プローブ旅行時間データの取得状況と 旅行時間信頼性指標値の信頼度との関係

関谷 浩孝¹・諸田 恵士²・高宮 進³

¹正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路研究室（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

E-mail: sekiya-h92tb@nilim.go.jp

²非会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路研究室（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

E-mail: morota-k92ta@nilim.go.jp

³正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路研究室（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

E-mail: takamiya-s92tc@nilim.go.jp

国道4号上の2区間（約31km及び19km）で1年間に取得されたプローブ旅行時間データを用い、データの取得状況と旅行時間信頼性指標値の信頼度との関係を分析した。具体的には、仮想的にプローブ旅行時間データが部分的に取得できていないことを想定した標本データセットを作成し、これから算定される旅行時間信頼性指標の標本値と真値との差を分析した。この結果、一定の信頼度で旅行時間信頼性指標値を算定するために必要となるデータ取得日数に関し、次の知見を得た。旅行時間のばらつきの大きな区間では、必要なデータ取得日数は多くなる。旅行時間のばらつきの大きな区間では、欠測区間長割合が大きくなると、必要なデータ取得日数は増加する。評価対象日数が増加すると、必要なデータ取得日数が評価対象日数に占める割合は概ね減少する。

Key Words : *travel time reliability, variability, road traffic, probe car data*

1. はじめに

近年、情報通信技術の進展、カーナビゲーションの普及により、車両の走行位置・時刻情報から算定されるDRM 区間¹⁾単位の旅行時間データ（以下「プローブ旅行時間データ」という。）を大量に取得できるようになった。国土交通省では、一定の時間帯（7:00～8:00 の1 時間帯等）、一定の区間（主要交差点間等）で集計したプローブ旅行時間データを用いて「旅行時間信頼性指標²⁾」を算定し、道路交通施策の実施効果を定量的に評価する取組みを行っている^{3),4),5)}。旅行時間信頼性指標とは、旅行時間の日々のばらつきを表す指標で「90%タイル旅行時間（10 日に1 回程度発生する混雑時の旅行時間）」や「95%タイル旅行時間（20 日に1 回程度発生する混雑時の旅行時間）」等がよく用いられる。

ところが、プローブ旅行時間データは全ての時間帯で取得できているわけではない。例えば、3 ヶ月間（平日60 日）の7 時台の旅行時間信頼性指標を算定する際、7 時台にプローブ旅行時間データが取得できた日が10 日しかない場合もある。当然のことながら、この“10 日のデータから算定される旅行時間信頼性指標値”は、

“全日（60 日）のデータから算定される旅行時間信頼性指標値”と値が異なり、値の確からしさ、あるいは信頼度は劣ると推察される。しかし、このことは実務ではほとんど考慮されていない。実務担当者は、事業の実施効果を示す指標に旅行時間信頼性指標を用いる際、算定された値が「どの程度の信頼度を有するものか」について、ある程度の相場観を持っておくことがことが望ましいと考える。

これまで、旅行時間データの数と、これから算定される指標値の信頼度との関係についての研究がいくつか行われている。有吉ら⁶⁾は、旅行時間が正規分布に従うことを仮定し、許容誤差率と必要な旅行時間データ数の関係を分析している。姚ら⁷⁾は、まず許容誤差 $\pm 5\text{km/h}$ 、信頼水準95%で旅行時間の標準偏差を算定するために必要となるデータ数を標準偏差式⁸⁾を用いて分析し、観測された旅行時間データから算定される指標値の信頼度を評価している。これらの研究は、統計学で用いられる分布等に基づき、データ数と信頼度との関係を分析している。これに対し本研究では、実際に観測されたプローブ旅行時間データを用いて、仮想的にプローブ旅行時間データが部分的に取得できていないことを想定した標本

データセットを作成し、これから算定される旅行時間信頼性指標の標本値と真値との差を分析する等、より実証的な研究を行った。

また、プローブ旅行時間データを用いた同様の分析を橋本ら⁹⁾が行っている。この研究では、DRM 区間単位で1ヶ月間(平日20日)の旅行時間の標準偏差を正しく算定するために必要となるプローブ旅行時間データの取得日数を分析している。しかし、事業実施効果の評価は、通常、DRM 区間単位でなく、主要な交差点間等、ある程度距離のある区間を対象に行われる^{3),4),5)}。このため本研究では、複数の DRM 区間で構成される OD 区間を分析の対象とし、また、旅行時間の標準偏差だけでなく、90%タイル旅行時間や95%タイル旅行時間等、実務でよく用いられる旅行時間信頼性指標を対象に信頼度の分析を行った。さらには、旅行時間のばらつきの大きな区間と小さな区間の2区間を分析対象とし、一定の信頼度で旅行時間信頼性指標を算定するために必要となるプローブ旅行時間データの取得日数について比較を行った。本稿では、分析方法の概要と得られた主な知見を紹介する。

