、 β_s 、 β_e は未知パラメータベクトル、 X_s 、 X_e は外生変数ベクトルを表わし、 T_A 、 T_B はそれぞれ業務開始時刻、業務終了時刻を表わす。式(4)では、右辺第1項は T_A から1番目のトリップの出発時刻、 T_n すなわちトリップチェーンの出発時刻までの業務活動に伴う費用を表

す。一方、第2項は*n*番目のトリップの到着時刻、すなわちトリップチェーンの終了時刻から T_b までの業務活動に伴う費用を表す。

また、高速料金は以下の式で表わす。

$$C_{cost} = \sum_{i=1}^n C_i(R_i) \quad (5)$$

ただし、 $C_i(R_i)$ は*i*番目のトリップの利用経路 R_i の高速料金を表わす。

各費用に対する係数は業種やトリップ属性等によって異なるものと考えられるため、上記の定式化では、それぞれ属性を表す説明変数の線形和で表している。ただし、 β_{delay1} 、 β_{delay2} は到着時刻制約の無いトリップに対して0となるように説明変数を設定した。

3. 未知パラメータの推定方法

本研究では、未知パラメータの推定方法として、立ち回り順や利用経路を与件とした場合、最適な出発時刻で総費用が極小値をとるとの条件を用いた最小二乗法、および同一の立ち回り順における利用経路の離散選択行動に対してロジットモデルを適用することによる段階的な推定法を用いる⁹⁾。ただし、運転者がこのような順番で立ち回り順や利用経路、出発時刻を決定しているという保証は無い。本研究では、行動原理として総費用が最小となるように、出発時刻、立ち回り順序、利用経路が決定されることのみを仮定しており、ここでの手順はパラメータ推定を効率的に行うためのものであることに注意されたい。

始めに、総費用が最小となる出発時刻が満たす必要条件は以下の式で表わされる。

$$\frac{\partial C_{total}}{\partial T_i} = 0 \quad (6)$$

式(6)に、式(1)から(5)を代入し、両辺を $(-\beta_{time})$ で除することによって以下の式を得る。

$$\begin{aligned} & \sum_i \frac{\partial \int_0^{\infty} t \cdot f_i(t|T_i, R_i) dt}{\partial T_i} \\ &= \sum_i \left\{ \beta'_{delay1} X_{delay1} \frac{\partial \int_{T_b - T_i}^{\infty} f_i(t|T_i, R_i) dt}{\partial T_i} \right. \\ & \quad \left. + \beta'_{delay2} X_{delay2} \frac{\partial \int_{T_b - T_i}^{\infty} (T_i + t - T_b) f_i(t|T_i, R_i) dt}{\partial T_i} \right\} \\ & \quad + \beta'_s X_s - \beta'_c X_c \frac{\partial \left\{ T_n + \int_0^{\infty} t \cdot f_i(t|T_i, R_i) dt \right\}}{\partial T_i} \end{aligned} \quad (7)$$

ただし、 $\beta' = \beta(1 - \beta_{time})$ とする。ここで、それぞれのトリップ開始時刻 T_i は以下の式で表わされる関係を持つ。

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 + t_1 + t_{f1} \\ T_3 &= T_2 + t_2 + t_{f2} \\ &\vdots \\ T_{i+1} &= T_i + t_i + t_{fi} \\ &\vdots \end{aligned} \quad (8)$$

ただし、 t_i は確率密度 $f_i(t|T_i, R_i)$ に従う*i*番目のトリップの所要時間、 t_{fi} は*i*番目の目的地における業務時間(本研究では、固定されているものと仮定する)を表わす。すなわち、到着時刻制約を持つトリップをトリップチェーンの後半に行くほど、他のトリップの所要時間から受ける影響が大きくなる。式(7)中では、以下の式を用いて全てのトリップの所要時間をトリップチェーンの最初の出発時刻について微分することが可能である。

