

第23章 トリップ（旅行）を行う時刻(A)

Hami S. Mahmassani (The University of Texas at Austin)

1. はじめに

利用者が旅行を行う時刻 (Trip Timing) をどう決定しているかを考えることは、ピーク時間の混雑現象を考える際に必要である。たとえば、第21章で示した混雑料金の問題、第17章で示した大気汚染の問題など。あるいは、交通制御のことを考える際にも重要になってくる (工事や情報提供など)。

この15年間、交通行動の研究としては、個々人の行動やスケジュール、時刻の決定の具体的なプロセスはどのようなものであるかを探ることが行われてきた。

都市間交通の問題においては、旅行時刻の決定や、その決定と供給サイドとの相関という問題は、交通機関側が運行スケジュールを組む際に本質的な問題となってくる。特に、競争的な環境にいる場合はそうである。

料金変動によって利用者のスケジュールリングへ影響をあたえるということは、Yield Management としてよく研究されている。これはリアルタイムに料金を変動させて、利用者行動を交通機関の都合にあわせてしまおうというものである。この方法は、巨大なデータベースと高度な情報工学によって支えられている。この方法は、個人単位で利用者行動をモデリングしているわけではなく、市場のレベルで費用インセンティブを反映している。

トリップを行う時刻のモデル化に関する研究はずいぶん行われてはいるがまだ十分ではない。第1に多くの研究は市内の通勤交通を対象にしているからである。これは、政策的な要請を考えたら不思議ではない。第2に、これまでの研究ではサンプル数が少なく、理想的な状態ともいえなかったという問題もあった。これらの制約の多くは、静的な解析方法のような経験則的な方法によって発生している。実務上利用されている4段階推計法は外生的に与えられるピーク時間に一定の需要が発生するとしており、トリップタイミングの問題を正確には扱っていない。このようなアプローチはだんだん現実の興味から離れてきているといえる。このような実務の状況では、トリップタイミングのための系統だった情報は入手しにくい。

しかし、トリップタイミング選択問題については、マイクロ経済学的手法が一般に受け入れられている。この方法の現実への適用はすくなく、その複雑さや観測の困難さが問題となっている。この方法は出発時刻選択の均衡問題を解くには有効である。他にも、トリップタイミング選択のメカニズムがどうかという関心も経路選択問題や情報提供や経験

に基づいた動的な問題とからんで関心が持たれている。日々の調整メカニズムは、供給側に問題が起きたときなどのことを考えるときに重要になる。

この章では、都市内の通勤についてのトリップタイミング決定の問題をあつかう。まずマイクロ経済的手法について紹介し、各種の測定データについても紹介する。また、出発時刻選択パターンと旅行時間の双方を同時に決めることの困難さについても説明する。また、日々の利用者行動の変動についても実際の調査データをもとに述べる。次に、日々の行動選択のメカニズムの実験的な研究について、理論の側面も含めて述べる。また、ITSなどとの関連を含め、行動のメカニズムと供給側の問題とを同時に考えた上で将来の予測をするフレームワークについても述べる。

2. 均衡状態での通勤旅行者のトリップタイミングの決定

一般的なマイクロ経済学的手法では、旅行時間とスケジュール遅れとの兼ね合いで利用者は出発時刻を選択しているとみる。PAT_iを利用者iの希望到着時刻とし、AT_iを実際の到着時刻とすると、スケジュール遅れはSD_i = AT_i - PAT_iで示される。旅行時間は TT_i = AT_i - DT_iである。混雑時には、たいてい、短い旅行時間は大きいスケジュール遅れの原因となる。逆に、スケジュール遅れを小さくするのであれば旅行時間は大きくなってしまふ。利用者は与えられた希望到着時刻に依存して、自分の効用を最大化するように行動するので、あとはネットワークの能力に応じてそのバランスがとられることとなる。なお、PAT_iは勤務開始時刻よりもやや早くなるのが通例である。