2. 使用データ

a) プローブ旅行時間データ

2011年10月1日から2012年9月30日の平日7時台に取得されたプローブ旅行時間データを使用した。ただし、年末年始、ゴールデンウィーク及びお盆期間中の平日、休日に挟まれた平日並びに悪天候の日(大雨、降雪、台風)は除いた(分析対象は234日)。これは、事業実施効果を評価する際、こういった特異な日を対象としないことが多いためである。それぞれの日の7時台(10月1日の7時台等)に1件でもプローブ旅行時間データが取得されていれば、この値をこの日を代表する旅行時間とした。7時台に複数のプローブ旅行時間データが取得された場合は、それらの平均値を用いた。

なお、プローブ旅行時間データは、直進車だけでなく右折車と左折車の旅行時間データも含む。つまり、右折待ちに要した時間も含むデータである。このため、本研究で扱うOD区間旅行時間データ(2章c)参照)は、直進車がOD間を実際に移動する際の旅行時間より大きい値となる可能性がある。

b) OD区間

交通量が多く、プローブ旅行時間データが豊富に取得されていた国道4号上りの2つのOD区間(図-1)を分析対象とした。両区間の概要を表-1に示す。OD区間1及びOD区間2は、それぞれ92及び87のDRM区間で構成されている。

図-1 分析対象区間

表-1 OD区間1とOD区間2の概要

	OD区間1	OD区間2
起点	国道293号交差点	4号現道交差点
終点	国道352号交差点	首都高中央環状
距離 (km)	31.0	18.8
車線数	4車線(約13km) 6車線(約17km)	4車線(約14km) 6車線(約5km)
信号交差点数	70 (2.2/km)	47 (2.5/km)
DRM区間数	92 (337m/区間)	87 (216m/区間)

図-2 OD区間旅行時間データ(60日)の分布

表-2 60日分のOD区間旅行時間データから算定した旅行時間信頼性指標値

	OD区間1		OD区間2
□標準偏差	3.0分	<	7.6分
▲95%タイル値	53.5分	<	70.1分
◇90%タイル値	53.2分	<	68.5分
×中央値	48.6分	<	59.4分
○平均値	48.8分	<	59.0分
(平均旅行速度)	(38.1 km/h)	>	(19.1 km/h)
最大値	56.4分	<	77.0分
最小値	42.3分	>	41.3分
Buffer Time _{90%}	4.45分	<	9.49分
Buffer Time Index _{90%}	0.09	<	0.16

c) OD区間旅行時間データ

各OD区間で、OD区間内の全てのDRM区間において、同一日の7時台にプローブ旅行時間データが取得されていた日がOD区間1では215日（分析対象234日の92%）、OD区間2では96日（分析対象234日の41%）あった。これらの日を対象に、各DRM区間で取得されたプローブ旅行時間データの単純和により、OD区間の旅行時間（以下「OD区間旅行時間データ」という。）を算定した。

このうち、日付の新しいものから順に60日分のOD区間旅行時間データを抽出した。この分布を累積確率の形式で図-2に示す。これから算定した旅行時間信頼性指標値を表-2に示す。OD区間1はOD区間2に比べ、平均旅行速度が大きく（OD区間1：38.1km/h，OD区間2：19.1km/h），Buffer Time Index_{90%}¹⁰が小さい（OD区間1：0.09，OD区間2：0.16）。ここでBuffer Time Index_{90%}とはばらつきの度合いを表す指標で「（90%タイル旅行時間－平均旅行時間）÷平均旅行時間」で算定される。つまり、OD区間1はOD区間2より混雑の度が小さく、かつ旅行時間のばらつきが小さい。

3. OD区間旅行時間データの取得日数と旅行時間信頼性指標値の信頼度との関係

60日のうち一部の日でしかOD区間旅行時間データが取得できていないケースを想定し、算定される旅行時間信頼性指標値（標準偏差，95%タイル値，90%タイル値，中央値及び平均値）が、真値とどの程度異なるかを分析した。ここでの真値は、表-2に示した「全日（60日）のOD区間旅行時間データから算定した値」とした。

