

第29章 情報システムとその他のITS (高度道路交通システム) 新技術(B)

Peter Bonsall (The University of Leeds)

1. はじめに

ITSとは、ITを用いた情報提供、コントロール、課金や、その他の交通関連サービスなど、交通行動に影響を与える全てのシステムを含む。このような観点からは、モデリングはこれらのシステムがどのように選択肢や選択可能なオプションの認知に影響を与え、行動に影響を与えるかというところに焦点が当たる。

しかし、今までのモデルは、モデル上操作できる交通行動に限られていた。これは、急激な技術の発展に対して既存のモデルを出発点として短時間に対応していたことと、ITS技術による利用者行動に関する証拠が少なすぎたことによる。ITSの発展によるインパクトをモデル化するには、短期・中長期にわたる幅広い利用者行動の変化を考慮する必要がある。

1.1. 交通行動の反応の次元

交通行動の意志決定が何に影響を受けるかは、情報提供のタイミング、手段、内容による。モデル作製者は、情報に対する行動変化を表現するのみならず、選択オプションに対する選好の変化を考慮する必要がある。ITSは情報提供のみならず、交通の様式にも影響を与えるし、道路交通管理者の選択肢も広げる。これらは全て様々な形で交通行動に影響を与える。

2. 交通システムの知識に対するITSの効果

既存のモデルでは完全情報を仮定することが多かったが、情報提供による知識の増加を考慮する以上、不完全な知識下における行動のモデル化を考える必要がある。

2.1 不完全情報のモデリング

移動主体が全く知らない選択肢を扱う場合、選択肢集合を制限することによって表現する方法がある。この場合、新しい情報が得られる状態は、選択肢集合が広がることによって表現する。制限された選択肢から選択を予測するモデルの場合、そのパラメータは同じ

く制限された選択肢集合により推定されなければならない。しかし、このように推定されたパラメータがITSの導入等で選択肢集合が拡大された状況でも適用できるか、といった問題がある。

一方、もっと一般的に適用可能な状況として、知識が部分的（選択肢としては認識しているが、知識が不十分）といったものがある。このような状況に対しては、例えば確率均衡モデルでリンクコスト関数に誤差項を導入するという手法が用いられる。つまり、情報の少ない状況では誤差項が大きく、情報が多くなると誤差項が小さくなる。

このアプローチの問題は、仮定に対する明らかな確証がないということである。また、一般に各リンク毎に単独かつ独立の誤差項を仮定するが、実際には複数の段階の誤差が存在し、リンク間の誤差も相関がある。別の問題として、この仮定では情報がない場合、実際のコストに対して過小にも過大にも認識する（つまり誤差項の期待値=0）ということである。実際には、過大に認識する場合が多い。いずれにしても、この手法は理論的整合性、実証的裏付けが欠けている。

経路選択に関する別のアプローチとして、情報がないドライバーは標識、距離、自由流旅行時間などで経路を決定し、情報を有するドライバーは平均的な日の旅行時間で経路を選択するという方法もある。

2.2 情報獲得のモデル化

学習モデル(Models of "natural learning")

ここ数年にわたって、過去の経験による知識の形成過程を明示的に扱うモデルが開発されてきた(Mahmassani and Stephan, 1998; Ben Akiva et al., 1991; De Palma et al., 1997; Hu and Mahmassani, 1997など)。もっとも共通的に用いられるモデルとして、以下の式で表されるexponential smoothing modelがある。

$$\text{予想}_t = \tau \text{経験}_t + (1 - \tau) \times \text{予想}_{t-1}$$

ここで t は日、 τ ($0 \leq \tau \leq 1$)は習慣性を表現するウェイトとなるパラメータである。

同様のもっと単純なアプローチとして、交通シミュレーションモデルDRACULAでは、ドライバーの期待値（予想）を過去 m 日の経験の平均として設定している(Liu et al., 1995)。これらは、いずれも異なる経験を統合する方法に関する立証されていない仮定に基づくという問題がある。また、直接経験していない情報の蓄積に関して、以下のモデルが提案されている(Emmerink et al., 1995)。

$$\text{予想更新値}_t = (1 - c) \text{予想}_t + c \times \text{予想}_t$$

ここで c は情報の信頼性である。このモデルの適用上の問題点は、(モデルを旅行時間

で表現しているにも係わらず) 通常、情報は旅行時間として与えられないということである。

ITS情報の獲得モデル

情報提供の効果をモデリングするとき、ある情報ソースから情報を受け取る旅行者の数を仮定することは重要である。よく用いられる方法は、大雑把な仮定をおいて(例えば全ドライバーの $x\%$ が車載機を有するなど)、感度分析を行うものである。他のアプローチとしては、関係する機器やサービスの売り上げ傾向などのトレンド分析を用いるものである。しかしながら、行動モデルのアプローチからは、旅行者の動機や意思を考えることが必要である。すなわち、情報提供に対する反応のみならず、情報提供を認知する方法、情報を受け取ることの意味決定、情報によって得られた経験が将来の決定に与える影響の仕組みなどについてもモデル化する必要がある(Ben Akiva et al., 1993)。

