

プローブカーデータを用いた交通行動モデルの高度化：渋滞時の迂回行動分析*

Sophistication of the traffic behavior model using probe car data:

Analysis of detouring action in traffic congestion *

山形与志樹**・中村仁也***・大西一聡****

By Yoshiki YAMAGATA**・Jinya NAKAMURA***・Kazuaki OHNISHI****

1. はじめに

有効な環境対策を検討するためには、現実の交通行動を高精度で予測できるモデル開発が不可欠である。例えば環境対策として居住地域のコンパクト化、もしくは分散化を予測するには土地利用の将来予測が必要であるが、それを詳細に予測することを試みる応用都市経済モデル¹⁾などでは家計、企業の経済活動と交通が連成され、交通シナリオが将来の土地利用を大きく変化させることを、シミュレーションを通じて観察することができる。

そこで本研究では、人の流れの解析のための統合データベース環境及びおよび今回新たに利用可能となった最新のプローブカーデータを利用して、交通行動者が出発地から目的地まで到達するときに、最短距離や所用コストに基づいてどのように経路を選択しているかを、特に渋滞時間帯の渋滞迂回行動に注目して分析する。

2. 利用するデータとその性質

本分析では、次の二つのデータを用いた。一つは人の流れの解析のための統合データベース環境である東京大学空間情報科学研究センター「人の流れプロジェクト」データベースであり、もうひとつはカーナビゲーションシステムから採集されたプローブデータである。前者は東京都市圏他のパーソントリップ調査を包含するデータベースであり、非常に多くのサンプルから構築されている。一方で、情報ソースはアンケート形式であるために詳細な行動履歴まではとることができない。他方、後者はサンプル数がまだ少なく、さらにはデータサーバーとの通信が発生する比較的新しい型の端末に限られており、その利用者属性は偏っている。しかし、データの精度は細かく正確であるため、詳細なモデル化に資する

データであることが期待できる。

3. 交通手段選択モデル構築において必要な情報

本分析で対象とする交通手段選択モデルは、交通に要する様々なコストからその手段の効用を算出し、ロジットモデルによって選択確率を算出するものとする^{2) 3)}。このコストには所要時間の機会費用の他、電車利用では運賃や乗り換えコスト、自動車利用ではガソリン代金、高速道路利用代金、自動車の保守運用にかかる固定費などが考えられる。

ここで、渋滞が発生した際には、目的地までの最短経路、もしくは渋滞がない場合の時間最短経路が必ずしも渋滞発生時の時間最短経路とはなり得ない。他方、費用最小化を達成するための一番大きな要素は所要時間であり、それに高速道路利用代金とガソリン代金が続く。そこで本分析では、まず平均時速を移動距離で説明する統計モデルをプローブデータから構築し、そのパラメータの渋滞発生時における変動を観察する。続いて、人の流れプロジェクトデータベースから構成した直線距離と最短距離の倍率を用い、プローブデータの選択した経路がどの程度最短経路から乖離しているか、また、その経路の渋滞時間帯による変化を考察する。

4. プローブデータの概要

今回利用したプローブデータの概要を以下に示す。

データ取得対象者はデータが取得可能であったカーナビゲーションシステム利用者のうち、横浜市が居住地であると推測され、かつ2008年よりデータが利用可能なサンプルとした。人数は334人であり、2008年、2009年の4, 5, 8, 9月を収録対象としている。元のプローブデータはカーナビゲーションシステムの計測距離単位毎に1レコードが採録される形式のものであるが、今回は10分以上停車の発生を分割単位として距離、所要時間、発地及び着地の位置と日時、高速道路利用の有無及びその時間割合を含むトリップレコードを作成した。なお、位置は町レベルで丸めている。トリップレコードの距離及び