(1) 標本データセットの作成及び標本値の算定

60日のうち、2～59日分のOD区間旅行時間データが取得できたケースを想定し、標本データセットを作成した。以下、OD区間2で60日のうち10日分のOD区間旅行時間データが取得できたケース（10日/60日）を例に示す。

図-3に示すとおり、2章c)に示した60日のOD区間旅行時間データの中から10日分をランダムに選定し、旅行時間信頼性指標の標本値を算定した。これを1,000回繰り返し、1,000個の標本値を算定した〔補注〕（表-3）。これを累積確率の形式で示すと図-4のとおりとなる。

(2) 旅行時間信頼性指標値の信頼度の算定

標本データセットから算定した旅行時間信頼性指標の標本値が「真値の95%～105%内」となる場合に「正しく算定できた」と判定した。1,000個の標本値のうち「正しく算定できた」標本値の割合を「信頼度」とした。

標本データセットNo.	標準偏差	95%T値	90%T値	中央値	平均値
1	8.3分	71.6分	69.0分	60.3分	59.4分

図-3 標本データセット（10日分）の分布及び旅行時間信頼性指標の標本値

表-3 標本データセット（10日分）から算定された旅行時間信頼性指標の標本値（1,000個）

標本データセットNo.	標準偏差	95%T値	90%T値	中央値	平均値
1	8.3分	71.6分	69.0分	60.3分	59.4分
2	7.2分	69.0分	67.9分	59.2分	59.0分
3	8.5分	72.1分	69.8分	60.9分	61.7分
4	5.8分	66.3分	64.2分	57.0分	55.9分
5	6.7分	68.2分	66.7分	58.2分	58.1分
...	...	...	...	...	...
1000	8.0分	70.6分	69.0分	60.2分	61.0分

図-4 標本データセット（10日分）から算定された旅行時間信頼性指標の標本値（1,000個）の分布

図-5 標準偏差の信頼度の算定例（10日/60日）

図-6 標準偏差の信頼度の算定例（20日/60日，40日/60日）

標準偏差についての信頼度の算定例を図-5 に示す。標本データセットから算定した 1,000 個の標本値のうち、真値 (7.6 分) の 95%~105% 内 (7.22~7.98 分) となるものが 176 個あった。これより信頼度は 17.6% (=176/1,000) と算定される。これは次を意味する: 「全日 (60 日) のうち 10 日分の OD 区間旅行時間データが取得できると、17.6%の確率で標準偏差を真値の 95%~105%の値として正しく算定することができる。残りの 82.4%の確率で、真値の±5%以上の誤差を有する値として算定される。」

OD 区間旅行時間データの取得日数を「20 日/60 日」及び「40 日/60 日」として同様の算定を行った。これを図-6 に示す。取得日数が増加すると (10 日→20 日→40 日)、標本データセットから算定された 1,000 個の標本値の分布が真値 (7.6 分) に近づき、信頼度が増加している。

OD 区間 1 及び OD 区間 2 において、OD 区間旅行時間データの取得日数を「2 日/60 日」~「59 日/60 日」として、旅行時間信頼性指標値 (標準偏差, 95%タイル値, 90%タイル値, 中央値及び平均値) の信頼度を算定した。横軸を「OD 区間旅行時間データの取得日数」、縦軸を「旅行時間信頼性指標値の信頼度」としてプロットすると図-7 のとおりとなる。

(3) 90%の信頼度で旅行時間信頼性指標値を正しく算定するために必要なOD区間旅行時間データの取得日数

図-7 から、90%の信頼度で旅行時間信頼性指標値を正しく算定するために必要となる OD 区間旅行時間データの取得日数を整理した。これを図-8 に示す。

a) OD 区間 1 と OD 区間 2 の比較

90%の信頼度で旅行時間信頼性指標値を算定しようとすると、OD 区間 2 では、OD 区間 1 より多くの日数分の OD 区間旅行時間データが必要となる (ただし、標準偏差のみ同数)。例えば、90%タイル旅行時間を 90%の信頼度で算定しようとすると、OD 区間 1 では 15 日分 (60 日の 25%) の OD 区間旅行時間データがあればよい。これに対し、OD 区間 2 では 21 日分 (60 日の 35%) 必要になる。これは、OD 区間 2 の旅行時間のばらつきが OD 区間 1 より大きいためである (2 章参照)。