情報獲得プロセスに関する研究では、情報獲得の決定は情報のコスト(機器購入、情報購入のコスト、情報獲得に要する時間など)と情報の有する価値(情報により節約できるコスト、時間的ロスなど)の関数として表現する一般的なモデルが提案されている(Jackson, in McDonald et al., 1997)。

また、ITS情報の獲得に関するモデルとしては、情報獲得プロセスをロジットモデルで表現したものがある(Polak and Jones, 1993, Hato et al., 1999)。これらのモデルでは、情報手段の効用はサービスの属性(費用、正確性、アクセシビリティ)や個人属性(年齢、性別)、トリップ特性(目的、渋滞状況)などに依存するとしている。

新たな情報源が行動に与える効果のモデリング

情報が与えられた時の行動変化を分析する方法としてよく用いられるのは、知識のベースを置き換える方法である。すなわち、情報がない場合には平均的な状況を与えるが、情報が得られた場合には実際の状況に従って経路選択を行うなどである(Smith and Russam, 1989; Barcelo, 1991; Hounsell et al., 1992; Koutspoulos and Xu, 1993など)。異なる情報手段の比較、情報伝達のタイムラグ減少の効果など、もう少し細かい分析が必要な場合には、シミュレーションモデルが用いられる。これらのモデルでは、知識ベースの変更を適切な範囲、時間に行えるようになっている。いくつかのモデルにおける扱いを以下に紹介する。

- INTEGRATION: 情報のないドライバーは非渋滞のコストで配分。情報を取得したドライバーは実際のコストで配分。
- DYNASMART: 情報のないドライバーは均衡経路に従うか、あらかじめ設定さ

れた経路からランダムに選択。情報を取得したドライバーは、情報によって知覚された効用が、習慣を表現する閾値を越えた場合に経路を変更。

- RGCONTRAM：詳しくないドライバーは最短距離または最小時間の経路を選択するが、経路誘導情報が与えられた場合はそれに従う。詳しいドライバーは自らの判断で常に経路を評価する。

2.3 均衡状態は達成されるか、されないか？

情報提供によるネットワークの挙動に関していくつかの研究があるが(例えばBoyce, 1998; Van Aerde et al., 1988; Ben Akiva et al., 1991; Bonsall, 1992; Watling and Van Vuren, 1993; Watling, 1994, 1999)、共通の関心として、情報提供が均衡状態をどの程度達成するかということがある。情報理論では、旅行者の情報量が増加すると均衡状態に近づくはずであるが、ある1日を見るとその傾向は弱まる。

情報によりドライバーが最適な行動を行い、管理者が最適な制御を行えば完全な均衡状態が達成されそうに思われるが、実際には様々な要因により均衡は保証されない (ITS技術でも真の完全情報・完全制御は達成されない、利用者と管理者の目的の相違による不一致、ランダムな事象による影響、等)。モデリングにおいて、理論的に正当化されるところでも、情報提供によって均衡に近づくと仮定するのは危険である。

2.4 情報の信頼性と情報への追従

初期のモデルでは、情報を受け取ったドライバーはそれに従って最適な経路を選択し、あるいは指示に従うという暗黙の仮定があったが、実際にはそれほど単純ではない。既存の研究によると、ドライバーは情報の間違いを検知ことができ、情報よりも自分の経験を信頼するようになる(例えばBonsall and Parry, 1991; Janssen and Van der Horst, 1992)。情報の信頼性を情報提供手段の関数として表現できるならば、情報提供手段毎に重みを付けることによって表現できる。が、もし情報提供手段毎の信頼性が“よくわからない”要因に影響されるならば、調査によって特別な要因を抽出してそれらをモデル化する必要がある。

既存の研究(例えばEmmerink et al., 1996; Lotan, 1997; Bonsall and Palmer, 1999)では、情報の受け入れに影響を与える要因として、ドライバーの性別、道路ネットワークの知識があり、それらは比較経路の複雑さや情報の内容によって異なる。これらの知見をモデルに組み込む方法としては、実道路上のデータを用いて、カテゴリー毎の情報の受け入れの感度を分析する方法があるが、カテゴリーが増えてくると現実的な方法ではない。別の方法と

