

ETCデータを用いた都市間高速道路の旅行時間信頼性分析*

Analysis of Travel Time Reliability for Inter-city Expressway Using ETC Data*

宇野 伸宏**・倉内 文孝***・嶋本 寛****・山崎 浩気*****・小笹 浩司*****・成田 博*****

By Nobuhiro UNO**・Fumitaka KURAUCHI***・Hiroshi SHIMAMOTO****

Hiroki YAMAZAKI*****・Koushi OZASA*****・Hiroshi NARITA*****

1. はじめに

我が国は成熟社会を迎えつつあり、道路交通に対して、より高い水準のサービスの提供が求められてきている。したがって、高速道路に対してもただ単に旅行時間が短縮されるだけでなく、常にある時間の範囲内で目的地に確実に到達できるという、安定的な道路交通サービスの提供が求められている。そのため、提供される交通サービスの質を、単に所要時間の平均値・最大値・最小値等によってのみ評価するのでは十分とは言えず、旅行時間信頼性の観点からも評価することが必要である。

ところで、旅行時間信頼性の考えに基づき、道路交通サービスを実証的に評価するためには、旅行時間の変動に関わる莫大なデータが必要であり、主にデータ制約上の理由からこれまで旅行時間信頼性を実証的に評価することは困難とされてきた。近年では、ETC(Electronic Toll Collection)搭載車が飛躍的に増加しており、技術的にはETC車の流入・流出時刻からIC間の旅行時間データが入手可能となっている。

以上の背景のもと、本研究ではETCデータを活用した旅行時間信頼性評価手法を構築し、既存の高速道路ネットワークが提供するサービスの質を、旅行時間信頼性の観点から分析するための方法論について述べる。

2. 分析対象データ

(1) 分析対象ネットワーク

分析対象ネットワークは、名神高速道路八日市IC～名神吹田IC間とする(図-1)。ここでは、旅行時間の安定性の観点から、交通サービスの質を比較分析することとなる。サービス水準が区間や時間帯によって明確に変動する状況の方が望ましいと考え、本線渋滞の影響が顕著である西向きの交通を対象とする。このとき、隣接

ICペア間を一つの分析単位として細切れで解析を行ってしまうと、観測される旅行時間の幅が十分に確保できなくなるため、距離が同程度でETC車のデータを多く確保できる八日市IC、栗東IC、京都南ICおよび名神吹田ICを発着点とするトリップを対象としている。

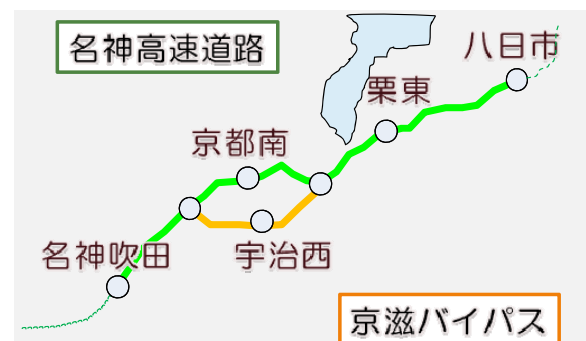


図-1 対象ネットワーク

(2) ETCデータに含まれる情報

ETCデータからは、利用車両の車種、入口、出口のIC、日付、流入時刻、流出時刻、そして適用された割引の種類などを知ることができる。本研究では個人情報保護の観点から、車両・個人の特定につながる情報はETCのデータベースからは抽出していない。特定の入口、出口を利用した車両の流入時刻、流出時刻から旅行時間を算出し集計することで、旅行時間信頼性の評価に利用するための旅行時間の分布に関する情報を得ることとする。したがって、本稿で定義する旅行時間は本線上の走行時間だけでなくIC内走行時間も含んでいることになる。