b) 旅行時間信頼性指標間の比較

必要となる OD 区間旅行時間データの取得日数は、旅行時間信頼性指標間で大きく異なる。例えば、標準偏差を 90%以上の信頼度で算定するためには、OD 区間 1 及び OD 区間 2 とともに 53 日分 (60 日の 88%) の OD 区間旅行時間データが必要となる。これは、前節で示した 90%タイル旅行時間を算定するために必要な日数 (区間 1: 15 日分 (60 日の 25%) , OD 区間 2: 21 日分 (60 日の 35%)) の 2 倍を超える。必要となる OD 区間旅行時間データの取得

図-7 OD 区間旅行時間データ取得日数 (2~60 日) と信頼度との関係

図-8 旅行時間信頼性指標値を 90%以上の信頼度で算定するために必要な OD 区間旅行時間データの取得日数 (●日/60 日)

3章	秒																
DRM区間	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	...	s87	OD区間旅行時間						
第1日	27.8	3.7	13.2	1.3	4.6	43.0	15.0	31.2	...	13.8	2,480						
第2日	27.0	4.0	13.2	2.0	4.0	30.0	14.8	31.8	...	13.0	2,660						
第3日	x	x	x	x	x	x	x	x	...	x	x						
第4日	25.3	3.5	11.3	1.3	3.8	24.8	14.3	30.0	...	14.3	2,871						
第5日	25.4	12.2	15.0	1.3	4.0	17.2	13.7	31.3	...	15.1	2,871						
第6日	x	x	x	x	x	x	x	x	...	x	x						
...	.	.	.	.	.	.	.	.	...	.	.						
第60日	x	x	x	x	x	x	x	x	...	x	x						

4章													秒
DRM区間	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	...	s87	欠測区間 長割合	OD区間 旅行時間	
第1日	27.8	3.7	×	1.3	4.6	43.0	15.0	31.2	...	13.8	10%	推計値	
第2日	×	4.0	13.2	2.0	4.0	30.0	×	31.8	...	13.0	10%	推計値	
第3日	×	×	×	×	×	×	×	×	...	×	—	×	
第4日	25.3	3.5	11.3	1.3	×	24.8	14.3	30.0	...	14.3	10%	推計値	
第5日	25.4	×	15.0	1.3	4.0	17.2	13.7	31.3	...	15.1	10%	推計値	
第6日	×	×	×	×	×	×	×	×	...	×	—	×	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮	⋮	⋮	
第60日	×	×	×	×	×	×	×	×	...	×	—	×	

■ : フロープ旅行時間データが取得できているDRM区間
 × : フロープ旅行時間データが取得できていないとするDRM区間

図-9 想定するデータ取得状況の比較

日数が最も少ないのは「平均旅行時間」である。OD区間1では4日分（60日の6.6%），OD区間2では14日分（60日の23%）のOD区間旅行時間データが取得できれば，90%の信頼度で平均旅行時間を算定することができる。

4. DRM区間単位の欠測状況を考慮した分析

図-9に示すように3章では，標本データセットを作成する過程で，OD区間旅行時間データが取得できたとする日（例えば，3章(1)に示した60日のうちの10日分のOD区間旅行時間データ：図-9の第1日，第2日等．）では，OD区間を構成する全てのDRM区間においてプローブ旅行時間データが取得できているとした。これに対し4章では，上記の「10日分のOD区間旅行時間データ」において，OD区間を構成するDRM区間の一部でプローブ旅行時間データが取得できていないことを想定した分析を行う。

(1) 標本データセットの作成

仮想的にプローブ旅行時間データが取得できていない（欠測している）とするDRM区間（以下「仮想欠測区間」という。）の延長がOD区間長に占める割合（以下「欠測区間長割合」という。）を，10%，20%，30%，40%及び50%の5パターン設定した。3章(1)で作成した1,000個の標本データセットそれぞれにおいて，5パターンの欠測区間長割合となるよう，「仮想欠測区間とするDRM区間」をランダムに選定した。仮想欠測区間における旅行時間は，実際に取得されたプローブ旅行時間データの値でなく，式(1)から算定される値とした。

$$T_{\text{第}n\text{日}}^{\text{欠測区間}} := T_{\text{第}n\text{日}}^{\text{取得区間}} \times (T_{\text{Ave}}^{\text{欠測区間}} / T_{\text{Ave}}^{\text{取得区間}}) \quad (1)$$