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_i(t|T_i, R_i)}{\partial T_i} &= \frac{\partial f_i(t|T_i, R_i)}{\partial T_i} \cdot \prod_{k=1}^{i-1} \frac{\partial T_{k+1}}{\partial T_k} \\ &= \frac{\partial f_i(t|T_i, R_i)}{\partial T_i} \cdot \prod_{k=1}^{i-1} \left(1 + \frac{\partial f_k(t|T_k, R_k)}{\partial T_k} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

式(9)を式(7)に代入し、最小二乗法を適用することにより、各未知パラメータの推定を行う。

次に、 β_{time} の推定に際しては、誤差項 ξ が経路毎に独立で同一なガンベル分布に従うと仮定することにより、ロジットモデルの枠組みを用いて推定を行う。ロジットモデルにおける効用関数 U は以下の式で表わされる。

$$U = -C_{total} = \beta_{time} (\hat{C}'_{time} + \hat{C}'_{delay} + \hat{C}'_{other}) + C_{cost} + \xi \quad (10)$$

表-1 回収サンプルのトリップ目的分布

	サンプル数	割合
通勤・通学	358	38.1%
業務(物資輸送を伴わない)	272	29.0%
業務(物資輸送を伴う)	82	8.7%
買い物・私的	94	10.0%
娯楽・観光	69	7.3%
その他・不明	64	6.8%
計	939	100.0%

表-2 推定サンプルのトリップ数分布

	サンプル数	割合
1トリップ	85	37.4%
2トリップ	53	23.3%
3トリップ	44	19.4%
4トリップ	18	7.9%
5トリップ以上	27	11.9%
計	227	100.0%

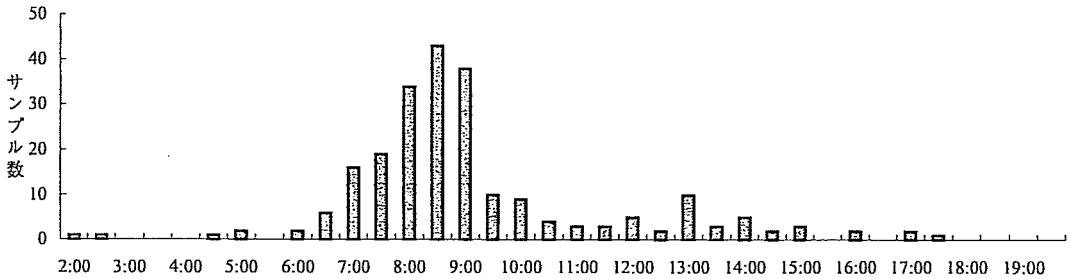


図-1 推定サンプルのトリップチェーン出発時刻分布

ただし、 \hat{c}_i は最小二乗法により得られた推定値を表わす。本研究では最小二乗法による推定に伴う誤差項と誤差項との相関については考慮していない。

4. 事例分析

本研究では、1998年に神戸市周辺における道路網整備の影響評価を目的として実施されたアンケート調査によって得られたデータ、および阪神高速時刻表等に基づく時間帯別の経路所要時間データ¹⁰⁾を用いた分析を行う。

調査は、阪神高速道路7号北神戸線利用者に対して手渡し配布、郵送回収にて実施された。調査票回収数は939枚で回収率は12.5%であった。表-1に示す回収サンプルのトリップ目的の分布より、通勤・通学目的のトリップが最も多く、全体の38.2%を占めている事が示されている。業務目的のトリップは2番目に多く、物資輸送を伴うものと伴わないものを合わせると、通勤・通学目的のトリップほぼ同数となっている。本研究では、このうちトリップ目的が業務活動であり、回答に不備のない227サンプルを用いた分析を行う。なお、サンプルには物資輸送を伴うケースと伴わないケースの両者を含んでおり、サンプル数の確保のため、今回の分析では個別のモデル化は行っていない。替わりに、物資輸送を伴うトリップチェーンを示すダミー変数をモデルに導入し、両者の違いを考慮している。

表-3 推定サンプルの到着時刻制約の有無

	制約有り	制約無し	制約率
1トリップ目	83	144	36.6%
2トリップ目	26	116	18.3%
3トリップ目	16	73	18.0%
4トリップ目	7	38	15.6%
5トリップ目	4	23	14.8%
計	136	394	25.7%