(3) 分析対象期間とデータ数

分析に用いるデータは、平成18年3月1日から31日の間にNEXCO管内の料金所で料金収受をおこなったETC車のデータであり、車両の入口・出口ICの通過時刻を用いて算出したIC間旅行時間である。この条件の下では、八日市→名神吹田(両方向、京滋バイパスを含む)を起終点とするETCデータはおよそ350万サンプル存在した。その中で、分析対象IC間におけるETC車の利用台数は表-1に示す通りであり、本研究ではおよそ5.2%のデータを用いて分析を行っている。

*キーワード：ETC、旅行時間信頼性、都市間高速道路

**：正会員，博(工)，京都大学大学院経営管理研究部
(〒615-8540，京都市西京区京都大学桂，TEL 075-383-3234，
FAX 075-383-3236，uno@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

***：正会員，博(工)，京都大学大学院工学研究科

****：正会員，博(工)，社団法人システム科学研究所

*****：学生員，京都大学大学院工学研究科

*****：西日本高速道路(株) 関西支社

表-1 対象 IC 間のデータ数および距離

IC ペア	八日市→栗東	栗東→京都南	京都南→吹田
データ数	13,046	37,887	132,727
距離	23.7km	29.6km	27.1km

3. 旅行時間信頼性分析のための ETC データ集計方法

本研究では、平常状態で提供される交通サービスの質を、旅行時間の変動に基づき分析評価する。事故等の突発事象の影響を加味した形で、旅行時間の安定性について議論することも可能ではあるが、ここでは平常時の交通サービスの変動に着目して分析することとする。旅行時間の変動を的確に捉えるため、ETC データの集計時間単位を設定し、集計時間単位ごとの代表値を算出し、その分布を旅行時間信頼性の分析に用いることとする。以下では、ETC データから旅行時間に関わる分布情報を得るための集計方法について述べることとする。

(1) 外れ値データの抽出

a) 全時間帯計での外れ値データの抽出基準

ここでは、ETC データから得られる旅行時間の原データに着目し、外れ値の取り扱いについて説明する。車線閉塞を伴う事故・渋滞の影響を受けない状況においても、同一時間帯の他の走行車両と比較して旅行時間が明らかに大きいデータが存在した。これらは SA、PA での休憩時間が ETC による旅行時間に含まれた可能性が高いと考えられる。これらのデータも含めて旅行時間信頼性について分析すれば、旅行時間が過大評価となる可能性がある。そこで、全原データでの旅行時間の平均値 μ 、標準偏差 σ を用いて、これらの外れ値を統計的に除去することを試みる。また、外れ値の範囲の設定方法による抽出結果の違いについても分析する。なお、IC ペアによって旅行時間の平均値、標準偏差や道路区間特性が異なるため、外れ値の判定は IC ペアごとに行うこととする。

ここでは、最もデータ数の多い京都南 IC・吹田 IC 間の結果を例に外れ値データの抽出方法および結果について述べることとする。京都南 IC・吹田 IC 間の全データの旅行時間の平均 μ 、標準偏差 σ は以下の通りである。

$$\mu = 24.7 \text{ [分]}, \quad \sigma = 22.8 \text{ [分]}$$

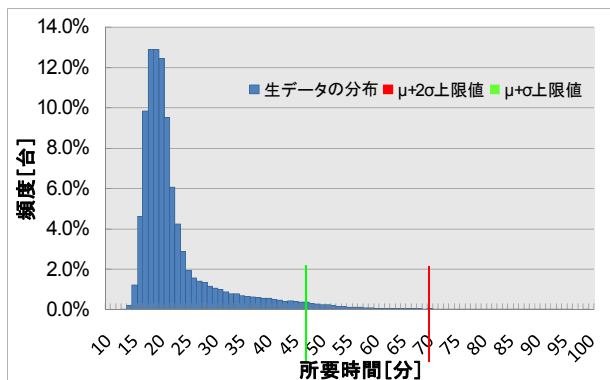


図-2 原データの分布と外れ値範囲（京都南・吹田間）

原データの旅行時間分布のうち、 $\mu+\sigma$ であれば 48 分以上のサンプルが、 $\mu+2\sigma$ であれば 71 分以上のサンプルが外れ値として除去されることとなる（図-2）。