$T_{\text{第}n\text{日}}^{\text{欠測区間}}$ ：仮想欠測区間とする DRM 区間における第 n 日の旅行時間

$T_{\text{第}n\text{日}}^{\text{取得区間}}$ ：仮想欠測区間としない DRM 区間で第 n 日に取得されたプローブ旅行時間データ

$T_{\text{Ave}}^{\text{欠測区間}}$ ：仮想欠測区間とする DRM 区間において取得されたプローブ旅行時間データの 60 日間の平均値

$T_{\text{Ave}}^{\text{取得区間}}$ ：仮想欠測区間としない DRM 区間において取得されたプローブ旅行時間データの 60 日間の平均値

図-10 OD 区間旅行時間データの取得日数（2～60 日）と 90%タイル旅行時間の信頼度との関係

図-11 90%タイル旅行時間を信頼度 90%以上で算定するために必要な OD 区間旅行時間データの取得日数（●日/60 日）

(2) 90%の信頼度で90%タイル旅行時間を正しく算定するために必要なOD区間旅行時間データの取得日数

(1)で作成した標本データセットを用い，3章(2)に示した方法で旅行時間信頼性指標値の信頼度を算定した。OD区間旅行時間データの取得日数と90%タイル旅行時間値の信頼度との関係を図-10に示す。これから，90%の信頼度で90%タイル旅行時間値を正しく算定するために必要となるOD区間旅行時間データの取得日数を整理した。これを図-11に示す。

OD 区間 2 では，欠測区間長割合が増加すると，必要となる OD 区間旅行時間データの取得日数は増加している。例えば，欠測区間長割合が 50%になると，欠測区間長割合が 0%のケース（21 日）より 12 日多い 33 日分の

OD 区間旅行時間データが必要となる。一方 OD 区間 1 では、欠測区間長割合が増加しても、必要となる OD 区間旅行時間データの取得日数はほとんど変化していない。これは、3 章(3)で示した理由と同様、OD 区間 2 の旅行時間のばらつきが OD 区間 1 より大きいことが主要因であると考え（2 章参照）。

5. 評価対象日数20日及び96日のケースとの比較

3章及び4章では、評価対象日数を60日としたケースの分析結果を示した。本章では、評価対象日数を20日及び96日として旅行時間信頼性指標を算定するケースについて同様の分析を行い、結果を比較する。ここでは旅行時間のばらつきの大きいOD区間2を分析対象とする。

(1) 評価対象日数20日、96日のOD区間旅行時間データ

2章で示した96日分のOD区間旅行時間データのうち、新しい日付のものから順に20日分を抽出した。この20日分と96日分のOD区間旅行時間データの分布を図-12に示す。これらから算定した旅行時間信頼性指標値を、表-2に示した評価対象日数60日のケースの値とともに表-4に示す。評価対象日数が増加すると、標準偏差やBuffer Time Index_{90%}の値が増加し、旅行時間のばらつきが大きくなっている。これは、評価対象日数を増やすと（20日→60日→96日）、平均的な値から大きくはずれるOD区間旅行時間データが含まれるようになり、OD区間旅行時間データの最大値と最小値の差が大きくなったことによる。例えば、評価対象日数を20日とするケースでは、最大値（77.0分）と最小値（53.0分）の差は24.0分である。評価対象日数を60日とするケースでは、最大値（77.0分）には変化がないものの、最小値は41.3分となり、最大値との差は35.7分に増加する。評価対象日数を96日とするケースでは、105.6分のOD区間旅行時間データが含まれるようになり、最大値と最小値の差は64.3分となる。

(2) 必要データ取得日数割合

3章に示した方法を用いて、評価対象日数を20日及び96日とするケースについても標本データセットを作成し、一定の信頼度（90%、95%及び99%）で90%タイル旅行時間を算定するために必要となるOD区間旅行時間データの取得日数を算定した。なお、評価対象日数20日及び96日のケースの真値は、それぞれ69.0分及び70.6分とした（表-4に示す90%タイル値）。算定結果を図-13に示す。この日数が評価対象日数に占める割合（以下「必要データ取得日数割合」という。）を算定した。これを図-14に示す。