このモデルの観測による確認はいくつかある。1つはSmall(1982,1992)による例で、サンフランシスコ湾での朝の通勤のモデルを作り、ランダム効用理論を用いて推計を行っている。このときは、5分単位(1時間分)で時刻が選択されるとしており、それらが利用者にとって異なった効用を持つとしている。効用関数には、旅行時間TT_{ij}と(jはタイムスライスを示す)スケジュール遅れSD_{ij}が含まれる。測定結果によると、出発時刻を選択する際にスケジュール遅れが大きく効いており、また、早着と遅刻ではその度合も異なってくるのがわかった。その結果は、

$$V_{ij} = -0.106 TT_{ij} - 0.065 SDE_{ij} - 0.254SDL_{ij} - 0.58DL_{ij}$$

となる。なお、SDE_{ij}はスケジュール遅れの早着側のずれ、SDL_{ij}は遅刻側のずれ、DL_{ij}は遅刻の際に1となる変数である。なお変数の単位はすべて分なので、相対的な係数の大小

がその変数の重要度を示している。なお、この研究では、希望到着時刻と勤務開始時刻を同一のものとしている。

似たようなモデルはHendrickson and Plank (1984)によっても、ピッツバーグの通勤旅行者を対象に作られている。もっとも、データの制約から統計の精度に問題がある。

そのほかにも離散選択モデルの変形がある。De Palmaら(1983)連続ロジットモデルを用いたモデルを用いているが、このCalibrationは示されていない。Abkowitz(1981)は機関選択も加えたモデルをつくっている。Tong(1987)は時刻選択とルート選択をあわせている。このときは研究室レベルの実験結果を用いて、Nested structure と Simultaneous structure のモデルを比較している。時間を連続、経路を離散としたモデルについてはManneringら(1990)が示している。ここでは、利用者は旅行時間とルートを同時に選択させている。旅行時間を希望到着時間から引いて出発時刻が計算されている。

ここ10年の研究は、トリップタイミングの信頼性や、混雑に応じて変動する混雑料金の話に関して研究が進められてきた。このような場合については実際のデータが不足しているため、SP(stated-preference)手法が用いられる。Bates(1997)によってこの手法のレビューがしめされている。旅行時間の変動はいくつかのモデルには組み込まれているが、利用者の行動モデルについて決定的なものはない。

これまでの研究に行動モデルに関する重要な指摘はあるものの、決定的な解答はまだないといえる。これらのモデルは限られた力をもつのみである。現実に測定されたものは非常に少なく、また小規模のものやSP手法に限られている。

上記のモデルの限界のうちいくつかは、システムの属性や均衡状態での選択の測定の難しさによる。このことは均衡状態の存在に関係のあることである。また、短期長期の動的な相互作用や、実際のシステムの特性的にも関係する。また、高い混雑度の場合には、違う行動プロセスが存在する可能性もある。

3. 日内の均衡状態の予測

出発時刻選択や交通流の量を予測するためには、システムの特性と利用者の行動の相互作用を考えなくてはならない。数学的には、利用者を i とし、 $DT_i=f(Z)$ とし、 $Z=P(DT_i, i \in I)$ と表記する。なお、 Z はシステムの特性や他の選択肢のものを含む旅行時間であり、 I はすべての利用者をさす。これに旅行時間と利用者行動との関連を含めばすべての要素が含まれたことになる。単一経路のシステムに関しては重要な成果が出ている。Vickrey(1969), Hendricson and Kocur(1981)はそれぞれ動的ユーザ均衡(DUE)を解いた。ランダム効用理論

によるモデルはde Palmaら(1983)によりつくられた。これらでは混雑は単一ボトルネックによるものとされ、容量一定の決定論的行列でとりあつかわれている。Mahmassani and Herman (1984) は交通流モデルを用いて、パラレルネットワークの系の解析を行った。多くの拡張が提唱されている。

これらは問題を扱いやすいようにしているが、交通流モデルの観点からいえば現実性の意味では問題がある。現実性を多少でも入れると解析的に解くことは非常に困難となる。多数の目的地がある一般的なネットワークについてはいまだ研究されている。最近の研究ではこのためにシミュレーション手法を用いている。

4. 日々の動的性質

上記の均衡下におけるフレームワークは概念的であり、長期的な話をするのであれば実用になるであろう。しかし、その運用の効果性についてはまだ確立しておらず、その行動モデルの現実性には疑問がある。情報提供など広範囲にわたる応用に関しては限られている。このことに注目するために、日々の枠組における利用者行動のメカニズムについて考える必要がある。このために、学習プロセスなどを明示的に組み込んだ新しい行動モデルが考えられてきた。この、本質的な行動メカニズムを求め、政策や技術をよりよくするための手段を得ようということは、ここ10年で興味深いことになりつつある。