原データのうち、全時間帯で $\mu+\sigma$ の上限値を設定した場合 4.4%、 $\mu+2\sigma$ の上限値を設定した場合 1.5%の旅行時間データを、事故や休憩の影響があった車両の旅行時間とみなし除去できる。これにより、原データ分布内で比較的長時間の旅行時間データを外れ値として除去することが可能である。

b) 時間帯ごと外れ値データの抽出基準

上述の内容は、分析対象期間全体で共通の外れ値の除去基準を設けたものである。以下では 1 日の内の時間帯によって利用車両の特性が異なることを考慮して、時間帯ごとに除去基準を設けることを考える。1 時間ごとの旅行時間の平均 μ_h 、標準偏差 σ_h を算出して $\mu_h+2\sigma_h$ 以上離れたデータを外れ値として除去する。図-3 は京都南 IC・吹田 IC 間の原データを対象として、上記の方法により正常と判定されたデータ（外れ値ではないデータ）の旅行時間の上限値を示す。棒グラフは時間帯ごとに算出した上限値であり、横線は全時間帯共通の基準で算出した上限値（70.3 分）である。これを見ると、時間帯別に算出した方が上限値が小さくなる時間帯もあるが、逆に上限値が非常に大きくなっている時間帯もあることがわかる。

しかし、時間帯ごとに外れ値抽出基準を設定すると、京都南 IC→名神吹田 IC の 27.1km 区間において、2 時間以上の旅行時間を要した車両であっても外れ値として抽出されないという時間帯も存在する。時間帯ごとに除去基準を設けることについては、その時間帯における休憩した車両と通常走行車両の割合が大きく影響を及ぼすと考えられる。

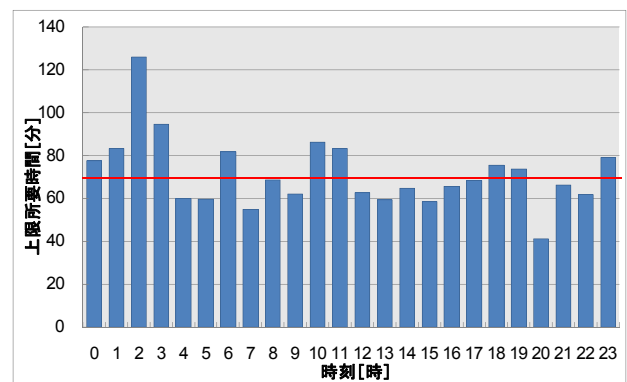


図-3 外れ値除去後の上限所要時間比較(京都南→吹田)

外れ値データの抽出基準については、今後さらに検討を加える必要があるが、今回の分析では時間帯ごとの抽出での上限所要時間のバラツキを考慮し、全時間帯一括のデータから平均 μ と標準偏差 σ を算出し、 $\mu+2\sigma$ を外れるデータを除去した上で分析を行うこととする。

(2) 旅行時間分布の作成方法

a) 代表値による分布形状の違い

平常時の交通状態において、旅行時間がばらつく主な要因としては、交通需要の増減にともなう速度変化と個別車両間の車両性能や運転特性の差異の2つを挙げることができる。本研究では、旅行時間信頼性の点から交通サービスの質を分析し、その結果を道路交通のマネジメントに活用することを企図している。そのため、「平均的な」利用者が享受すると考えられるサービスの質を評価する必要があるため、ここでは後者は考慮に入れないこととする。したがって、個々の車両データを直接用いて旅行時間の変動を捉えるのではなく、ある集計時間単位ごとの旅行時間代表値（平均、モード、メジアン）を算出し、その分布形に関する情報に基づき評価を行う。

