

高速道路交通サービスの信頼性評価のための連結信頼性と旅行時間変動の分析*

Travel Time Variability between Adjacent Sections for Reliability Analysis of Expressway Network under Uncertain Environment*

若林拓史**

by Hiroshi WAKABAYASHI**

1. はじめに

Just In Time生産や在庫を最小限にする流通経済を背景に、連結信頼性や旅行時間信頼性への要請が高まってきている。本論文では、連結信頼性や旅行時間信頼性を解析する上での課題を簡単に整理した上で、そのうちの一つである走行状態の区間間従属性の問題、すなわち旅行時間変動の区間を通じての加算の仕方について考察し、実際に高速道路上で観測した区間間での旅行時間変動の関係について報告する。

過年度までにおいて、需要サイドと供給サイドの変動を同時に考慮した信頼性解析モデルを構築し、悪天候予報下における種々の代替案比較や旅行時間情報の提供に利用できる旅行時間信頼性および連結信頼性に関するモデル開発を行った¹⁾。構築したモデルのフレームワークは、入力情報が天気予報の地域分布、出力情報が高規格道路の経路別の旅行時間信頼度および連結信頼度となるような多段階確率構造をもつ信頼性解析モデルである。本研究では、この研究で課題となっていた長距離多区間に対しての旅行時間変動算出のための変動分析を行っている。具体的には、高速道路の複数地点でAVI分析を行い、個別の車両毎に得られた区間旅行時間を複数の区間で分析している。

2. 信頼性の定義と意義

信頼性を定義する上での特徴は、システムに何らかの意味での変動があり、その変動と提供されるサービスとを関係づけようとする点である。信頼性とは本来、「システム等が規定の使用期間中、所定の機能を遂行し得る状態にあること」を意味し、信頼度とは、この信頼性を確率表現したものと定義される。この概念は、交通ネットワーク信頼性にも拡張できるが、最近では種々の概念や定義が提案されており、以下のように分類できる²⁾。

1) Connectivity Reliability(連結信頼性)

2) Travel Time Reliability(所要時間信頼性)

3) Capacity Reliability(容量信頼性)

このうち、1)は、所与の期間中、道路網の任意のノード間において、あるサービスレベル以上で走行移動が保証

される確率的指標と定義される。この指標は事故や工事、及び災害時などに果たして目的地へ到達できるのかを評価する指標として有効である。これは、経路交通量が考慮され利用者が実際に体験することとなる信頼性、

4) Encountered Reliability

として拡張されている。一方、2)の旅行時間信頼性とは、目的地までの所与到達時間を保証する確率、あるいは、ある確率で到達可能な走行旅行時間の上限値(最大許容旅行時間)である。この信頼性は、旅行時間の安定性を示す指標であり、道路利用者に対し旅行時間の正確性と迅速性の情報を提供するものである。この指標では、空港や駅などへ向かう時間価値の高いトリップを評価するのに有効である。また高規格道路においては、旅行時間信頼性が有効な評価指標であると考えられる。高速道路や高規格道路の利用では、移動旅行時間の短縮が利用目的であるため、旅行時間の信頼性評価はユーザーにとって重要である。また、3)は、交通サービスの利用者が体験するサービスおよび供給者が提供するサービス双方のプレを反映して

5) Performance Reliability

として表現することも可能である¹⁾。さらに、2)は、

2') Travel Time and Cost Reliability

として一般化される。また、フローの低下を対象とした

6) Flow Decrement Reliability

も提案されている。また、所与時間以内に駐車場を確保できるための

7) Parking Reliability

など³⁾、信頼性の概念は拡張され、適用範囲が広がってきている。この他、

8) Reliability Mode Choice

もある。所要時間の変動を時間信頼性とみなし、信頼性を考慮した交通手段選択の研究⁴⁾である。

3. 交通ネットワーク信頼性解析を行う上での困難な点

交通ネットワークの信頼性を解析する場合の困難な問題は以下に要約される。

(1) システム規模が拡大すると計算量が膨大化する性質がある。連結信頼性解析では特にこの問題が大きく、計算量やメモリ量は事象空間法、分解法、Inclusion-Exclusion法、Fratta・Montanariの方法、ミニマルパス・カットによる方法のいずれであっても2の累乗(Fratta・