*キーワード：交通モデル、プローブデータ、経路選択、交通手段選択

** 非会員、博士（学術）、独立行政法人国立環境研究所

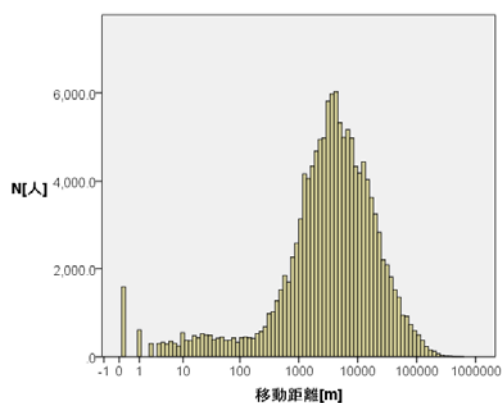
***非会員、博士（数理学）、株式会社ゴーガ（東京都港区南青山5-10-1、e-mail: nakamura@goga.co.jp）

****非会員、博士（理学）、株式会社ゴーガ

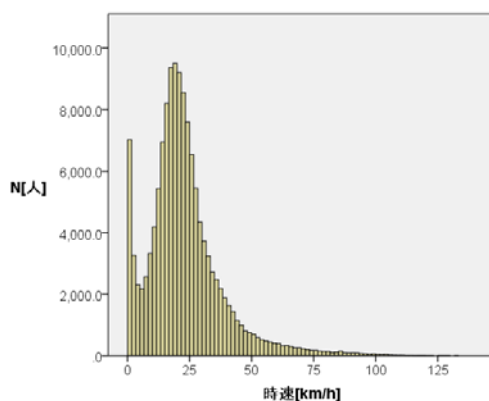
平均時速の分布をそれぞれ図－1及び図－2に示す。

まず移動距離のヒストグラムは1kmから10kmの間にピークがあり、多くの自動車トリップがこの範囲で発生していることがわかる。他方、100m未満のトリップも、割合は少ないものの相当数含まれている。以下の分析では、これらの短すぎるデータの取り扱いが困難なため、1km未満のレコードは分析から除外する。

平均時速のヒストグラムは20km/h強にピークのある分布である。100km/h前後のものは高速道路利用中に発生したトリップと考えられる。ここで、0km/hに約7000件のレコードが集中し、また、0km/hに近い領域にも分布形状から逸脱するデータが見られるが、これらのデータは渋滞中でのレコード発生や駐車中の車の移動など、トリップに直接関係のないデータの発生と考えられるため、以下の分析では平均時速5km/h未満を除外する。



図－1 移動距離の分布



図－2 平均時速の分布

5. 分析の方法と結果

(1) 移動距離－平均時速モデルの構築

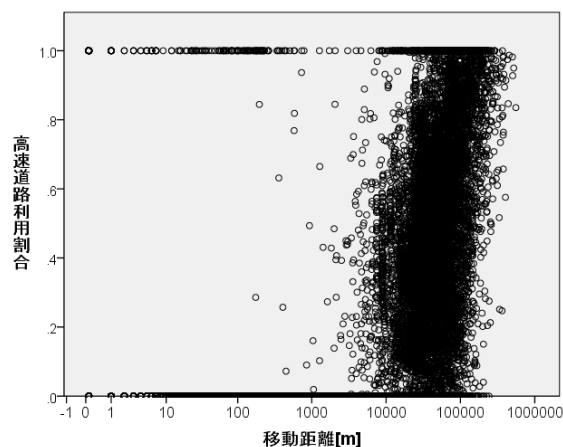
移動距離と平均時速は、一般に長距離に成程上昇すると考えられる。これは、長距離移動では幹線道路や高速道路の利用率が高まるためである。したがって、高速道