推定サンプルのトリップチェーン出発時刻の分布を図-1に示す。業務トリップも出発時刻のピークは午前8時台であるものの、ピーク時間帯以外にもトリップチェーンを開始するケースも見られ、広い時間帯でトリップチェーンが開始されていることが確認出来る。また、推定サンプルのトリップ数分布を示した表-2では、3トリップ以上のトリップチェーンからなるケースが4割近くを占めており、業務トリップでは、トリップが連続して行われる傾向が強いことが示されている。

トリップチェーンにおける到着時刻制約の影響について、各トリップにおける到着時刻制約の有無を表-3に示す。全トリップに占める到着制約時刻のあるトリップは約25%である他、トリップチェーンの後半に行われるトリップほど到着時刻制約を持たないトリップの割合が多くなっており、トリップ数別のケース数に差はあるものの、到着制約時刻のあるトリップについてはトリップチェーン中の早い順番で行う事で、遅刻する危険を回避する傾向が示されているものと考えられる。また、到着制約時刻のあるトリップについて、到着制約時刻と実際の到着時刻の差の分布を図-2に示す。両時刻の差の

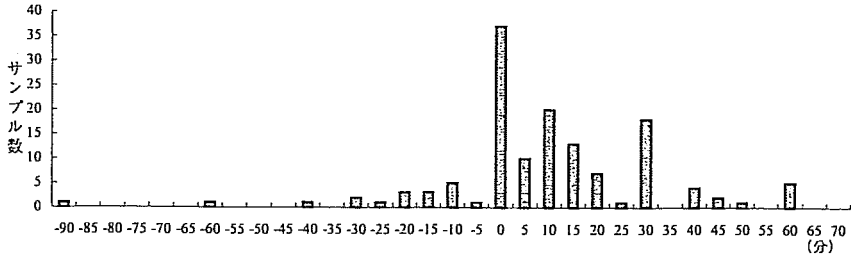


図-2 推定サンプルの到着制約時刻と実際の到着時刻の差の分布

平均は、9.67分であった。図-2より、0から20分程度制約時刻より早く到着しているケースが多いものの、それ以上に早く到着しているケースや大幅に制約時刻に遅刻しているケースも存在することが確認出来る。遅刻しているケースについてはトリップチェーン中の遅い順番で実行されたトリップであることがデータから確認されており、それ以前のトリップによる遅れが積み重なった結果、制約時刻に間に合わないといった事が起こっていることが示されているものと考えられる。

一方、未知パラメータの推定に際し、全トリップについて $f_i(T_p, R_i)$ を特定し、平均所要時間、遅刻確率、遅刻時間の期待値、およびそれぞれの T_i に対する微分値を用意する必要がある。ただし、現在までのところ、所要時間分布そのものは詳細に観測されておらず、何らかの仮定を設ける必要がある。本研究では、阪神高速時刻表、道路時刻表から得られる時間帯別平均所要時間、および時間帯別変動幅のデータをもとに、所要時間分布として三角形分布を仮定することにより、 $f_i(T_p, R_i)$ を以下の式のように特定し、各々の値を算出することとした¹³⁾。ただし、一般道路に関しては平均所要時間のデータしか存在せず、アンケート調査で全ての被験者から得られた実際のOD所要時間、及び競合する阪神高速道路区間の所要時間分布を用いて算出した所要時間分布を用いている。

$$f_i(t|T_i, R_i) = \begin{cases} 0 & \text{if } t < \bar{t}(T_i, R_i) - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^i v(T_k, R_k) \\ \frac{t - \left(\bar{t}(T_i, R_i) - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^i v(T_k, R_k) \right)}{\left(\frac{1}{2} \sum_{k=1}^i v(T_k, R_k) \right)^2} & \text{if } \bar{t}(T_i, R_i) - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^i v(T_k, R_k) \leq t < \bar{t}(T_i, R_i) \\ \frac{\left(\bar{t}(T_i, R_i) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^i v(T_k, R_k) \right) - t}{\left(\frac{1}{2} \sum_{k=1}^i v(T_k, R_k) \right)^2} & \text{if } \bar{t}(T_i, R_i) \leq t < \bar{t}(T_i, R_i) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^i v(T_k, R_k) \\ 0 & \text{if } \bar{t}(T_i, R_i) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^i v(T_k, R_k) \leq t \end{cases} \quad (11)$$