評価対象日数が増加すると（20 日→60 日→96 日）、

図-12 評価対象日数 20 日及び 96 日の OD 区間旅行時間データの分布（OD 区間 2）

表-4 評価対象日数20日、60日及び96日における旅行時間信頼性指標値（OD区間2）

評価対象日数	20日	60日	96日
□標準偏差	6.0分	7.6分	9.5分
▲95%タイル値	74.3分	70.1分	74.2分
◇90%タイル値	69.0分	68.5分	70.6分
×中央値	61.8分	59.4分	58.5分
○平均値	62.3分	59.0分	59.4分
最大値	77.0分	77.0分	105.6分
最小値	53.0分	41.3分	41.3分
Buffer Time _{90%}	6.7分	9.49分	11.2分
Buffer Time Index _{90%}	0.11	0.16	0.19

図-13 90%タイル旅行時間を一定の信頼度（90%、95%及び99%）で算定するために必要な OD 区間旅行時間データの取得日数（OD 区間 2）

図-14 90%タイル旅行時間を一定の信頼度（90%、95%及び99%）で算定するために必要な OD 区間旅行時間データの取得日数割合（OD 区間 2）

必要なデータ取得日数は増加する（図-13）が、必要データ取得日数割合は概ね減少している（図-14）。

評価対象日数を 20 日から 60 日にすると、必要データ取得日数割合が大幅に減少している。例えば、90%の信頼度を確保しようとする、評価対象日数 20 日での必要データ取得日数割合は 70.0%、評価対象日数 60 日では 35.0%である。一方、評価対象日数を 96 日とするケースでの必要データ取得日数割合は 34.4%で、評価対象日数 60 日での値（35.0%）との差は小さい。これは、評価対象日数 96 日での旅行時間のばらつきが、評価対象日数 60 日より大きいことが一因であると考えられる。例えば、評価対象日数 96 日での Buffer Time Index 90% (0.19) は、評価対象日数 60 日での値 (0.16) より大きい。また図-12 を見ると、評価対象日数 96 日では、OD 区間旅行時間データの最大値 (105.6 分) が 1 つだけ他より際立って大きな値となっている。このことも、評価対象日数 96 日と評価対象日数 60 日の必要データ取得日数割合の差が小さいことの要因であると考えられる。

(3) 「評価対象日数」と「必要なOD区間旅行時間データの取得日数」との関係を表す式

「評価対象日数」と「90%タイル旅行時間を一定の信頼度（90%、95%及び 99%）で算定するために必要となる OD 区間旅行時間データの取得日数」との関係を表す式を推定した。前項で示したように、評価対象日数が増加すると必要データ取得日数割合は概ね減少することから、線形近似に加え、上に凸となる二次多項式、対数式及び累乗式を推計に用いた。結果を図-15 に示す。線形近似式は、4 つの近似式のうち決定係数が最大（99%（信頼度 99%）、0.9393（信頼度 95%）、0.9675（信頼度 90%））で、最もあてはまりが良い。

これを用いることにより、任意の評価対象日数（20 日～100 日程度）において算定された 90%タイル旅行時間の信頼度を把握することができる。例えば、40 日（2 ヶ月間の平日の日数）のうち、25 日を超える日数分のプローブ旅行時間データが取得できていると、99%以上の信頼度で 90%タイル旅行時間を算定することができる（図-15、線形近似式、信頼度 99%のラインで $x = 40$ に対応する $y = 25.4$ ）。

ただし、図-15 に示した式は、いずれも評価対象日数 20 日、60 日及び 96 日の 3 点のデータから推定されたものであるため、十分な信頼度を有しているとはいえない。今後、同じ区間で異なる期間に取得された旅行時間データや、異なる区間で取得された旅行時間データから同様の分析を行うことにより、多数のデータ（“評価対象日数”と“必要な OD 区間旅行時間データの取得日数”に関するデータ）を取得し、信頼度の高い関係式を構築する必要がある。

図-15 「評価対象日数」と「90%タイル旅行時間を一定の信頼度（90%、95%及び 99%）で算定するために必要な OD 区間旅行時間データの取得日数」との関係を表す式

6. 考察

(本研究の分析方法)

本研究では、正規分布等の統計学上の分布に拠らず、観測されたプローブ旅行時間データの分布から「一定の信頼度で旅行時間信頼性指標値を算定するために必要なデータ取得日数」等を分析した。このため、これら「必要なデータ取得日数」等を、より実際の道路交通に即した値として算定することができた。しかしながら、連続する複数のDRM区間においてプローブ旅行時間データが取得できているOD区間は限られている。このため本研究では、交通量の多い片側2車以上の2つのOD区間のみを対象に分析を行っており、「必要なデータ取得日数」等の値そのものを、任意の区間に適用できる汎用性のあるものとして示すことができないという課題を有する。