* キーワード: 交通ネットワーク信頼性, 旅行時間信頼性, 連結信頼性, 旅行時間の変動, 区間間の走行特性

** 正会員 名城大学都市情報学部 (〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘, Tel:0574-69-0131, Fax: 0574-69-0155)

Montanari の方法ではリンク総数の累乗)に比例する⁵⁾。近似計算法でもこの性質は変わらず、計算の簡略化を図る方法の開発が重要となる。

(2) 信頼性を規定する変数がネットワークの挙動変数であることに起因する課題がある。例えば、ネットワーク形状を与件としてネットワーク上の交通挙動が決まるので、最適ネットワーク構成の問題や最適ネットワーク運用の定式化が(交通フロー決定問題が間にあるために)困難である。また、災害時のネットワーク強化問題でも、交通挙動はネットワークの壊れ方、すなわち残存ネットワーク (intact network) に依存して決まるので、ネットワークの強化問題の定式化が困難という問題がある。

(3) 交通ネットワーク上で生起する種々の従属的な現象を表現する方法に課題がある。従来の信頼性解析理論では、構成要素間での独立性を仮定しているために定式化が可能であった。この従属性の取り扱いは困難な問題であるとされている⁶⁾。したがって、この従属現象をどのように近似表現するかが重要である。

4. 速度変動の要因と所要変動算出のための2方法

本論文では、上述の(3)のうち、単位区間の旅行時間変動から全区間の旅行時間変動をどう推定するか、という問題について述べる。

旅行時間の変動要因として、主として次の2つの考え方ができる。

(1) 旅行時間変動が交通量変動に起因するという考え方。この考え方は、交通量が比較的多く、追い越しも生じにくい主として都市域街路網や都市高速道路で適用できる考え方である。

(2) 旅行時間変動がドライバー特性あるいは追従走行の不確定性に起因するという考え方。この考え方は、交通量の比較的少ない地方部道路や都市間高速道路等で適用できる考え方である。高速道路においては制限速度もあることから、(急いでいても)ドライバー固有の希望走行速度があると考えられる。また、車群形成により必ずしも希望速度で巡航できず、不確定的に低速での追従を余儀なくされる場合もあると考えられる。

本研究では、旅行時間が無限大になる事象をもって連結信頼性を計算している。長距離区間から構成されるネットワークの連結信頼性や旅行時間信頼性を計算するためには、全区間の旅行時間変動を単位区間あるいはインターチェンジ間等の短距離区間での旅行時間変動から推定する必要がある。次の2つの接近法が考えられる。

4.1. リンク間での走行状態の独立性を仮定する方法

ドライバーの走行速度は、同一のドライバーに関して区間(リンク)毎に独立であるという考え方である(図-1)。リンク a における旅行時間分布に正規分布を仮定す

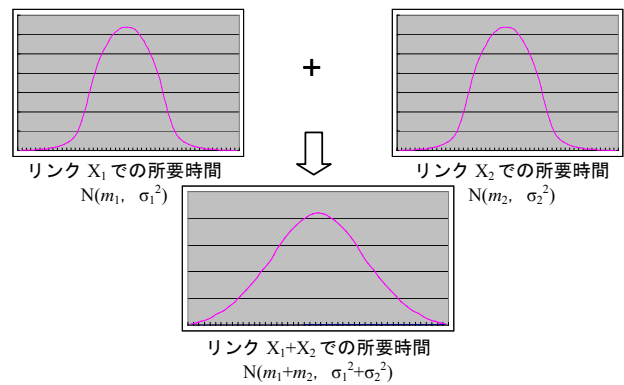


図-1 リンク間での走行状態の独立性の仮定

ると、リンク旅行時間 t_a は、

$$t_a : N(\bar{t}_a, \sigma_a^2) \quad (1)$$

であり、正規分布の再生性の性質から、OD ペア間の旅行時間 t_L も正規分布となり、

$$t_L : N\left(\sum_{a \in L} \bar{t}_a, \sum_{a \in L} \sigma_a^2\right) \quad (2)$$

