

インターモーダリティを考慮した交通情報提供の評価*

An Evaluation Method of Traffic Information System in the cause of Inter-Modality

溝上章志**・本田秀太***

By Shoshi MIZOKAMI** and Hideta HONDA***

1. はじめに

近年、道路交通の安全性・快適性の向上や交通渋滞軽減などの交通の円滑化を目的として、最先端の情報通信技術を用いた ITS (Intelligent Transport Systems) 技術の開発が盛んに行われている。9つの ITS 技術開発分野の中でも、VICS (Vehicle Information & Communication Systems) はドライバーにリアルタイムの交通情報を提供するものである。現在では、PC やモバイル機器によるインターネット接続を利用して自動車以外の交通手段の交通情報を在宅、および移動時に提供するサービスも開始されている。これらのシステムを利用すれば、利用可能な全ての交通手段に対して、目的地までの最短経路や所要時間をはじめ、渋滞情報、事故などの規制情報などをリアルタイムに入手することが可能になる。このようなインターモーダリティを目指した交通情報提供こそが ITS の本来の目的とも言える。

交通情報を提供するさまざまなメディアが普及したことにより、交通情報を利用する交通主体は手段別経路別の所要時間に対する客観値を知ることができるから、利用しない主体に比べて知覚所要時間のばらつきが減少する。このとき、知覚所要時間のばらつきの程度が異なる2種の主体が同一交通ネットワーク上で手段、および経路選択を同時に行う場合、この相違を考慮に入れたネットワークフローの記述モデルが必要となる。

提供情報を利用した主体が混雑している交通手段や経路を避けることによって、交通需要は空間的に平準化され、交通システム全体の効率性の改善が期待される。しかし、情報に基づく行動が必ずしもシステム全体の効率を改善させるとは限らないという指摘もある。このように、交通情報の提供による社

会的便益の評価を行う方法の開発も必要である。

本研究では、情報提供下におけるインターモーダリティを考慮した多種流交通ネットワーク均衡モデルを開発し、その需要予測と評価に対する利用可能性を明らかにする。本モデルは静的なモデルではあるが、少数のパラメータと簡明な仮説のみでモデルが構築されるために、交通情報がネットワークフローとシステム効率性に与える本質的な要因やメカニズムを分析できる点が有用であり、各種動学モデルのアウトプットの参照点を与えることができる。

まず、本モデルの基礎となる手段選択需要変動型多種流ネットワーク均衡の定義を行う。次に、必要条件と等価な情報利用/手段選択需要変動型多種流ネットワーク均衡モデルを数理最適化問題として定式化する。次に、モデルネットワーク上での幾つかの数値シミュレーションによって、公共交通を含めた交通情報提供の効果を検討する。

2. 手段選択需要変動型多種流ネットワーク均衡

ITS の最終的な目標のひとつであるインターモーダリティによる人や物の移動の効率化を考慮するために、本モデルでは、ITS 技術の一層の進展にとまって家庭などからのトリップ発生以前に目的地までの交通手段別の経路所要時間情報を利用できる状況を想定している。このとき、情報利用者は目的地までの各手段別の最短所要時間経路を知ることができるから、手段・経路についてより合理的な選択行動を行うことが可能になる。一方、情報の非利用者は所要時間情報を知らないから、手段・経路について確率的な選択行動をとることになる。これは、知覚所要時間の異なる2種のトリップ主体がネットワーク上に存在し、個々に効用最大となる交通手段と経路を同時に選択することに相当する。これらの知覚所要時間の相違による交通手段と経路選択を同時に考慮するために、図-1のような3段階のツリー構造を想定し、公共交通機関(tran)と自動車(car)の選択

*キーワード: ITS, ネットワーク均衡モデル, 所要時間情報

**正会員 工博 熊本大学工学部環境システム工学科

(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39番1号)

TEL 096-342-3541 FAX 096-342-3507

***正会員 修士(工学) 富士通九州システムエンジニアリング

需要, 各手段別のネットワーク上での経路選択需要をそれぞれ **Logit** 型の選択モデルで定義する.