主要 IC ペアにおける旅行時間の代表値ごとの分布形状の違いを図-4 に示す。原データから外れ値のみを排除した個別車両データを用いて旅行時間分布を描くと、多くのサンプルが旅行時間が20分の付近に集中しつつ、少数ではあるが旅行時間が非常に大きい範囲にもサンプルが存在する形状となる。集計時間帯ごとに旅行時間のモード（最頻値）、メジアン（中央値）を算出して分布を描くと、個別車両データの分布と比較して、より短い旅行時間の範囲に多くのサンプルが集中する尖った形状となることが分かる。旅行時間の平均値の分布は個別車両データによる分布の右側の裾野の存在をある程度表現できている。また、平均旅行時間の分布は、サンプル数が多くなると中心極限定理により統計的扱いが有利となるため、本研究では単位時間あたりの平均旅行時間分布により分析をすすめることにする。

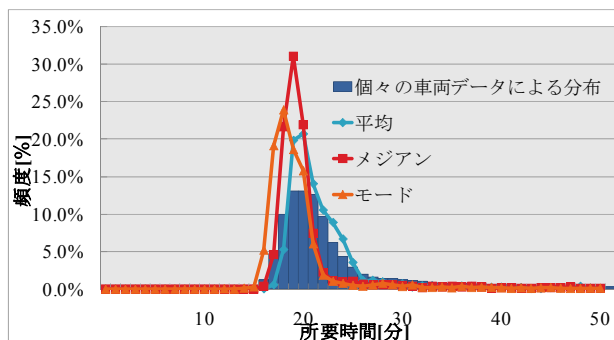


図-4 個別車両データの旅行時間分布と代表値分布
(京都南→吹田)

b) データ集計時間単位の設定

旅行時間の平均値を算出するための集計時間単位の大さを短く設定すれば、対象時間内の該当 ETC データ数が少なくなり平均値が安定しないと考えられる。ここでは、集計時間帯の幅と平均旅行時間のばらつきの関係について検証し、本研究における集計時間単位を決定する。図-5、図-6 は、京都南 IC・吹田 IC 間を例として、それぞれ集計時間単位の幅を5分、15分としたときの

平均旅行時間を示したものである。これを見ると、集計時間単位が5分のときは平均旅行時間の最小値がおおよそ20分に対して、30分以上となる集計時間単位も多く、その変動幅も大きくばらついているといえる。集計時間単位を15分とすると多くの時間帯で平均旅行時間が30分以下であり、平均旅行時間のばらつきもかなり小さくなるが見えてとれる。実際の走行距離を考慮すると、5分単位の旅行時間の平均値は、実情より過大となるケースがあると考えられる。また、集計時間単位5分では IC ペアによっては、各集計時間帯のサンプル数が極端に小さくなる場合も見受けられた。