ここでは議論は3つのグループに分けられる。1つは実際の通勤旅行者の行動の特徴を掴むこと、2つめは行動決定のモデル、最後に、ネットワークを考えた日々の予測フレームワークである。

表1 出発時刻変更があった出勤トリップの割合

—オースティンとダラスでの調査, %—

	変更の判断基準 (分)			サンプル トリップ数
	3分	5分	10分	
Dallas(a)	75.7	65.4	42.5	1235
Austin	69.8	57.0	34.4	965
Dallas(b)	66.5	56.5	37.8	1046
Austin	62.9	52.5	30.2	734

(a) 立ち寄り (stop) があるか、またはその影響があるもの

(b) 立ち寄りがなく、あってもその影響がないもの

表2 調査期間中に出発時刻の変更がない従業員比率 (%)

	変更の判断基準 (%)	
	5分	10分
Dallas(a)	8	22
Austin	7	30
Dallas(b)	14	32
Austin	16	41

(a) 立ち寄り (stop) があるか、またはその影響があるもの

(b) 立ち寄りがなく、あってもその影響がないもの

4.1 実際の世界でのトリップタイミングの決定の日々の変動

実際の通勤移動者を調査することにより、トリップタイミングの決定についてはおおきな日々の変動が存在することがわかった (朝夕とも)。これらのうちいくらかは日によって活動が異なることに起因している。トリップチェーンの概念は、日々の変動を考える際に重要である。表1 はダラスとオースティンでの、前日とは異なった時刻に出発した朝の通勤者の割合を示している。これらは2週間のダイアリー調査による結果である。少なめに見ても、30%以上の利用者がある1日に行動を変化させている。また、調査期間 (2週間) のあいだに行動を変えなかったのは10%未満だった (5分未満を変更なしとした場合: 表2)

出勤と帰宅について出発時刻を変える頻度のモデルをこのデータを用いて作成した。そ

れによると、勤務先の特性（遅刻がどのくらい寛容されるかなど）、個人特性（希望到着時刻など）、交通システムの特性が重要であることがわかっている。特に、通勤者は経路を変えるよりも出発時刻を変える傾向がある。この研究でスケジュール遅れの重要性が確立された。この、特にトラブルの発生していない系における実際の行動から求められた日変動は、均衡の仮定が、伝統的な1日分の調査と同様に適切なものであるということを示している。

利用者のより詳細な動的選択を知るために、新しいアプローチと位置を自動的に捕捉する機器が必要になっている。

4.2 行動メカニズムと決定プロセスモデル

通勤におけるトリップタイミングを日々決定していく行動のプロセスについては、最初は研究室レベルの実験、すなわち、実際の通勤者とコンピュータシミュレーションとの組合せで調査された。この実験はより大きい系の調査を行う際の基礎となった。

行動プロセスモデルは、日々の行動が単純なヒューリスティックな戦略とメンタルルールによっているとして開発された。このモデルは形式的な効用最大化システムから出発し、限定合理的検索（boundary-rational search）による動く個人の行動を見るようになっている（Simon,1955）。2つの基本的なタイプが日々のルートや出発時刻の選択のために使われている。1つ目は、最新の選択を変更するかどうか、ということである。もう1つは、どのくらいの変更を行うのかということである。2つ目については、学習、判断プロセスも含まれている。

行動プロセスのポイントは希望到着時刻 PAT_i であり、これは各人に固有のものであり、リスクを考えた分もここに含まれている。限定合理性については、ある日のスケジュール遅れがある範囲内に入っていたら利用者は行動を変化させないと決める。この無差別（許容）範囲は早着と遅れでは非対称であり、これは実験でも、その後の調査でも確認された。

利用者はこの無差別範囲を経験や情報によって調整する。たとえば、早着の範囲は利用者の個人特性と交通系の性能とで決まる決定項に乱数項が加わったものとなる。いくつかのことがモデルを適用することによってわかった。それは、