ただし、 $\bar{t}(T_p, R_i)$ 、 $v(T_p, R_i)$ は T_i が含まれる時間帯の経路 R_i の時間帯別平均所要時間、および時間帯別変動幅を表す。なお、時間帯別変動幅は観測された同時刻帯の所要時間分布の信頼区間を示すものである。ここで、分布形としては対数正規分布の適用¹⁴⁾も考えられるものの、対数正規分布を用いた場合には所要時間が極端に小さい値をとる確率もあることを仮定することとなる。現実には、仮に全てのリンクが自由走行状態であっても一定の所要時間を要する。一方、三角形分布を用いた場合には最短所要時間の存在を容易に考慮することが可能である。今後はITS技術の進展により所要時間データの蓄積が進み、分布形に関する仮定は不要となると期待される。しかしながら、実際の所要時間分布形を運転者が正しく認識しているか否かは疑問の残るところであり、この点からも三角形分布等の単純な分布形が有効であると考えられる。

一方、出発時刻 T_i の近傍では、 $\bar{t}(T_p, R_i)$ 、 $v(T_p, R_i)$ が、

表-4 式(7)による推定結果

変数	推定値	t 値
β'_{delay1} 高速利用可能ダミー	0.000622	1.56
β'_{delay2} 物資輸送ダミー	-0.127	-1.38
到着時刻制約数	-0.0701	-3.68
β'_s トリップ総所要時間	-0.0178	-5.71
ピーク時刻帯出発ダミー	-0.0649	-2.79
定数項	-0.0332	-1.63
β'_e トリップ数	-0.0696	-8.54

サンプル数: 227, $R^2=0.299$, $\bar{R}^2=0.280$, $F=15.71$,
 $F_{0.01}(6, 221)=2.89$

$(T_i-1, \bar{i}(T_i-1, R_i))$, $(T_i, \bar{i}(T_i, R_i))$, $(T_i+1, \bar{i}(T_i+1, R_i))$ の3点, 及び $(T_i-1, v(T_i-1, R_i))$, $(T_i, v(T_i, R_i))$, $(T_i+1, v(T_i+1, R_i))$ の3点のそれぞれを通る2次曲線に従うものと仮定することにより, $\partial \bar{i}(T_i, R_i) / \partial T_i$, $\partial v(T_i, R_i) / \partial T_i$ を以下のように特定した.

$$\frac{\partial \bar{i}(T_i, R_i)}{\partial T_i} = \bar{i}(T_i+1, R_i) - \bar{i}(T_i-1, R_i) \quad (12)$$

$$\frac{\partial v(T_i, R_i)}{\partial T_i} = v(T_i+1, R_i) - v(T_i-1, R_i) \quad (13)$$

以上のデータを用いて未知パラメータの推定を行った。式(7)による推定結果を表-4に示す。表中では、パラメータが正である場合、費用が小さくなることを、パラメータが負である場合、費用が大きくなることを示している。表-4より、モデルの全体的な適合度は低いものの、物資輸送を伴うトリップや到着時刻制約数が多いトリップほど遅刻確率に対する費用が高くなる事が示された。高速利用可能ダミーは、実際には一般道を利用しているトリップについて、そのODには代替経路として利用可能な高速道路が存在する場合に1を取るダミー変数である。パラメータの推定値が正であることから、代替経路として利用可能な高速道路が存在する場合には遅刻確率に基づく費用が小さくなることを示している。この結果は、出発時には一般道の利用を予定しているものの代替経路として利用可能な高速道路が存在するトリップをトリップチェーン内に含む場合には、当該トリップ以前のトリップで予想以上の時間を費やした場合でも、所要時間の短縮のために高速道路を利用することにより遅刻を回避する事が可能であるため、遅刻確率に基づく費用が小さくなることを示すものと考えられる。トリップチェーン以外の業務活動の費用に関しては、トリップチェーンの総所要時間やトリップ数が大きいほど費用が高くなる他、ピーク時刻帯に出発するトリップチェーンについては、費用が高くなることを示す結果となった。これらのパラメータは業務の特性を示すものではなくトリップチェーンの属性を示すものであり、業務に伴う費用はトリップチェーンに関する費用に対する相対値と