しては、一般化コストにドライバーについてカテゴリ別の要因を組み込む方法がある。

3. ITSの効果をモデル化するためのデータソース

今までの多くの研究ではある1日の情報提供による影響を対象としていたが、長期間にわたる効果を分析するのは非常に難しい。よく行われるのが、SP調査による分析、トラベルシミュレーター (IGOR, FASTCARS, MIT simulator, VLADIMIRなど)、試行実験などであるが、近年では、交通行動をモニタリングすることにより効果を直接計測することが行われている。近年のモニタリング技術の発展はそれらを容易なものとしている。実フィールドによる実験で得られたデータはSPデータやシミュレーションに比べてより説得力がある。しかし、実験的なコントロールができないこと、対象とする施策のみの効果を抽出することが難しいなどの問題がある。そのため、これらのデータは全体的な効果を計測するためによく用いられる。これらの結果は、集計的なモデルに対しては有用であるが、行動モデルを検証するためには不十分である。

SP調査やシミュレーションは分析者が反応モデルを検証するために必要なデータが得られるような実験的なコントロールが可能なところが強みである。が、あくまでも限界を認識する必要はある。

(担当: 小根山 裕之)

参考文献

- Adler, J.L., W.W. Recker and M.G. McNally (1993) "A conflict model and interactive simulator (FASTCARS) for predicting en-route driver behaviour in response to real-time traffic condition information", *Transportation*, 20:83-106.
- Barcelo, J. (1991) "Software environments for integrated RTI simulation systems", in: *Advanced telematics in road transport*. Amsterdam: Elsevier, Volume 2.
- Ben Akiva, M., A. De Palma and I. Kaysi (1991) "Dynamic network models and driver information systems", *Transportation Research A*, 25(5):251-266.
- Ben Akiva, M., I. Kaysi, A. Polydoropoulou, H. Koutsopoulos and P. Whitworth (1993) "Public acceptance and user response to ATIS products and services, modeling framework and data requirements", Volpe National Transportation Systems Center, Report.
- Bonsall, P.W. (1992) "The influence of route guidance advice on drivers route choice in urban networks", *Transportation*, 19:1-23.
- Bonsall, P.W. (1996) "Imprecision in drivers' estimates of link travel times - with and without information", ITS, University of Leeds, Technical Note.
- Bonsall, P.W. and I.A. Palmer (1999) "Driver response to VMS the importance of the phrasing of the message", in: R.H.M. Emmerink and P. Nijkamp, eds., *Behavioural and network impacts of driver information systems*. Aldershot: Ashgate.
- Bonsall, P.W. and T. Parry (1991) "Using an interactive route-choice simulator to investigate drivers' compliance with route choice advice", *Transportation Research Record*, 1306:59-68.
- Bonsall, P.W., P.E. Firmin, M.E. Anderson, I.A. Palmer and P.J. Balmforth (1997) "Validating the