路利用の有無によって平均時速の性質は大きく異なる。以下ではまず、高速道路利用のモデルを構築し、続いて利用の有無に対する平均時速のモデル化を試みる。

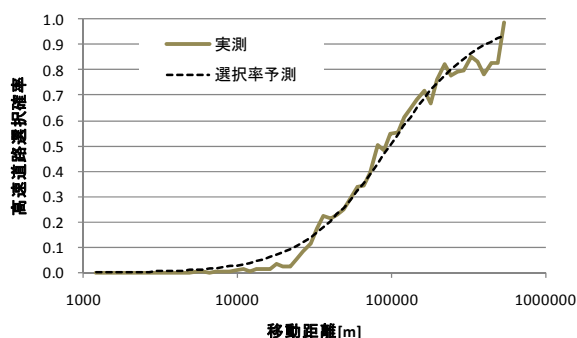
ここで、高速道路利用割合を、各トリップにおける全所要時間に対する高速道路利用時間の割合と定義する。すると、所要距離が10kmを超えるまではほぼ利用割合が0であるが、10kmを超える付近から利用率の高いトリップが多く発生しはじめ、100kmを超えた付近ではほとんどのトリップで高速道路の利用が見られるようになる(図－3)。そこで、距離の自然対数を高速道路利用のインセンティブと考えた次式に示す二項ロジットモデルを構築する。

$$\Pr(L) = \frac{\exp(\lambda \ln(L))}{\exp(\lambda \ln(L)) + \exp(\lambda c)}$$

ここで、 L は移動距離、 $\Pr(L)$ は高速道路利用割合、 λ は感度係数、 c は対立選択肢の効用を示す。パラメータ推定は両辺を対数変換した上で、最小二乗法によって行う。なお、割合が0または1となるサンプルについては推定対象から除外する。ここで、割合が0とは高速道路を全く利用しなかったレコードであり、割合が1とは高速道路を走行中に発生した駐車車が検知されているものである。



図－3 移動距離－高速道路利用割合の散布図



図－4 二項ロジットを用いた高速道路利用モデル

移動距離の対数、定数項に関するパラメータはそれぞれ $\lambda=1.535$ 、 $c=11.49$ となり、いずれも1%水準で統計的に有意となった。調整済み R^2 は0.125と高い値とはならなかったが、これは高速道路利用の意思決定の分散が大きいことの影響と考えられ、平均値へのあてはまりは図-4に示すとおり良いものとなった。

平均時速についても高速道路利用割合と同様に移動距離によって説明することを試みる。但し、ここではケースを{月～金、土日}、{ピーク、オフピーク}及び{高速利用有、無}とし、それぞれについて回帰分析を行う。これは、高速道路利用の有無が所用距離と交互作用を持って平均時速に影響を与えるためである。ここで、ピーク時は7,8時台及び17,18時台、オフピーク時はそれ以外と定義した。

被説明変数はトリップ平均時速とし、これを $\ln$ (移動距離)及び移動方向に関する四つのダミー変数{地方間、都市向き、地方向き、都市間}による回帰式で説明することを試みた。なお、移動距離は強制投入、移動方向ダミーはステップワイズ法によって選択投入したが、4つのダミー変数における一つの自由度を除いて3つがすべて有意に投入されたため、都心間を定数として残りの3つのダミー変数を投入した。

表-1及び表-2に分析結果を示す。なお、全ての説明変数は5%水準で有意であった。

まず表-1より、高速道路利用の有無によって $\ln$ (移動距離)の係数が大きく異なることに注意する。これは、高速道路利用有りの方が距離に対する速度上昇率が大きいことを示す。他方、高速道路利用無しについてはそのような質的变化要因は無いものの、距離に対する正の係数が求められており、これは幹線道路の利用率上昇等が要因と考えられる。曜日及びピークとオフピークについては、平日のピーク時で距離の係数がわずかに小さくなっており、移動距離が伸びてもあまり速度が上がらない状態が発生している(図-5)。休日ではほとんど変化がない。

表-2には方向に関するダミー変数の効果を記したが、都市間トリップについては0に標準化した。よって、表-1の数値は都市間トリップの式であり、地方から都市、都市から地方及び地方間の平均速度はそれぞれ表-2の値を足せばよい。