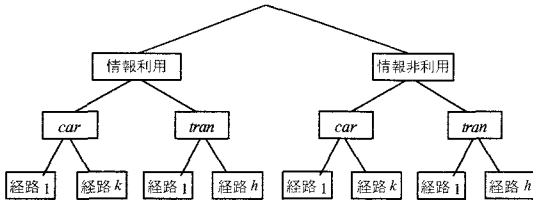


図-1 選択枝ツリー

知覚所要費用のばらつきの程度が異なる 2 種の経路選択主体が存在し, 経路選択モデルを特定化するパラメータ θ_1 と θ_2 でこれらを識別する. 2 種の主体とは, 交通情報非利用主体 (以下では添字 1) と利用主体 (添字 2) である. 前者は経路の所要費用に関する情報が無いので, 所要時間に対する知覚のばらつきが大きく, 確率的な経路選択を行うであろう. 一方, 後者は OD 間の経路所要時間に関する情報を取得できることから, 最短経路選択を行うであろう. これを, 経路選択パラメータの大小関係 $0 < \theta_1 < \theta_2 \leq \infty$ で区別する. 両者はネットワーク上の同一のリンクを相互干渉なしに共有するとする. 両セグメントは共に確率均衡配分(SUE)状態となるが, $\theta_2 \rightarrow \infty$ の場合には最短経路選択, つまり確定的均衡配分(UE), $\theta_1 \rightarrow 0$ の場合にはランダム配分に一致する.

一方, 自動車と公共交通の手段選択需要は, 両者の合成費用を効用とした NL 型手段選択モデルにより内生的に決定されるとする.

以上のような NL 型手段選択需要変動型の 2 種流ネットワーク均衡フローは以下の問題の解として求めることができる.

$$\begin{aligned} \min : & Z(x, f_1, f_2, \hat{f}_1, \hat{f}_2, q_1^{car}, q_2^{car}, q_1^{tran}, q_2^{tran}, q_1, q_2) \\ = & \sum_{a \in A} \int_0^{q_a} t_a(\omega) d\omega + \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}'} \sum_{g=1,2} c_{rs,g}^{tran} \hat{f}_{g,k}^{rs} \\ & + \sum_{g=1,2} \frac{1}{\theta_g} \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}'} f_{g,k}^{rs} \ln(f_{g,k}^{rs} / q_{rs,g}^{car}) \\ & + \sum_{g=1,2} \frac{1}{\theta_g} \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}'} \hat{f}_{g,k}^{rs} \ln(\hat{f}_{g,k}^{rs} / q_{rs,g}^{tran}) \\ & + \sum_{g=1,2} \sum_{rs} \int_0^{q_{rs,g}} \left(\frac{1}{\mu_g} \ln \frac{\omega}{q_{rs,g}^g - \omega} \right) d\omega \end{aligned} \quad (1)$$

$$s.t. \quad q_{rs,g}^{car} + q_{rs,g}^{tran} = q_{rs,g}^g \quad \forall r \in R, s \in S, g=1,2 \quad (2.a)$$

$$\sum_{k \in K_{rs,g}} f_{g,k}^{rs} = q_{rs,g}^{car} \quad \forall r \in R, s \in S, g=1,2 \quad (2.b)$$

$$\sum_{k \in K_{rs,g}} \hat{f}_{g,k}^{rs} = q_{rs,g}^{tran} \quad \forall r \in R, s \in S, g=1,2 \quad (2.c)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs,g}} \sum_{g=1,2} f_{g,k}^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad a \in A \quad (2.d)$$

$$q_{rs,g}^{car} \geq 0, q_{rs,g}^{tran} \geq 0 \quad \forall r \in R, s \in S, g=1,2$$

$$f_{g,k}^{rs} \geq 0, \hat{f}_{g,k}^{rs} \geq 0 \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs,g}, g=1,2$$

ここで, x_a はリンク a のリンク交通量, $f_{g,k}^{rs}$ は rs OD 間セグメント g 別第 k 経路の自動車交通量, $\hat{f}_{g,k}^{rs}$ は rs OD 間のセグメント g 別第 k 経路の公共交通機関利用者数, $q_{rs,g}^{car}$ は rs OD 間のセグメント g 別の自動車交通量, $q_{rs,g}^{tran}$ は rs OD 間のセグメント g 別の公共交通機関利用者数, $t_a(x_a)$ はリンク a のリンクコスト関数, c_{rs}^{tran} は rs OD 間における公共交通機関のコストである. また, $\delta_{a,k}^{rs}$ は rs OD 間第 k 経路がリンク a を含むときのみ 1 の値をとるダミー変数である. 制約式(2)はそれぞれ以下の交通量の保存条件を表している. 式(2.a) はセグメント別の自動車と公共交通機関の OD 交通量保存, 式(2.b)はセグメント別自動車の経路交通量保存, 式(2.c)はセグメント別公共交通機関の経路交通量保存, 式(2.d)は自動車交通のリンク交通量保存条件, その他は非負条件である.