表-5 ロジットモデルによる推定結果

変数	推定値	t 値
$\mu\beta_{time}$	4.54	5.10
μ	0.14	2.36

サンプル数 227, $L(0)=180.5$, $L(\beta)=17.2$,
 $\chi^2=326.5$, $\rho^2=0.90$, $\bar{\rho}^2=0.90$

μ は誤差項 ξ のオイラー定数を表す

して認識されている可能性があるものと考えられる。

ただし、モデル全体の適合度が低いため、今回の分析では出発時刻選択行動を十分把握できたとは言いがたい。モデルの適合度が低くなった原因としては、サンプル数の問題から多くの説明変数をモデルに導入できなかった事、所要時間分布データの精度が十分でない事等が考えられる。今後はサンプル数を増やすと共に、ITSによるデータ収集技術を活用し、より包括的に出発時刻選択行動を分析する必要があるものと考えられる。

表-4の推定結果に基づいて、式(10)の右辺第1項、括弧内の値を算出し、ロジットモデルを適用することにより、 β_{time} の値を推定した。ここで、選択肢集合は、立ち回り順序を変更した場合、立ち回り順序はそのまま、利用経路を変更した場合等、膨大な選択肢を含みうる。本研究では、簡単な為、調査票を受け取った際に高速道路を利用して実行していたトリップを一般道路に変更した場合、および、それ以外のトリップの中で高速道路を利用していないトリップの1つを高速道路利用に変更した場合、の2つを代替選択肢とした。

このうち、後者の代替選択肢については、トリップチェーン内の全てのトリップで高速道路を利用しているケースが存在するため、結果的に2肢選択となったケースが170、3肢選択となったケースが57となった。このような選択肢集合の決定は分析者の恣意的なものであり、推定結果には選択肢集合の恣意性に伴うバイアスが含まれるものと考えられる。今後は何らかの方法でランダムに代替選択肢を生成するなどによって選択肢集合を設定する必要があるものと考えられる。

ロジットモデルによる推定結果を表-5に示す。今回の推定では、費用タームでパラメータを推定しているため、 C_{max} に対するパラメータを1に固定している。替わりに、通常は1と固定されている誤差項のオイラー定数、 μ が推定されている。また、時間に対するパラメータも μ を乗じた形で推定されている。表-5より、尤度比、適合度ともに非常に高くなっており、モデルの推定精度が高いことを示している。しかしながら、この結果は先に述べたように選択肢集合の設定が不適切であった事による影響が考えられるため、注意が必要である。推定結果より、1時間あたりの時間費用 α_{time} は3,140円と算出された。この値は、トリップ目的が業務活動であることを考えた場合にはある程度妥当なものであると考えられ