で与えられる。この考え方は、ドライバーは区間毎にそれまでの走行速度に依存しない独立の速度で走行するという考え方である。これは現実的には考えにくい仮定である。また、 Σ の計算を多数回行うことで分散値が大きくなり、モデルの操作性の悪化および結果の解釈の困難さが増加する問題がある。

4.2. 巡航速度順位保存の仮定(リンク間で走行状態の従属性を仮定する方法)

ドライバーの走行速度は、同一のドライバーに関して区間(リンク)間で従属関係があるという考え方である。いいかえれば、巡航速度の小さい(大きい)ドライバーはどの区間でも低速(高速)で走行するという仮定である。厳密に定義すれば、各区間でのあるドライバーの速度の序列は、その区間中での速度分布、あるいは旅行時間分布の確率密度関数中一定であると仮定する(図-2)。

リンク a での旅行時間の確率分布関数 $H_{a,\eta}(t)$ の逆関数を考える。すなわち、リンク a における累加確率 p_1 のもとでの旅行時間 t は、

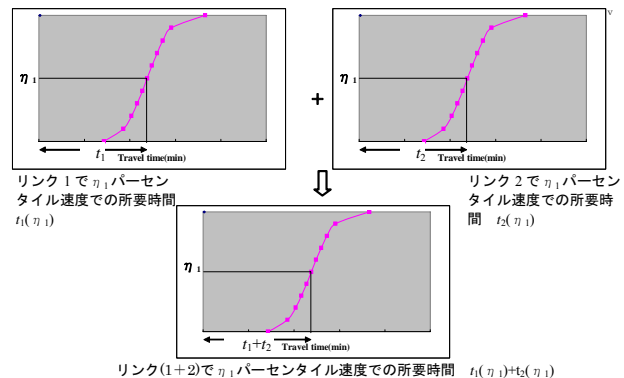


図-2 巡航速度順位保存の仮定(リンク間で走行状態の従属性を仮定)

表-1 各観測地点での交通量観測結果

	小牧観測地点	今須観測地点	秦荘観測地点	大津観測地点
観測地点キロポスト(km)	338.5	391.4	425.0	472.7
観測開始時刻	6:58:20	7:20:00	7:43:00	8:06:10
観測終了時刻	15:20:00	16:19:45	16:49:30	17:01:50
通過車両台数(台)	17115	10049	12125	18286
読み取り成功車両台数(台)	13847	9426	10529	16944
読み取り成功率	80.91%	93.80%	86.84%	92.66%

観測区間距離 134.2km

$$t_{p_1,a} = H_{a,rj}^{-1}(p_1) \quad (3)$$

で与えられるので、ODペア間の旅行時間 $t_{p_1,L}$ は、

$$t_{p_1,L} = \sum_{a \in L} H_{a,rj}^{-1}(p_1) \quad (4)$$

で求めることができる。この考え方によって、リンク間での同一ドライバーによる走行速度の従属性が表現できる。計算の簡便化および計算量の削減が期待できる。

5. 旅行時間変動の観測と検証

OD間の旅行時間信頼度を求めるには、リンク毎の旅行時間の変動和を考える必要がある。上述の 4.2.の仮定が現実的であると考えられるが、この検証を行った研究は過去見あたらず、この検証を高速道路を対象に行った。具体的には、複数区間で通過車両のナンバープレートを解析して速度序列の区間毎の保存則の仮定の妥当性を検証する。高速道路上の区間毎の自動車毎の走行状態は従来明らかになっておらず、今回の観測によって種々の走行特性が解明されることが期待できる。

実際には、この区間毎の旅行時間分布をナンバープレート路側観測法によって調査する。高速道路の4地点で同時にビデオカメラを横断陸橋等に設置して撮影し、ナンバープレート認識装置によって区間毎のすべての車両の所要時間を計算する。

観測区間は、東名高速道春日井IC～名神高速道大津IC間(134.2km)とし、この間の4箇所の歩行者専用横断歩道橋の上にビデオカメラを設置した。各観測地点を便宜上、小牧、今須、秦荘、大津と呼ぶこととする。観測は、2006年12月6日(水)および20日(水)に行った。地上観測の他に、空間平均速度を観測するためにフローティング調査も行った。12/20の各観測地点での観測結果を表-1に示す。