定式化された数理最適化問題が手段選択需要変動型の多種流均衡フローを記述するのは, この問題の最適性の条件より, 経路フローに関しては

$$f_{g,k}^{rs} = q_{rs,g}^{car} \frac{\exp(-\theta_g c_k^{rs}(f_1, f_2))}{\sum_{k \in K_{rs,g}} \exp(-\theta_g c_k^{rs}(f_1, f_2))} = q_{rs,g}^{car} \cdot P_{rs,k}^{g,car} \quad (3.a)$$

$$\hat{f}_{g,k}^{rs} = q_{rs,g}^{tran} \frac{\exp(-\theta_g c_{k,k}^{tran})}{\sum_{k \in K_{rs,g}} \exp(-\theta_g c_{k,k}^{tran})} = q_{rs,g}^{tran} \cdot P_{rs,k}^{g,tran} \quad (3.b)$$

が得られることから明らかである. ここで, θ_g は上述した知覚所要時間のばらつきの程度を表すパラメータ, c_k^{rs} は rs OD 間の自動車交通第 k 経路所要時間であり, $c_{k,k}^{tran}$ は公共交通のそれである. $P_{rs,k}^{g,car}$ と $P_{rs,k}^{g,tran}$ は rs 間の自動車, および公共交通利用者のうちのセグメント g が第 k 経路を選択する確率であることから, 式(3)はロジット型 SUE モデルの定義そのものである. 一方, 手段選択フローに関しては,

$$q_{rs,g}^{tran} = q_{rs,g}^g \frac{1}{1 + \exp[-\mu_g (S_{rs,g}^{car} - S_{rs,g}^{tran})]} \quad (4.a)$$

$$q_{rs,g}^{car} = q_{rs,g}^g \frac{1}{1 + \exp[-\mu_g (S_{rs,g}^{tran} - S_{rs,g}^{car})]} \quad (4.b)$$

μ_g は手段選択感度パラメータ, $S_{rs,g}^{car}$ と $S_{rs,g}^{tran}$ は rs OD 間セグメント g 別の自動車, および公共交通利用者の合成費用であり, 次式で表される.

$$S_{rs,g}^{car} = -\frac{1}{\theta_g} \ln \sum_{k \in K_{rs}} \exp(-\theta_g c_{rs,k}^{car}) \quad (5.a)$$

$$S_{rs,g}^{tran} = -\frac{1}{\theta_g} \ln \sum_{k \in K'_{rs}} \exp(-\theta_g c_{rs,k}^{tran}) \quad (5.b)$$

式(4), (5)はNL型手段選択モデルそのものである。

以上より, 式(1)と(2)で定式化された数理最適化問題の解は手段選択需要変動型の多種流均衡フローを記述する。

3. 情報利用/手段選択需要変動型多種流ネットワーク均衡モデルの定式化

rs OD 間における交通情報利用者需要は, 所要時間情報を利用する場合と利用しない場合の便益 S_{rs}^1 と S_{rs}^2 を変数とする以下のようなロジスティック関数で内生的に決まると仮定するのは合理的であろう。

$$q_2 = \bar{q} \frac{\exp(\beta_{rs}^2)}{\exp(\alpha + \beta_{rs}^1) + \exp(\beta_{rs}^2)} \quad (6)$$

ここで, α , β は未知パラメータで, 通常, $\beta > 0$ である。また, 便益の指標として確率効用理論に整合的な OD 間の満足度関数値

$$S_{rs}^1 = -\frac{1}{\mu_1} \ln \{ \exp(-\mu_1 S_{rs,1}^{car}) + \exp(-\mu_1 S_{rs,1}^{tran}) \} \quad (7.a)$$

$$S_{rs}^2 = -\frac{1}{\mu_2} \ln \{ \exp(-\mu_2 S_{rs,2}^{car}) + \exp(-\mu_2 S_{rs,2}^{tran}) \} - C_{info} \quad (7.b)$$