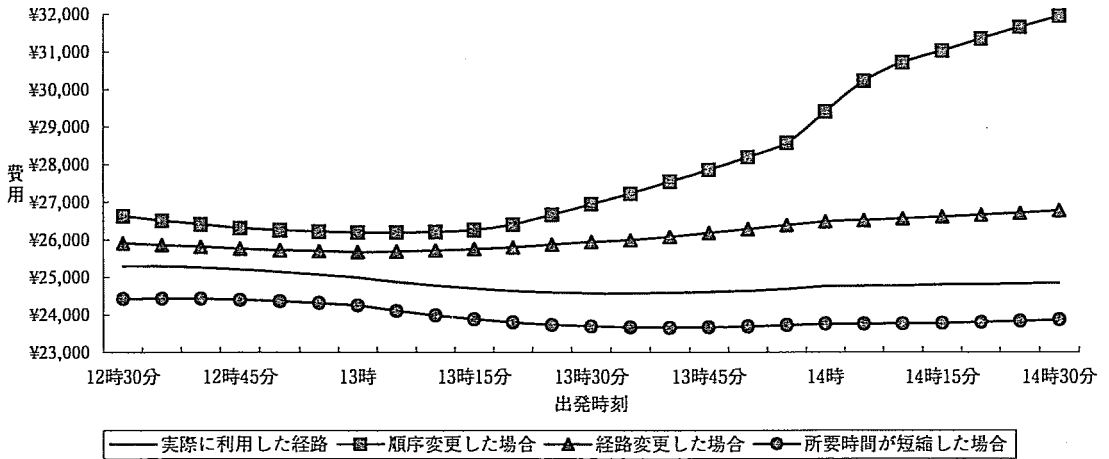


図-3 出発時刻別総費用

る。

5. モデルの挙動確認

ここでは、推定に用いたサンプルから取り出したケースに対して、構築したモデルを用いて利用経路、トリップ順序を変更した場合の総費用を算出し、モデルの挙動を確認する。用いたケースは、2つの立ち回り先を持つ3トリップからなるトリップチェーンであり、全てのトリップで高速道路を利用、2つめの立ち回り先に対して到着時刻制約を持つというものである。実際の出発時刻は13時30分である。

はじめに、実際の立ち回り順序、かつ実際の利用経路を利用した場合の出発時刻別総費用、および、調査票を受け取ったトリップを一般道路に変更した場合、利用経路はそのまま、2つの立ち回り順を入れ替えた場合の出発時刻別総費用の算出結果を図-3に示す。また、各々の場合の総費用の最小値と最小値を与える出発時刻を表-6に示す。図-3より、出発時刻に関わらず、実際の高速道路利用パターンおよび立ち回り順が最も総費用が低くなるという結果となった。また、表-6より、調査票を受け取ったトリップを一般道路に変更した場合には出発時刻を早めて13時00分に出発すれば総費用を最小化可能であること、しかしながら、一般道路に変更することにより、高速料金による費用が低下するにも関わらず、総費用としては1,000円程度高くなるという結果が得られた。

これらの結果を用い、配車配送モデル、ネットワークモデルと組み合わせて各施策毎のシミュレーションを行うことにより、経路の変更のみならず、立ち回り順の変

表-6 総費用の最小値

	総費用	出発時刻
実際に利用した経路	¥24,572	13時35分
順序を変更した場合	¥26,191	13時05分
一般経路に変更した場合	¥25,676	13時00分
所要時間が短縮した場合	¥23,658	13時40分

更を促すことで交通渋滞問題を解決するためには、どのような地域にどのような時間帯で、どの程度の金額の混雑料金を設定することが有効であるか等について検討することが可能であると考えられる。また、トリップチェーン全体の所要時間が10%短縮した場合の出発時刻別総費用を図-3に、総費用の最小値と最小値を与える出発時刻を表-6に示す。図-3より、所要時間の短縮した場合と現状とでは出発時刻による総費用の変化はほぼ同一の形状を示しており、表-6より、所要時間の短縮によって、総費用が約1,000円低下する結果が得られた。また、到着制約時刻までのトリップ所要時間が短縮されることの影響もあり、総費用を最小化する出発時刻も5分遅くなった。

6. まとめ

業務トリップは日中の広い時間帯で発生することや、複数の目的地を持つトリップチェーンを形成する傾向が強いこと、目的地への到着制約時刻の有無が混在していること等の特徴を持つ。本研究では、これらの影響を考慮した上で、トリップチェーンの所要時間費用、到着制約時刻に対する遅刻確率に基づく費用、トリップチェーンの高速料金、トリップ前後の業務活動に伴う費用から

なる一般化費用の最小化行動として、経路・出発時刻選択行動モデルを構築した。未知パラメータの推定方法として、立ち回り順や利用経路を与件とした場合、最適な出発時刻で総費用が極小値をとるとの条件を用いた最小二乗法、および同一の立ち回り順における利用経路の離散選択行動に対してロジットモデルを適用することによる段階的な推定法を提案した。