表-2を見ると、平日についてはどれもおよそ6.5～8.5程度の上昇となっており、都市部に比べて地方や地方との往復が速いことが示されている。但し、都心向きトリップは比較的遅い。また、高速道路の利用があった場合は、より速度が上昇する地方間トリップに比べ、都心との往復は比較的遅くなり、平日ピーク時には都心間トリップよりも遅くなる傾向が見られる。この原因としては、高速道路利用時の渋滞が考えられる。

表-1 R^2 と回帰係数

ケース	調整済み R^2	定数	$\ln$ (移動距離)の係数
高速無, 月-金, オフ	0.425	-20.01	5.011
高速無, 月-金, ピーク	0.404	-14.15	4.055
高速無, 土日, オフ	0.430	-22.80	5.182
高速無, 土日, ピーク	0.432	-20.26	4.743
高速有, 月-金, オフ	0.362	-85.34	13.006
高速有, 月-金, ピーク	0.320	-90.15	13.554
高速有, 土日, オフ	0.343	-82.82	12.707
高速有, 土日, ピーク	0.351	-77.81	11.947

表-2 ダミー変数の回帰係数

ケース	地方間	都心向き	地方向き
高速無, 月-金, オフ	6.470	6.857	8.698
高速無, 月-金, ピーク	6.598	6.525	6.563
高速無, 土日, オフ	7.155	7.012	8.156
高速無, 土日, ピーク	7.646	5.507	8.280
高速有, 月-金, オフ	12.717	1.415	3.300
高速有, 月-金, ピーク	7.341	-6.818	-2.670
高速有, 土日, オフ	13.514	2.530	5.092
高速有, 土日, ピーク	15.937	-0.998	7.916

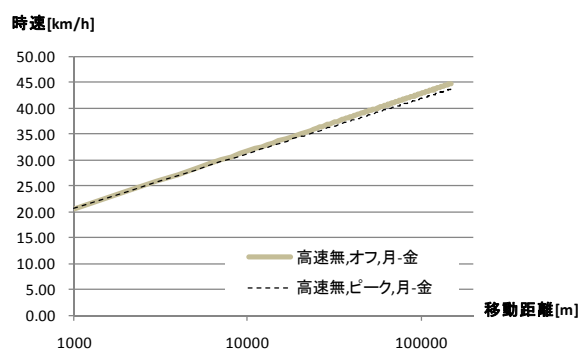


図-5 例：高速無し、平日の距離-平均時速の関係

(2) 選択経路の最短からの乖離とその時間変化
発地着地間の最短経路は、人の流れプロジェクトデータベースより算出した首都圏市区町村間の最短経路について全体平均を取ると直線距離の1.178倍となる。ただし、都心間、地方間、及び都市から地方へのそれぞれの方角に対してこの値は異なり、都心間では1.160倍、地方間では1.220倍、地方-都市間では1.176倍となった。ここで、都心は東京都千代田区を中心とした半径50kmの範囲とし、それ以外を地方とした。都心間トリップとはその50km圏内を発着するトリップであり、都心向き、地方向きはそれぞれ50km圏外から圏内へ、圏内から圏外へと進行するトリップを指すものとする。

一方、プローブデータは実際に移動した経路を算出

しているため、最短経路と等しいか、もしくは若干長くなることが予想される。さらに、渋滞の有無によって経路選択に係る意思決定時のパラメータを変更しているとすれば、ピーク時とオフピーク時で倍率の平均値に有意な差が発生すると考えられる。そこで表－3では{月-金、土日}×方向{地方間、都心向き、地方向き、都心間}の8ケースについて、ピークとオフピークの平均値の算出及びその差の検定を実施した。網掛けは5%有意水準で帰無仮説を棄却できなかったケースである。