このことから、本研究で得られた一般的知見は次に示す3つの傾向に留まる。

- ・旅行時間のばらつきの大きな区間では、一定の信頼度で旅行時間信頼性指標値を算定するために必要なデータ取得日数は多くなる。
- ・旅行時間のばらつきの大きな区間では、欠測区間長割合が大きくなると、一定の信頼度で旅行時間信頼性指標値を算定するために必要なデータ取得日数は増加する。
- ・評価対象日数が増加すると（20日→60日→96日）、必要データ取得日数割合（“一定の信頼度で旅行時間信頼性指標値を算定するために必要なデータ取得日数”が“評価対象日数”に占める割合）は概ね減少する。

プローブ旅行時間データ数は年々増加傾向にあることから、今後、汎用性のある成果を得ることができるよう、異なる道路構造の区間（片側1車、信号交差点密度の小さい区間）も含め、多数のOD区間を対象に同様の分析を行う必要がある。

(信頼度の要求水準)

本研究では、一定の信頼度で旅行時間信頼性指標を正しく算定するために必要となるデータ取得日数等の分析を行った。しかし、実務において旅行時間信頼性指標を算定しようとする際に、どの程度の信頼度が必要となるかといった「信頼度の要求水準」については未検討である。今後、対象とする道路の性格や指標算定の目的に応じた信頼度の要求水準についての考え方を整理する必要がある。

(信頼度の評価方法)

本研究では「標本値が真値の95%～105%内となる確率」を信頼度とした。しかし、信頼度を評価する方法は平均絶対誤差率（MAPE、式(2)）や二乗平均誤差

（RMSE、式(3)）をはじめ、他にも複数ある。これらを用いた算定結果を図-16及び図-17に示す（評価対象日数60日、OD区間2）。今後、複数の評価方法を組み合わせる等、多角的に信頼度を評価する方法を検討する必要がある。

平均絶対誤差率

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N |X - x_i|}{N \cdot X} \quad (2)$$

X : 真値

x_i : i 番目標本値 ($i=1\sim1000$)

N : サンプル数 (1,000)

二乗平均誤差 (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X - x_i)^2}{N}} \quad (3)$$

X : 真値

x_i : i 番目標本値 ($i=1\sim1000$)

N : サンプル数 (1,000)

平均絶対誤差率 (MAPE)

図-16 OD 区間旅行時間データ取得日数と平均絶対誤差率 (MAPE) との関係

二乗平均誤差 (RMSE)

図-17 OD 区間旅行時間データ取得日数と二乗平均誤差 (RMSE) との関係

7. おわりに

プローブ旅行時間データの取得状況と旅行時間信頼性指標値の信頼度との関係を分析し、一定の信頼度で指標を算定するために必要となるOD区間旅行時間データの取得日数について、次の知見を得た：

- ・旅行時間のばらつきの大きな区間では、一定の信頼度で旅行時間信頼性指標値を算定するために必要なデータ取得日数は多くなる。
- ・旅行時間のばらつきの大きな区間では、欠測区間長割合が大きくなると、一定の信頼度で旅行時間信頼性指標値を算定するために必要なデータ取得日数は増加する。
- ・評価対象日数が増加すると（20日→60日→96日）、必要データ取得日数割合（“一定の信頼度で旅行時間信頼性指標値を算定するために必要なデータ取得日数”が“評価対象日数”に占める割合）は概ね減少する。

本研究で得られた「一定の信頼度で旅行時間信頼性指標を算定するために必要となるOD区間旅行時間データの取得日数」等に関する知見は、必要な追加検討を行った後、現在作成中の「時間信頼性指標値算定マニュアル（DRM区間単位のプローブ旅行時間データから指標値を算定する手順を解説）」に反映させることとしている。今後、事業実施効果の評価をはじめとする種々の実務の場面で旅行時間信頼性指標を用いる際、「その旅行時間信頼性指標値がどの程度の信頼度を有するか」といった基礎情報を実務担当者に提供する資料として活用されることを期待する。

謝辞：本研究を進めるにあたり、「交通工学研究会『実用的な旅行時間信頼性指標に関する展開研究（代表：東京工業大学 朝倉康夫教授）』」から、丁寧かつ熱心なご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。

