

均衡配分による情報提供効果分析及び時間信頼性を考慮したネットワークサービス評価*

An equilibrium analysis for assessment of traffic information provision and network travel time reliability*

中山晶一朗**

By Shoichiro NAKAYAMA**

1. はじめに

日々の交通の中では、通勤交通や到着制約のある業務交通を始めとして、単に旅行時間が短いだけでなく、その正確さが求められることが多い。また、ITS（高度道路交通システム）やVICS（道路交通情報通信システム）等の効果を分析する場合、情報提供は不確実な状況下にこそ意味があるため、ネットワークの不確実性を的確に計測・評価することは不可欠である。

本稿では、まず、旅行時間の信頼性を考慮した利用者サービス指標を提案する。これまで旅行速度や旅行時間（旅行時間の平均）のみにより、利用者のサービスを考えてきたが、これを用いることによって、それらとともに旅行時間の信頼性も利用者サービスとして考慮することが可能となる。

さらに、提案したサービス指標に基づき、著者がこれまでに提案した、交通量及び旅行時間が確率的な交通ネットワーク均衡モデルを用いて、実用適用可能な情報提供効果分析の方法について、概説する。これまで情報提供効果分析を行った研究は多数存在するが、それらの多くは、情報提供に従う車両割合を外生的に与えるものである。本研究では、提供された情報に対する学習等が終わり、均衡状態になった時点に関して、モデル化を行う。つまり、どれほどの割合で情報に従うのかの外生的なパラメータを必要とせず、一貫して均衡の概念を用いて情報提供効果の分析である点が特徴となる。

2. 時間信頼性を考慮したサービス指標

本稿では、旅行時間は確率的に変動すると仮定する。また、道路利用者は到着制約時刻等により、旅行時間の不確実性の小さい経路を選好すると想定する。利用者は、不確実性が高い場合、遅刻を避けるため、セーフティマ

ージンを取り、出発時刻を早めると考えられる。このようなセーフティマージンを含んだ旅行時間が実効旅行時間である¹⁾²⁾。本研究では、このセーフティマージンは経路旅行時間の標準偏差に比例すると仮定し、以下のような実効旅行時間 c_{ij} を仮定する。

$$c_{ij} = m_{ij} + \eta s_{ij} \quad (1)$$

ここで、 m_{ij} はODペア i の経路 j の（経路）旅行時間の平均、 s_{ij} はODペア i の経路 j の（経路）旅行時間の標準偏差、 η はセーフティマージン（あるいはリスク態度）に関するパラメータである。

経路の旅行時間がある一つの確率分布型に従う場合（例えば全ての経路の旅行時間が正規分布に従う場合）、遅刻する確率が一定値 ρ になるために必要なセーフティマージンが ηs_{ij} である。旅行時間が従う確率分布について、平均が0で分散が1の標準型の確率分布の累積関数を $F_T(\cdot)$ とする。その逆関数を用いることによって、 η を $F_T^{-1}(1-\rho)$ として求めることができる。本研究の枠組みの中では、厳密には経路旅行時間の全てがある一つの分布型のみに従っているとは限らず、必ずしも ηs_{ij} は遅刻確率が一定値となるためのセーフティマージンとなるとは限らない。よって、正規分布を仮定するHall¹⁾と飯田・内田²⁾が提案したセーフティマージンとは必ずしも同一のものではないことに留意する必要がある。

チェビシェフの不等式から、 T_{ij} の分布形によらず、 $\Pr[|T_{ij} - m_{ij}| \geq \eta] \leq s_{ij}^2 / \eta^2$ が成立する。ただし、 $\Pr[\cdot]$ は確率を算出する演算、 T_{ij} はODペア i の経路 j の旅行時間の確率変数である。よって、 $\Pr[T_{ij} \geq (m_{ij} + \eta s_{ij})] = \Pr[T_{ij} \geq c_{ij}] \leq 1/\eta^2$ となる。したがって、式(1)に示した実効旅行時間 c_{ij} は遅刻確率（旅行時間がその c_{ij} より大きくなる確率）が $1/\eta^2$ 以下になるために必要な時間（セーフティマージン+平均旅行時間）を意味している。到着希望時刻（もしくは到着制約時刻）から c_{ij} 早い時刻に出発すると、遅刻する確率を $1/\eta^2$ 以下にすることができる。以上のように考えると、時には積分等が必要になる確率累積関数を用いることなく、実効旅行時間を定義することができ、便利である。

英国の交通省（Department for Transport）では、大学

*キーワード：情報提供、時間信頼性、交通均衡

**正員、工博(工学)、金沢大学自然科学研究科

(金沢市角間町、

TEL076-234-4614、FAX076-234-4644)