を用いる。 C_{info} は情報を利用するのに必要な情報取得価格であり, 満足度の単位に換算されている。

ここで述べた必要条件と等価な数理最適化問題は下記のようになり, その解は交通情報利用率と交通手段分担量, およびフローの均衡値を与える。

$$\begin{aligned} \min: & Z(x, f_1, f_2, \hat{f}_1, \hat{f}_2, q^1, q^2, q_1^{car}, q_2^{car}, q_1^{tran}, q_2^{tran}) \\ & = \sum_{a \in A} \int_0^{q_a^1} t_a(\omega) d\omega + \sum_{rs} \sum_{g=1,2} c_{rs}^{tran} \hat{f}_{g,k}^{rs} \\ & + \sum_{g=1,2} \frac{1}{\theta_g} \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}} f_{g,k}^{rs} \ln(f_{g,k}^{rs} / q_{rs,g}^{car}) \\ & + \sum_{g=1,2} \frac{1}{\theta_g} \sum_{rs} \sum_{k \in K'_{rs}} \hat{f}_{g,k}^{rs} \ln(\hat{f}_{g,k}^{rs} / q_{rs,g}^{tran}) \\ & + \sum_{g=1,2} \sum_{rs} \int_0^{q_{rs,g}^{car}} \left(\frac{1}{\mu_g} \ln \frac{\omega}{q_{rs,g}^{car} - \omega} \right) d\omega \\ & + \sum_{rs} \int_0^{q_{rs}^1} \left[\frac{1}{\beta} \left(\ln \frac{\omega}{q_{rs} - \omega} + \alpha \right) + C_{info} \right] d\omega \quad (8) \end{aligned}$$

$$s.t. \sum_{g=1,2} q_{rs}^g = \bar{q}_{rs} \quad \forall r \in R, s \in S \quad (9.a)$$

$$q_{rs,g}^{car} + q_{rs,g}^{tran} = q_{rs}^g \quad \forall r \in R, s \in S, g=1,2 \quad (9.b)$$

$$\sum_{k \in K_{rs,g}} f_{g,k}^{rs} = q_{rs,g}^{car} \quad \forall r \in R, s \in S, g=1,2 \quad (9.c)$$

$$\sum_{k \in K'_{rs,g}} \hat{f}_{g,k}^{rs} = q_{rs,g}^{tran} \quad \forall r \in R, s \in S, g=1,2 \quad (9.d)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs,g}} \sum_{g=1,2} f_{g,k}^{rs} \delta_{a,k}^{rs} \quad a \in A \quad (9.e)$$

$$q_{rs}^g \geq 0, q_{rs}^{tran} \geq 0 \quad \forall r \in R, s \in S, g=1,2$$

$$q_{rs,g}^{car} \geq 0, q_{rs,g}^{tran} \geq 0 \quad \forall r \in R, s \in S, g=1,2$$

$$f_{g,k}^{rs} \geq 0, \hat{f}_{g,k}^{rs} \geq 0 \quad \forall r \in R, s \in S, k \in K_{rs,g}, g=1,2$$

各制約条件式(9.a)は情報利用者と非利用者の OD 交通量, 式(9.b)は g 別の両交通機関の OD 交通量, 式(9.c)は g 別自動車の経路交通量, 式(9.d)は g 別公共交通機関の経路交通量, 式(9.e)は自動車交通のリンク交通量に対する各保存条件, 他は非負条件である。

この問題の解が前述した必要条件を満足すること, および解が一意であることは自明である。また, 均衡解の探索アルゴリズムは, 通常の NLSUE モデルのものと同じであるので説明は省略する。

4. 数値シミュレーション

ここでは, 公共交通機関を含むインターモダルネットワークにおいて, 全ての需要が所要時間情報を利用する場合(UE)と誰も利用しない場合(SUE), および提案した情報利用/手段選択需要変動型多種流ネットワーク均衡モデル(MUE)による配分シミュレーションを行い, 情報提供システムの効果を 1)総走行時間と 2)総 Logsum 値によって比較・検討する。両者は下記の式で計算される。

$$S = \sum_{g=1,2} \sum_{a \in A} \sum_{rs} x_{a,rs}^g \cdot t_a \left(\sum_{rs} \sum_{g=1,2} x_{a,rs}^g \right) \quad (4.2)$$

$$S = \frac{1}{\beta} \sum_{rs} q_{rs} \cdot \ln \left[\exp(\alpha + \beta_{rs}^1) + \exp(\beta_{rs}^2) \right] \quad (4.3)$$

数値シミュレーション用のモデルネットワークを図-2に示す。リンクコスト関数 $t_a(\omega)$ には BPR 関数を用いた。各リンクの上下(または左右)の数字は, ゼロフロー時所要時間 t_a^0 と交通容量 C_a を表す。

経路選択パラメータ θ , および手段選択パラメータ μ とも, 情報を利用しない主体に比べて情報利用する主体の方が大きな値をとる。また, 確率効用理論に整合させるために, $\theta_g > \mu_g$ の関係を満足するように各パラメータを設定した。以下のシミュレーションでは情報取得価格 C_{info} に関して記述がない限り, $C_{info} = 0$ とする。