補注 標本データセット数

3章(1)では、標本データセットの数を1,000としている。以下にこの根拠を示す。データ取得日数の組み合わせは最大で約 12×10^{16} （60日のうち30日分のデータが取得できたケースの ${}_{60}C_{30}$ ）となる。 12×10^{16} とおりの標本データセットを作成することは現実的でないことから、式(4)を用いて分析に用いる標本データセットの数を設定した¹⁾。

$$e = \alpha \sqrt{((N-n)(N-1))(p(1-p)/n)} \quad (4)$$

- n : 必要な標本データセット数
- N : 母数
- p : 標本比率
- α : 信頼度係数
- e : 標準誤差率

標本データセットから算定した旅行時間信頼性指標値が真値の一定範囲内に入るか否かを判定基準としたため、標本比率 $p=0.5$ とした。信頼度は95%や99%を用いるのが一般的であり、より厳しい信頼度99%の信頼度係数 $\alpha=2.81$ とした。標準誤差率 e は交通関連調査では20%とされることが多いが、より厳しい5%とした。母数 $N=12 \times 10^{16}$ として式(4)から標本データセット数を求めると $n=790$ となった。安全側をみて、必要な標本データセット数を1,000とした。

参考文献

- 1) 財団法人日本デジタル道路地図協会：全国デジタル道路地図データベース標準、第3.8版、2008。
- 2) 日下部貴彦，井料隆雅，朝倉康夫：出発時刻選択と旅行時間信頼性，土木計画学研究・講演集，Vol.37，CD-ROM (No.127)，2008。
- 3) 国土交通省中部地方整備局：名二環（名古屋南 JCT～高針 JCT）国道 302 号開通 6 ヶ月後の交通状況，<http://www.cbr.mlit.go.jp/kisya/2011/11/1128.pdf>，2011。
- 4) 国土交通省四国地方整備局：国道 56 号宇和島道路の開通 1 年後の効果について，http://www.skr.mlit.go.jp/oozu/kisya/pdf_h23_kisya425.pdf，2011。
- 5) 新東名（静岡県）インパクト調整会議ホームページ，<http://www.shintomei-shizuoka.net/impact.html>
- 6) 有吉亮，中村文彦，岡村敏之，矢部努：期待値の信頼区間を考慮した旅行時間データの取得技術に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.32，CD-ROM (No.185)，2005。
- 7) 姚恩健，藤田貴司，佐藤彰典：交通情報生成における最小サンプルデータに関する研究，第 5 回 ITS シンポジウム 2006 Proceeding，pp.243-248，2006。
- 8) Quiroga, C. and Bullock, D. : Determination of Sample Sizes for Travel Time Studies, *ITE Journal*, Vol. 68, No. 8, pp. 92-98, 1998。
- 9) 橋本浩良，河野友彦，門間俊幸，上坂克巳：一般車プローブデータの集計対象期間と旅行速度の推計精度の関係分析，土木計画学研究・講演集，Vol.42，CD-ROM (No.156)，2010。
- 10) 若林拓史：各種旅行時間信頼性指標の比較と課題，土木計画学研究・講演集，No.37，CD-ROM (No.118)，2008。
- 11) 総務省政策統括官(統計基準担当)監修：統計実務基礎知識—平成 20 年度版—，(財)全国統計協会連合会，2008。

(2014. 2. 28 受付)

RELATIONSHIP BETWEEN VOLUME OF PROBE DATA AND ACCURACY OF
TRAVEL TIME RELIABILITY INDICES
—HOW DOES A PARTIAL DEFICIT IN PROBE DATA INFLUENCE THE
ACCURACY OF TRAVEL TIME RELIABILITY INDICES?—

Hiroataka SEKIYA, Keiji MOROTA and Susumu TAKAMIYA

Using probe car data obtained for two OD sections (31 km and 19 km) on a national highway over one year, we demonstrate the relationship between volume of probe car data and accuracy of travel time reliability indices calculated from them. Specifically, we create, as sample data sets for testing, OD travel time data sets with partial deficits that lack travel time data for some sections of all OD sections and for some days during evaluation periods. Then, we examine the difference between travel time reliability indices derived from OD travel time data sets with partial deficits and travel time reliability indices derived from those without partial deficits. As a result, we clarify the volume of probe car data required to calculate travel time reliability indices with a certain level of accuracy.