- results of a route choice simulator", *Transportation Research C*, 5(6).
- Boyce, D.E. (1988) "Route guidance systems for improving urban travel and location choices", *Transportation Research A*, 22:275-281.
- Conquest, L., J. Spyridakis, M. Haselkorn and W. Barfield (1993) "The effect of motorist information on commuter behaviour: Classification of drivers into commuter groups", *Transportation Research C*, 1(2): 183-201.
- De Palma, A., F. Marchal and Y. Nésterov (1997) "METROPOLIS: Modular system for dynamic traffic simulation", *Transportation Research Record*, 1607:178-184.
- Dial, R.B. (1971) "A probabilistic multipath traffic assignment model which obviates path enumeration", *Transportation Research*, 5(2):83-111.
- Dörge, L., C. Vithen and P. Lund-Sorenson (1996) "Results and effects of VMS control in Aalborg", in: *Proceedings of the 8th International Conference on Road Traffic Monitoring and Control*. London: Institute of Electrical Engineers.
- Durand-Raucher, Y. (1998) "The ability of individuals to adjust their travel behaviour: Examples of public response today and in the future", in: *Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Transport Systems*, Seoul.
- Emmerink, R.H.M., K.W. Axhausen, P. Nijkamp and P. Rietveld (1995) "The potential of information provision in a simulated road transport network with non-recurrent congestion", *Transportation Research C*, 3:293-309.
- Emmerink, R.H.M., P. Nijkamp, P. Rietveld and J.N. Van Ommeren (1996) "Variable message signs and radio traffic information, an integrated empirical analysis of drivers' route choice behaviour", *Transportation Research A*, 30(2):135-153.
- Hato, E., M. Taniguchi, Y. Sugie, M. Kuwahara and H. Morita (1999) "Incorporating an information acquisition process into a route choice model with multiple information sources", *Transportation Research C*, 7(2/3):109-129.
- Hounsell, N.B., S.R. Njoze and M. McDonald (1992) "Modelling the dynamics of route guidance", in: *Proceedings of the 3rd Vehicle Navigation and Information Systems Conference*. Oslo: Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 127-134.
- Hounsell, N.B., M. McDonald and S.R. Njoze (1995) "Strategies for route guidance systems taking account of driver response", in: *Proceedings of the Vehicle Navigation and Information Systems and Pacific Rim TransTech Conference*, Seattle.
- 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.
- Janssen, W. and R. Van der Horst (1992) "Descriptive information in variable route guidance messages", in: *Proceedings of the 3rd International Conference on Vehicle Navigation and Information Systems*. Oslo: Institute of Electrical and Electronics Engineers, pp. 214-220.
- Jayakrishnan, R., H.S. Mahmassani and T.-Y. Hu (1994) "An evaluation tool for advanced traffic information and management systems in urban networks", *Transportation Research C*, 2(3):129-147.
- Koutsopoulos, H.N., T. Lotan and Q. Yang (1994) "A driving simulator and its application for modeling route choice in the presence of information", *Transportation Research C*, 2(2):91-107.
- Koutsopoulos, H.N. and H. Xu (1993) "An information discounting routing strategy for advanced traveler information systems", *Transportation Research C*, 1(3):249-264.
- Liu, R., D. Van Vliet and D. Watling (1995) "DRACULA: Dynamic route assignment combining user learning and microsimulation", in: *Proceedings of the European Transport Forum (23rd PTRC SAM)*, Seminar E.
- Lotan, T. (1997) "Effects of familiarity on route choice behaviour in the presence of information", *Transportation Research C*, 5(3/4):225-243.
- Lotan, T. and H.N. Koutsopoulos (1993) "Models for route choice behaviour in the presence of information using concepts from fuzzy set theory and approximate reasoning", *Transportation*, 20(2):129-155.
- McDonald, M., K. Chatterjee, N.B. Hounsell, T.J. Cherrett, N.J. Paulley, N.B. Taylor, J. Polak and P.G. Jackson (1997) "Multi-modal responses to advanced transport telematics: A modelling framework", Department of the Environment, Transport and the Regions, London, Final Report.
- Mahmassani, H.C. and G.L. Chang (1987) "On boundedly rational user equilibrium in transportation systems", *Transportation Science*, 21(2):89-99.
- Mahmassani, H.S. and D.G. Stephan (1988) "Experimental investigation of route and departure time choice dynamics of urban commuters", *Transportation Research Record*, 1203:69-84.
- Polak, J. and P. Jones (1993) "The acquisition of pre-trip information: A stated preference approach",

- Transportatio*, 20(2):179-198.
- Smith, J.C. and K. Russam (1989) "Some possible effects of Autoguide on traffic in London", in: *Proceedings of the First VNIS conference*. Toronto: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Van Aerde, M.W. and S. Yagar (1988) "Dynamic integrated freeway/traffic signal networks: A routing-based modelling approach", *Transportation Research A*, 22(6):445-453.
- Van Aerde, M.W., S. Yagar, A. Ugge and E.R. Case (1988) "A review of candidate freeway-arterial corridor traffic models", *Transportation Research Record*, 1132:53-65.
- Van Vuren, T. and D. Watling (1991) "A multiple user class assignment model for route guidance", *Transportation Research Record*, 1306:22-31.
- Vythoulkas, P.C. (1994) "An approach to travel behaviour modeling based on the concepts of fuzzy logic and neural networks", in: *Proceedings of the European Transport Forum (22nd PTRC SAM)*, Seminar G.
- Walker, J. and M. Ben Akiva (1994) "Modeling traveler response to traveler information systems: Laboratory simulation of information searches using multimedia technology", presented at: *75th TRB annual meeting*, Washington, DC.
- Wardman, M.R., P.W. Bonsall and J. Shires (1997) "Stated preference analysis of drivers route choice reaction to variable message sign information", *Transportation Research C*, 5(6).
- Watling, D. (1994) "Urban traffic network models and dynamic driver information systems", *Transport Reviews*, 14(3):219-246.
- Watling, M.R. (1999) "A stochastic process model of day-to-day traffic assignment and information: Illustrations in a two-link network", in: R.H.M. Emmerink and P. Nijkamp, eds., *Behavioural and network impacts of driver information systems*. Aldershot: Ashgate.
- Watling, M.R. and T. Van Vuren (1993) "The modelling of dynamic route guidance systems", *Transportation Research C*, 1(2):159-182.