- (1) 自分の思うような結果が得られなかった翌日は無差別範囲の幅は広がる傾向にある。
- (2) 上記の影響は大きくて長い期間残る。
- (3) 利用者は旅行時間の振動にそなえて大きいスケジュール遅れを受け入れる。
- (4) 経路については時刻にくらべて無差別範囲が大きい

(Mahmassani,1990)

2つ目のメカニズムは実際にどのように行動を変化させるかを示すものだが、利用者は、希望到着時刻から予想旅行時間を引いた時刻を新しい出発時刻にするとする。この予想旅行時間は過去の経験と情報に依存する。モデル分析の結果、直前の経験が大きく影響することがわかった。

この方法に対する2つの有用な拡張がある。1つは動的な無差別範囲を決める際にトリップチェーンを考えるもので、もう1つはリアルタイムの情報提供を考えるものである。情報提供はすこしずつ行動を変化させるが、その信頼性が利用者の反応に大きく影響する。

4.3 日々の予測のフレームワーク

均衡アプローチによるモデルには限界があるので、現在の研究は応用可能なフレームワークを目指している。これらは単一のマーケットを含むものからネットワーク全体を含むようになってきている。基本的には、フレームワークは2つの要素を含む。すなわち、

- (1) 日々の選択と1日の中での選択を含む行動モデル。
- (2) 基本的な静的なモデルからシミュレーションまでのネットワークパフォーマンスモデル。

フレームワークには、連続しておこる反復して適用する需要-パフォーマンスモデルが組み込まれている。このシステムの動的な特性はいまだ重要な研究テーマである。

先に示した限定合理性に基づく変更(*switching*)と時刻調整のメカニズムはある特定の目的のための交通シミュレーションのためにすでに開発されている(Mahmassani,1990)。このときのフレームワークは通勤交通システムの動的な性質を知るために使用された。シミュレーションと解析的手法の双方から計算され、すでに言及した研究室レベルでの結果により支持される結果は、利用者の受け入れられるスケジュール遅れの無差別範囲と混雑の度合、そして動的な特質の展開との関連を示している。システムの混雑が増すと、システムが安定な状況になるためには無差別範囲は広がる必要がある。また、混雑した状況ではより大きな日々の行動変動が起こるし、大きなスケジュール遅れが発生する。

このフレームワークは、供給側になんらかの変動(事故や工事など)があった場合に応用できる。ランプ制御の評価などにも使えるであろう。また、情報提供の効果の測定に使うことも可能である。

5. まとめとコメント

過去の著者のレビューにおける5つの課題と、それに対する現在のコメント

- (1) 通勤移動者の行動に理論的に重要なのは、スケジュールの概念を入れること、情報または経験を元にした旅行時間の予測の概念を入れることである。
→時間利用の研究と行動モデルの研究が進められてきている。効用モデルと行動決定モデルの両方が研究されつつけている。より一層の努力が必要。
- (2) 利用者の行動決定を交通流モデルの中にとりこむこと
→均衡からずれた場合の解析は進んできている。しかしまだ発展の余地あり
- (3) 利用者行動のすぐれた測定手段の技術の必要性。
→GPSなどこの分野では革命的な進歩があった。ルーチンサーベイについてはまだ挑戦の余地がある。
- (4) 系の複雑で動的なふるまいを扱える経済的または心理的なモデルのフレームワーク
→kernel logit model フレームワークが動的決定プロセスに関する一つの発展の例である。またシミュレーションも有効である。
- (5) 途中経過を重視し、日々の利用者行動のゆらぎをとりこみ、また、解析に意味のあるトリップチェーンを考えた需要予測のフレームワーク
→すでにこのようなフレームワークが応用されようとしている。

(担当: 井料 隆雅)