アンケート調査によって得られたデータを用いた実証分析の結果、物資輸送を伴うトリップや到着時刻制約数が多いトリップほど遅刻確率に関する費用が高くなることが示された。また、出発時には一般道の利用を予定しているものの代替経路として利用可能な高速道路が存在するトリップをトリップチェーン内に含む場合には、当該トリップ以前のトリップで予想以上の時間を費やした場合でも、所要時間の短縮のために高速道路を利用することにより遅刻を回避する事が可能であるため、遅刻確率に基づく費用が小さくなることを示しているものと考えられる。さらに、サンプルから取り出したケースに対するモデルの挙動確認の結果、立ち回り順の変更、経路の変更や、所要時間の変化による総費用の変化および総費用を最小化する出発時刻が変化することを確認した。

本研究で提案した経路・出発時刻選択モデルを適用することにより、経路・出発時刻選択行動の上位問題である配車配送問題についても、より現実的な分析が可能となるものと考えられる。ただし、今後の課題としては、サンプル数の拡大によるモデルの信頼性の向上や、選択肢集合の設定方法の改良によって不偏性を持つパラメータを推定する事が必要である。ITS 技術の活用により、より詳細で広汎な動的所要時間データを得ることもモデル精度の向上に寄与するものと考えられる。

参考文献

- 1) 加藤文教, 門田博知: 業務交通の時間制約に関する基礎的分析, 土木学会論文集, No. 425/IV-14, pp. 53-62, 1991.
- 2) 家田仁, 佐野可寸志, 常山修治: マクロ集配輸送計画モデルの構築とその「地区型共同集配送」評価への適用, 土木計画学研究・論文集, No. 10, pp. 247-254, 1992.
- 3) 家田仁, 佐野可寸志, 小林伸司: 積合せトラック物流における都市内集配活動のモデル化とその推定, 土木計画学研究・論文集, No. 11, pp. 216-222, 1993.
- 4) 谷口栄一, 則武通彦, 山田忠史, 泉谷透: 物流ターミナルの最適規模および配置の決定法に関する研究, 土木学会論文集, No. 583/IV-38, pp. 71-81, 1997.
- 5) 谷口栄一, 山田忠史, 細川貴志: 都市内集配トラックの配車配送計画の高度化・共同化による道路交通への影響分析, 土木学会論文集, No. 625/IV-44, pp. 149-159, 1999.
- 6) 松本昌二, 白水義晴: 旅行時間の不確実性が時刻の指定された物資輸送に及ぼす影響, 土木学会論文集, No. 353/IV-2, pp. 75-82, 1985.
- 7) 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.
- 8) 飯田恭敬, 柳沢吉保, 内田敬: 通勤交通の経路選択と出発時刻分布の同時推定法, 土木計画学研究・論文集, No. 9, pp. 93-100, 1991.
- 9) 神尾亮, 山本俊行, 北村隆一: 出発時刻による所要時間の変動を考慮した貨物車交通における経路・出発時刻選択行動の分析, 第 18 回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 193-196, 1998.
- 10) 阪神高速道路公団: 阪神高速道路の交通渋滞対策に関する調査研究報告書, 1994.
- 11) 浅岡克彦, 若林拓史, 亀田弘行, 飯田恭敬: 交通手段選択における所要時間の信頼性と出発時刻を考慮した通勤行動分析, 土木計画学研究・講演集, No. 19(2), pp. 819-822, 1996.

(1999. 12. 7 受付)

AN ANALYSIS OF ROUTE AND DEPARTURE TIME CHOICE BEHAVIOR FOR BUSINESS TRIP CHAINS

Toshiyuki YAMAMOTO, Ryuichi KITAMURA and Yoshiaki KUMADA

Unlike commute trips, business trips are generated throughout business hours, and several destinations tend to be visited in a trip chain. In this study, a route and departure time choice model for a business trip chain is developed based on the hypothesis that the trip chain is made so as to minimize the total cost, including costs associated with other business activities before and after the trip chain, as well as costs associated with travel time, toll fees, and the probability of being late. The empirical analysis is carried out using a data set obtained from a survey of business trip drivers. The properties of the estimated model are examined on a sample case