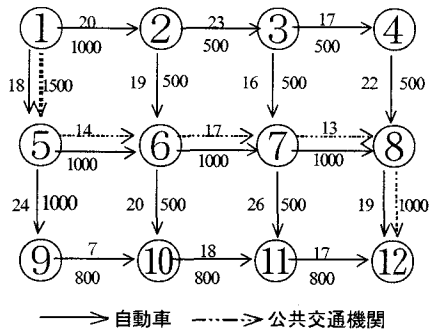


図-2 モデルネットワーク

表-1 シミュレーションに用いたパラメータ値

	情報利用者	情報非利用者
θ (経路選択)	0.2	∞
μ (手段選択)	0.1	0.3 or 0.6
α	1.75	
β	0.3 or 0.5	

図-3 に示すように、評価指標として総走行時間を用いた場合には評価値は $SUE > MUE > UE$ となる。また、総 Logsum 値を用いた場合には、図-4 に示すように評価値は $UE > MUE > SUE$ となり、いずれもインターモーダルネットワークでの情報提供は社会的便益を向上させる。

速度の異なる公共交通機関を 3 レベル設定し、総トリップ数を増加させた時の情報利用率の変化を図-5 に示す。混雑度の増加に伴って情報利用率は増加すると同時に、公共交通機関の速度が高速なほど情報利用率は高いことが分かる。また、自動車ネットワークのみの場合に比べて、公共交通機関を含むインターモーダルネットワーク上の方が情報利用率は高いことが分かる。したがって、公共交通機関への情報提供を行うことはシステム全体の情報利用の促進につながると言える。以上より、インターモーダルリティを目標とした所要時間情報提供システムは、自動車交通のみの情報提供システムに比べて、交通システム全体の効率性の改善効果は大きい。

5. おわりに

本研究で得られた成果は以下の通りである。

- (1) インターモーダルリティを目指す交通情報提供下での多種流確率均衡型需要予測モデルを開発した。
- (2) 交通需要予測モデルに論理整合的な情報提供シ

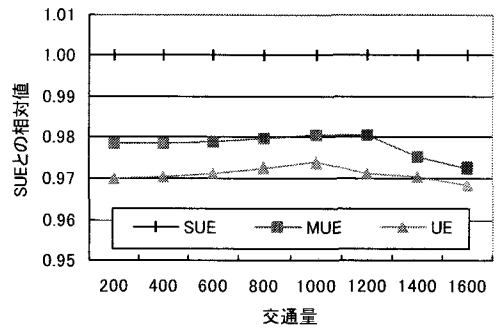


図-3 交通量の増加に伴う総走行時間の変化
(公共交通機関考慮 $VT=59.5\text{km/h}$)

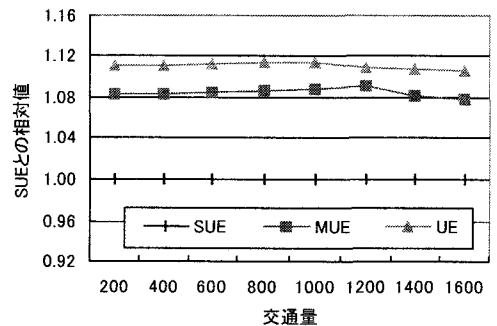


図-4 交通量の増加に伴う満足度閾値の変化
(公共交通機関考慮 $VT=59.5\text{km/h}$)

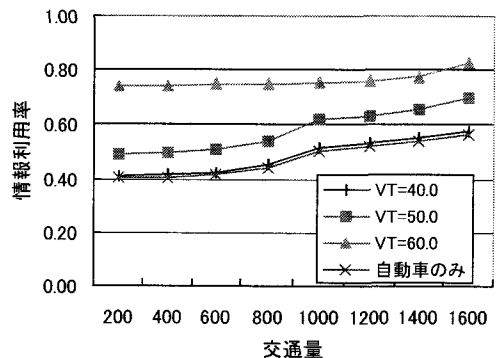


図-5 公共交通を考慮した場合の情報利用率の変化

ステムの導入効果の評価指標を示した。

- (3) インターモーダルリティを目標とした交通情報提供は情報利用促進につながり、情報提供によるシステム効率改善の効果をより高めることができる。

参考文献

- 1) Yang, H.: Multiple Equilibrium Behaviors and Advanced Traveler Information Systems with Endogenous Market Penetration, *Transpn. Res.-B*, Vol.32, No.3, pp.205-218, 1998.