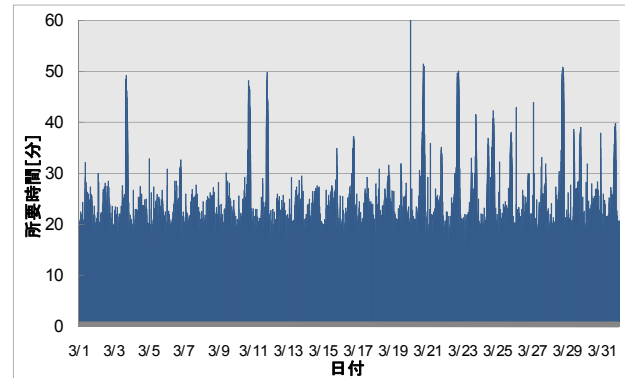


図-5 5分平均旅行時間の推移（京都南→吹田）

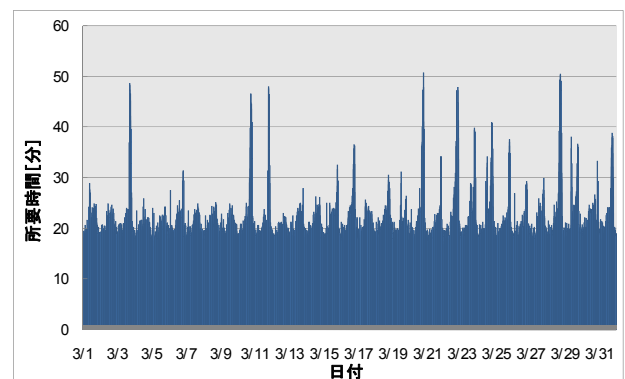


図-6 15分平均旅行時間の推移（京都南→吹田）

一方、集計時間単位の幅を大きくすると旅行時間の平均値のばらつきは小さくなるが、短時間における交通需要の増減による交通サービス水準の変化を十分に捉えきれない可能性も考えられる。他の IC ペア間でも同様の傾向を示しており、これらを総合的に鑑み、本研究では集計単位時間を15分とし、その平均旅行時間でもって旅行時間信頼性を評価するものとする。

4. IC ペア間の旅行時間信頼性評価

(1) 時間帯の分割

前章で述べた ETC データの集計方法を実際に適用して、八日市 IC・栗東 IC 間、栗東 IC・京都南 IC 間、および京都南 IC・吹田 IC 間の3区間の交通サービス水準を旅行時間信頼性の観点から分析する。ここでは、時間帯による交通サービス水準の差異についても分析するた

め、以下の4時間帯ごとに旅行時間の平均値の分布を構成する。すなわち、朝時間帯は6:00～9:59、昼時間帯は10:00～16:59、夕方・夜時間帯は17:00～20:59、そして深夜・早朝時間帯は21:00～5:59とする。

図-7、図-8および図-9は、各々八日市IC・栗東IC間、栗東IC・京都南IC間および京都南IC・吹田IC間の旅行時間の15分毎の平均値の累積分布を表す。最初に、全区間に共通の特徴についてまとめてみると、全区間ともに朝(6:00～9:59)と深夜・早朝(21:00～5:59)の旅行時間の平均値の累積分布の形状は類似しており、かつ他の時間帯よりも相対的に左側に分布が位置しており、旅行時間が全般的に小さくかつ変動も小さいことが分かる。一方、昼時間帯(10:00～16:59)の分布は右側に位置しており、かつ累積分布の傾きが緩やかであることから、昼時間帯の旅行時間の変動は大きく、旅行時間信頼性は相対的に低いといえる。以上より、時間帯により提供される交通サービスの質は異なり、とりわけ朝時間帯6:00～9:59)ならびに深夜・早朝時間帯(21:00～5:59)の旅行時間信頼性は高い水準にあるといえる。

(2) 旅行時間信頼性から見た区間特性

次に旅行時間の平均値の累積分布に基づき、3つの分析対象区間のサービス特性について考察する。4時間帯の分布の乖離が最も小さいのは八日市・栗東間と考えられ、時間帯ごとのサービス水準の差異は小さいといえる。栗東・京都南間は、他の区間と比べてとりわけ昼時間帯の累積分布の傾きが緩やかである。言い換えれば、他の区間より昼時間帯の旅行時間信頼性は低いと考えられる。

京都南・吹田間の分布に着目すると、朝および深夜・早朝時間帯の累積分布の傾きが、他の区間と比較して急であり、旅行時間の点で安定した交通サービスが提供されていることを伺うことができる。当該区間は3車線もしくは2車線+2車線の4車線の区間であり、利用交通も多い一方で他の区間より大きな交通容量が付与されているため、このような差異が生じたと考えられる。夕方・夜の時間帯では、累積確率が50%までの分布形状は他の区間の同時間帯の形状と類似している。一方、50%を超えると分布の傾きが急激に緩やかになっているおり、著しい混雑のため、旅行時間の変動が顕著に生じ、旅行時間の信頼性が大きく低下する区間であるとも考えられる。