やコンサルタントの交通学の研究者らとともに、以下の一般化費用 gc もしくは一般化時間 gt の利用を進めている：

$$gc = \alpha + \beta_1 m + \beta_2 s \quad (2)$$

$$gt = gc/\beta_1 \quad (3)$$

ここで、 m は旅行時間の平均、 s は旅行時間の標準偏差、 α 、 β_1 、 β_2 は正のパラメータである。 β_1 は時間価値であり、 β_2/β_1 は信頼性比（旅行時間の標準偏差をどれほど重要視するのかの指標）である。

式(1)の指標は、基本的に英国交通省の指標と同様のものである。チェビシェフの不等式の不等式等から、その理論背景はより明確にしたと言える。

3. 確率ネットワーク均衡モデルとその解法

著者はこれまで、交通量及び旅行時間が確率的な場合の交通ネットワーク均衡モデル（以下、確率ネットワーク均衡）を提案してきた^{3,4}。

このような確率ネットワーク均衡モデルの実用面で問題となるのが、1) ODデータ、2) 計算アルゴリズム、である。著者のモデルの一つ⁴は、実用的に利用できるように、従来までのODデータを用い、従来のFrank-Wolfe法により計算が可能である。但し、交通量のバラつき（分散）は、平均の定数倍という仮定を設けており、実用的に利用可能であるが、旅行時間の信頼性の表現としては、改善の余地がある。

著者の提案したもう一つのモデルでは、各OD交通量について、その平均と分散が必要となる。何らかの方法により、これらのODデータを入手することが出来ると、実用的に計算することも可能となると期待できる。Hearn⁵が提案したギャップ関数の降下方向は最短経路であるため、それを用いて定式化することにより、ダイクストラ法など最短経路探索により、計算することが可能と予想できる。

4. 情報提供効果分析例

本節では、交通量及び旅行時間が確率的な場合の交通ネットワーク均衡モデルを用いて、情報提供の効果分析について簡単に例示する。

著者⁴は緊急車両への情報提供の効果分析を行っている。そのモデルでは、交通全体に対して緊急車両の数は非常に小さく、情報提供によって経路選択等が変更されるのは緊急車両のみであり、全体の交通量への影響はないとしていた。本節では、全てのドライバーに情報を提

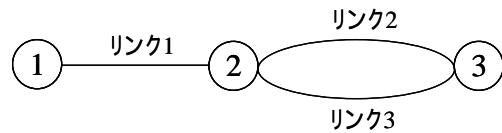


図-1 対象ネットワーク

表-1 交通需要

	OD 1 ノード 1 と 3 の間	OD 2 ノード 2 と 3 の間
分布	NgBn(40, 40)	NgBn(20, 50)
平均	1600	1000
分散	65600	51000
標準偏差	256.1	225.8

表-2 情報提供効果

	情報あり	情報なし	差
OD 1	30.4	34.0	-3.7
OD 2	14.0	15.3	-1.4
平均	24.1	26.8	-2.8

単位は分

供した場合の効果分析を行う。

対象とするネットワークは図-1であり、OD交通量は表-1の通りである。つまり、OD交通量は確率的であり、その平均と分散は表-2で与えた。問題設定やモデル、分析の詳細については、著者らの発表の通りである³。分析した結果は表-2の通りである。平均2.8分情報提供により式(1)の実効旅行時間が短縮された。平均旅行時間の短縮はほとんどないが、情報提供により旅行時間があらかじめ分かりため、旅行時間の不確実性が減少し、セイフティマージンが必要なくなり、実効旅行時間が減少する（出発時刻を遅くすることが出来る）という結果となった。

参考文献

- Hall, R.W.: Travel Outcome and Performance: The Effect of Uncertainty on Accessibility, Transportation Research, Vol. 17B, pp. 275-290, 1983.
- 飯田恭敬, 内田敬: リスク対応行動を考慮した道路網経路配分, 土木学会論文集, No. 464/IV-19, pp. 63-72, 1993.
- 中山晶一郎, 高山純一: 交通需要と経路選択の確率変動を考慮した交通均衡モデル, 土木学会論文集, 投稿中.
- 中山晶一郎, 高山純一, 長尾一輝, 所俊宏: 現実道路ネットワークの時間信頼性評価のための確率的交通均衡モデル及びそれを用いた情報提供効果分析, 土木学会論文集, 投稿中.
- Hearn, D.W., Lawphongpanich, S and Nguyen, S: Convex Programming Formulations of the Asymmetric Traffic Assignment Problems, Transportation Research, 18B, pp. 357-36