最初に、3区間、すなわち、小牧～今須(52.9km)、今須～秦荘(33.6km)、秦荘～大津(47.7km)について、観測1時間毎の区間旅行時間の平均と分散を算出し、上流観測点での観測交通量との関係を単回帰分析にて解析した。なお、区間長の異なる複数区間を対象とするため、旅行時間は10kmを単位として基準化した。

最初にたてた仮説は、

- 1) 平均旅行時間は、交通量が増加するにしたがって

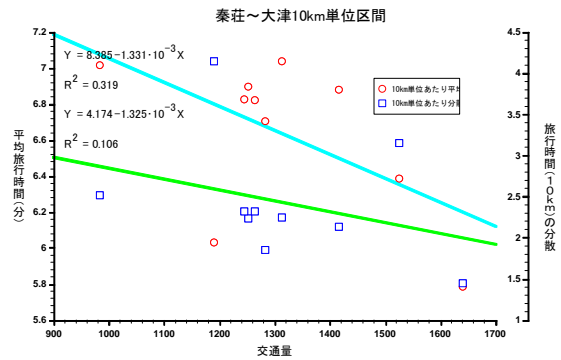


図-3 1時間交通量と平均旅行時間(10km)と分散の関係(秦荘～大津間 10km 単位)

増加するであろう、

- 2) 旅行時間の分散は、交通量が増加すると車両間での追従走行によって走行の自由度が低下するため低下するであろう、
というものであった。

分析結果の一部を図-3に示す。設定仮説のようにはなっておらず、交通量が増加するに従い旅行時間の平均値が減少したり、分散が増加したりしている。この理由としては、今回の観測では、時間交通量が交通容量(交通容量の目安として、2,200pcu/時間/車線)に対してそれほど大きくなく、それぞれのドライバーの希望速度で巡行できる状態が維持され、交通量の増大に伴ってドライバーの希望速度の分布も拡大したため、このような数値が算出されたと考えられる。今後、さらに観測を行って交通容量付近での交通状態の観測を蓄積し、上記傾向を確認することが必要である。

6. 結果と考察

隣接区間毎での走行状態の従属性の検証結果を述べる。分析は時間の関係から精度を向上させ得る余地が残っており、本論文では速報的結果を報告するものとする。

各区間において、各車両が休憩なしに走行すれば解析は容易である。しかしながら、小牧観測点～今須観測点間には、一宮PA、羽島PA、養老SAが存在し、今須観測点～秦荘観測点には、伊吹PA、多賀SA、秦荘PAが、秦荘観測点～大津観測点には、黒丸PA、菩提寺PA、草津PAが存在する。このため、同一車両であっても区間

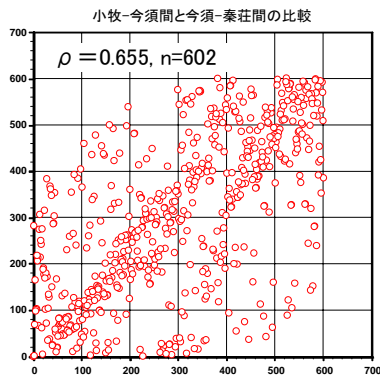


図-4 隣接区間での走行順位の相関
(小牧今須区間～今須秦荘区間)

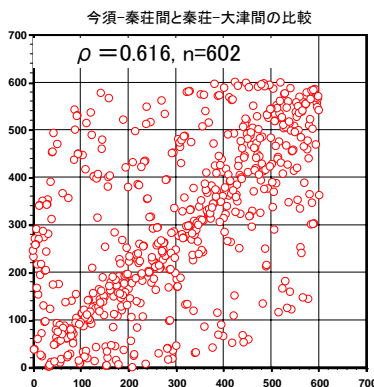


図-5 隣接区間での走行順位の相関
(今須秦荘区間～秦荘大津区間)