参考文献

- Abkowitz, M. (1981) "Understanding the effect of service reliability on work travel behavior", *Transportation Research Record*, 794:33-41.
- Arnott, R., A. dePalma and R. Lindsey (1990) "Economics of a bottleneck", *Journal of Urban Economics*, 27:111-130.
- Bates, J. (1997) "Departure time choice - theory and practice", presented at: 8th Meeting of the Association of Travel Behaviour Research, Austin, TX, preprint.
- Bhat, C.R. (1998) "Analysis of travel mode and departure time choice for urban shopping trips", *Transportation Research B*, 32:361-371.
- Cantarella, G.E. and E. Cascetta (1995) "Dynamic processes and equilibrium in transportation networks: towards a unifying theory", *Transportation Science*, 29:305-329.
- Chang, G.-L. and H.S. Mahmassani (1988) "Travel time prediction and departure time adjustment behavior dynamics in a congested traffic system", *Transportation Research B*, 22: 217-232.
- de Palma, A., M. Ben-Akiva, C. Lefevre and N. Litinas (1983) "Stochastic equilibrium model of peak-period traffic congestion". *Transportation Science*, 17:430-453.
- Emmerink, R.H.M., K.W. Axhausen, P. Nijkamp and P. Rietveld (1995) "Effects of information in road transport networks with recurrent congestion", *Transportation*, 22:21-53.
- Hendrickson, C. and G. Kocur (1981) "Schedule delay and departure time decisions in a deterministic model", *Transportation Science*, 15:62-77.
- Hendrickson, C. and E. Plank (1984) "The flexibility of departure times for work trips", *Transportation Research A*, 18:25-36.
- Hu, T.-Y. and H.S. Mahmassani (1997) "Day-to-day evolution of network flows under real-time information and reactive signal control", *Transportation Research C*, 5:51-69.

- Jou, R.-C. and H.S. Mahmassani (1996) "Comparability and transferability of commuter behavior characteristics between cities: departure time and route switching decisions", *Transportation Research Record*, 1556:119-130.
- Mahmassani, H.S. (1990) "Dynamic models of commuter behavior: Experimental investigation and application to the analysis of planned disruptions", *Transportation Research A*, 24:465-484.
- Mahmassani, H.S. (1997) "Dynamics of commuter behavior: recent research and continuing challenges", in: P. Stopher and M. Lee-Gosselin, eds., *Understanding travel behavior in an era of change*. Oxford: Pergamon.
- Mahmassani, H.S. (1998) "Dynamic traffic simulation and assignment: Models, algorithms and application to ATIS/ATMS evaluation and operation", in: Labbe, Laporte, Tanczos and Toint, eds., *Operations research and decision aid methodologies in traffic and transportation management*, Berlin: Springer-Verlag, pp. 104-135.
- Mahmassani, H.S. and R. Herman (1984) "Dynamic user equilibrium departure time and route choice on idealized traffic arterials", *Transportation Science*, 18:362-384.
- Mahmassani, H.S. and R. Herman (1990) "Interactive experiments for the study of tripmaker behaviour dynamics in congested commuting systems", in: P. Jones, ed., *Developments in dynamic and activity-based approaches to travel analysis*. Aldershot: Avebury.
- Mahmassani, H.S. and R.-C. Jou (1998) "Bounded rationality in commuter decision dynamics: Incorporating trip chaining in departure time and route switching decisions", in: T. Garling et al., eds., *Theoretical foundations of travel choice modelling*. Oxford: Pergamon.
- Mahmassani, H.S. and Y.-H. Liu (1999) "Dynamics of commuter decision behaviour under advanced traveller information", *Transportation Research C*, 7:91-108.
- Mannerling, F.L., S.A. Abu-Eisheh and A.T. Arnadottir (1990) "Dynamic traffic equilibrium with discrete/continuous econometric models", *Transportation Science*, 24:105-116.
- Noland, R. and K. Small (1995) "Travel time uncertainty, departure time choice, and the cost of morning commutes", *Transportation Research Record*, 1493:150-158.
- Simon, H. (1955) "A behavioral model of rational choice", *Quarterly Journal of Economics*, 69:99-118.
- Small, K.A. (1982) "The scheduling of consumer activities: Work trips", *American Economic Review*, 72:467-479.
- Small, K.A. (1992) *Urban transportation economics*. Chur: Harwood.
- Tong, C.-C. (1987) "A study of dynamic departure time and route choice behavior of urban commuters", PhD dissertation, Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin.
- Van Berkum, E.C. and P.H.J. van der Mede (1998) "The impact of traffic information: Modelling approach and empirical results", in: J. Ortuzar et al., eds., *Travel behaviour research: Updating the state of play*. Oxford: Pergamon.
- Vickrey, W. (1969) "Congestion theory and transport investment", *American Economic Review*, 59:251-260.