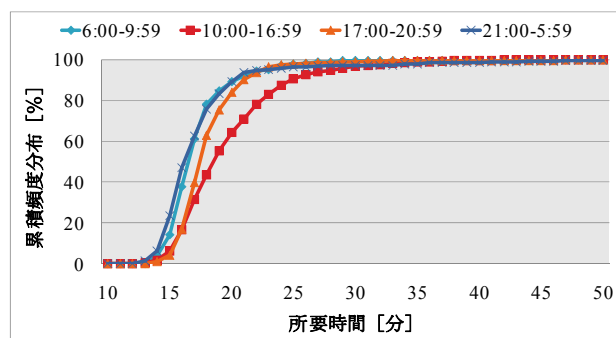


図-7 時間帯毎の旅行時間の平均値分布(八日市→栗東)

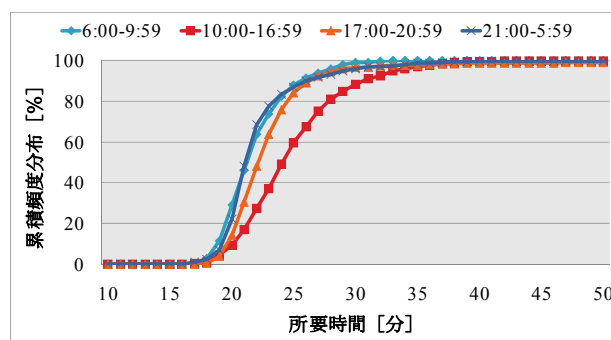


図-8 時間帯毎の旅行時間の平均値分布(栗東→京都南)

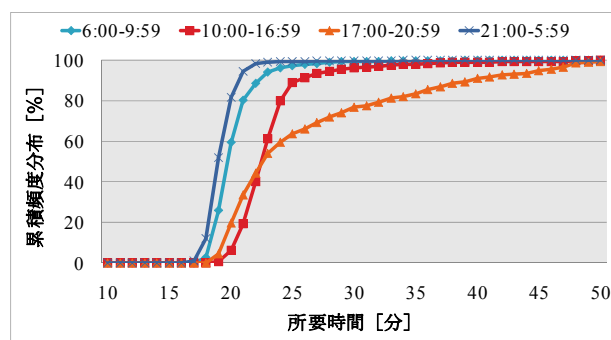


図-9 時間帯毎の旅行時間の平均値分布(京都南→吹田)

5. まとめ

本研究では、旅行時間信頼性の考え方に基づき、既存の都市間高速道路の交通サービスの質を評価するため、ETC データを活用した分析手法を提案した。ETC データを活用して、旅行時間の分布に関する情報を得るため、外れ値の除去方法、集計時間単位の設定方法、各集計時間単位の交通状態を表す代表値の選定等について検討した。ケーススタディとして名神高速道路の3区間(八日市IC・栗東IC間、栗東IC・京都南IC間、京都南IC・吹田IC間)について、旅行時間信頼性の考え方を導入してサービス水準の分析を試みた。その結果、道路区間・時間帯によってサービス水準が大きく異なることが、ETC データを用いた分析結果より読み取ることができた。今後の研究課題として、以下の3課題を挙げておく。

- (1) 外れ値抽出方法の精度を高めるための検討を行う。
突発事象については、事故・工事等の事象データと照らし合わせて、予め平常時データと突発事象発生時データを分割することを検討する。
- (2) 旅行時間の信頼性に交通需要の変動が及ぼす影響を明らかにするため、本線および流入・流出交通量と旅行時間の分布特性の関係について分析を行う。
- (3) 分析対象データの拡充により、季節変動・曜日変動を踏まえた旅行時間信頼性評価を行っていく。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、NEXCO 西日本・高速道路整備効果評価研究会(会長：飯田恭敬京都大学名誉教授)にご参加の皆様より貴重なご意見・ご示唆を多数頂戴した。記して謝意を表します。