表－3 移動距離/直線距離の平均とt検定

方向	平休	オフ	ピーク	p値
地方間	月-金	1.540	1.457	0.00
地方間	土日	1.591	1.572	0.74
都心向き	月-金	1.340	1.394	0.03
都心向き	土日	1.374	1.414	0.22
地方向き	月-金	1.354	1.372	0.45
地方向き	土日	1.353	1.284	0.01
都心間	月-金	1.489	1.329	0.00
都心間	土日	1.567	1.519	0.37

まず、プローブデータから算出された移動距離の直線距離からの倍率は最短経路の倍率よりも大きいことがわかる。最小でも1.28、最大では1.59倍まで発生しており、方向、平日/休日の別及び時間帯で倍率が異なることがわかる。

次に、ピークとオフピークの平均値の差が無いとする帰無仮説が棄却されるケース（p値が5%以下）を見る。このケースは地方向きのケースを除いて月-金であり、さらにその場合のピークとオフピークの差は、地方間及び都心間ではピーク時の方が小さいが、都心向きの場合はピーク時の方が大きい。このことは、通勤の際に多く発生すると考えられる地方間及び都心間のトリップにおいては平日ピーク時により最短経路に近い経路を選択していることを表し、特に回避行動は取っていないと考えられる。一方で所要時間は平日ピーク時の方が長いいため、平日ピーク時の通勤には、厳選されたより短い経路を、比較的長い時間をかけて移動していることがわかる。

他方、都心向き平日の場合はピーク時の倍率が高く、都市部に侵入する際には渋滞している道路を避けている可能性がある。

最後に、地方向きでは平日ではなく休日にピークとオフピークで差が発生しており、オフピーク時の方が移動距離が長い、これはピーク時/オフピーク時の時間設定に依存している可能性がある。

（3）モデル化のまとめ

以上で構築したモデルをすべて合わせると、発着地と時間帯（ピーク/オフピーク）、平日/休日の別に対し

て、移動距離、所要時間、高速道路利用の時間割合及び距離割合を算出することができる。その結果、自動車利用のコスト構造に方向、時間帯、平日/休日を導入することができ、公共交通のコスト構造と合わせれば空間・時間詳細な交通手段選択モデルを構築することが可能となる。

6. おわりに

本分析では、カーナビゲーションシステムから採集されるプローブデータ及び人の流れプロジェクトデータベースを用いて、交通行動モデルの詳細化、特に渋滞発生可能性に対する経路選択行動を考慮したモデル化を試みた。

一方で、今回利用したプローブデータのサンプル偏りや精度において、まだ検討すべき事柄が多く残されていることも課題として挙げられる。特に今回の分析において提示された各種パラメータは偏りのあるサンプルから取得されたものであり、本パラメータがそのまま一般の自動車利用モデルに拡張されるわけではないことを注記する。

また、高速道路利用モデルについて、従来法である高速転換率内生モデル等との整合性についても議論すべきであったが、未検討である。

現状では、カーナビゲーションシステムの普及は進んでいるが、そこからのデータ取得が十分ではない。しかし、高度なカーナビゲーションシステムの普及に伴い、今後は利用可能なプローブデータはますます増加していくと考えられ、より一般化、大規模化することが期待される。

【謝辞】本研究は、東京大学空間情報科学研究センターの動線解析プラットフォーム時空間データ提供サービスを利用し、同センターの研究用空間データを使用した。また、プローブデータはパイオニア株式会社より個人情報やプライバシー情報を削除したものを貸与いただいた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 上田孝行、堤盛人、武藤真一、山崎清：わが国における応用都市経済モデル－特徴と発展経緯－，応用地域学会，11月15日～16日，2008，釧路公立大学
- 2) 土木学会編：非集計行動モデルの理論と実際，丸善，1995.
- 3) 国土交通省鉄道局：鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル2005，運輸政策研究機構，2005.
- 4) 土木学会：道路交通需要予測の理論と適用，丸善，2003.