間での旅行時間（あるいは区間での平均速度）に大きな差が生じるケースが多数存在している。したがって、隣接区間の走行状態に合理性のある有意差があるケースを除外する必要がある。ここでは、隣接2区間での平均速度の差が30km/h以上であり、かつ片方の平均速度が60km/h以下のサンプルを除去している。小牧今須区間～今須秦荘区間および今須秦荘区間～秦荘大津区間の走行順位に関する相関を示した図が図-4、図-5である。この図では、隣接する3区間すべてで「同一車両と認識」された車両数のみを示しており、その台数は602台であった。スピアマンの順位相関係数は、それぞれの隣接区間ごとに0.655、0.616であった。図では、上位の順位を分かりやすく表現するために、走行順位 n 位の車両は、 $(603-n)$ の値としてプロットしている。

これらの図で45度の直線上に分布が集中すれば、4.2の仮説は支持される。図-4.5においては、45度直線上に大半の車両がプロットされているように見える。その反面、45度直線から大きく離れた車両も多く見られる。この分析では、ナンバープレートの一連指定番号（4桁部分）およびナンバープレートの色（自家用および事業用車両）のみを用いている。地名（自動車の使用の本拠の位置を管轄する運輸監理部又は運輸支局を表示する文

字）、分類番号（自動車の種別及び用途による分類番号）、平仮名等は今回は用いなかった。このため、真に同一の車種であるかどうか、の精査が必要である。また、SAPA等での休憩車両の考慮も必要である。「4桁部分」および「色」のみでは誤った同一性判断をする場合も考えられ、今後、同一性判断ルールに補助的に他の情報を加えるなど、識別の精度を向上させる必要がある。

今回の交通量観測ではナンバープレートの自動解析が不可能な撮影データがあり、手作業での読み取りとなったためにデータ解析に時間がかかった。現状の分析では、SAPA等に立ち寄ったと思われる車両の合理的除去には比較的成功的なものであるものの、ナンバープレートのマッチングが上述のように不十分なケースもあり、その結果計算上の走行速度が異常に高い、あるいは異常に低いケースが残っている。この点については、現在、分析を継続中であり、より精度の高いマッチング法を検討している。

7. まとめ

本論文での成果を以下にまとめる。

- (1) 道路網信頼性解析の種々の定義の整理を行った。
- (2) 信頼性解析に伴う困難な問題の整理を行った。システム規模の拡大に伴う計算可能性の問題、信頼性を規定する変数が挙動変数によることの問題、また、種々の従属的事象に伴う問題等である。
- (3) 本論文では従属的事象のうち、長距離区間において所要時間信頼性を求めるための変動の加算法について仮説設定を行い、実際の高速度道路での観測結果に基づく実態についての速報的報告を行った。この問題については現在も継続中であり、データの蓄積およびマッチング精度向上のためのアルゴリズムの改良が必要である。

参考文献：

- 1) Nicholson, A. Schmoeker, J. Bell, M.G.H. and Iida, Y.(2003). Assessing Transport Reliability: Malevolence and User Knowledge. In: Michael G H Bell and Yasunori Iida(Ed.) The Network Reliability of Transport, Proceedings of the 1st International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR), pp.1-22, Pergamon, 2003.
- 2) 若林拓史：降雪および交通規制の不確実性環境下における高規格道路網の信頼性解析，土木計画学研究・講演集，No.34，CD-ROM(No.237)，2006.
- 3) Lam, W.H.K. and Tam, M. (2003). Reliability Assessment on Searching Time for Parking in Urban Area, In: Michael G H Bell and Yasunori Iida(Ed.) The Network Reliability of Transport, Proceedings of the 1st International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR), pp.61-77, Pergamon, 2003.
- 4) 若林拓史・浅岡克彦・亀田弘行・飯田恭敬：交通手段選択における所要時間信頼性の影響と交通サービス途絶時の利用者の意識変化に関する研究，土木学会論文集，No.632/□-45，pp.29-40，1999.
- 5) 若林拓史・飯田恭敬・吉木 努：ネットワーク限定手法による道路網の信頼性解析，交通工学，Vol.26，No.5，pp.9-18，1991.
- 6) 熊本博光：PRA(確率論的リスク評価)ガイド，日本原子力研究所昭和62年度受託調査『信頼性解析手法の現状調査』調査報告書，昭和63年2月